



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

TESIS

**DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE
METALES PESADOS EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS SAN PEDRO
EN MINERA LA ZANJA, PROVINCIA DE SANTA
CRUZ, CAJAMARCA, 2018**

PRESENTADO POR

BACH. HERNÁNDEZ GUERRERO ULISES BERNABÉ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

CAJAMARCA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor y cariño en primer lugar a Dios, porque gracias a él, tengo una familia que me apoya en todo.

Este logro está dedicado especialmente a mis padres Justina Guerrero Vásquez y Eduwaldo Hernández Santoyo, por el apoyo incondicional que siempre me brindan, por creer en mi capacidad de crecer como persona y profesionalmente, aunque hemos pasado por momentos difíciles siempre han estado brindándome su comprensión, cariño y amor.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis padres, Eduwaldo y Justina por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, sobre todo por ser un gran ejemplo de vida a seguir.

De manera especial expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Alas Peruanas – Filial Cajamarca, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por permitirme ser parte de la UAP, una generación de triunfadores y gente productiva para el país.

RECONOCIMIENTO

En esta tesis quiero brindar reconocimiento a los ingenieros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, por sus enseñanzas brindadas. Asimismo, a la Universidad Alas Peruanas, por forjarme cada día en sus aulas.

ÍNDICE

	Pág.
CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	1
1.1. Descripción de la realidad problemática	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación espacial.....	2
1.2.2. Delimitación social.....	2
1.2.3. Delimitación temporal	2
1.2.4. Delimitación conceptual.....	2
1.3. Problemas de investigación	3
1.3.1. Problema principal.....	3
1.3.2. Problemas secundarios	3
1.4. Objetivos de la investigación.....	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis y variables de la Investigación.....	4
1.5.1. Hipótesis general.....	4
1.5.2. Hipótesis secundarias	4
1.5.3. Variables (Definición conceptual y operacional).....	5

	Pág.
1.5.4. Operacionalización de las variables	6
1.6. Metodología de la investigación	7
1.6.1. Tipo y nivel de investigación.....	7
1.6.2. Método y diseño de la investigación	7
1.6.3. Población y muestra de la investigación.....	8
1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	8
1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación.....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.1.1. En el ámbito internacional	11
2.1.2. En el ámbito nacional	13
2.1.3. En el ámbito local	16
2.2. Bases Teóricas	18
2.2.1. Aspectos generales	18
2.2.2. Metales pesados	20
2.2.3. Tratamiento de aguas ácidas	29
2.3. Definición de términos básicos	36
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38
3.1. Procedimiento de determinación de aguas ácidas.....	38
2.3.1. Determinación de metales en muestras líquidas por ICP	38
2.3.2. Determinación de arsénico por generación de hidruros	41
2.3.3. Determinación de mercurio por la técnica de vapor frío	44
2.3.4. Determinación de metales en aguas por absorción atómica	48
2.3.5. Determinación de metales por ICP 720 OES	57
3.2. Resultados de la determinación de aguas ácidas	73

	Pág.
3.3. Contrastación de la hipótesis	84
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	90
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
FUENTES DE INFORMACIÓN	93
ANEXOS	97
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	98
Anexo 2: Fotografías.....	99
Anexo 3: Ficha de reporte de laboratorio químico.....	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.	19
Figura 2: Equipo de Absorción Atómica (AA).	28
Figura 3: Círculos Worksheet Instrument Exit en el ICPExpert.	60
Figura 4: Condiciones del Instrument.	60
Figura 6. Submenú de opciones.	65
Figura 7: Ventana de multigráficos de espectrometría.	67
Figura 8: Vista a detalle del espectrómetro.	68
Figura 9: Reporte de espectrometría.	70
Figura 10: Resultados del dique mina – metales torales Enero 2017.	84
Figura 11: Resultados del dique mina – metales torales Febrero 2017.	84
Figura 12: Resultados del dique mina – metales torales Marzo 2017.	85
Figura 13: Resultados del dique mina – metales torales Abril 2017.	85
Figura 14: Resultados del dique mina – metales torales Mayo 2017.	86
Figura 15: Resultados del dique mina – metales torales Junio 2017.	86
Figura 16: Resultados del dique mina – metales torales Julio 2017.	87
Figura 17: Resultados del dique mina – metales torales Agosto 2017.	87
Figura 18: Resultados del dique mina – metales torales Setiembre 2017.	88
Figura 19: Resultados del dique mina – metales torales Octubre 2017.	88
Figura 20: Resultados del dique mina – metales torales Noviembre 2017.	89
Figura 21: Equipo de absorción atómica en minera La Zanja.	99
Figura 22: ICP en minera La Zanja.	99
Figura 23: Muestreo ICP.	100
Figura 24: Colocación de muestras en absorción atómica.	100
Figura 25: Muestreo con ICP del agua de drenaje ácido.	101
Figura 26: Proceso ICP.	101
Figura 27: Paso de datos desde máquina de ICP.	102
Figura 28: Máquina de ICP.	102
Figura 29: Diseño de la planta de tratamiento de aguas ácidas San Pedro. ..	103
Figura 30: Laboratorio en planta tratamiento de aguas ácidas San Pedro. ..	103
Figura 31: Muestreo de la Poza 15 en el tajo San Pedro.	104
Figura 32: Muestreo en el tanque rompedpresión de la planta San Pedro.	104

	Pág.
Figura 33: Clarificador 1 de la planta San Pedro.....	105
Figura 34: Verificación del encendido de equipos en la planta San Pedro. ..	105
Figura 35: Clarificador 2 de la planta San Pedro.....	106
Figura 36: Drenaje mina saliente de la planta San Pedro.	106

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Operacionalización de variables.....	6
Tabla 2: Límites Máximos Permisibles Actividades Minero - Metalúrgicas.....	25
Tabla 3: Clasificación de los drenajes de mina.....	31
Tabla 4: Estándares de calibración preparados.	63
Tabla 5: Estándares de calibración preparados para la curva de calibración..	64
Tabla 6: Reporte de laboratorio representativo del mes de Enero.	73
Tabla 7: Reporte de laboratorio representativo del mes de Febrero.	74
Tabla 8: Reporte de laboratorio representativo del mes de Marzo.	75
Tabla 9: Reporte de laboratorio representativo del mes de Abril.....	76
Tabla 10: Reporte de laboratorio representativo del mes de Mayo.	77
Tabla 11: Reporte de laboratorio representativo del mes de Junio.	78
Tabla 12: Reporte de laboratorio representativo del mes de Julio.....	79
Tabla 13: Reporte de laboratorio representativo del mes de Agosto.....	80
Tabla 14: Reporte de laboratorio representativo del mes de Setiembre.....	81
Tabla 15: Reporte de laboratorio representativo del mes de Octubre.	82
Tabla 16: Reporte de laboratorio representativo del mes de Noviembre.....	83
Tabla 17: Ficha de toma de datos en campo.....	107

RESUMEN

La presente tesis se realizó en Minera La Zanja que se encuentra ubicada en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz de Succhabamba en la región suroeste del departamento de Cajamarca. La problemática de esta tesis se basa en que las actividades mineras impactan sobre el medio hídrico, por ello es necesario buscar una alternativa al tratamiento de aguas ácidas de efluentes mineros. El objetivo de esta tesis es determinar la concentración de metales pesados para el tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San Pedro; mediante la determinación de la concentración de los metales totales por absorción atómica, la determinación de la concentración de los metales disueltos por espectrometría de emisión atómica ICP y con la comparación de los resultados de metales totales y disueltos con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes líquidos. Finalmente, se determinó que la concentración de los metales (Cu, Fe, Pb, Zn, Mn) totales y disueltos por absorción atómica saliente de los tajos son altos, en metales totales se obtuvo cobre 127.53 mg/l, fierro 3247.54 mg/l, plomo <0.01 mg/l, zinc 20.83m/l, manganeso 43.13 mg/l y mercurio 0.0005. los metales disueltos saliente de los tajos en cobre es 121.24 mg/l, fierro 3028.54 mg/l, plomo <0.01 mg/l, zinc 19.60 mg/l, manganeso 41.2 mg/l y mercurio 0.0002 mg/l. La concentración de los metales en muestras líquidas por espectrometría de emisión atómica ICP, luego de pasar por el tanque rompepresión fueron: para metales totales cobre 0.05 mg/l, fierro 0.48 mg/l, plomo 0.01, zinc 0.07 mg/l, manganeso 3.95 mg/l, arsénico 0.003 mg/l, mercurio <0.0002 mg/l y aluminio 0.13. para cobre <0.01 mg/l, fierro <0.01 mg/l, plomo 0.01 mg/l, zinc 0.06 mg/l, manganeso 3.75 mg/l, arsénico 0.002 mg/l, mercurio <0.0002 mg/l y aluminio 0.03 mg/l. Con estos resultados concluimos que los resultados no superan los límites máximos permisibles que lo establece la normativa peruana.

Palabras clave: **Metales pesados, aguas ácidas, explotación de tajos, metales disueltos.**

ABSTRACT

This thesis was carried out at Minera La Zanja, located in the district of Pulán, province of Santa Cruz de Succhabamba, in the southwest region of the department of Cajamarca. The problem of this thesis is based on the fact that mining activities impact on the water environment, for this reason it is necessary to look for an alternative to the treatment of acid waters of mining effluents. The objective of this thesis is to determine the concentration of heavy metals for the treatment of acid waters resulting from the exploitation of the San Pedro Pit; by determining the concentration of total metals by atomic absorption, determining the concentration of dissolved metals by ICP atomic emission spectrometry and by comparing the results of total and dissolved metals with respect to the maximum permissible limits for effluents liquids. Finally, it was determined that the concentration of metals (Cu, Fe, Pb, Zn, Mn) total and dissolved by atomic absorption out of the pits are high, in total metals copper was obtained 127.53 mg/l, iron 3247.54 mg/l, lead <0.01 mg/l, zinc 20.83m/l, manganese 43.13 mg/l and mercury 0.0005. The dissolved metals from the copper pits is 121.24 mg/l, iron 3028.54 mg/l, lead <0.01 mg / l, zinc 19.60 mg/l, manganese 41.2 mg/l and mercury 0.0002 mg/l. The concentration of metals in liquid samples by ICP atomic emission spectrometry, after passing through the rupture tank were: for total metals copper 0.05 mg/l, iron 0.48 mg/l, lead 0.01, zinc 0.07 mg/l, manganese 3.95 mg/l, arsenic 0.003 mg/l, mercury <0.0002 mg/l and aluminum 0.13. for copper <0.01 mg/l, iron <0.01 mg/l, lead 0.01 mg/l, zinc 0.06 mg/l, manganese 3.75 mg/l, arsenic 0.002 mg/l, mercury <0.0002 mg/l and aluminum 0.03 mg/l. With these results we conclude that the results do not exceed the maximum permissible limits established by Peruvian regulations.

Key words: Heavy metals, acid waters, exploitation of pits, dissolved metals.

INTRODUCCIÓN

En esta tesis, se busca determinar la concentración de metales pesados en efluentes producto de la explotación del tajo San Pedro en Minera La Zanja, mediante absorción atómica y espectrometría de emisión atómica ICP, estos resultados serán analizados y comparados con los límites máximos permisibles para efluentes mineros según la legislación minera.

El Capítulo I, contiene el planteamiento del problema, en el cual se evalúa la problemática que abarca la generación de aguas ácidas mediante metales pesados; asimismo se definió la delimitación espacial que describe el lugar donde se va a realizar el estudio, delimitación social que describe a los implicados en el estudio, la delimitación temporal donde especifica fechas de la investigación y la delimitación conceptual que describe los conceptos usados en el estudio. En este capítulo se formularon los problemas y se elaboraron los objetivos general y específicos, los cuales se enlazan directamente con las hipótesis, se identificaron las variables de hipótesis y se las operacionalizó. Dentro de la metodología de la investigación se determinó el tipo, nivel, método y diseño de investigación, junto a la población y muestra. Se identificaron las técnicas e instrumentos para el análisis de resultados. Se finalizó el primer capítulo con la justificación, importancia, limitaciones de la investigación.

El Capítulo II, presenta el marco teórico, dividido en antecedentes de la investigación internacionales, nacionales y locales, además se describió las bases teóricas enfocadas a la variable independiente y la dependiente; asimismo se describió la ubicación, accesibilidad y relieve de la zona de estudio. Asimismo, se definieron los términos básicos para la elaboración de esta tesis.

El Capítulo III, presenta, analiza e interpreta los resultados correspondientes a determinación de metales pesados en la planta de tratamiento de aguas ácidas San Pedro en Minera La Zanja. Se inicia evaluando los procedimientos de determinación de aguas ácidas, luego se analizaron los resultados de la

determinación de metales pesados y disueltos para ser comparados con los límites máximos permisibles. Se contrastó la hipótesis general y específicas.

Al finalizar se discutió los resultados para dar las conclusiones y sugerencias, fuentes de información, y los anexos que comprenden la matriz de consistencia, fotografías e instrumento de investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el mundo, la minería trae consecuencias directas, principalmente en las fuentes de agua, asimismo los tratamientos de descontaminación y remediación aplicados a los efluentes mineros están basados en procesos activos que son de naturaleza química. Actualmente, en el mundo existe un incesante aumento de la actividad minero artesanal, por lo tanto, se debe proceder al tratamiento de aguas ácidas generados durante los procesos mineros (Maguiña, 2013).

Las actividades mineras pueden provocar importantes afecciones sobre el medio ambiente, al poder constituir fuentes potenciales de contaminación. El impacto asociado sobre el medio hídrico es una cuestión prioritaria, sobre todo en zonas de escasez del recurso, donde se trabaja para su protección y conservación. Y, si tomamos en cuenta que estas zonas pueden contener importantes reservas hídricas susceptibles de ser impactadas (Pacheco, 2014).

En la actualidad en Perú, se utilizan diversos métodos para predecir el potencial de generación de aguas ácidas de un relave; muchos de ellos aplican ensayos estáticos y cinéticos para determinar, a pequeña escala, cuál va a ser este potencial (Villar, 2014).

Es por ello, que se hace necesario buscar una alternativa al tratamiento de aguas ácidas de efluentes mineros, lo que se pretende en esta tesis es implementar el uso de los análisis químicos para aumentar el grado de certeza y confiabilidad de los resultados para predecir el potencial ácido y la concentración de metales pesados. Se trabajó con muestras de relave recolectadas en minera La Zanja, con ensayos y resultados reales sobre estas muestras.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se llevó a cabo en minera La Zanja, ubicada en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca.

1.2.2. Delimitación social

En la investigación se contó con los trabajadores de Minera La Zanja, de propiedad de la empresa Buenaventura.

1.2.3. Delimitación temporal

El estudio se llevó a cabo durante el año 2018, entre los meses de enero hasta mayo del 2018, en la cual se realizará el análisis de las aguas ácidas generadas en Minera La Zanja.

1.2.4. Delimitación conceptual

Los conceptos mencionados a continuación, son todos aquellos que tuvimos que tener presente a lo largo de este proyecto de tesis:

- Metales pesados
- Explotación minera
- Drenaje ácido
- Límites máximos permisibles

1.3. Problemas de investigación

1.3.1. Problema principal

¿Cuál es la concentración de metales pesados en el sistema tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San Pedro, en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018?

1.3.2. Problemas secundarios

¿Cuál es la concentración de los metales totales determinados por absorción atómica para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018?

¿Cuál es la concentración de los metales disueltos determinados con espectrometría de emisión atómica ICP para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018?

¿Cuál es el análisis de los resultados de metales totales y disueltos con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes líquidos para el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Determinar la concentración de metales pesados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San

Pedro, en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración de los metales totales por absorción atómica para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

Determinar la concentración de los metales disueltos por espectrometría de emisión atómica ICP para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

Analizar los resultados de metales totales y disueltos con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes líquidos para el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

1.5. Hipótesis y variables de la Investigación

1.5.1. Hipótesis general

La concentración de metales pesados de las aguas ácidas es alta de esta manera el efluente que sale al medio ambiente está contaminado, en la planta San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

1.5.2. Hipótesis secundarias

La concentración de los metales totales determinados por absorción atómica son altos niveles y presenta efectos negativos, por ello es necesario el tratamiento adecuado de aguas ácidas del

tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

La concentración de los metales disueltos determinados por espectrometría de emisión atómica ICP es alta por eso se propondrá el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

Los resultados de metales totales y disueltos no superan los límites máximos permisibles para efluentes líquidos con el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

1.5.3. Variables (Definición conceptual y operacional)

a. Definición conceptual

Variable Independiente

Determinación de metales pesados:

El término metal pesado se refiere a cualquier elemento químico metálico que tiene una densidad relativamente alta y es tóxico o venenoso en concentraciones bajas (Almudena, 2014).

Variable Dependiente

Tratamiento de aguas ácidas:

Para evitar daños ambientales se deben tomar medidas, tanto preventivas (o pasivas) como activas mediante la implantación de métodos de tratamiento de estos efluentes ácidos.

Por lo que se refiere a las tecnologías de tratamiento cabe aclarar que en numerosas ocasiones no es suficiente con un único procedimiento (Cervantes, 2014)

b. Definición operacional

Variable Independiente

Determinación de metales pesados:

Los metales pesados se determinarán para totales y disueltos, por espectrometría, por generación de hidruros, por técnica de vapor frío y por absorción atómica.

Variable Dependiente

Tratamiento de aguas ácidas

El tratamiento de aguas ácidas se realizará mediante tanques rompedores y dos clarificadores.

1.5.4. Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de variables.

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	INSTRUMENTO DE MEDIDA	ITEM
Determinación de Metales Pesados	Concentración de metales totales	Cu	Emisión atómica ICP	Mg/L
		Fe		
		Pb		
		Zn		
		Mn		
		Hg		
	Concentración de metales disueltos	Cu	Absorción atómica	Mg/L
		Fe		
		Pb		
		Zn		
		Mn		
Hg				
Acidez	pH	Ph-metro	1-5=ácido 6-8=neutro 9-14= básico	
Tratamiento de aguas ácidas	Pérdida de presión	Decantación de metales	Tanque rompe presión	m ³ /día
	Clarificación	Precipitación química	Tanques clarificadores	m ³ /día

1.6. Metodología de la investigación

1.6.1. Tipo y nivel de investigación

a) Tipo de investigación

El tipo de estudio de esta investigación es mixta ya que usaron datos y resultados de cantidades de concentración de metales y de calidades de aguas. La meta de la investigación mixta no es reemplazar a la investigación cuantitativa ni a la investigación cualitativa, sino utilizar las fortalezas de ambos tipos de indagación, combinándolas y tratando de minimizar sus debilidades potenciales. (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 532)

b) Nivel de la investigación

Se utilizó la investigación secuencial ya que en una primera etapa se recolectan y analizan datos cuantitativos de concentración de metales pesados, y en una segunda fase se recaban y analizan las comparaciones con los límites máximos permisibles. (Hernández *et al.*, 2014, p. 547)

1.6.2. Método y diseño de la investigación

a) Método de investigación

Se utilizó el método Derivativo. En esta modalidad la recolección y el análisis de los datos cuantitativos se hacen sobre la base de los resultados cualitativos. La mezcla mixta ocurre cuando se conecta el análisis cualitativo de los datos y la recolección de datos cuantitativos. La interpretación final es producto de la comparación e integración de resultados cualitativos y cuantitativos. (Hernández *et al.*, 2014, p. 587)

b) Diseño de la investigación

El diseño de la investigación fue explicativo secuencial, ya que se caracteriza por una primera etapa en la cual se recaban y analizan datos cuantitativos, seguida de otra donde se recogen y evalúan datos cualitativos. (Hernández *et al.*, 2014, p. 554)

1.6.3. Población y muestra de la investigación

a) Población

La población de nuestro estudio es de 50 litros de los efluentes mineros de la planta de tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro, de minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, Cajamarca, 2018.

b) Muestra

El tamaño de la muestra para la investigación fue de 10 litros para desarrollar el proceso experimental en laboratorio.

1.6.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a) Técnicas

Las técnicas de recolección de datos fueron:

- **Observación:** Esta técnica se usó para identificar los puntos de muestreo que permitan su ubicación exacta en los muestreos futuros, de preferencia en la determinación de la ubicación, se utilizó el sistema de posicionamiento satelital (GPS), el mismo que registra en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.
- **Análisis documental:** Se recopiló información concerniente al tema, los datos de campo se compararon

con los límites máximos permisibles para finalmente representar el documento de tesis.

b) Instrumentos

El instrumento que se utilizó para la técnica de análisis de laboratorio fue la ficha de registros de análisis de laboratorio químico.

1.6.5. Justificación, importancia y limitaciones de la investigación

a) Justificación

El presente proyecto de investigación queda plenamente justificado en cuanto la acción minera, por lo general, causa diversos tipos de contaminación y dentro de ellas la del agua por sus diversos usos y usuarios es muy común.

La presencia de metales pesados en los efluentes aledaños al tajo San Pedro de minera La Zanja, pone en riesgo la biodiversidad y la vida de personas que resultan intoxicadas por la ingesta de alimentos envenenados. Está probado que los metales pesados pueden generar retrasos en el desarrollo neurológico de los adultos y especialmente en los niños.

Considerando que La Zanja es una mina metálica, se asegura la presencia de drenaje ácido en el tajo San Pedro, por lo que se hace necesario una determinación del contenido de metales pesados.

Este proyecto de investigación servirá como referencia teórica para aquellas personas interesadas en buscar información sobre presencia de metales pesados en minería.

b) Importancia

Los metales pesados traen consigo graves problemas ambientales en el agua, suelo y en el ser vivo, pues al contrario de ser absorbido se acumula por tiempo indeterminado, consecuentemente provoca enfermedades en los seres vivos y muerte en la flora y fauna que los contiene. Por los problemas anteriormente mencionados es importante la determinación del contenido de metales pesados en agua del tajo San Pedro, en minera La Zanja.

c) Limitaciones

Las condiciones climáticas en Minera La Zanja pueden retardar la toma de muestras y en la realización de ensayos a realizar in situ.

Los costos de los análisis de laboratorio para determinar la concentración de metales pesados son elevados, por ello se solicitó a la empresa el reporte de análisis realizado por la empresa Buenaventura.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. En el ámbito internacional

√ **Herrero, (2014)**. Presentó su Tesis doctoral, titulada *Impacto de los Drenajes Ácidos en los Ecosistemas Acuáticos Producidos por la Minería del Carbón en el Bierzo: Bioacumulación de Metales Pesados y Evolución de las Comunidades Biológicas*, a la Universidad de León, España. Su objetivo fue intentar discernir los diferentes grados de afección que tienen lugar en cuatro cauces fluviales con distinta presión de contaminación y las relaciones existentes entre los componentes abióticos y bióticos que conforman un ecosistema acuático. Los factores físico-químicos fueron divididos en dos grupos; un primer grupo que considera aquellos factores medibles en campo y un segundo grupo que engloba aquellos que requieren un procesamiento químico posterior o instrumental propio de laboratorio. Se concluyó que el área de estudio en El Bierzo presenta un ecosistema alterado por contaminación metálica, donde se aprecia una zonificación entre áreas fuertemente contaminadas (arroyo La Silva y tramos inferiores del río Tremor), con altos niveles de metales pesados y una vida macrobentónica y piscícola casi o totalmente inexistente. El

Sistema de Tratamiento Pasivo construido en una de las bocaminas que vertían en el arroyo Rodrigatos ha resultado satisfactorio en la retención de varios metales (en especial Al - 83%- y Fe - 92%-). Sin embargo, es recomendable realizar un seguimiento del estado de las balsas debido a que este tipo de tratamientos tiene un tiempo de vida limitado.

√ **Pesántez, (2014).** Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, titulada *Estudio del Proceso de Depuración de Aguas Residuales Industriales Provenientes de Empresas Mineras* a la Universidad de Cuenca, Ecuador. Su objetivo fue estudiar el proceso de depuración de aguas residuales con medianas concentraciones de cianuros provenientes de empresas mineras. El muestreo que se realizó es un muestreo simple puntual; se tomaron dos muestras cada 5 días en un total de 6 campañas de monitoreo. Los sistemas naturales de tratamiento son efectivos en la remoción de sólidos. Para el sistema estudiado se obtienen porcentajes de remoción de sólidos disueltos de 18.21%, sólidos suspendidos 62.48% y sólidos totales 32.89%. Los porcentajes de remoción son buenos haciendo este sistema ideal como tratamiento secundario de este tipo de efluentes industriales, existiendo la necesidad de llevar a cabo tratamientos químicos preliminares. Los valores de reducción de metales han sido los más bajos en nuestro sistema de tratamiento lográndose porcentajes de reducción media de: cobre de 32.79% y arsénico de 11.17%. Estos metales son reducidos ya que las raíces de las plantas forman microambientes estimulando la producción bacteriana para oxidar y reducir metales transformándolos en biomasa para su desarrollo.

√ **Díaz, (2013).** Presentó su Tesis de maestría en desarrollo sostenible y medio ambiente, titulada *Tratamiento Biológico*

como *Alternativa para Disminuir el Impacto Ambiental Ocasionado por el Drenaje Ácido, Generado por la Actividad Minera en el Municipio de Marmato - Caldas*, a la Universidad de Manizales, Colombia. Su objetivo fue implementar alternativas de tratamiento que disminuyan el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido producto de la actividad minera. Esta investigación fue de tipo cuantitativo e incluye una fase descriptiva. Las variables que se estudiaron son las propiedades del agua las cuales son medibles, evaluables, observables y cambiantes. Los resultados de los análisis en la prueba piloto se pueden observar que la concentración de sulfatos que se encontraba en 506.58 mg/L se redujo después de tres días a una concentración de 401.55 mg/L. Se observa además la reducción en la concentración de metales (cobre: paso de 0.123 a un valor menor a 0.033 mg/L. Los resultados de los análisis de las aguas de la mina cascabel en la zona de Marmato demuestran que existe presencia de metales como aluminio, arsénico, cadmio, manganeso, mercurio y zinc, que sobrepasan los límites permitidos por las normas establecidas por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, los cuales están siendo liberados a las aguas de la quebrada cascabel. De acuerdo a los niveles encontrados de pH, metales y sulfatos que en ciertas cantidades actúan como contaminantes, se puede concluir que el agua de la mina Cascabel está generando contaminantes al ambiente, al suelo y a las aguas.

2.1.2. En el ámbito nacional

√ **Toribio, (2017)**. Presentó su Tesis para obtener el título de Ingeniero Ambiental, titulada: *Remoción de plomo y zinc de los efluentes mineros provenientes de la Unidad Mallay aplicando micro-nanoburbujas de aire, 2017*, a la Universidad César Vallejo, Lima - Perú. Su objetivo fue remover el plomo y zinc de

los efluentes mineros de la Unidad Mallay aplicando micro-nanoburbujas de aire. El tamaño de la muestra para la investigación fue de 54 litros para desarrollar el proceso experimental en laboratorio. Se concluyó que la remoción de plomo y zinc de los efluentes mineros de la Unidad Mallay aplicando micronanoburbujas de aire si es posible, ya que como se pudo observar la concentración inicial de plomo fue de 51,3 mg/L y después del tratamiento llegó a reducir a un promedio de 1,29 mg/L y en el caso del zinc, que tuvo una concentración inicial de 17,601 mg/L, se logró reducir hasta un promedio de 0,26 mg/L. En cuanto a las propiedades fisicoquímicas del efluente minero de la unidad Mallay, se puso observar que la temperatura varió de 21°C a un promedio de 22 °C, el pH de 11,99 a un promedio de 11,82; la turbidez de 170 NTU a un promedio de 42 NTU, el oxígeno disuelto de <0.1 a 8,53 mg/L; los sólidos totales suspendidos de 251 mg/l a un promedio de 28,11. El tiempo más óptimo para poder remover plomo y zinc del efluente minero de la Unidad Mallay, fue de 15 minutos ya que en este tiempo se obtuvieron los niveles más bajos de concentración de ambos metales.

- √ **Heredia, (2015)**. Presentó su Tesis para obtener el título de maestro en ciencias con mención en minería y medio ambiente, titulada *Remoción de Cadmio de Aguas Ácidas de Mina Utilizando un Reactivo Secuestrante*, a la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Su objetivo fue elegir una metodología que sea efectiva para la remoción de cadmio total (II) del agua ácida de mina debido a que el efluente obtenido de la planta de tratamiento de agua actual no reúne las condiciones necesarias para su descarga hacia las comunidades. En el proceso de investigación se utilizó el método deductivo e inductivo, análisis y síntesis; aplicados a través de la observación, medición y experimentación. Se logró la remoción

del Cadmio (II) del agua ácida de mina que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua, con la dosificación del Reactivo Secuestrante TMT. Obteniendo valores de descarga menores a 0.05 mg/L cumpliendo con lo establecido por el D.S. 010-2010-MINAM. En la prueba PL1-B se obtuvo valores de concentración después del tratamiento de 1.11 mg/L de Cadmio Disuelto y de 1.65 mg/L de Cadmio Total. En la prueba PL1-C se obtuvo valores de concentración después del tratamiento de 1.18 mg/L de Cadmio Disuelto y de 1.71 mg/L de Cadmio Total según la Tabla 14 - Resultados de la Prueba N° 1 a Nivel Laboratorio: Dosificación del Reactivo Secuestrante TMT Después de la Neutralización. Por lo tanto, el Reactivo Secuestrante TMT no remueve el Cadmio Total en los niveles esperados dosificándolo a un pH alcalino de 9.50, no llegando al límite máximo permisible de 0.05 mg/L de Cadmio Total.

- √ **Cueva, (2014)**. Presentó su Tesis para obtener el título de licenciado en química, titulada *Diseño de Experimentos en la Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales de la Industria Minera por Procesos de Coagulación con Sulfato Ferroso*, a la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú. Su objetivo fue determinar las mejores condiciones de tratamiento para el experimento que se diseñó en la remoción de los iones metálicos Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} y Fe^{+3} del agua residual de mina. A partir de los ensayos de laboratorio, se han buscado las condiciones de tratamiento óptimas de cada uno de los procesos estudiados. Con los datos experimentales obtenidos, se estableció la influencia de las variables operativas: dosis de coagulante, velocidad de agitación y tiempo de agitación sobre los niveles de reducción de metales totales, además de ver la influencia de estas variables sobre el parámetro de sedimentabilidad (tiempo crítico de sedimentación). Aplicándose la parte estadística mediante el programa Minitab para hallar la

correlación entre las variables de operación y las respuestas del proceso. El resultado del presente trabajo ofrece las condiciones óptimas de operación del proceso integrado.

2.1.3. En el ámbito local

- √ **Flores, (2016)**. Presentó su Tesis para obtener el título de magister en ciencias, titulada *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera*, a la Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. Los objetivos fueron: cuantificar la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y; determinar si su concentración supera los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. La importancia de la investigación reside en que el río Grande es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano de la ciudad de Cajamarca. Se concluyó que no se pudo concluir que la presencia de metales pesados en las aguas del río Grande y sus tributarios esté directamente relacionados con la actividad minera. El plomo fue el único metal que en cinco puntos de monitoreo sobrepasó los estándares nacionales de calidad ambiental para agua clase A3 en la estación húmeda. Siendo el punto RGR el que manifestó la mayor concentración de este metal (0,246 mg L⁻¹), habiendo excedido en 392% al estándar nacional. El manganeso, en el punto de monitoreo RG2 excedió en 18% al estándar nacional de calidad ambiental en la estación climática húmeda, y en el punto QE3 excedió en 6.6% a dicho estándar en la estación seca.

- √ **Izquierdo y Verástegui, (2016)**. Presentaron su Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, titulada *Concentración de Metales Pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el Agua de la Cuenca Baja del Río Jequetepeque, en Relación a los Estándares de Calidad del Agua - Categoría 3, Cajamarca -*

2016, a la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca - Perú. El objetivo fue determinar la concentración de metales pesados As, Cd, Cr, Hg y Pb en el agua de la cuenca baja del Río Jequetepeque. El tipo de investigación realizado fue el descriptivo: con la finalidad de cuantificar la frecuencia del problema, con qué magnitud se presenta la situación problemática que queremos estudiar, en este caso el nivel de concentración de metales pesados en el agua. En cuanto a los resultados y en relación con los estándares establecidos en el D.S. N°015-2015-MINAM para agua categoría 3, se concluye que: Los valores obtenidos de la concentración de metales pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) de la cuenca baja del río Jequetepeque, se encuentran por debajo de los estándares de calidad del agua establecidos en el D.S. N°015-2015- MINAM para agua categoría 3. Los resultados obtenidos en cada uno de los metales pesados en los diferentes puntos de muestreo son: Para As se encontró en el P5: 0,003 mg/L durante el mes de mayo, y en los puntos P1: 0,004 mg/L, P3: 0,005 mg/L y P4: 0,006 mg/L durante el mes de noviembre. Para Cd el P2, P3, P4, P5 y P6 hubo una misma concentración de 0,001mg/L en el mes de mayo. Para Pb en los puntos de muestreo P3: 0,004mg/L y P6: 0,007mg/L durante el mes de mayo, mientras que durante el mes de noviembre en los puntos P3: 0,003mg/L y P6: 0,004mg/L.

- √ **Herrera y Heredia, (2017).** Presentaron su Tesis para obtener el título de ingeniero ambiental, titulada *Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca en los meses de Setiembre y Diciembre, 2016*, a la Universidad de Lambayeque, Chiclayo - Perú. El objetivo fue la determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca durante los meses de Setiembre y Diciembre del año 2016 para luego

compararlo con los ECAs para agua, se realizó un monitoreo en época de estiaje (Setiembre) y uno en época creciente (Diciembre) en dos puntos de muestreo (Río Porcón y Río Grande) utilizando el Método EPA 200.7 Revisión 4.4 con la técnica de Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. Se concluyó que en el Río Porcón, en Época de Estiaje el parámetro Aluminio (Al) tuvo una concentración de 0.615 mg/L, y en Época Creciente una concentración de 0.086 mg/L. El parámetro Cadmio (Cd) en Época de Estiaje y en Época Creciente tuvieron un resultado menor a la concentración del analito del laboratorio (<LCM). El parámetro Hierro (Fe) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 1.021 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 1.680 mg/L. El parámetro Plomo (Pb) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.004 mg/L; y en Época Creciente un valor menor a la concentración del analito del laboratorio (<LCM). El parámetro Zinc (Zn) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.06 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 0.027 mg/L. Por lo tanto, el único metal que se encontró por encima de los ECAs en ambas épocas de monitoreo, fue el Fe.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aspectos generales

a) Ubicación

Minera La Zanja se encuentra ubicada en el distrito de Pulán, provincia de Santa Cruz de Succhabamba en la región suroeste del departamento de Cajamarca. Se ubica alrededor de las siguientes coordenadas UTM:

- Norte: 9'245,500
- Este: 732,250

El área de las operaciones de Minera La Zanja comprende las zonas altas del distrito de Pulan, a una elevación que varía entre los 2800 y 3620 m.s.n.m y en los límites con los distritos de Catache de la misma provincia de Santa Cruz y el distrito de Catilluc de la provincia de San Miguel.

b) Accesibilidad

Minera La Zanja es accesible por dos rutas, a través de:

- Lima –Cajamarca – El empalme – Minera La Zanja 952 Km.
- Lima – Cajamarca – Chilete – San Miguel – Minera La Zanja 939 Km.

c) Relieve

El área de la mina se ubica en los Andes Centrales, los que se caracterizan por la presencia de numerosas quebradas cuyas laderas presentan gradientes pronunciadas y las altas planicies, situados a más de 3500m de altitud y que han recibido el nombre de la Región de la Puna o Altiplano. (INGEMMET, 1987).



Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.
Fuente: Google Earth, 2016.

2.2.2. Metales pesados

a. Definición

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo (Pacheco, 2014).

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son (Lozano, 2013):

Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn).

Los metales pesados poseen una gran capacidad para unirse con muy diversos tipos de moléculas orgánicas. Los procesos de bioacumulación son debidos básicamente a la imposibilidad, por parte del organismo afectado, de mantener los niveles necesarios de excreción del contaminante, por lo que sufre una retención en el interior del mismo (Vega, 2013).

b. Factores que determinan la movilidad de los metales pesados en los efluentes

- pH

A menor pH (suelos ácidos) mayor solubilidad de los metales, y por tanto mayor movilidad de éstos, con lo que se incrementa la toxicidad para las plantas (Villar, 2014).

- Contenido de materia orgánica

Los suelos que presentan contenidos de materia orgánica superiores al 5%, exhiben un nivel relativamente bajo de captura de metales por las plantas, debido a la alta capacidad de complejación de las moléculas orgánicas, especialmente al aumentar el tamaño de éstas. No obstante, a medida que la materia orgánica se degrada, las formas moleculares resultan ser más sencillas, con lo que el proceso de retención de metales disminuye, favoreciendo la lixiviación de los mismos y permitiendo su movilización. Se ha verificado la tendencia a formar complejos con la materia orgánica en Cu y Ni, Cd (la retención de este metal aumenta con el contenido de materia orgánica del suelo), o Cr (VI), Hg y Pb (la retención de este metal por el suelo depende fuertemente del contenido orgánico) (Gunnar, 2015).

- Carbón orgánico

La presencia en las aguas subterráneas de carbón orgánico disuelto procedente del lixiviado de aguas residuales, favorece la formación de complejos con Cd, Ni y Zn, entre otros metales, facilitando la movilidad de los mismos (Gunnar, 2015).

- Potencial redox

Las condiciones reductoras favorecen la solubilización de los metales presentes en los suelos (Gunnar, 2015).

- La granulometría del suelo

Este factor condiciona la captura de metal por las plantas, de modo que una textura arcillosa contribuye a una menor

acumulación de metales en las plantas cultivadas en suelos contaminados (Villar, 2014).

- El tratamiento del suelo con óxidos e hidróxidos

Especialmente de hierro y manganeso (también se ha ensayado con los de aluminio) previene la movilización de los metales pesados gracias a la alta capacidad de adsorción ejercida sobre la mayoría de los metales (especialmente sobre Cd y Pb) así como por el carácter básico que los mismos confieren a los suelos aplicados, favoreciendo, por tanto, la coprecipitación del metal (Villar, 2014).

- La presencia de apatito e hidroxiapatito [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$]

En los suelos tratados con los lodos mejora la inmovilización de los metales gracias a la siguiente combinación de factores: al elevado contenido de calcio que permite el intercambio iónico de éste con los metales presentes, a la formación de fosfatos metálicos extremadamente insolubles, mostrándose altamente efectivo para Pb, y en menor medida, para Cd y Zn, y al incremento de la alcalinidad en el caso del hidroxiapatito (Villar, 2014).

c. Tratamiento de las aguas con metales pesados

Ahora bien, enfocándonos en el tratamiento que necesitan las aguas residuales con diversos niveles de cromo, podemos decir que se utilizan procesos de remoción basados en obtener una molécula de escasa solubilidad, que en el caso de cromo sería la molécula de hidróxido de cromo trivalente, cuya solubilidad es lo suficientemente baja como para descargar o reutilizar las aguas en caso de que no existan otros tipos de contaminantes, en cuyo caso se debería seguir un proceso de tratamiento de aguas de la modalidad de lodos activos (Vega, 2013).

Volviendo a las aguas residuales con cromo se sabe que en forma general no es lo común que se conozca la composición precisa de las mismas, tan sólo se conocen las concentraciones de cromo total, en todo caso se suele saber si se encuentran en exceso de las concentraciones deseables y, por ende, si es necesario o no un proceso de descontaminación (Montalván, 2014).

En el caso del cromo, se observa que en su estado hexavalente no forma hidróxidos insolubles, pero el cromo trivalente si lo forma, siendo este último considerado inocuo por las reglas ambientales del hemisferio norte (Luna, 2016).

Es así que para la remoción del cromo hexavalente debe recurrir a una primera etapa de reducción, seguida de una segunda etapa de formación de hidróxido de cromo trivalente y finalmente una sedimentación o filtración y dependiendo de las condiciones, ambas (Vega, 2013).

d. Límites máximos permisibles para efluentes líquidos

Durante la realización de sus actividades, las empresas mineras cuentan con estándares ambientales que deben cumplir para garantizar una adecuada protección del ambiente y la salud de las personas. Estos estándares ambientales son los límites máximos permisibles (LMP) y los estándares nacionales de calidad ambiental (López, 2013).

La sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que proviene de (Lozano, 2013):

- Cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno, cuyo propósito es el desarrollo de

actividades mineras o actividades conexas, incluyendo exploración, explotación, beneficio, transporte o cierre de minas, así como campamentos, sistemas de abastecimiento de aguas o energía, talleres, almacenes , vías de acceso de uso industrial (excepto de uso público) y otros.

- Cualquier planta de procesamiento de minerales, incluyendo procesos de trituración, molienda, flotación, separación gravimétrica, separación magnética, amalgamación, reducción, tostación, sinterización, fundición, refinación, lixiviación, extracción por solventes, electrodeposición y otros.
- Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales asociadas con actividades mineras o conexas, incluyendo plantas de tratamiento de efluentes mineros, efluentes industriales y efluentes domésticos; cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;
- Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras; y
- Cualquier combinación de los antes mencionados.

Los Límites Máximos Permisibles aseguran que los efluentes líquidos que emitan las empresas no excedan ciertos niveles de concentración que se consideran dañinos a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente. Por esta razón, en agosto del 2010 se promulgó el D.S N° 010-2010-MINAM el cual aprueba los límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero – metalúrgica (Luna, 2016).

Tabla 2
Límites Máximos Permisibles Efluentes de Actividades Minero - Metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Cualquier Momento	Promedio Anual
Ph	u.e.	6 - 9	6 - 9
Sólidos Totales Suspendidos	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: Luna, (2016).

e. Drenaje ácido de mina

El Drenaje Ácido de Mina se origina en los botaderos de desechos mineros expuestos a la atmósfera como resultado de la excavación, es un importante aspecto ambiental que enfrentan las industrias mineras de todo el mundo. Para explicar lo anterior, es necesario indicar que el fenómeno de drenaje ácido proveniente de minerales sulfurosos es un proceso que ocurre en forma natural (Villar, 2014)

Es así como, el drenaje ácido de mina se refiere al drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfuradas cuando son expuestas al aire y al agua. Es un proceso dependiente del tiempo y que involucra procesos de oxidación tanto química como biológica y fenómenos físico-químicos asociados, incluyendo la precipitación y el encapsulamiento (López, 2013).

Lo anterior, es debido a que las proporciones de minerales sulfurados en las rocas que contienen depósitos minerales, son

considerablemente más elevadas que las que se encuentran en las rocas comunes de la corteza terrestre. es importante reconocer que la acidez y el pH. Más bien, la preocupación fundamental la constituyen los elevados niveles de metales disueltos, debido a su potencial impacto adverso sobre la flora y fauna del ambiente acuático receptor y, en menor grado, riesgo a la salud humana. Los peces y otros organismos acuáticos, son más sensibles que los seres humanos a los niveles elevados de la mayoría de metales (Villar, 2014).

La calidad del agua de drenaje proveniente de faenas mineras depende tanto de la presencia en la roca, de metales/minerales que se pueden lixiviar, como del incremento en el grado de lixiviación que resulta de la generación de ácido y que puede ocurrir cuando hay presencia de sulfuros reactivos en cantidades suficientes. Por lo tanto, la generación de ácido es controlada por (Montalván, 2014):

- El tipo de mineral sulfuroso
- La distribución y exposición del mineral sulfuroso
- El tipo, distribución y exposición de minerales alcalinos
- Las características de oxidación química y biológica
- La temperatura y pH
- El flujo de oxígeno y agua
- Las concentraciones químicas

Los minerales sulfurosos están en todas partes en el ambiente geológico, pero se encuentran principalmente en rocas que yacen debajo de una capa de suelo y, a menudo, debajo de la napa freática. Bajo condiciones naturales, el suelo que cubre la roca y el agua subterránea minimiza el contacto con el oxígeno, permitiendo así que la generación de ácido prosiga a una velocidad tan baja que el efecto sobre la calidad general del agua

será insignificante o indetectable. La exposición de roca sulfurosa reactiva al aire y al agua, como resultado de actividades tales como la construcción de carreteras o explotación minera, puede acelerar la velocidad de generación de ácido y ocasionar un impacto en el ambiente (Vega, 2013).

f. Medición de metales pesados

- Absorción atómica

Es un método instrumental de la química analítica que permite medir las concentraciones específicas de un material en una mezcla y determinar una gran variedad de elementos. Esta técnica se utiliza para determinar la concentración de un elemento particular (el analito) en una muestra y puede determinar más de 70 elementos diferentes en solución o directamente en muestras sólidas utilizadas en farmacología, biofísica o investigación toxicológica (Seijas, 2013).

Es un método de química analítica cuantificable que está basado en la atomización del analito en matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador prequemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con una longitud de trayecto más larga, en caso de que la transmisión de energía inicial al analito sea por el método "de llama". La niebla atómica queda desolvatada y expuesta a una energía a una determinada longitud de onda emitida ya sea por la llama susodicha, o por una lámpara de cátodo hueco (Hollow Cathode Lamp o HCL) construida con el mismo analito a determinar o una Lámpara de Descarga sin Electrodo (Electrodeless Discharge Lamp o EDL). Normalmente las curvas de calibración no cumplen la ley de Beer-Lambert en su estricto rigor (González, 2014).

La temperatura de la llama es lo bastante alta como para que no mueran los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se usan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito se consigue con el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito (Zevallos, 2016).

En AA la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito existente en la muestra. Hoy día se utiliza frecuentemente una mufla de grafito (u horno de grafito) para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla, aumentando la sensibilidad (Gonzáles, 2014).

El método del horno de grafito también puede analizar algunas muestras sólidas o semisólidas. Debido a su buena sensibilidad y selectividad, sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos) (Maguiña, 2013).



Figura 2: Equipo de Absorción Atómica (AA).
Fuente: Maguiña, 2013, pp. 19.

- Espectroscopia de emisión atómica (ICP)

Es un método de análisis químico que utiliza la intensidad de la luz emitida desde una llama, plasma, arco o chispa en una longitud de onda particular para determinar la cantidad de un elemento en una muestra. La longitud de onda de la línea espectral atómica da la identidad del elemento, mientras que la intensidad de la luz emitida es proporcional a la cantidad de átomos del elemento (Seijas, 2013).

Una muestra de un material (analito) se pone en la llama, ya sea como gas, solución pulverizada o directamente insertado en la llama por el uso de un pequeño bucle de alambre, normalmente de platino. El calor de la llama evapora el disolvente y se rompen los enlaces químicos para crear átomos libres. La energía térmica también excita los electrones a estados electrónicos de mayor energía que posteriormente emiten luz cuando vuelven al estado fundamental. Cada elemento emite luz a una longitud de onda característica, que se dispersa por una rejilla o un prisma y se detecta en el espectrómetro (González, 2014).

2.2.3. Tratamiento de aguas ácidas

Los efluentes mineros líquidos, generados en actividades mineras (carbón y sulfuros metálicos), especialmente el drenaje ácido de minas (DAM), causan grandes problemas ambientales debido a su alto potencial de contaminación de los recursos hídricos superficiales o subterráneos. El DAM es caracterizado por sus bajos valores de pH y elevadas concentraciones de iones inorgánicos tóxicos (Inga, 2014).

a. Aguas ácidas

Son aguas que se producen como resultado de la oxidación química y biológica de sulfuros metálicos, especialmente pirita o pirrotita, que se pueden encontrar presentes o formando parte de botaderos, relaves, basuras municipales, etc. La oxidación se produce cuando las rocas conteniendo sulfuros son expuestas al aire y al agua (Nina, 2013).

Se pueden considerar tres tipos de acidez: la acidez protónica asociada con el pH (medida de los iones H⁺ libres), la acidez orgánica asociada con los compuestos orgánicos disueltos, y la acidez mineral asociada con metales disueltos (Romero, 2014).

Se generan en la explotación de los yacimientos de carbón, sulfuros metálicos o de uranio, quedando expuesto a la meteorización grandes volúmenes de materiales sulfurosos y representan la principal causa de contaminación de aguas derivadas de la minería. Para su formación es imprescindible la acción bacteriana en condiciones de aerobiosis, e influyen ciertos factores como el pH, cantidad de oxígeno y CO₂, temperatura, humedad y características cinéticas capacidad de neutralización del entorno, etc (Almudena, 2014).

b. Características de las aguas ácidas

Presentan las siguientes características (Seijas, 2013):

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1,5
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente
- Concentraciones elevadas de sulfato
- Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales)
- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales.

c. Fuentes principales de generación de aguas ácidas

- Botaderos de material estéril (<0,2% Cu)
- Botaderos de sulfuros de baja ley (0,2- 0,4% Cu)
- Relaves y eventuales derrames de concentrados.
- Zonas fracturadas (cráter) en superficies de minas subterráneas.
- Grandes tajos de la minería a cielo abierto (Romero, 2014).

d. Generación de aguas ácidas

Estas piritas, y los sulfuros asociados a ellas, se oxidan espontáneamente cuando concurren las siguientes circunstancias (Almudena, 2014):

- Existencia de cantidades suficientes de agua y oxígeno
- Presencia de bacterias catalizadoras del proceso, de las cuales *Thiobacillus ferrooxidans* es la fundamental.

Tabla 3

Clasificación de los drenajes de mina.

Sub - Categorías	Descripción	Rango de Acidez o Alcalinidad
1	Muy ácido	Acidez Neta > 300mg/L como CaCO ₃ equivalente
2	Moderadamente ácido	100 ≤ Acidez Neta ≤ 300 mg/L como CaCO ₃
3	Débilmente ácido	0 ≤ Acidez Neta < 100 mg/L como CaCO ₃
4	Débilmente alcalino	Alcalinidad Neta < 80 mg/L como CaCO ₃
5	Fuertemente alcalino	Alcalinidad Neta ≤ 80 mg/L como CaCO ₃

Fuente: Almudena. (2014).

e. Etapas en el desarrollo del agua ácidas de minas

El drenaje ácido de minas se observa como un proceso en tres etapas, definidas por el pH del agua en el microambiente de los minerales sulfurados.

Caracterización del drenaje ácido y de las rocas asociadas a una mina para evaluar su posible aplicación en un sistema de tratamiento pasivo (Tejada, 2017).

- Etapa I

Se genera acidez y rápidamente se neutraliza en las etapas iniciales cuando la roca que contiene minerales sulfurados es expuesta al oxígeno y al agua. El drenaje de agua es casi neutro (Tejada, 2017):

- Es fundamentalmente un período de oxidación química. El oxígeno es el oxidante principal, al producir sulfato y acidez a partir de la oxidación de los minerales sulfurados.
- Los minerales carbonatados, como la calcita (CaCO_3) presente en la roca, neutralizan esta acidez y mantienen condiciones que van de neutras a alcalinas ($\text{pH} > 7$) en el agua que fluye desde la roca.
- La oxidación química del hierro ferroso es rápida a un pH igual o superior a 7 y el hierro férrico se precipita de la solución como un hidróxido.
- La velocidad de oxidación química de la pirita es relativamente baja, ya que el hierro férrico no contribuye como oxidante.
- En esta etapa, el agua de drenaje se caracteriza generalmente por niveles elevados de sulfato, con pH cercano al neutro.

- Etapa II

A medida que continúa la generación de ácido y se agotan o se vuelven inaccesibles los minerales carbonatados, el pH del

agua disminuye y el proceso se encamina hacia su segunda etapa. Cuando el pH del microambiente disminuye por debajo de 4,5 ocurren reacciones de oxidación tanto química como biológica (Tejada, 2017).

- Los niveles de pH relativamente constantes representan la disolución de un mineral neutralizante que se vuelve soluble a ese nivel de pH.
 - Si la oxidación continúa hasta que se haya agotado todo el potencial de neutralización, se presentarán valores de pH alrededor de 2,5.
 - A estos pH el Fe(III) no precipitará como hidróxido y por lo tanto se mantendrá en solución, actuando en las reacciones de oxidación indirecta.
- Etapa III

Las reacciones dominantes se transforman de oxidación química a principalmente oxidación biológicamente catalizada. De las reacciones de oxidación sulfurosa, se produce hierro ferroso, que se oxida biológicamente y se convierte en hierro férrico. Este, a su vez, reemplaza el oxígeno como el oxidante principal (Tejada, 2017).

- El descenso del pH incrementa la velocidad de oxidación con un aumento de velocidades de 10 a un millón de veces más que aquéllas generadas por oxidación química.
- En esta etapa, el agua de drenaje es generalmente ácida, caracterizada por sulfatos y metales disueltos en concentraciones elevadas. El hierro disuelto se presenta como hierro ferroso y férrico.

f. Prevención de la formación de aguas ácidas.

La prevención de la formación de aguas ácidas es muy importante para poder evitar la contaminación de nuestras fuentes de aguas y así preservar el medio ambiente garantizando un desarrollo sostenible de nuestra sociedad.

Para lo cual tenemos los siguientes métodos (Inga, 2014):

- Métodos de Barrera

Intentan aislar los sulfuros de los elementos meteorizantes o del sistema de transporte hidrogeológico. Se distinguen tres técnicas.

- Revegetación de los terrenos

Ayuda a mejorar la calidad de las aguas, ya que la cubrición de los estériles de mina consuelos y vegetación incrementa la evapotranspiración y restringe la migración de agua hacia la zona de sulfuros (Seijas, 2013).

- Aislamiento del agua

Se trata de aislar los sulfuros del agua como medio de reacción y como fluido de transporte de los productos de la misma. Se suele colocar por encima de la cota del nivel freático o formar barreras de arcilla, una capa de material permeable y alcalino sobre los estériles sulfurados para ser cubiertos luego por otra capa de materiales impermeables (Nina, 2013).

- Aislamiento del oxígeno

Mediante la inundación de las labores mineras se puede aislar el aire, evitando su contacto con los materiales contaminantes.0 Aprovechando que la velocidad de

difusión del oxígeno es muy lenta. Estos métodos son costosos, pero constituyen una solución permanente (Romero, 2014).

- **Métodos Químicos**

Modifican la composición de las soluciones en los materiales rocosos. y limitan las posibilidades de reacción. Existen varias técnicas:

- Adición Alcalina

Consiste en la adición de ciertos compuestos tales como hidróxido sódico, caliza, cal o carbonato sódico que, además de neutralizar las aguas ácidas, perjudican la oxidación de los sulfuros. Se trata del método más comúnmente utilizado para tratar estériles piríticos de carbón (Inga, 2014).

- Adición de Fosfatos

La adición de fosfatos dificulta la oxidación de los sulfuros debido a la formación de fosfatos de hierro insolubles, disminuyendo la concentración de hierro férrico disponible para la reacción con los sulfuros (Almudena, 2014).

- **Métodos de Inhibición Bacteriana**

Rompen el proceso de oxidación cíclico catalizado biológicamente. La presencia de bacterias oxidantes del hierro.

Controla la generación de aguas ácidas, por lo que es interesante eliminar estos microorganismos para reducir sensiblemente la acidificación dado que la oxidación inorgánica de la pirita es muy lenta. Por este método las

bactericidas alteran la pared celular de la bacteria, lo cual altera el valor pH. Tal efecto reduce la actividad de las enzimas que catalizan la oxidación de la pirita. Este método resulta efectivo a corto plazo (Tejada, 2017).

2.3. Definición de términos básicos

- Aguas ácidas:

Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0 (Vega, 2013).

- Alcalinidad:

Se puede definir como una medida de su capacidad para neutralizar ácidos. En las aguas naturales, esta propiedad se debe principalmente a la presencia de ciertas sales de ácidos débiles, aunque también puede contribuir la presencia de bases débiles y fuertes (Luna, 2016).

- Disolución:

Es una mezcla homogénea a nivel molecular o iónico de dos o más sustancias puras que no reaccionan entre sí, cuyos componentes se encuentran en proporciones variables. También se puede definir como una mezcla homogénea formada por un disolvente y por uno o varios solutos (López, 2013).

- Efluente:

Curso de agua, también llamado distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial (Vega, 2013).

- Límite máximo permisible:

Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente y los organismos que

conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción son establecidos por dicho Ministerio (Luna, 2016).

- Metales pesados:

Son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano. Los metales pesados tóxicos más conocidos son el mercurio, el plomo, el cadmio y el talio. También se suele incluir un semimetal como es el arsénico y, en algún caso, algún no metal como el selenio. A veces también se habla de contaminación por metales pesados incluyendo otros elementos tóxicos más ligeros, como el berilio o el aluminio. (Vega, 2013)

- Neutralización:

Una reacción de neutralización es una reacción entre un ácido y una base. Cuando en la reacción participan un ácido fuerte y una base fuerte se obtiene sal neutra y agua. Mientras que si una de las especies es de naturaleza débil se obtiene su respectiva especie conjugada y agua. Así pues, se puede decir que la neutralización es la combinación de cationes hidrógeno y de aniones hidróxido para formar moléculas de agua. Durante este proceso se forma una sal. Las reacciones de neutralización son generalmente exotérmicas, lo que significa que desprenden energía en forma de calor (Luna, 2016).

- Tajo Abierto:

Explotaciones mineras que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de las subterráneas, que se desarrollan bajo ella. Para la explotación de una mina a cielo abierto, a veces, es necesario excavar, con medios mecánicos o con explosivos, los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma el yacimiento. Estos materiales se denominan, genéricamente, estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral (López, 2013).

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Procedimiento de determinación de aguas ácidas

2.3.1. Determinación de metales en muestras líquidas por espectrómetro de emisión atómica ICP

a. Personal

- Analista de Laboratorio
- Operador de Laboratorio

b. Referencias Complementarias (Manuales, otros PETS, estándares, etc.)

- D.S. 024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y sus modificatorias.
- E-COR-SE-22.04 Equipo de Protección Personal
- E-COR-SE-23.01 Control de materiales químicos peligrosos.

c. Equipos/Materiales/Herramientas:

- Extractor de gases y línea de inyección de aire
- Espectrómetro de Emisión atómica con plasma Acoplado Inductivamente
- Autosampler CETAC ASX-520
- PC y Software ICP Expert

- UPS de 15 Kwa
- Material de Volumétrico necesario
- Estándares de calibración y de Control
- Tubos de 15 ml y 50 ml
- Gas Argón 99.996 pureza o equivalente
- Termo higrómetro Digital.

d. Competencias Necesarias:

- Inducción general de Seguridad
- Inducción específica en el área de trabajo
- Capacitación en protección respiratoria.
- Capacitación en materiales químicos peligrosos
- Entrenamiento mínimo de 15 días en la unidad.

e. Procedimiento

- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar que las muestras ingresadas al Laboratorio estén debidamente codificadas y que se especifique en el MEMO el tipo de análisis solicitado.
- El operador o analista de Laboratorio deberá trasvasar las muestras de las copas de 100 ml a tubos de 15 ml y llevar la gradilla a la sala del ICPOES para su respectivo análisis.
- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar el correcto funcionamiento de la campana de extracción e inyector de aire del ICP. Deberá chequear que la presión de Argón sea mayor de 100 psi.
- El operador o analista de Laboratorio deberá encender el equipo colocando en posición ON los interruptores, luego prender el Autosampler presionando el botón que se encuentra detrás del CETAC ASX 520, prender el chiller y la PC.
- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar que el nivel del agua del chiller sea el correcto, observando que

el indicador rojo de la columna este alineado y que la temperatura sea 20°C.

- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar que todas las conexiones para el ingreso (gris-blanca) y salida de muestra (azul-blanca) estén bien y deberán ser cambiadas si es necesario.
- El operador o analista del Laboratorio deberá ingresar al Software haciendo doble click en el icono ICPExpert, luego hacer click en Instrument, aparecerá una ventana de condiciones del instrumento y en la parte de inferior izquierdo una barra de estado el cual ira avanzando a medida que el equipo se vaya acondicionando
- El operador o analista deberá ir a ignición de la barra de menú y encender el plasma esperar 30 minutos como mínimo.
- El operador o analista de Laboratorio deberá ingresar a “Alinear Antorcha” de la barra de menú, aspirar una solución de 5 mg/lit de Mn, esperar a que la solución ingrese al Plasma, elegir una orientación y luego hacer click en “Barrido de Antorcha”
- Luego cambiar de orientación y volver a hacer click en “Barrido de Antorcha”.
- Se deberá observar que la intensidad deberá ser mayor de 200,000 Cps para ambas orientaciones.
- El operador o analista de Laboratorio deberá salir de la ventana de Instrumento e ingresar al icono de “WORKSHETT” aparecerá un submenú: METODO, ANALISIS y SECUENCIA. En la ventana de secuencia el analista deberá ingresar el número de muestras, el nombre de las muestras y los controles. El operador o analista del laboratorio deberá colocar un blanco y un control, cada 10 lecturas.

- El operador o analista del Laboratorio deberá colocar la gradilla con las muestras en el rack del Autosampler, luego hacer click en para iniciar el análisis. El operador o analista del laboratorio deberá verificar que el control se encuentre entre +/- 10 % de su valor nominal y el blanco en +/- 3LOD.
- El operador o analista de Laboratorio deberá, una vez terminado el análisis, aspirar por 5 minutos agua de lavado y luego apagar el plasma haciendo click en icono de apagado.
- Exportar los datos para su respectiva evaluación.

2.3.2. Determinación de arsénico por generación de hidruros en muestras de agua

a. Personal:

- Analista de Laboratorio
- Operador de Laboratorio

b. Referencias Complementarias:

- D.S. 024-2016-EM Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería y sus modificatorias.
- E-COR-SE-22.04 Equipo de Protección Personal E-COR-SE-23.01 Control de materiales químicos peligrosos.

c. Equipos/Materiales/Herramientas:

- Hot block
- Copas de digestión
- Dispensador
- Pipeta automática
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Generador de hidruros
- Celda de cuarzo

d. Competencias Necesarias:

- Inducción general de Seguridad
- Inducción específica en el área de trabajo
- Capacitación en protección respiratoria.
- Capacitación en materiales químicos peligrosos
- Entrenamiento mínimo de 15 días en la unidad

e. EPP:

- Respirador con cartuchos para gases
- Lentes de seguridad
- Careta de protección facial
- Guantes de nitrilo descartables
- Mameluco antiácido

f. Procedimiento

- El operador o analista de Laboratorio deberá tomar una alícuota de 25 ml de la muestra digestada para metales totales para determinación de arsénico total o 25 ml de la muestra filtrada para metales disueltos para determinación de arsénico disuelto
- El operador o analista de Laboratorio deberá trasvasar ésta alícuota a un frasco volumétrico de 50 ml.
- El operador o analista de Laboratorio deberá añadir a las muestras 5 ml de ácido clorhídrico Q.P, 2 ml. de yoduro de potasio al 5% y 2 ml. de ácido ascórbico al 5% y agita
- El operador o analista de Laboratorio deberá dejar reaccionar las muestras por 45 minutos.
- El operador o analista de Laboratorio deberá aforar las muestras con agua ultra pura a 50 ml. y homogenizar quedando listas para su determinación
- El operador o analista de Laboratorio deberá colocar y asegurar la rejilla con la celda de cuarzo en el quemador del espectrofotómetro de absorción atómica

- El operador o analista de Laboratorio deberá adaptar el generador de hidruros al equipo de absorción atómica
- El operador o analista de Laboratorio deberá conectar la manguera del generador de hidruros a la toma de gas argón.
- El operador o analista de Laboratorio deberá conectar la manguera de drenaje al recipiente colector de soluciones de drenaje
- El operador o analista de Laboratorio deberá colocar las mangueras de succión a la bomba peristáltica y fijar con el seguro de presión.
- El operador o analista de laboratorio deberá optimizar la altura y profundidad del quemador hasta que la celda de cuarzo quede alineada con la emisión de luz que emite la lámpara de cátodo de hueco de arsénico.
- El operador o analista de Laboratorio deberá abrir la válvula de gas Argón y regular la presión (cuando la presión de argón no es la adecuada se enciende la luz azul del generador de hidruros)
- El operador o analista de Laboratorio deberá prender el generador de hidruros con el botón de encendido
- El operador o analista de Laboratorio deberá encender la flama del equipo de absorción atómica y colocar los capilares correspondientes en las soluciones de boro hidruro de sodio y ácido clorhídrico al 30%
- El operador o analista de Laboratorio deberá generar la curva de calibración con los estándares de arsénico
- El operador o analista de Laboratorio deberá leer las muestras, el tiempo mínimo requerido para estabilizar la señal en cada muestra es de 60 segundos, iniciando desde el momento en que empieza a succionar la muestra

2.3.3. Determinación de mercurio por la técnica de vapor frío en muestras de agua

a. Personal:

- Analista de Laboratorio
- Operador de Laboratorio

b. Equipos/Materiales/Herramientas:

- Pipetas
- Gradilla
- Tubos de ensayo de 10 ml.
- Fiolas de 100 ml.
- Pera de succión
- Espectrofotómetro FIMS 100 con automuestreador

c. Competencias Necesarias:

- Inducción general de Seguridad
- Inducción específica en el área de trabajo
- Capacitación en protección respiratoria.
- Capacitación en materiales químicos peligrosos.
- Entrenamiento mínimo de 15 días en la unidad.

d. EPP:

- Mamelucos antiácidos.
- Lentes de Seguridad.
- Respirador con cartuchos para gases.
- Guantes de nitrilo descartables.

e. Procedimiento:

- El operador o analista de Laboratorio deberá preparar la solución de permanganato de potasio al 5% pesando 50 gramos de permanganato de potasio grado reactivo en un frasco volumétrico de 1000 ml, enrasar con agua ultra pura y agitar para su homogenización

- El operador o analista de Laboratorio deberá preparar una solución stock de 1000 ppb de mercurio, tomando una alícuota de 1 ml de la solución estándar certificada de 1000 ppm en un frasco volumétrico de 1000 ml, agregar 5 ml de ácido nítrico Q.P, enrasar con agua ultra pura y agitar para su homogenización. Esta solución podrá guardarse una semana como máximo.
- El operador o analista de Laboratorio deberá preparar estándares de 1.0, 2.0, 5.0 y 10.0 ppb de mercurio a partir de la solución stock de 1000 ppb, tomando alícuotas de 1, 3 y 5 ml de ésta solución en frascos volumétricos de 100 ml, agregar 10 gotas de la solución de permanganato de potasio al 5% y 2 ml de ácido clorhídrico Q.P, enrasar con agua ultra pura y agitar para su homogenización
- El operador o analista de Laboratorio deberá preparar las muestras de medio ambiente tomando una alícuota de 10 ml, trasvasar a tubos de ensayo de 10 ml y agregar 2 gotas de ácido clorhídrico Q.P. y 2 gotas de la solución de permanganato de potasio al 5% y agitar para su homogenización.
- El operador o analista de Laboratorio deberá preparar las muestras de Planta ADR tomando una alícuota de 1 o 2 ml, trasvasar a tubos de ensayo de 10 ml, agregar 2 gotas de ácido clorhídrico Q.P. y 2 gotas de la solución de permanganato de potasio al 5%, enrasar con agua ultra pura y agitar para su homogenización.
- El operador o analista del Laboratorio deberá encender la computadora, el espectrofotómetro FIMS 100 y el auto muestreador
- El operador o analista del Laboratorio deberá abrir el software AA Winlab 32 y esperar la confirmación de conexión

- El operador o analista del Laboratorio deberá seleccionar el modo de lectura automático haciendo click en el ícono Work Space y seleccionar AUTOMATICO.
- El operador o analista de Laboratorio deberá seleccionar el método de análisis haciendo click en METHOD y selecciona MERCURIO
- El operador o analista de Laboratorio deberá identificar las muestras haciendo click en SAMPLE INFO.
- El operador o analista de Laboratorio deberá guardar el archivo haciendo click en FILE, luego en SAVE AS y SAMPLE INFO FILE.
- El operador o analista de Laboratorio deberá abrir un nuevo archivo para identificar el lote de trabajo haciendo click en OPEN en la ventana AUTOMATED ANALYSYS CONTROL en la etiqueta RESULTS DATA SET NAME
- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar que la presión de argón a la entrada del equipo analizador de mercurio se encuentre entre 40 y 60 psi. Si la presión es muy baja deberá regular la presión a la salida de la botella a presión que contiene argón y si la presión de la botella es muy baja deberá cambiar la botella a presión de argón por una nueva.
- El operador o analista de Laboratorio deberá regular el flujo de argón en el equipo entre 40 y 50 psi utilizando la perilla negra del lado derecho inferior del equipo.
- El operador o analista de Laboratorio deberá quitar la tapa del bloque separador líquido/gas y verificar el buen estado de la membrana, si la membrana está húmeda secarla presionando con un tejido libre de hilachas, si está dañado reemplazar por una membrana nueva.
- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar el buen estado de las mangueras y reemplazar cuando sea necesario.

- El operador o analista de Laboratorio deberá verificar que para el carrier (HCl al 3%) y para la eliminación del excedente de muestra se utiliza la manguera identificada con los colores azul/amarillo, para la solución de Cloruro Estañoso (SnCl_2 al 1.1%) se utiliza la manguera identificada con los colores rojo/rojo y para eliminación de drenaje se utiliza la manguera identificada con los colores negro/blanco.
- El operador o analista de Laboratorio deberá encender la bomba y dejar correr por 02 minutos como mínimo para limpiar el sistema y verifica la velocidad de flujo de los reactivos
- El operador o analista de Laboratorio deberá abrir la ventana CONTINUOUS GRAPHICS presionando el botón TOOLS de la barra menú, observar la línea base y hace AUTO ZERO cuantas veces sea necesario, hasta que la línea de fondo este estable y marque 0.000. Cerrar la ventana
- El operador o analista de Laboratorio deberá colocar los tubos de ensayo en las gradillas, de acuerdo a la locación
- El operador o analista de Laboratorio deberá abrir la ventana FIAS CONTROL activar la pestaña FIAS ON/OFF y espera la comprobación del equipo
- El operador o analista de Laboratorio deberá abrir la ventana AUTOMATED ANALYSIS CONTROL, seleccionar la etiqueta ANALYZE y hace click en CALIBRATE. El equipo empezará a calibrar automáticamente, si la curva de calibración está bien acepta la calibración
- El operador o analista de Laboratorio deberá leer las muestras, para ello en la ventana AUTOMATED ANALYSIS CONTROL, en la pestaña ANALYZE, seleccionar la opción ANALYZE SAMPLES

- El operador o analista de Laboratorio luego de terminado el análisis de muestras deberá colocar los extremos de las mangueras en un recipiente con agua ultra pura y en la ventana FIAS CONTROL, activar la pestaña VALVE FILL/INJECT y deja enjuagar todo el sistema por no menos de 03 minutos.
- El operador o analista de Laboratorio deberá retirar las mangueras y la sonda del agua ultra pura, esperar que el exceso de solución salga del sistema, apagar la bomba y liberar las mangueras
- El operador o analista de Laboratorio deberá anotar las lecturas en el cuaderno “Análisis de aguas” descargar el exceso de reactivos, enjuagar las botellas y cerrar el Winlab.

2.3.4. Determinación de metales (Cu, Fe, Pb, Zn, Mn) en muestras de aguas por absorción atómica

a. Objetivo

Establecer los lineamientos para la determinación de metales (Cu, Fe, Pb, Zn, Mn) totales y disueltos en muestras de aguas por absorción atómica, teniendo en cuenta: Seguridad y Salud ocupacional, Calidad y Cuidado del Medio ambiente.

b. Alcance

El método de ensayo es aplicable para la determinación de metales totales y metales disueltos en muestras de aguas provenientes de cuerpos de aguas superficiales y efluentes. El método se basa en la determinación por absorción atómica en una llama oxidante aire-acetileno, previo tratamiento de la muestra para diferenciar los metales totales presentes en la muestra de los metales disueltos.

c. Definiciones

- Metales Totales: Iones metálicos presentes en una muestra, tanto en la fase líquida como en la fase sólida.
- Metales Disueltos: Iones metálicos disueltos en la fase líquida de la muestra.
- Digestión: Disolución de metales de la fase sólida a la fase líquida por efecto de la reacción con ácidos.
- Filtración: Proceso de separación de la fase sólida de la fase líquida de una muestra mediante el uso de un material con porosidad tal que retiene los sólidos presentes.
- Solución Estándar: Solución que contiene una concentración conocida de un elemento específico o sustancia.
- Calibración: Procedimiento de comparación entre lo que indica un instrumento de medición y lo que “debiera indicar” de acuerdo a un patrón de referencia con valor conocido.

d. Responsables / RESPONSABILIDADES

Operador y Analista de Laboratorio:

- Cumplir lo establecido en el presente procedimiento.

Supervisor de Laboratorio:

- Es responsable de hacer cumplir el procedimiento,
- Garantizar la disponibilidad de los materiales, reactivos; y del buen funcionamiento de los equipos.
- Responsable de la evaluación de los controles de calidad.
- Capacitar al personal involucrado en el procedimiento.

Jefe de Laboratorio:

- Responsable de la elaboración y actualización del procedimiento de trabajo
- Asegurar la salud y seguridad del personal, asegurar la calidad de resultados y cuidado del medio ambiente y brindar las facilidades al personal para la ejecución de la actividad.
- Responsable de establecer los lineamientos de trabajo.

Área de Medio Ambiente:

- Establecer los estándares para el almacenamiento y disposición adecuada de los residuos peligrosos.
- Auditar el cumplimiento del manejo adecuado de los residuos.

Área de Seguridad:

- Auditar el cumplimiento de éste procedimiento.

e. Procedimiento

Antes de iniciar el procedimiento, el Operador y/o Analista de Laboratorio deberán tener en cuenta las siguientes precauciones:

- Leer el cuaderno de Ocurrencias del Laboratorio.
- Asegurarse del perfecto funcionamiento del sistema extractor.
- Purgar las compresoras que abastecen de aire comprimido a los equipos de absorción atómica
- Asegurarse que la presión de las botellas de acetileno esté por encima de 60 psi. Caso contrario, cambiar la botella de acetileno.
- Asegurarse del buen estado del material de vidrio a ser usado.

- Llevar puestos los siguientes equipos de protección personal: Lentes de seguridad, guantes descartables, respirador con cartucho para gases, mameluco anti ácido.

f. Digestión de la muestra para determinación de metales totales:

- Homogenizar la muestra y medir una alícuota de 50 mililitros en un tubo para digestión de muestra, añadir 5 mililitros de ácido nítrico y colocar en el HOT BLOK a temperatura de 120 °C aproximadamente.
- Digestar hasta que el volumen se reduzca a 25 mililitros aproximadamente.
- Si la solución aún contiene sólidos sin disolver, agregar 5 mL. más de ácido nítrico Q.P. y repetir cuantas veces sea necesario hasta obtener una solución cristalina.
- Retirar la muestra del Hot Block y dejar enfriar.
- Una vez fría la muestra aforar con agua ultra pura a 50 mililitros y homogenizar.
- Llevar la muestra a análisis por absorción atómica.

Filtración de la muestra para la determinación de metales disueltos:

- Antes de realizar este análisis, verificar que todo el sistema de filtración este limpio para evitar contaminación
- Armar el sistema de filtrado al vacío, con el kitassato y el recipiente de filtración. Encender la bomba de vacío para comprobar su funcionamiento.
- Con ayuda de la pinza colocar el papel filtro de acetato de celulosa en el sistema de filtrado al vacío. Homogenizar la muestra.
- Encender la bomba de vacío para iniciar la succión y filtrar una cantidad pequeña para enjuagar el sistema. Apagar la

bomba de vacío y desechar el líquido de enjuague del matraz kitassato.

- Armar nuevamente el sistema de filtrado, encender la bomba de vacío y filtrar aproximadamente 100 mililitros de muestra.
- Trasvasar el filtrado del matraz kitassato a una fiola de 50 mililitros, añadir 5 gotas de ácido nítrico y homogenizar.
- Llevar la muestra a análisis por absorción atómica.

Preparación de estándares:

- Vaciar en un recipiente la solución estándar que contiene 1000 ppm del analito.
- Tomar con pipeta 1, 2, 5 y 10 mL. de la solución estándar de 1000 ppm y vaciar en fiolas volumétricas de 100 mL. Añadir a cada fiola 10 gotas de ácido nítrico Q.P. y aforar con agua ultra pura. Estos estándares contienen 10, 20, 50 y 100 ppm del analito.
- Desechar la solución excedente de 1000 ppm, nunca devolver al frasco original.
- De la solución estándar de 100 ppm, tomar con pipeta 1, 3, 5 y 10 mL. y vaciar en fiolas volumétricas de 100 mL. añadir a cada una, 10 gotas de ácido nítrico Q.P. y aforar con agua ultra pura. Estos estándares contienen 1, 3, 5 y 10 ppm del analito respectivamente.
- De la solución estándar de 10 ppm tomar con una pipeta 2 y 5 mL. y vaciar a una fiola volumétrica de 100 mL. Añadir 10 gotas de ácido nítrico Q.P. y aforar con agua ultra pura. Estos estándares contienen 0.2 y 0.5 ppm del analito.

Lectura por Absorción Atómica:

- Verificar una temperatura estable en la sala de Absorción Atómica entre 18 y 23 °C.
- Antes de iniciar la lectura, calentar la lámpara de cátodo hueco por 10 minutos como mínimo.
- Calentar el quemador por 5 minutos como mínimo antes de iniciar la calibración.
- Para optimizar la curva de calibración se utiliza como blanco una solución preparada con 2 mL. de ácido nítrico Q.P. y aforada con agua ultra pura a 200 mL.

- Para la determinación de Cobre:

La primera curva de cobre se optimiza con los estándares de 0.50, 1.00, 3.00, 5.00 y 10.00 ppm. Las condiciones de lectura son las siguientes:

- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
- Posición de la lámpara de Cu:4
- Modo de medida: Integración
- Longitud de onda: 324.8 nm
- Slit: 0.5
- Corriente de lámpara: 4.0 mA
- Corrección de fondo: desactivado
- Algoritmo de calibración: Racional nuevo.

La segunda curva de cobre se optimiza con los estándares de 10, 20 y 50 ppm. Las condiciones de lectura son las siguientes:

- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
- Posición de la lámpara de Cu:4
- Modo de medida: Integración
- Longitud de onda: 327.4 nm

- Slit: 0.5
 - Corriente de lámpara: 4.0 mA
 - Corrección de fondo: desactivado
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo.
- **Para la determinación de Hierro:**
- La primera curva de hierro se optimiza con los estándares de 0.50, 1.00, 3.00, 5.00 y 10.00 ppm. Las condiciones de lectura en el equipo de absorción atómica son las siguientes:
- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
 - Posición de la lámpara de Fe: 6
 - Modo de medida: Integración
 - Longitud de onda: 248.3 nm.
 - Slit: 0.2 nm.
 - Corriente de lámpara: 4.0 mA.
 - Corrección de fondo: Activado.
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo
- La segunda curva de hierro se optimiza con los estándares de 10, 20, 50 y 100 ppm. Las condiciones de lectura en el equipo de Absorción Atómica son las siguientes:
- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
 - Posición de la lámpara de Fe: 6
 - Modo de medida: Integración
 - Longitud de onda: 248.3 nm.
 - Slit: 0.2 nm.
 - Corriente de lámpara: 4.0 mA.
 - Corrección de fondo: Desactivado
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo

- **Para la determinación de Plomo:**

Las curvas de plomo se optimizan con los estándares de 0.20, 0.50, 1.00 ppm. Las condiciones de lectura del equipo de absorción atómica son las siguientes:

- Quemador recto buscando la máxima absorbancia.
- Posición de la lámpara de Pb: 7
- Modo de medida: Integración
- Longitud de onda: 217.0 nm.
- Slit: 1.0 nm.
- Corriente de lámpara: 10 mA
- Corrección de fondo: Activado.
- Algoritmo de calibración: Racional nuevo.

La segunda curva de plomo se optimiza con los estándares de 1.0, 2.0, 5.00 ppm. Las condiciones de lectura del equipo de absorción atómica son las siguientes:

- Quemador recto buscando la máxima absorbancia.
- Posición de la lámpara de Pb: 7
- Modo de medida: Integración
- Longitud de onda: 217.0 nm.
- Slit: 1.0 nm.
- Corriente de lámpara: 10 mA
- Corrección de fondo: Desactivado
- Algoritmo de calibración: Racional nuevo.

- **Para la determinación de Zinc:**

La curva de zinc se optimiza con los estándares de 0.50, 1.00, 3.00, 5.00 y 10.00 ppm. Las condiciones de lectura del equipo de absorción atómica son las siguientes:

- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
- Posición de la lámpara: 8
- Modo de medida: Integración

- Longitud de onda: 213.9 nm.
 - Slit: 1.0 nm.
 - Corriente de lámpara: 5 mA.
 - Corrección de fondo: Activado.
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo.
- **Para la determinación de Manganeso:**
- La primera curva de manganeso se optimiza con los estándares de 0.50, 1.00, 3.00, 5.00 y 10.00 ppm. Las condiciones de lectura del equipo de absorción atómica son las siguientes:
- Quemador recto buscando la máxima absorbancia.
 - Posición de la lámpara: 2
 - Modo de medida: Integración.
 - Longitud de onda: 279.5 nm.
 - Slit: 0.2 nm.
 - Corriente de lámpara: 7 mA
 - Corrección de fondo: Activado
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo.
- La segunda curva de manganeso se optimiza con los estándares de 10, 20 y 50 ppm. Las condiciones de lectura del equipo de absorción atómica son las siguientes:
- Quemador girado hasta obtener una absorbancia aproximada de 0.600uA con el estándar más alto.
 - Posición de la lámpara: 2
 - Modo de medida: Integración.
 - Longitud de onda: 279.5 nm.
 - Slit: 0.2 nm.
 - Corriente de lámpara: 7 mA.
 - Corrección de fondo: Desactivado
 - Algoritmo de calibración: Racional nuevo.

Nota: Todas las soluciones ácidas remanentes producidas por la digestión ácida de las muestras, la

preparación o desecho de las soluciones estándares y la purga del equipo de absorción atómica, son desechadas en el lavatorio N° 1 de vía húmeda, que después serán derivadas a la Planta de Tratamiento de aguas ácidas.

g. Registros

- Cuaderno de ocurrencias del Laboratorio.
- Memorándum de análisis de muestras de aguas.
- Cuaderno de análisis de aguas.
- FP-ZAN-LA-11.01-01 Reporte de Laboratorio Químico - Análisis de Aguas
- Formato de Mantenimiento y Verificación Interna de Equipos de Laboratorio.

2.3.5. Determinación de metales en muestras líquidas por ICP 720 OES

a. Objeto

Contar con una instrucción operativa que permita garantizar el manejo adecuado del Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente 720 ICP-OES dentro del contexto de las buenas prácticas de Laboratorio.

b. Alcance

Aplicable al personal de Laboratorio Químico de Minera La Zanja que realiza la determinación de metales en muestras líquidas utilizando el ICP Óptico Marca Agilent Technologies, Modelo 720.

c. Definiciones:

ICP: Espectrómetro de Emisión Atómica con Plasma Acoplado Inductivamente.

Plasma: estado de la materia cuyas partículas están cargadas eléctricamente y no poseen equilibrio electromagnético.

Solución estándar: Solución que contiene una concentración conocida de un elemento específico o sustancia

Calibración: Procedimiento de comparación entre lo que indica el instrumento de medición y lo que debiera indicar de acuerdo a un estándar de referencia con valor conocido

d. Responsables / Responsabilidades

Operador y Analista de Laboratorio

- Responsable de la correcta aplicación del Procedimiento

Supervisor de Laboratorio:

- Responsable de hacer cumplir el procedimiento
- Garantizar la disponibilidad de los materiales y reactivos
- Responsable del mantenimiento de los equipos y de su buen funcionamiento
- Responsable de la evaluación de los resultados y la emisión de los reportes
- Capacitar al personal del Laboratorio en el Procedimiento.

Jefe de Laboratorio:

- Responsable de la elaboración y actualización del Procedimiento de trabajo
- Responsable de asegurar la salud y seguridad del personal, la calidad de los resultados y el cuidado del medio ambiente

- Responsable de brindar las facilidades al personal para la ejecución del Procedimiento.
- Responsable de establecer los lineamientos de trabajo.

Departamento de Seguridad:

- Monitorear el cumplimiento del presente Procedimiento
- Inspeccionar las áreas de trabajo

e. Procedimiento:

Requisitos de Inicio

- Verificar que todas las conexiones mecánicas y eléctricas se encuentren en buen estado
- Encender los Extractores de Gases y el inyector de Aire
- Abrir las válvulas del tanque de Argón y verificar que la presión del gas a la llegada del equipo se encuentre entre 80 y 120 psi
- Prender el enfriador (Chiller) y verificar que el Nivel del agua sea el adecuado. (Fijarse en la Columna que se encuentra en la parte frontal del enfriador y verificar que la bolita roja se encuentre en el nivel superior de la columna) si no es así destapar y añadir agua destilada hasta alcanzar el nivel.
- Una vez prendido el enfriador esperar que establezca la temperatura a 20°C anotar el valor en el Registro de operatividad del Instrumento
- Verificar que la temperatura del ambiente de trabajo se encuentre en 20°C \pm 2°C y que la humedad relativa del ambiente de trabajo se encuentre entre 35 y 80%. Anotar en el registro de Operatividad del instrumento.

Encendido

- Colocar los interruptores del equipo, en posición "ON".
- Encender el Autosampler CETAC ASX-520.
- Encender la computadora

- Ingresar al Software del Instrumento haciendo doble click en el Icono: ICPExpert que se ubica en el Escritorio de la Computadora. La siguiente Ventana le mostrará tres Círculos que indican: Worksheet Instrument Exit



Figura 3: Círculos Worksheet Instrument Exit en el ICPExpert.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Hacer click en el círculo que indica Instrument, éste mostrará el estado y condiciones en que se encuentra el Instrumento.

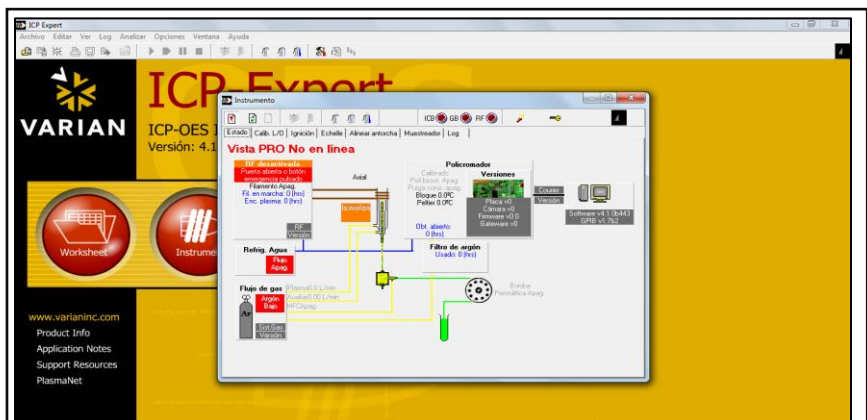



Figura 4: Condiciones del Instrument.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Esperar a que se produzca el acondicionamiento del ICP, este paso generalmente dura entre 15 min a 30 min, se toma más tiempo cuando el Equipo ha sido apagado en su totalidad o ha dejado de fluir Argón en el Equipo por más de 30 min.

- A medida que el equipo se va acondicionando en la Ventana del Policromador la Temperatura del Bloque y del Peltier varía, a la vez que una barra en la parte inferior derecho de la pantalla se mueve hasta estabilizarse. La temperatura del bloque debe estar en 35°C y la temperatura del Peltier en -36.1°C.
- Encender el Plasma presionando (Shift + F4) o haciendo Click en  que encuentra en la barra de menú grafico de la ventana del Instrumento.
- Verificar el encendido y forma del plasma. Si observa alguna anomalía accionar el botón de apagado de Emergencia.
- Esperar que el plasma caliente mínimo 30 minutos.

Verificación de Operatividad

- Ajustando el Modo de Vista Axial del Instrumento
- Preparar una Solución de 5 mg/lit de Manganeso en una matriz al 2% de ácido nítrico
- En la Ventana del Instrumento elegir “Alinear Antorcha”. Aparecerá una ventana tal como se muestra la siguiente figura 4.

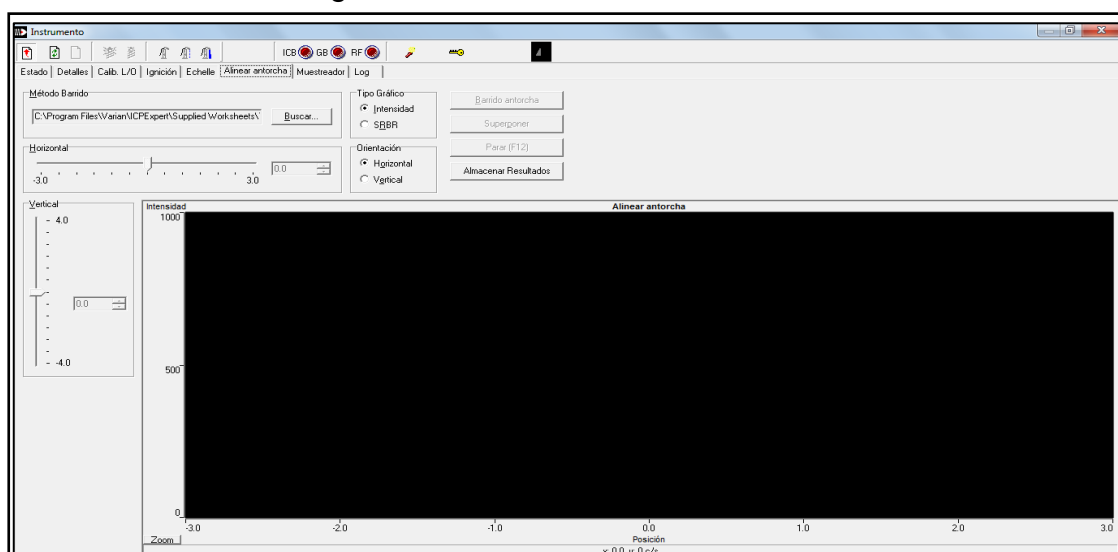


Figura 5: Condiciones del Instrument.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Aspirar la solución de 5 mg/lt de Manganeso asegurándose de la muestra llegue al Plasma
- Elegir orientación horizontal o vertical según sea el caso y hacer click en barrido de Antorcha. Anotar el Valor de la intensidad del Manganeso en Registro de Operatividad de Espectrómetro de Emisión Atómica 720 ICP-OES
- Luego cambiar de orientación y volver a hacer click en Barrido de Antorcha. Anotar el Valor de la intensidad en el Registro de Operatividad del Espectrómetro de Emisión Atómica 720 ICP-OES
- El Criterio de Aceptación para la intensidad de Manganeso de 5 mg/lt > 200,000cps. De no cumplir con el requisito hacer una revisión del Sistema de ingreso de Muestra: Cámara Ciclónica, Nebulizador, mangueras de Ingreso de Muestras, etc
- Chequear la Antorcha en forma visual y repetir el proceso.

Análisis

- Preparación de la Curva de Calibración
- Estándar de Calibración 1 Con la ayuda de una pipeta Volumétrica tomar 1 ml de Estándar de 1000 mg/L de Mn, As, Cu y 10 ml de Estándar de 1000 mg/L de Hierro y transferirla cuantitativamente a una fiola de 200 ml, añadir 4 ml de Ácido Nítrico Concentrado y llevar a volumen con agua Ultra pura. Medio Final 2% HNO₃
- Estándar de Calibración 2 Con la ayuda de una pipeta volumétrica tomar 1 ml de Estándar de 1000 mg/L de Zinc y 2 ml de Estándar de 1000 mg/L de Aluminio y transferirla cuantitativamente a una fiola de 200 ml, añadir 4 ml de Ácido Nítrico Concentrado y llevar a volumen con agua ultra pura. Medio Final 2% HNO₃

- Estándar de Calibración 3 Con la ayuda de una pipeta Volumétrica tomar 1 ml de Estándar de 1000 mg/L de Plomo y 10 ml de Estándar de 1000 mg/L de Hierro y transferirlo cuantitativamente a una fiola de 200 ml, añadir 4 ml de HNO₃ y llevar a volumen con Agua Ultra pura. Medio Final 2%HNO₃.
- Estándar de Calibración 4 Con la Ayuda de una pipeta Volumétrica tomar 2 ml de Estándar de 100 mg/L de Mercurio y transferirla a una fiola de 200 ml, añadir 4 ml de Ácido Nítrico Concentrado y llevar a volumen con Agua Ultra pura. Medio Final 2% HNO₃.
- Estándar Cero de Calibración Transferir 4 ml de Ácido Nítrico Concentrado a una fiola de 200 ml y llevar a Volumen con Agua Ultra pura.
- La siguiente tabla muestra el resumen de los estándares de calibración preparados:

Tabla 4

Estándares de calibración preparados.

CURVA DE CALIBRACION (mg/lit) (2%HNO ₃)				
	Est. Cal 1	Est. Cal 2	Est. Cal 3	Est. Cal 4
Al		10		
As	5			
Ca	50			
Cu	5			
Fe			50	
Hg				1
Mn	5			
Pb			5	
Zn		5		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Preparación de Soluciones de Interferencia y Control de Laboratorio
- Solución de Interferencia 1: Mn 100 mg/L Con la ayuda de una pipeta volumétrica tomar 10 ml de un estándar de 1000 mg/L de Manganeso y transferirla a una fiola de 100

ml, añadir 2 ml de HNO₃ y llevar a volumen con agua Ultra pura.

- Solución de Interferencia 2: Fe 1000 mg/L Solución Certificada de Hierro.
- Solución de Interferencia 3: Al 200 mg/L Con la ayuda de una Pipeta Volumétrica tomar 10 ml de Estándar de 1000 mg/L de Aluminio y transferirla cuantitativamente a una fiola de 100 ml, añadir 2 ml de HNO₃ y llevar a volumen con agua Ultra pura.
- Solución de Control de Laboratorio: La Siguiete Tabla 2 sugiere una manera de preparar el Estándar de Control del laboratorio, como medio de aseguramiento de la calidad. Es importante tener presente que tanto la curva de calibración como el Estándar de control deben tener matrices diferentes. Por ejemplo, el Estándar de 1000 mg/L de Aluminio que se usa para preparar la curva de Calibración debe ser de distinto lote que el que se usa para preparar el Estándar de Control.

Tabla 5

Estándares de calibración preparados para la curva de calibración.

Control de Laboratorio				
	Conc. Inicial(mg/L)	Volumen Inicial	Volumen final	Conc. Final
Al	1000	1	200	5
As	100	1	200	0.5
Ca	100	1	200	5
Cu	100	1	200	0.5
Fe	100	1	200	5
Hg	10	2	200	0.1
Mn	100	1	200	0.5
Pb	100	1	200	0.5
Zn	100	1	200	0.5

Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Solución Blanco de Calibración: Ácido Nítrico al 2%

- **Preparación de Plantilla para Análisis**

Hacer Click en Worksheet, Abrir, Elegir, Plantilla de Análisis. Aparecerá la siguiente Ventana con un SUBMENU y tres opciones: Análisis, Secuencia y Método.

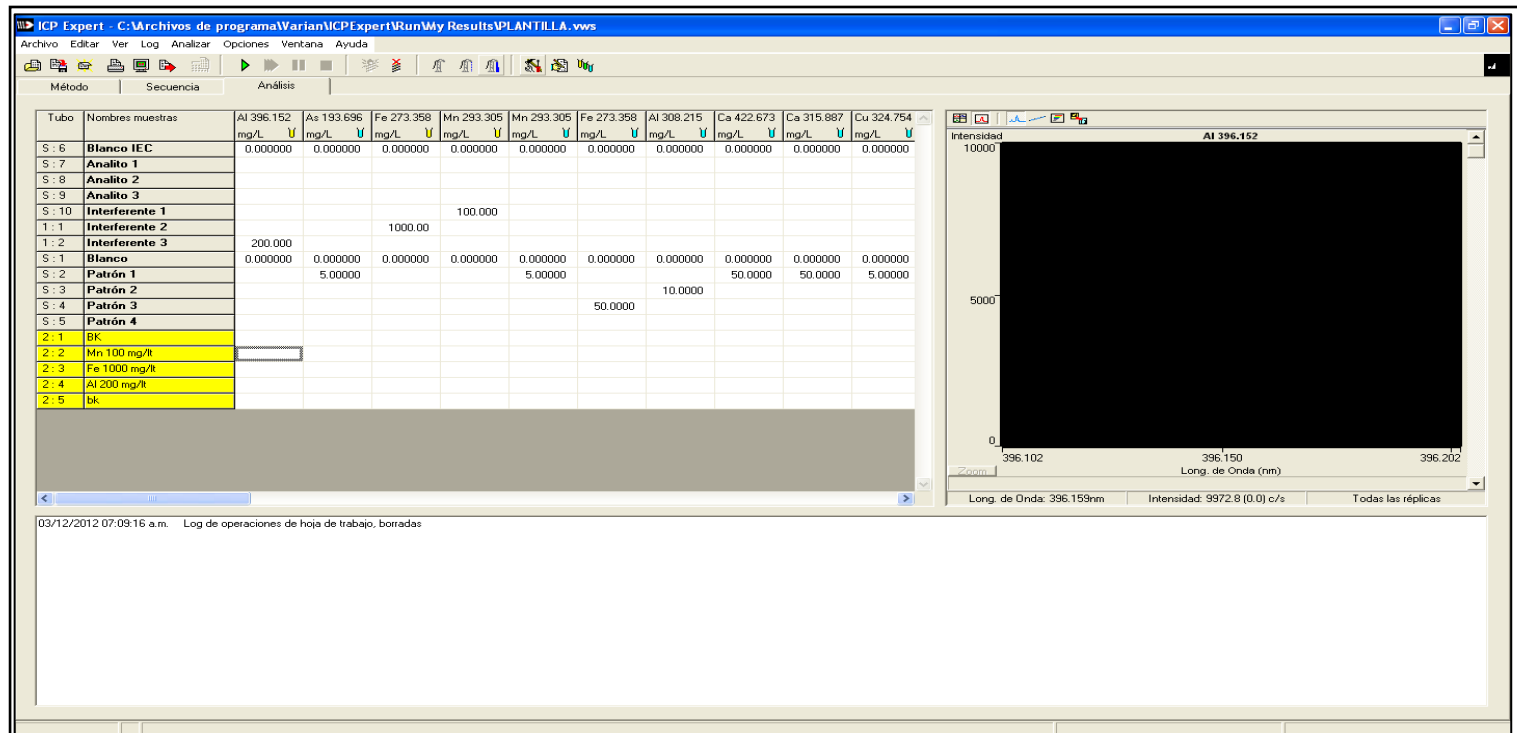




Figura 6. Submenú de opciones.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- En la Ventana de ANÁLISIS indica la secuencia y nombre de las muestras. Si se quieren aumentar el número de muestras haga click en SECUENCIA, luego ir al Sub Menú Editor Secuencia y Número de muestras. Aquí ingrese el número de muestras.
- Si es necesario ingresar más muestras esperar a que se termine el análisis y luego añadir la cantidad necesaria en la columna de muestra
- Salga de la Ventana e ingrese los nombres de las muestras a analizar y grabe la plantilla con otro nombre conveniente
- Hacer click en ANALISIS del SUBMENU
- Asegurarse de que todos los estándares, muestras, Blancos y controles se encuentren en su respectiva posición.
- Hacer click en  para iniciar el análisis
- Es importante Observar los Espectros de cada uno los Analitos que estén Alineados si no sucede, cuando haya terminado la calibración hacer un stop presionando 
- Llamar al Espectro no alineado haciendo doble click en la Ventana Multigráficos.

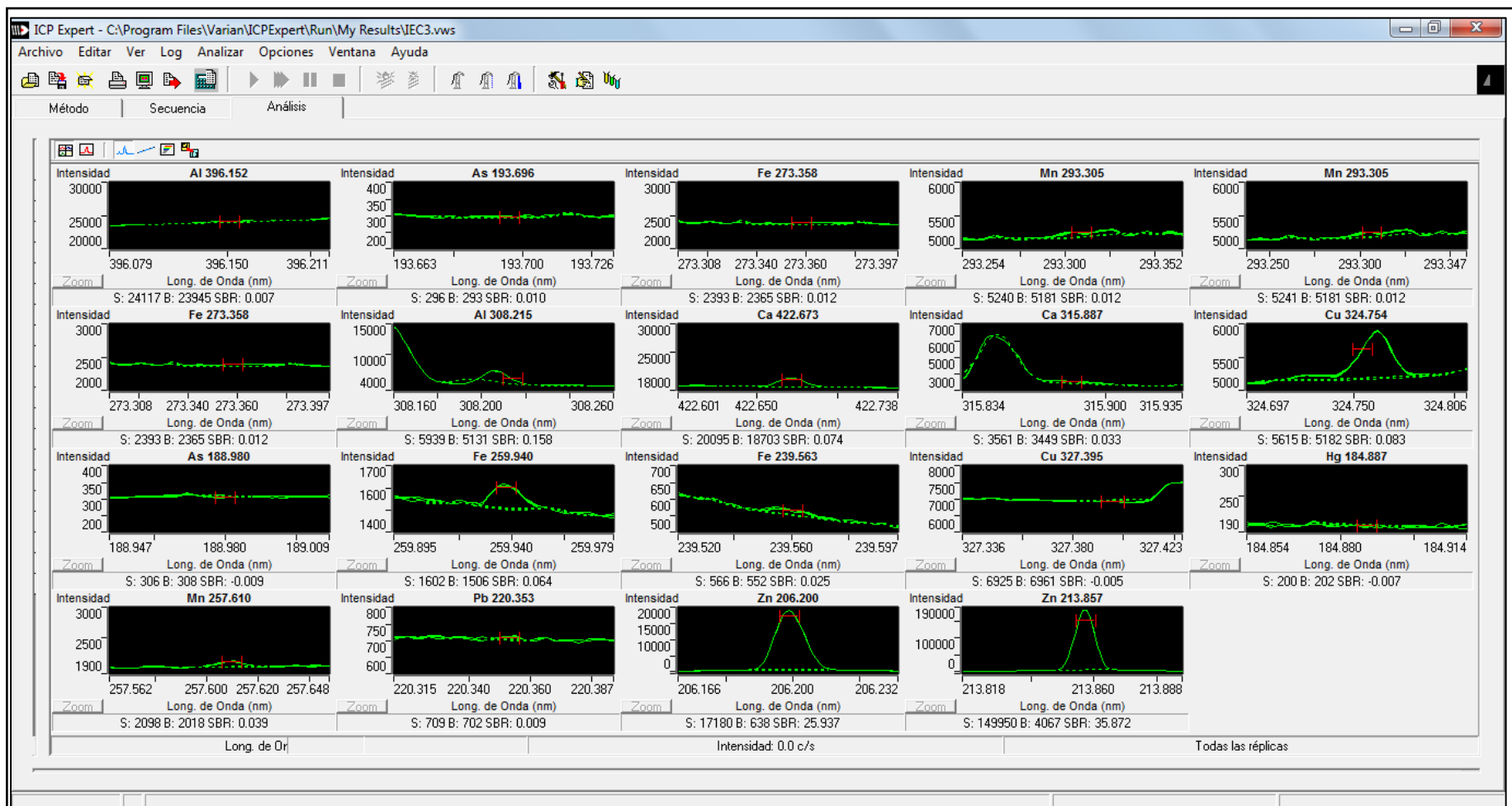
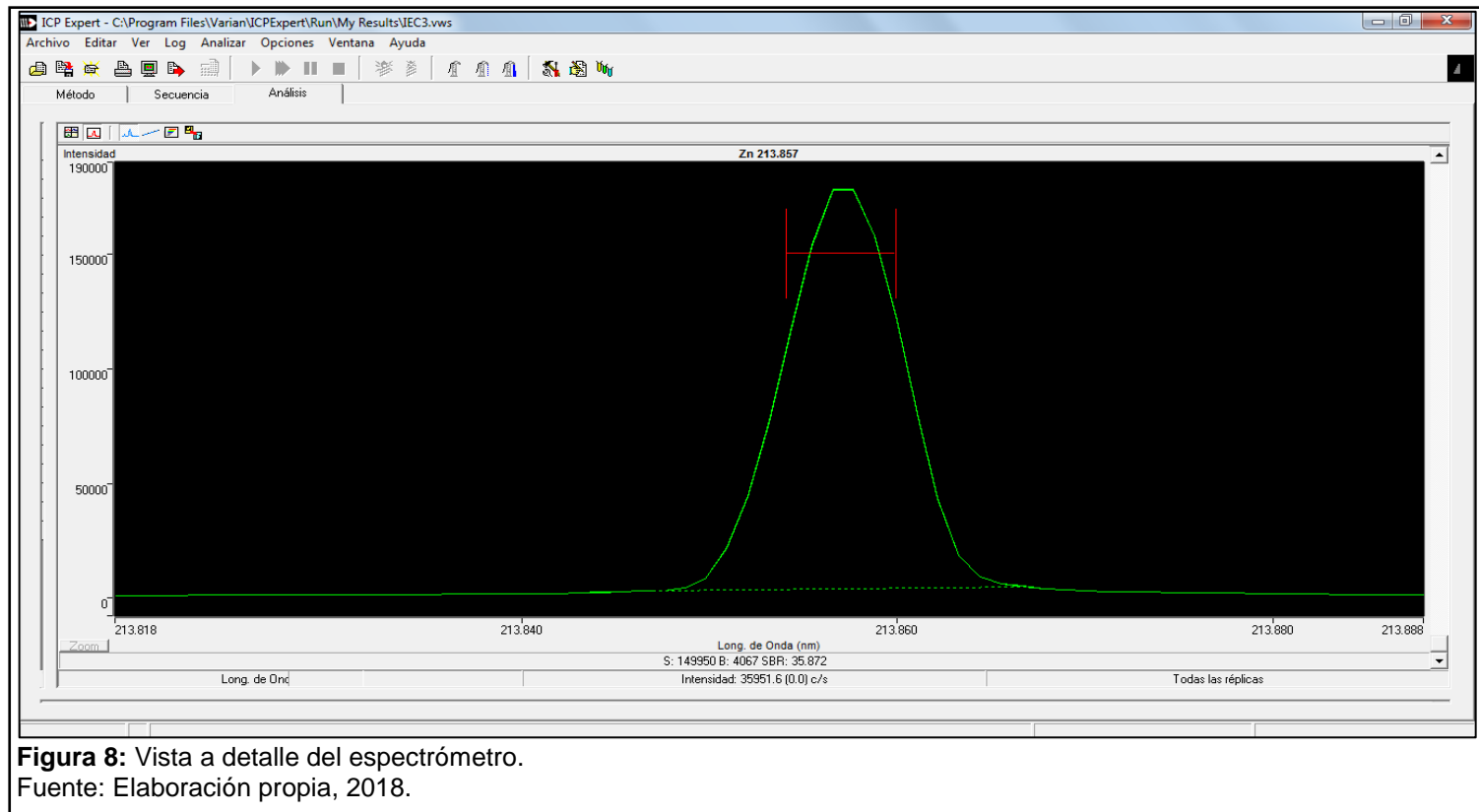


Figura 7: Ventana de multigráficos de espectrometría.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Colocar el cursor en la parte superior del Espectro, presionando CTRL y mover el cursor hasta que este lo más centrado posible del espectro.



- La figura 8 muestra una anomalía del elemento Zonc, por lo cual se debe verificar que no superen los límites máximos permisibles.

- Una vez terminado el proceso de Alineamiento empezar en Análisis.

f. Reporte:

- Una vez terminado el Análisis se procede al reporte de la siguiente manera:
- Menú Principal ► Archivo ► Exportar Condiciones. Elegir condiciones en la ventana Exportar Condiciones
 - Estilo: PRN
 - Contenido: Datos Estadísticos
 - Replicas: Soluciones QC, Soluciones de Calibración
 - Rango: Todo
 - Precisión: Completo
 - Acción de Archivo: Sobrescribir
 - Columnas: Exportar Todo
 - Unidades: Patrón
 - Nombre Fichero de Destino

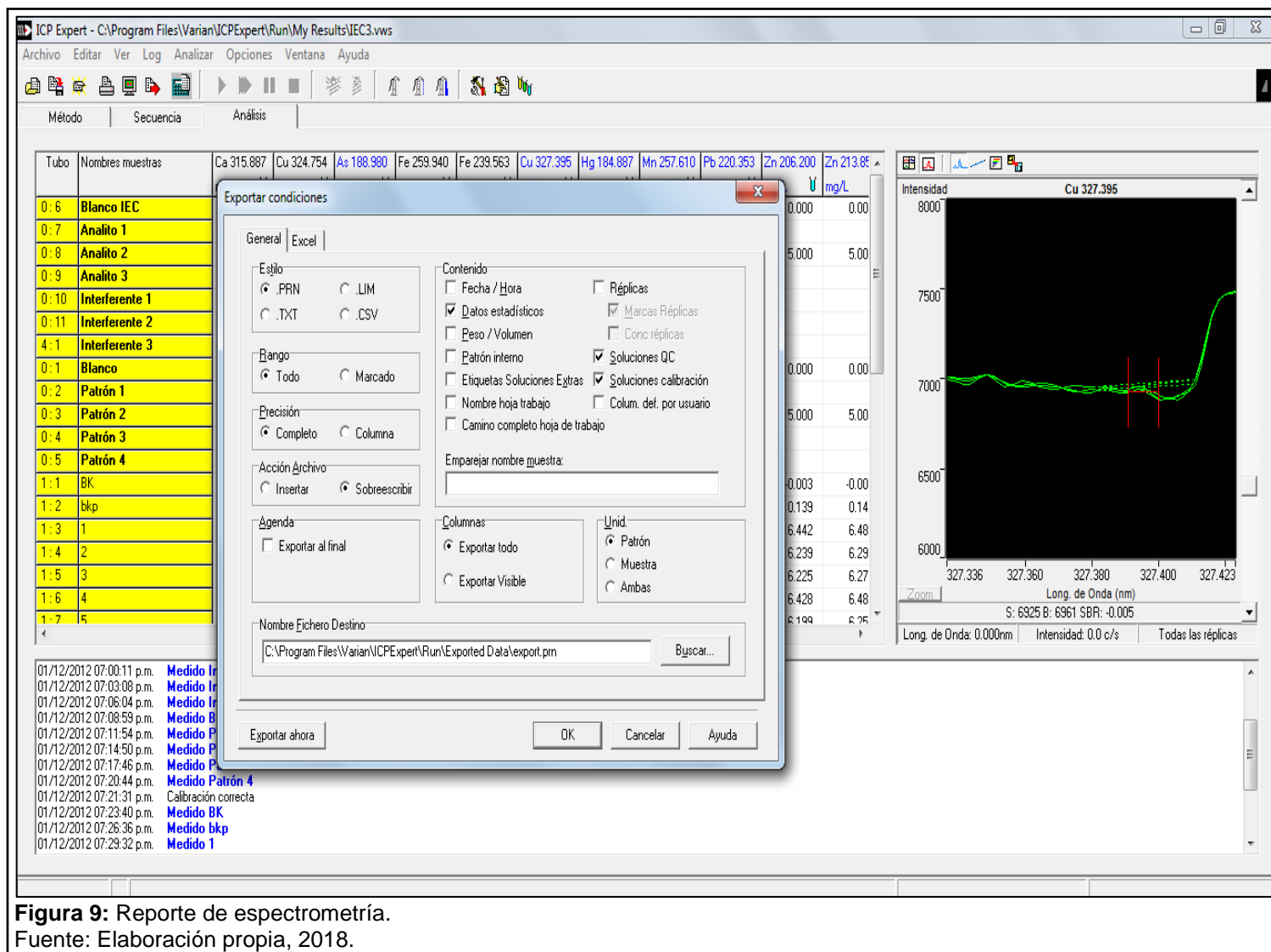


Figura 9: Reporte de espectrometría.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Hacer click en Exportar Ahora
- Abrir el Excel y llamar el Archivo donde se encuentran los resultados, hacer el Tratamiento Estadístico verificando: Estándares de control, Blancos de calibración, Duplicados, Adiciones, etc.

g. Apagado:

- Una vez terminado el Análisis dejar que lave el equipo por 5 minutos con agua de lavado
- Luego, de la barra de menú principal seleccionar ICONO de apagado del plasma y hacer Click
- Luego del menú principal Seleccionar Ventana y elegir APAGAR
- Si es necesario elegir salir del software haciendo Click en Archivo del Menú Principal y elegir Salir.

h. Recomendaciones Generales:

- Para un óptimo funcionamiento del equipo, la temperatura de la sala deberá ser controlada en 20 ± 2 °C, y % H.R. 35-50 %.
- Siempre retirar el capilar de muestra o tubo del autosampler de una solución cuando se termina de usar la bomba, de otra manera, la solución se inyectaría dentro de la cámara spray y la inundaría
- La cámara de spray, nebulizador, y el tubo TORCH son muy frágiles. Tener extrema precaución cuando se manipulan estas unidades y cuando se instalan o retiran.
- Evitar salpicaduras o derrames sobre el Equipo y accesorios (monitor, CPU, teclado, Mouse).
- Mantener el Equipo en buenas condiciones de operatividad y presentación
- Mantener siempre el área de trabajo ordenada y limpia

- Antes de concluir el trabajo diario dejar prendido el sistema de extracción aproximadamente diez minutos para eliminar los gases existentes

i. Registros

- Cuaderno de ocurrencias del Laboratorio.
- Memorándum de análisis de muestras de aguas.
- FP-ZAN-LA-11.05-01 Reporte de Laboratorio Químico - Análisis de Aguas
- Formato de Mantenimiento y Verificación Interna de Equipos de Laboratorio

3.2. Resultados de la determinación de aguas ácidas

En la planta de tratamiento San Pedro Sur, se realizan análisis de laboratorio diarios, por lo tanto, se ha tomado valores representativos de cada estación por mes, la estación 1 es la poza 15, la estación 2 es el tanque romp presión, la estación 3 es el clarificador 1, la estación 4 es el clarificador 2, y la estación 5 es el dique mina.

Tabla 6

Reporte de laboratorio representativo del mes de Enero.


REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO																			
FECHA: 31 de Enero 2017																			
Hora de recepción: 12:00 hrs																			
PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO																			
Muestras del día 03/01/2017 Hora : 06:00 hrs	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
P-15	198.32	5201.80	<0.01	35.24	75.60	21.083	0.0005	913.21	179.28	4718.51	<0.01	32.22	68.86	19.265	0.0004	826.49	1.99		
TK ROMPE PRESION 02	0.05	0.48	0.01	0.07	3.95	0.0003	<0.0002	0.13	<0.01	<0.01	0.01	0.06	3.75	0.002	<0.0002	0.03	8.07		
CLARIFICADOR 01	0.04	0.23	0.01	0.09	4.41	0.0006	<0.0002	0.09	0.02	0.01	0.01	0.08	4.04	<0.002	<0.0002	0.03	5.52		
CLARIFICADOR 02	0.08	0.84	0.01	0.02	0.83	0.0006	<0.0002	1.21	<0.01	0.03	0.01	0.01	0.75	<0.002	<0.0002	0.90	8.94		
D.M	0.06	0.23	<0.01	0.01	0.38	0.0008	0.0012	1.13	0.02	0.07	<0.01	<0.01	0.36	0.004	0.0007	0.61	8.23		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 6 se muestran los resultados promedio del mes de Enero, el análisis de concentración de metales pesados se realizó antes, dentro y después de pasar por la planta tratamiento de aguas ácidas-San Pedro. Como se muestra en la tabla 6 el muestreo que se realiza en la poza 15 antes de ingresar a la planta de tratamiento tiene niveles de concentración muy altos superando ampliamente a los límites máximos permisibles, al entrar a la planta el agua ácida pasa por el tanque rompedor y por dos clarificadores sus resultados de muestreo están por debajo de los LMP, y el agua que sale de la planta llamado drenaje mina (D.M) no supera los LMP.

Tabla 7

Reporte de laboratorio representativo del mes de Febrero.

 PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO																			
Muestras del día 28/02/2017 Hora : 06:00 pm	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
P-15	228.97	5661.04	<0.01	36.16	74.3		0.0008		221.12	5481.9	<0.01	34.82	69.56		0.0007		2.11		
TK ROMPE PRESIÓN 02	0.10	1.05	<0.01	0.08	3.13		<0.0002		0.04	0.14	<0.01	0.07	2.80		<0.0002		8.43		
CLARIFICADOR 01	0.15	1.41	<0.01	0.11	3.31		<0.0002		0.1	0.54	<0.01	0.09	3.04		<0.0002		8.51		
CLARIFICADOR 02	0.08	0.59	<0.01	<0.01	0.33		<0.0002		0.03	0.18	<0.01	<0.01	0.29		<0.0002		8.77		
D.M	0.13	0.25	<0.01	<0.01	0.31		0.0015		0.07	0.1	<0.01	<0.01	0.22		0.0008		9.39		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 7 se muestran los resultados promedio del mes de Febrero, el análisis igualmente se realizó antes, dentro y después de pasar por la planta tratamiento de aguas ácidas-San Pedro. En la poza 15 antes de ingresar a la planta de tratamiento tiene niveles de concentración muy altos ya que son las aguas de drenaje ácido sin tratar, al entrar a la planta y para por el tanque rompedor y por dos clarificadores sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP.

Tabla 8
Reporte de laboratorio representativo del mes de Marzo.

Muestras del día 31/03/2017 Hora : 06:00 am		METALES TOTALES							METALES DISUELTOS							pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)		
		Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)				Hg (mg/L)	Al (mg/L)
P-15		191.72	4740.36	<0.01	29.98	61.47		0.0007		179.44	4419.04	<0.01	28.16	57.56		0.0006		2.08		
TK ROMPE PRESIÓN		1.33	15.95	<0.01	0.16	2.53		<0.0002		0.59	0.86	<0.01	0.14	1.81		<0.0002		7.59		
CLARIFICADOR 01		0.05	0.41	<0.01	0.02	2.66		<0.0002		0.02	0.07	<0.01	0.02	2.47		<0.0002		8.33		
CLARIFICADOR 02		0.06	0.41	<0.01	<0.01	1.69		<0.0002		0.01	0.03	<0.01	<0.01	1.42		<0.0002		8.40		
DM		0.20	1.62	<0.01	0.02	1.23		0.0003		0.06	0.01	<0.01	0.01	0.67		0.0002		9.41		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)		0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 8 se muestran los resultados promedio de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Marzo, tanto para metales totales como para metales disueltos se evaluó cobre, fierro, plomo, zinc, manganeso y mercurio; el

muestreo en la poza 15 son elevados ya que el agua acida no pasa aun por tratamiento alguno, al pasar por el tanque rompedresión y por dos clarificadores sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP.

Tabla 9

Reporte de laboratorio representativo del mes de Abril.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

Muestras del día 30/04/2017 Hora : 18:00 hrs	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
POZA 15	127.53	3247.54	<0.01	20.83	43.13		0.0005		121.24	3028.54	<0.01	19.60	41.2		0.0002		2.09		
INGRESO CLA 02	1.36	12.51	<0.01	0.20	0.51		<0.0002		0.92	0.03	<0.01	0.18	0.33		<0.0002		7.20		
CLARIFICADOR 01	0.06	0.30	<0.01	<0.01	0.09		<0.0002		0.03	0.08	<0.01	<0.01	0.08		<0.0002		8.55		
CLARIFICADOR 02	0.04	0.34	<0.01	<0.01	0.04		<0.0002		0.02	0.03	<0.01	<0.01	0.04		<0.0002		9.81		
DIQUE MINA	0.15	0.69	<0.01	<0.01	0.18		0.0004		0.03	<0.01	<0.01	<0.01	0.02		<0.0002		9.63		
LMP (D.S. 010- 2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 9 se muestran los resultados promedio de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Abril, en este mes se ha considerado necesario que el agua ácida pase dos veces por el clarificador 02, mas ya no por el tanque romp presión, sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP.

Tabla 10

Reporte de laboratorio representativo del mes de Mayo.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

Muestras del día 31/05/2017 Hora : 18:00 Pm	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
P-15	125.69	3093.71	<0.01	22.42	51.04		0.0007		115.84	2910.09	<0.01	20.06	46.34		0.0005		2.32		
TK ROMPE PRESIÓN CL 02 CLARIFICADOR 01	0.71	5.05	<0.01	0.22	1.75		0.0003		0.06	0.01	<0.01	0.09	1.22		<0.0002		8.09		
CLARIFICADOR 02	1.21	0.37	<0.01	0.37	2.30		<0.0002		1.05	0.10	<0.01	0.35	1.87		<0.0002		6.32		
D.M	0.03	0.13	<0.01	<0.01	0.54		<0.0002		0.02	0.04	<0.01	<0.01	0.50		<0.0002		8.33		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 10 se muestran los resultados de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Mayo, en este mes se ha considerado necesario que el agua ácida pase dos veces por el tanque romp presión, luego por los 2 clarificadores, sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP.

Tabla 11

Reporte de laboratorio representativo del mes de Junio.

Muestras del día 30/06/2017 Hora : 18:00 hrs.	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
	POZA 15	184.46	4633.67	<0.01	28.51	67.16		0.0014		178.80	4391.14	<0.01	27.71	66.30		0.0009			
TK ROMPE PRESION CL 02	0.03	0.28	<0.01	0.01	3.09		<0.0002		0.02	0.06	<0.01	<0.01	2.69		<0.0002		8.04		
CLARIFICADOR 01	0.03	0.28	<0.01	<0.01	3.53		<0.0002		0.02	0.03	<0.01	<0.01	3.14		<0.0002		7.82		
CLARIFICADOR 02	0.06	0.67	<0.01	<0.01	1.41		<0.0002		0.02	0.07	<0.01	<0.01	1.21		<0.0002		7.97		
DIQUE MINA	0.17	0.62	<0.01	0.01	0.84		0.0003		0.14	0.24	<0.01	<0.01	0.68		0.0002		7.83		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 11 se muestra el promedio de los resultados de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Junio, en este mes igualmente que el mes de Mayo se ha considerado necesario que el agua ácida pase dos veces por el tanque rompepresión, luego por los 2 clarificadores, sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP establecidos en el D.S. 010-2010-MINAM.

Tabla 12

Reporte de laboratorio representativo del mes de Julio.



PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

Muestras del día 31/07/2017 Hora : 18:00 h	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
POZA 15	149.33	4102.13	<0.01	33.28	65.67		0.0004		137.33	3742.72	<0.01	30.49	60.30		0.0003		1.91		
TK R. PRESION	0.19	2.60	<0.01	0.04	1.37		<0.0002		0.02	0.06	<0.01	<0.01	0.23		<0.0002		10.49		
SALIDA CLARIFICADOR 1	0.04	0.28	<0.01	0.02	1.59		<0.0002		0.03	0.10	<0.01	0.01	1.45		<0.0002		7.17		
SALIDA CLARIFICADOR 2	0.04	0.43	<0.01	<0.01	0.36		<0.0002		0.02	0.14	<0.01	<0.01	0.32		<0.0002		7.77		
DIQUE MINA	0.09	0.40	<0.01	0.02	0.50		<0.0002		0.04	0.31	<0.01	<0.01	0.36		<0.0002		8.66		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)									

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 12 se muestra el promedio de los resultados de las concentraciones de metales pesados del mes de Julio, se analizó cobre, fierro, plomo, zinc, manganeso y mercurio para metales totales y disueltos adicionalmente se midió el pH; el muestreo en la poza 15 son elevados ya que el agua ácida no pasa aun por tratamiento alguno, al pasar por el tanque rompepresión y por dos clarificadores sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP. El pH ingresa completamente ácido (pH=1.91), y sale en estado básico (pH=8.66).

Tabla 13

Reporte de laboratorio representativo del mes de Agosto.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO																			
Muestras del día 31/08/2017 Hora : 18:00 h	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
POZA 15	114.7	3209.25	<0.01	29.85	55.090		0.0004		110.21	3022.27	<0.01	28.47	52.580		0.0002		2.40		
TK ROMPE PRESION	0.25	5.54	<0.01	0.05	0.210		<0.0002		0.02	0.02	<0.01	0.02	0.080		<0.0002		8.97		
CLARIFICADOR 02	0.06	1.09	<0.01	0.01	0.130		<0.0002		0.02	0.06	<0.01	0.01	0.080		<0.0002		9.19		
DIQUE MINA	0.09	0.56	<0.01	0.02	0.310		<0.0002		0.03	0.01	<0.01	0.01	0.260		<0.0002		7.65		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)									

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 13 se muestra el promedio de los resultados de las concentraciones de metales pesados del mes de Agosto; el muestreo en la poza 15 son elevados ya que el agua ácida no pasa aun por tratamiento alguno, estas aguas sólo pasan por el tanque rompepresión y por un solo clarificador y sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP. El pH ingresa ácido (pH=2.40), y sale neutro (pH=7.65).

Tabla 14

Reporte de laboratorio representativo del mes de Setiembre.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

Muestras del día 30/09/2017 Hora : 00:00 horas	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
Poza 15	340.99	9541.46	<0.01	72.10	152.53	32.037	0.0007	1988.72	291.29	8333.70	<0.01	65.49	134.22	28.727	0.0004	1714.20	2.35		
TK Rompe presión CL 2	28.82	818.53	0.01	5.06	11.10	2.687	0.0002	180.96	0.01	0.51	<0.01	<0.01	0.01	0.012	<0.0002	5.06	9.35		
Carificador 2	0.09	1.18	0.01	0.03	0.32	0.013	<0.0002	7.95	0.01	0.07	<0.01	<0.01	0.22	0.008	<0.0002	7.62	9.36		
D.M	0.07	0.38	0.01	0.02	0.61	0.001	<0.0002	0.67	0.03	0.08	<0.01	0.02	0.60	<0.002	<0.0002	0.02	7.62		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)									

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 14 se muestra el promedio de los resultados de las concentraciones de metales pesados del mes de Setiembre; el muestreo en la poza 15 son elevados ya que no hay tratamiento alguno, estas aguas sólo pasan por el tanque rompepresión y por un solo clarificador y sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP. El pH ingresa ácido (pH=2.35), y sale neutro (pH=7.62).

Tabla 15

Reporte de laboratorio representativo del mes de Octubre.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

Muestras del día 31/10/2017	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)	
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)				
Hora : 18:00 horas																				
Poza 15	167.98	4334.10	<0.01	28.03	54.15	19.832	0.0009	789.38	155.18	4064.28	<0.01	27.25	50.75	18.940	0.0007	738.25	2.18			
TK rompe presión	0.08	0.55	0.01	<0.01	1.22	0.008	<0.0002	0.26	0.01	0.05	0.01	<0.01	1.17	0.006	<0.0002	0.09	8.07			
Clarificador 01	0.12	0.64	0.01	0.02	1.45	0.008	<0.0002	0.29	0.03	<0.01	0.01	0.02	1.34	0.002	<0.0002	0.05	8.42			
Clarificador 02	0.08	0.89	0.01	<0.01	0.82	0.005	<0.0002	0.33	0.01	<0.01	0.01	<0.01	0.80	0.004	<0.0002	0.11	8.33			
Dique Mina	0.20	0.39	<0.01	<0.01	0.25	0.0012	0.0011	0.75	0.12	0.02	<0.01	<0.01	0.09	0.008	0.0004	0.55	9.04			
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9			

Fuente: Elaboración propia, (2018).

En la tabla 15 se muestran los resultados promedio de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Octubre, tanto para metales totales como para metales disueltos se evaluó cobre, hierro, plomo, zinc, manganeso y mercurio; el muestreo en la poza 15 son elevados ya que el agua acida no pasa aun por tratamiento alguno, al pasar por el tanque rompedpresión y por dos clarificadores sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP. El pH ingresa ácido (pH=2.18), y sale básico (pH=9.04).

Tabla 16

Reporte de laboratorio representativo del mes de Noviembre.



REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO

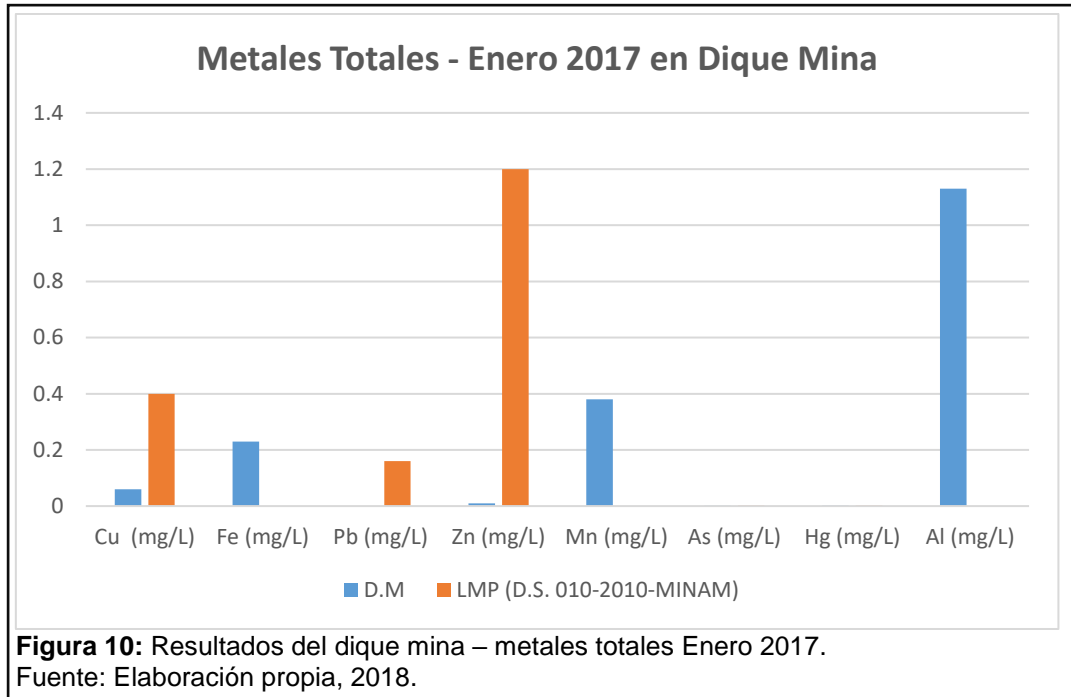
Muestras del día 30/11/2017 Hora :06:00 horas	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)			
POZA 15	171.16	4380.93	<0.01	31.20	63.16	19.223	0.0005	865.35	150.95	3880.01	<0.01	27.45	56.17	16.936	0.0003	765.69	2.54		
TK ROMPE PRESIÓN CL 2	0.08	1.23	0.01	0.01	0.04	0.016	<0.0002	3.15	0.04	0.01	0.01	<0.01	0.02	0.009	<0.0002	2.40	8.47		
CLARIFICADOR 2	0.06	1.45	0.01	0.01	0.12	0.008	<0.0002	2.71	<0.01	0.01	0.01	<0.01	0.09	0.006	<0.0002	2.14	9.70		
DIQUE MINA	0.15	0.65	0.01	0.05	0.49	0.0011	<0.0002	0.81	0.05	<0.01	0.01	0.01	0.48	0.007	<0.0002	0.39	8.15		
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)							6-9		

Fuente: Elaboración propia, (2018).

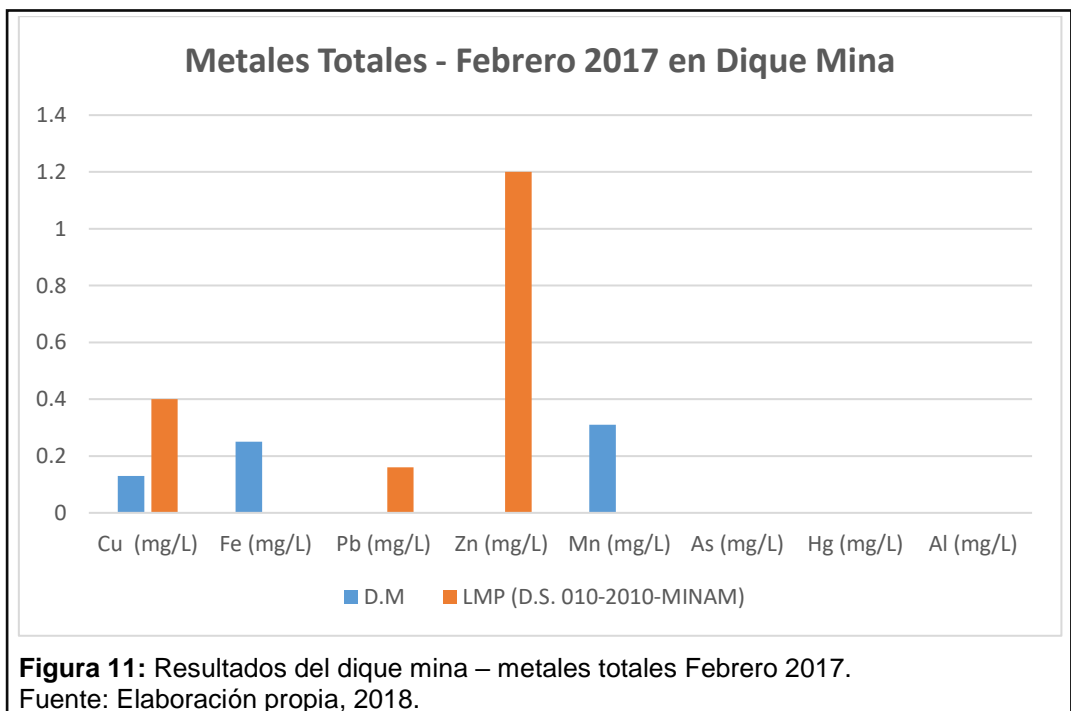
En la tabla 16 se muestran los resultados promedio de las concentraciones de metales pesados totales y disueltos del mes de Noviembre; el muestreo en la poza 15 son elevados ya que el agua acida no pasa aun por tratamiento alguno, al pasar por el tanque rompepresión y por un sólo clarificador sale de la planta el llamado drenaje mina (D.M) que no supera los LMP. El pH ingresa ácido (pH=2.54), y sale neutro (pH=8.15).

3.3. Contrastación de la hipótesis

El dique mina es el resultado de las aguas ácidas tratadas las cuales no deben superar los LMP.



Como se muestra en la figura 10 en el mes de enero no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



Como se muestra en la figura 11 en el mes de febrero no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.

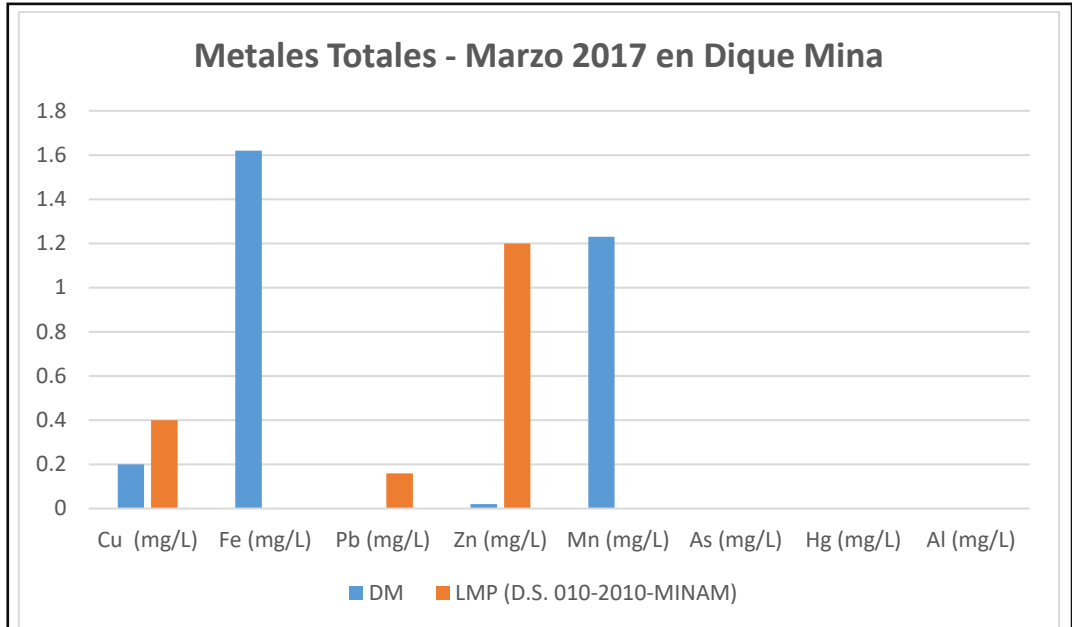


Figura 12: Resultados del dique mina – metales totales Marzo 2017.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se muestra en la figura 12 en el mes de marzo no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.

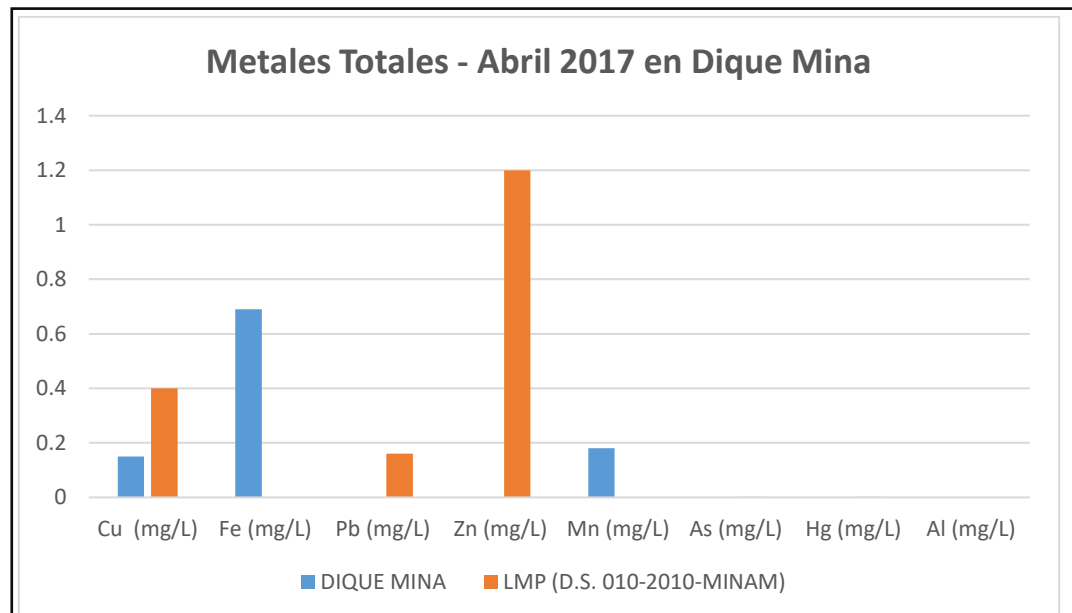
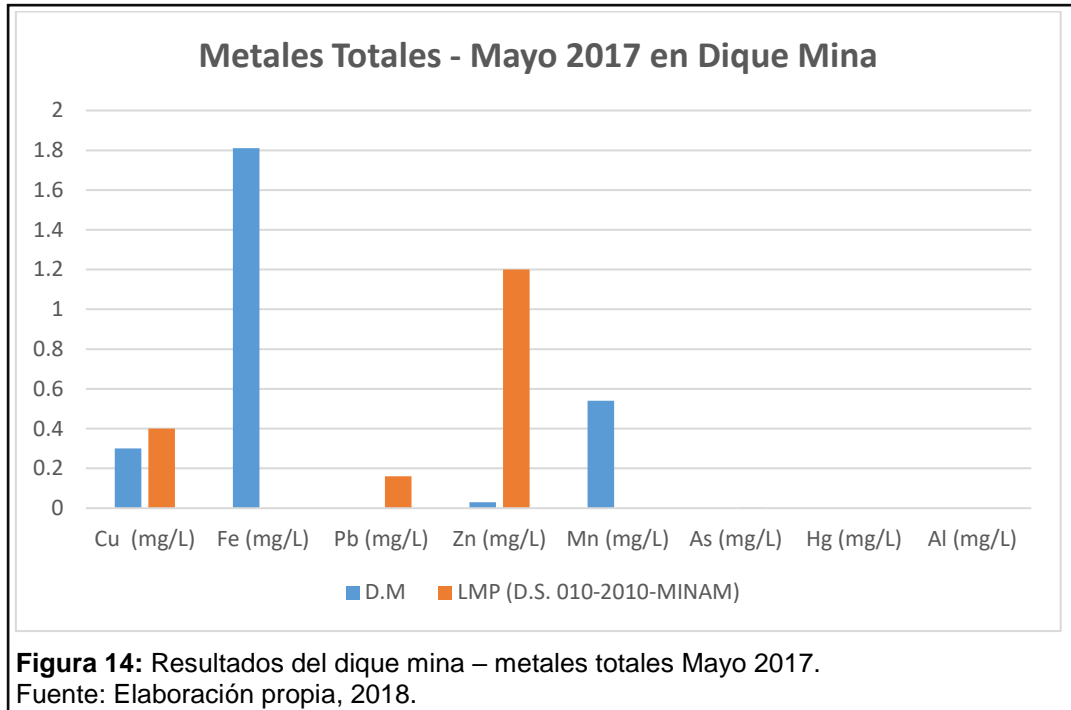
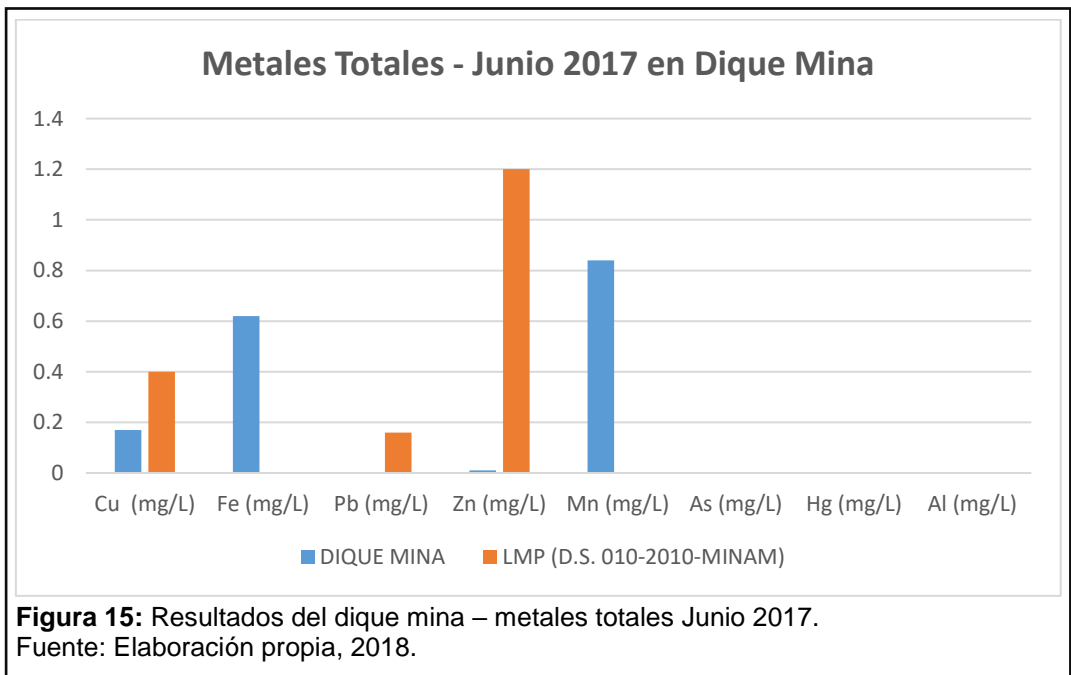


Figura 13: Resultados del dique mina – metales totales Abril 2017.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

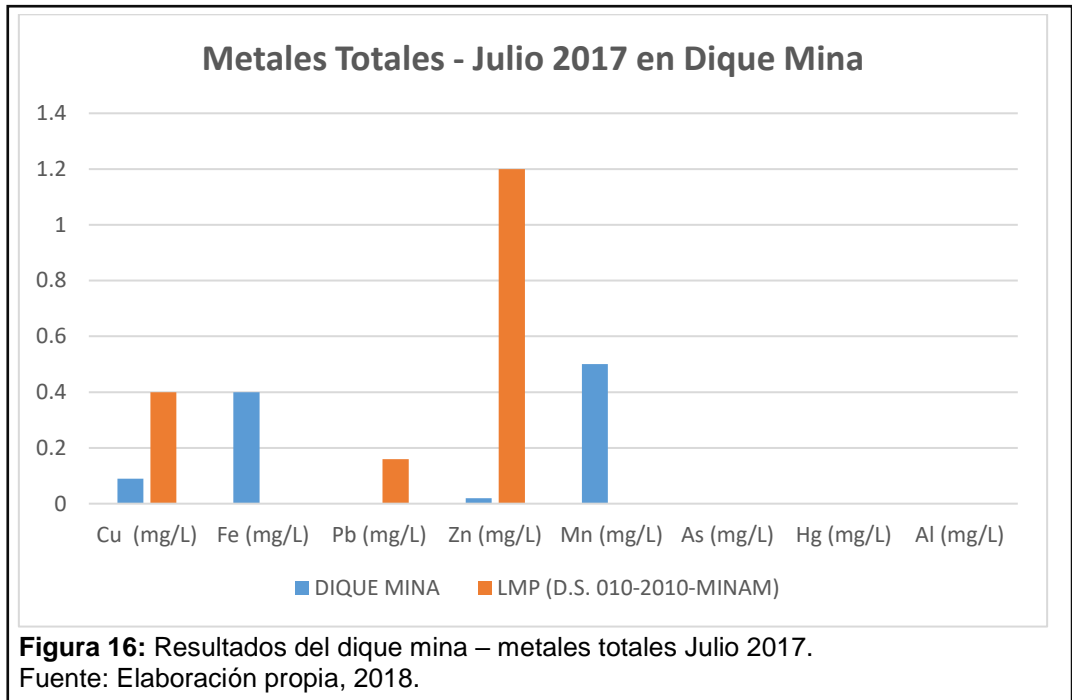
Como se muestra en la figura 13 en el mes de abril no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



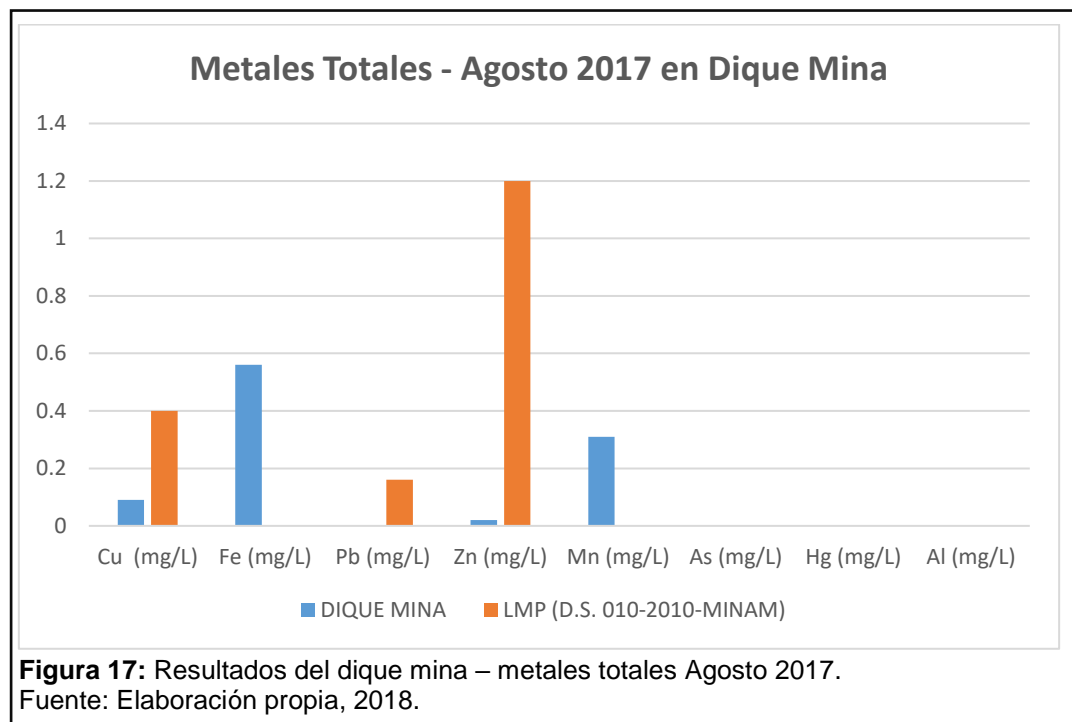
Como se muestra en la figura 14 en el mes de mayo no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



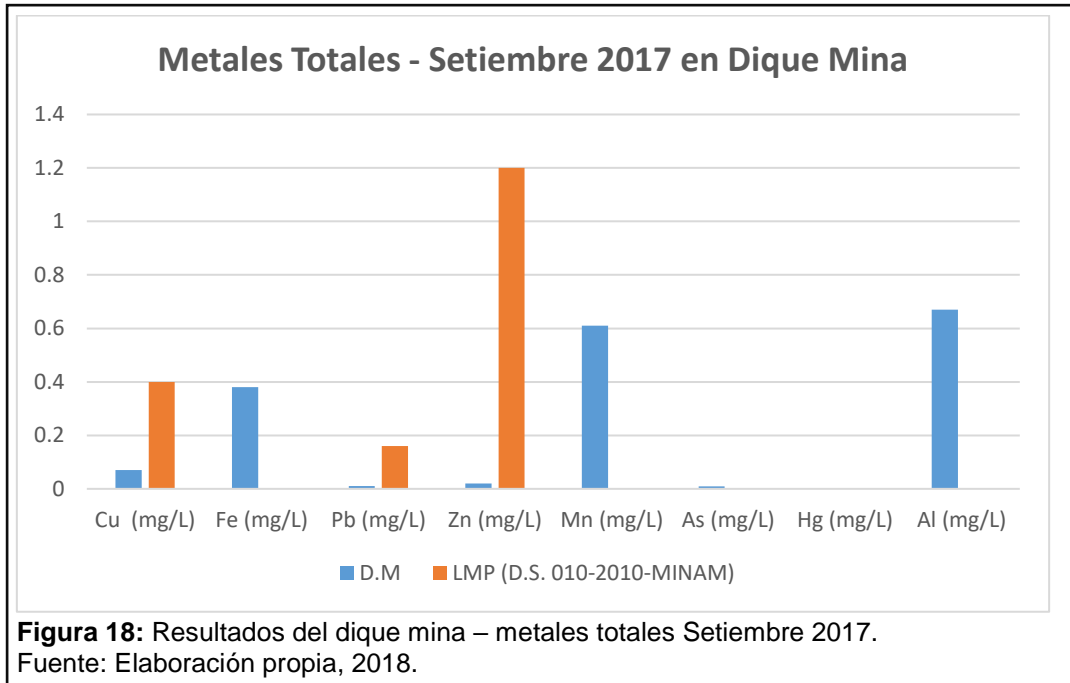
Como se muestra en la figura 15 en el mes de junio no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



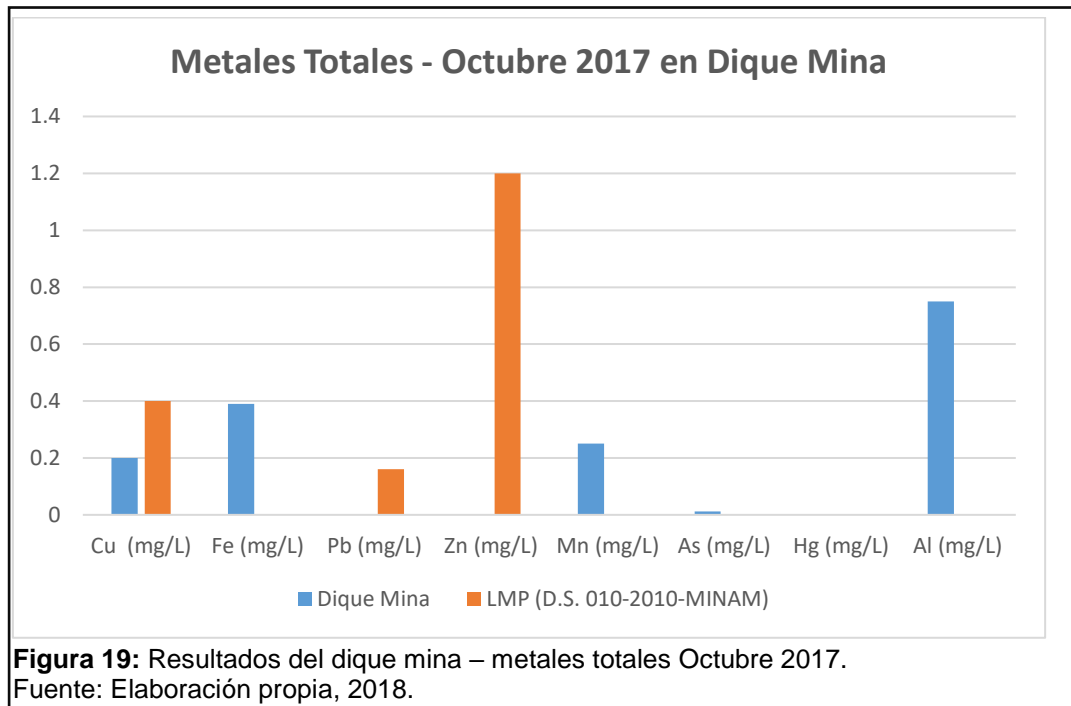
Como se muestra en la figura 16 en el mes de julio no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



Como se muestra en la figura 17 en el mes de agosto no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



Como se muestra en la figura 18 en el mes de setiembre no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.



Como se muestra en la figura 19 en el mes de octubre no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.

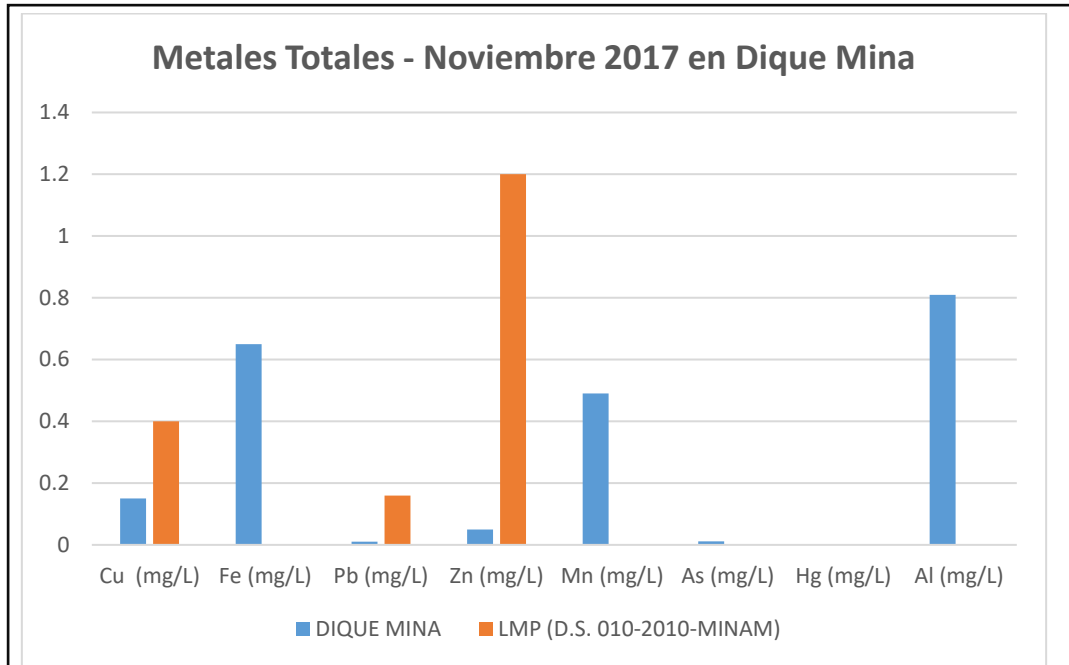


Figura 20: Resultados del dique mina – metales totales Noviembre 2017.
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Como se muestra en la figura 20 en el mes de noviembre no se superan los límites máximos permisibles establecidos por el estado peruano.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Herrera y Heredia, (2017), presentaron su tesis donde determinaron los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón, se realizó la técnica de Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. Época de Estiaje el parámetro Aluminio (Al) tuvo una concentración de 0.615 mg/L, y en Época Creciente una concentración de 0.086 mg/L. El parámetro Hierro (Fe) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 1.021 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 1.680 mg/L. El parámetro Plomo (Pb) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.004 mg/L. El parámetro Zinc (Zn) en Época de Estiaje tuvo una concentración de 0.06 mg/L; y en Época Creciente una concentración de 0.027 mg/L. Por lo tanto, el único metal que se encontró por encima de los ECAs en ambas épocas de monitoreo, fue el Fe.

En esta tesis igualmente se utilizó la espectrometría, a diferencia que en el antecedente se muestrea una cuenca y en esta tesis se muestrea en mina, en esta tesis a diferencia del antecedente se utilizó la absorción atómica, para determinar la concentración de metales pesados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San Pedro, se analizaron los metales totales y los metales disueltos. A comparación del antecedente de Herrera y Heredia ninguno de los metales pasó los límites máximos permisibles, asimismo se evidencia que en el antecedente no se le da ningún tipo de tratamiento a las aguas contaminadas en cambio en esta tesis pasan por una planta de tratamiento la cual disminuye considerablemente las concentraciones hasta por debajo de los LMP.

CONCLUSIONES

- Se determinó que hay concentración de metales pesados en la poza 15 producto la explotación del Tajo San Pedro, que aplican clarificadores para el tratamiento de aguas ácidas como producto de dicho tratamiento sale el dique mina, que no superan los límites máximos permisibles según la vigencia peruana.
- Se determinó la concentración de los metales (Cu, Fe, Pb, Zn, Mn) totales y disueltos por absorción atómica saliente de los tajos son altos, en metales totales se obtuvo cobre 127.53 mg/l, fierro 3247.54 mg/l, plomo <0.01 mg/l, zinc 20.83m/l, manganeso 43.13 mg/l y mercurio 0.0005. los metales disueltos saliente de los tajos en cobre es 121.24 mg/l, fierro 3028.54 mg/l, plomo <0.01 mg/l, zinc 19.60 mg/l, manganeso 41.2 mg/l y mercurio 0.0002 mg/l.
- La concentración de los metales en muestras líquidas por espectrometría de emisión atómica ICP, luego de pasar por el tanque rompepresión fueron: para metales totales cobre 0.05 mg/l, fierro 0.48 mg/l, plomo 0.01, zinc 0.07 mg/l, manganeso 3.95 mg/l, arsénico 0.003 mg/l, mercurio <0.0002 mg/l y aluminio 0.13. para cobre <0.01 mg/l, fierro <0.01 mg/l, plomo 0.01 mg/l, zinc 0.06 mg/l, manganeso 3.75 mg/l, arsénico 0.002 mg/l, mercurio <0.0002 mg/l y aluminio 0.03 mg/l.
- Los resultados de metales totales y disueltos salientes del dique mina comparados con los límites máximos permisibles son cobre 0.15 mg/l y su LMP 0.4, para plomo 0.01 mg/l y su LMP 0.16, para zinc 0.05 mg/l y su LMP 0.12, para mercurio <0.0002 y su LMP 0.0016, para fierro disuelto <0.01mg/l y su LMP 1.6. Con estos resultados concluimos que los resultados no superan los límites máximos permisibles que lo establece la normativa peruana.

RECOMENDACIONES

- La empresa minera La Zanja debe implementar una poza post-tratamiento para evaluar el comportamiento del agua tratada.
- La empresa minera La Zanja debe realizar el análisis de otros elementos químicos contaminantes tales como azufre y cloruros; y compararlos con los estándares de calidad ambiental.
- Minera Ma Zanja debe de realizar el estudio de aguas superficiales para conocer la concentración de metales pesados del Rio San Pedro en el caserío La Palma.
- La empresa minera La Zanja debe realizar un estudio de infiltración de aguas ácidas para determinar si hay contaminación de acuíferos, específicamente en el caserío El Cedro.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Almudena, A. (2014). *Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina*. (Tesis de pregrado). Universidad de Oviedo, Oviedo, España. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet>.
- Cueva, H. (2014). *Diseño de Experimentos en la Remoción de Metales Pesados en Aguas Residuales de la Industria Minera por Procesos de Coagulación con Sulfato Ferroso*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni>.
- Díaz, J. (2013). *Tratamiento Biológico como Alternativa para Disminuir el Impacto Ambiental Ocasionado por el Drenaje Ácido, Generado por la Actividad Minera en el Municipio de Marmato - Caldas*. (Tesis de Maestría). Universidad de Manizales, Caldas, Colombia. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui>.
- Flores, H. (2016). *Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas del río Grande y su relación con la actividad minera*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe>.
- González, L. (2014). *Determinación espectrofotométrica por absorción atómica de la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano de la comunidad urbana de Chuquitanta – Distrito de San Martín de Porres*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream>.
- Gunnar, N. (2015). *Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad*. (Estudio de investigación). Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos>.

- Heredia, M. (2015). *Remoción de Cadmio de Aguas Ácidas de Mina Utilizando un Reactivo Secuestrante*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni>.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6. D.F., México: McGRAW-HILL. Recuperado de <https://www.esup.edu.pe>
- Herrera, A., & Heredia, E. (2017). *Determinación de los niveles de concentración de metales pesados en la Cuenca Mashcón – Cajamarca, 2016*. (Tesis de pregrado), Universidad de Lambayeque, Perú. Recuperado de <http://repositorio.udl.edu.pe>
- Herrero, T. (2014). *Impacto de los Drenajes Ácidos en los Ecosistemas Acuáticos Producidos por la Minería del Carbón en el Bierzo: Bioacumulación de Metales Pesados y Evolución de las Comunidades Biológicas*. (Tesis Doctoral). Universidad de León, España. Recuperado de <https://buleria.unileon.es>
- Inga, I. (2014). *Tratamiento de efluentes por el metodo de pantanos artificiales (Wetland)*. (Tesis de maestría). Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería. Recuperado de <http://cybertesis.uni.edu.pe>
- Izquierdo, J., & Verástegui, S. (2016). *Concentración de Metales Pesados (As, Cd, Cr, Hg y Pb) en el Agua de la Cuenca Baja del Río Jequetepeque, en Relación a los Estándares de Calidad del Agua, Cajamarca - 2016*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú. Recuperado de <http://repositorio.upagu.edu.pe>
- López, A. (2013). *Papel de los constituyentes edáficos en la disponibilidad de metales pesados en suelos calcáreos de uso agrícola del área mediterránea*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de <http://eprints.ucm.es>

- Lozano, G. (2013). *Metales pesados: aportaciones al estudio toxicológico*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España. Recuperado de <ftp://tesis.bbtk.ull.es/ccppytec>.
- Luna, R. (2016). *Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (Solanum tuberosum) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta – Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <http://cybertesis.unmsm.edu.pe>.
- Maguiña, O. (2013). *Calidad y riesgos de los efluentes de la planta concentradora de minerales "Santa Rosa De Jangas" Huaraz Enero – Diciembre 2013*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú. Recuperado de <http://space.unitru.edu.pe>
- Montalván, R. (2014). *Los Drenajes De La Mina Pampamali S.A. En La Contaminación Del Riachuelo Ccochatay En El Distrito De Secclla • Huancavelica*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unh.edu.pe>.
- Nina, B. (2013). *Tratamiento de aguas acidas de mina por humedales artificiales*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Oruro Oruro, Bolivia. Recuperado de <http://dpicuto.edu.bo/tesis/carrera>.
- Pacheco, P. (2014). *Tratamiento químico y biológico de efluentes mineros cianurados a escala laboratorio*. (Tesis doctoral). Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador. Recuperado de <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php>
- Pesántez, J. (2014). *Estudio del Proceso de Depuración de Aguas Residuales Industriales Provenientes de Empresas Mineras*. (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec>

- Romero, A. (2014). *Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita*. (Revista de Investigación). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual>.
- Seijas, V. (2013). *Determinación de selenio en suero por espectrofotometría de absorción atómica*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de <http://biblioteca.ucm.es/tesis>
- Tejada, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la unidad operativa minera Santiago - B*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe>
- Toribio, C. (2017). *Remoción de plomo y zinc de los efluentes mineros provenientes de la Unidad Mallay aplicando micro-nanoburbujas de aire, 2017*. (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe>
- Vega, J. (2013). *Nivel de contaminación por metales pesados (Pb, Cu, Hg, As y Fe) en el río El Toro, distrito de Huamachuco*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, Huamachuco, Sánchez Carrión, La Libertad. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe>.
- Villar, F. (2014). *Caracterización de los niveles de metales pesados en efluentes industriales de la ciudad de Guayaquil*. (Proyecto de investigación). Universidad de Cuenca, Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec>.
- Zevallos, L. (2016). *Evaluación del porcentaje de Níquel recuperado proveniente de catalizador agotado del cracking de petróleo mediante lixiviación asistida por ultrasonido*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia.

ANEXO 2: Fotografías.

ANEXO 3: Instrumento de investigación: Ficha de reporte del laboratorio químico.

Anexo 1: Matriz de consistencia

“DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS ÁCIDAS SAN PEDRO EN MINERA LA ZANJA, PROVINCIA DE SANTA CRUZ, CAJAMARCA, 2018”

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO DE LA INVESTIGACION	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problema principal: ¿Cuál es la concentración de metales pesados en el sistema tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San Pedro, en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la concentración de metales pesados en el sistema de tratamiento de aguas ácidas producto de la explotación del tajo San Pedro, en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018.</p>	<p>Hipótesis general: La concentración de metales pesados de las aguas ácidas es alta de esta manera el efluente que sale al medio ambiente está contaminado, en la planta San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018.</p>	<p>Variable Independiente: - Determinación de metales pesados</p> <p>Variable dependiente: - Tratamiento de aguas ácidas</p>	<p>Tipo de investigación El tipo de estudio de esta investigación es mixta ya que usará datos y resultados de cantidades de concentración de metales y de calidades de aguas.</p> <p>Nivel de investigación Se utilizará la investigación secuencial ya que en una primera etapa se recolectan y analizan datos cuantitativos de concentración de metales pesados, y en una segunda fase se recaban y analizan las comparaciones con los estándares de calidad ambiental.</p> <p>Método de la investigación Se utilizará el método Derivativo. En esta modalidad la recolección y el análisis de los datos cuantitativos se hacen sobre la base de los resultados cualitativos.</p> <p>Diseño de investigación El diseño de la investigación será explicativo secuencial, ya que se caracteriza por una primera etapa en la cual se recaban y analizan datos cuantitativos, seguida de otra donde se recogen y evalúan datos cualitativos.</p> <p>Población La población de nuestro estudio, es de 50 litros de los efluentes mineros de la Planta de tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro, de minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, 2018.</p> <p>Muestra El tamaño de la muestra para la investigación fue de 10 litros para desarrollar el proceso experimental en laboratorio.</p>	<p>Técnicas de investigación Observación: Esta técnica se usó para identificar los puntos de muestreo que permitan su ubicación exacta en los muestreos futuros, de preferencia en la determinación de la ubicación, se utilizará el sistema de posicionamiento satelital (GPS), el mismo que registra en coordenadas UTM y en el sistema WGS84.</p> <p>Análisis documental: Se recopiló información concerniente al tema, los datos de campo se compararon con los límites máximos permisibles para finalmente representar el documento de tesis.</p> <p>Instrumentos de investigación El instrumento que se utilizó para la técnica de análisis de laboratorio fue la ficha de registros de análisis de laboratorio químico.</p>
<p>Problemas secundarios: - ¿Cuál es la concentración de los metales totales determinados por absorción atómica para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018? - ¿Cuál es la concentración de los metales disueltos determinados con espectrometría de emisión atómica ICP para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018? - ¿Cuál es el análisis de los resultados de metales totales y disueltos con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes líquidos para el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018?</p>	<p>Objetivos específicos: - Determinar la concentración de los metales totales por absorción atómica para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018. - Determinar la concentración de los metales disueltos por espectrometría de emisión atómica ICP para el tratamiento de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018. - Analizar los resultados de metales totales y disueltos con respecto a los límites máximos permisibles para efluentes líquidos para el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, provincia de Santa Cruz, región Cajamarca, en el año 2018.</p>	<p>Hipótesis secundarias: - La concentración de los metales totales determinados por absorción atómica son altos niveles y presenta efectos negativos, por ello es necesario el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, en el año 2018. - La concentración de los metales disueltos por espectrometría de emisión atómica ICP es alta por eso se propondrá el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, en el año 2018. - Los resultados de metales totales y disueltos no superan los límites máximos permisibles para efluentes líquidos con el tratamiento adecuado de aguas ácidas del tajo San Pedro en minera La Zanja, en el año 2018.</p>			

Anexo 2: Fotografías



Figura 21: Equipo de absorción atómica en minera La Zanja.



Figura 22: ICP en minera La Zanja.

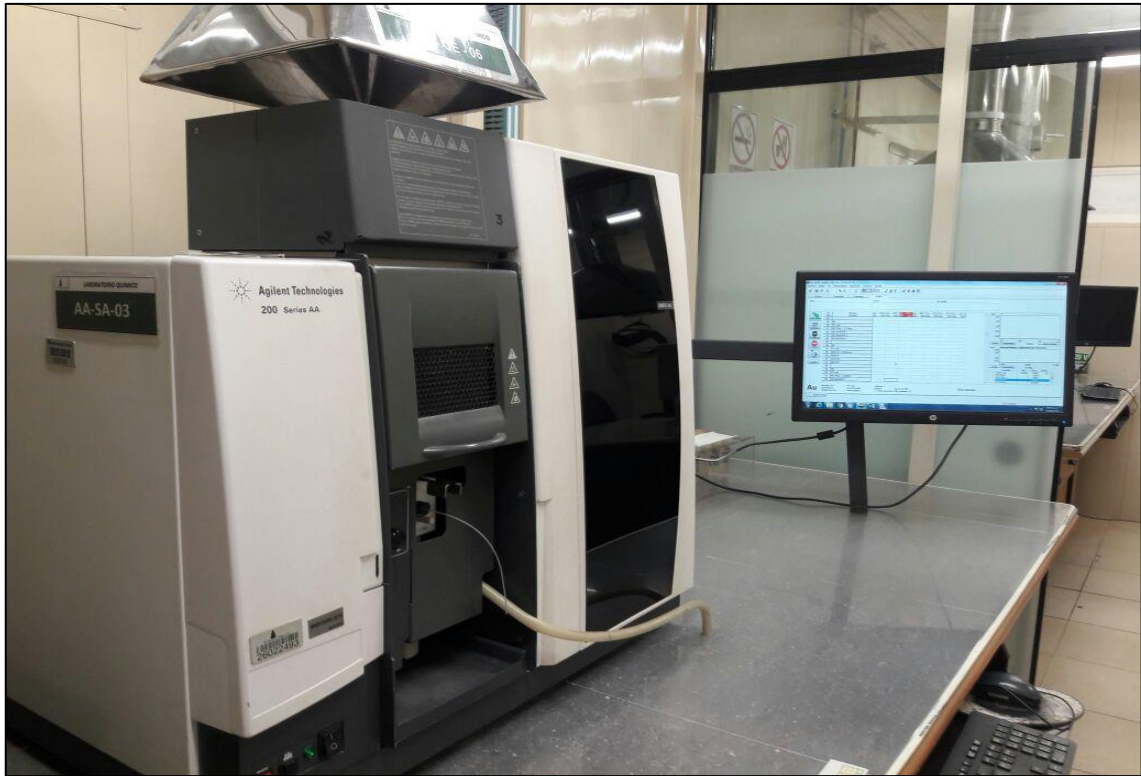


Figura 23: Muestreo ICP.



Figura 24: Colocación de muestras en absorción atómica.



Figura 25: Muestreo con ICP del agua de drenaje ácido.



Figura 26: Proceso ICP.



Figura 27: Paso de datos desde máquina de ICP.



Figura 28: Máquina de ICP.



Figura 29: Diseño de la planta de tratamiento de aguas ácidas San Pedro.



Figura 30: Laboratorio de la planta de tratamiento de aguas ácidas San Pedro.



Figura 31: Muestreo de la Poza 15 en el tajo San Pedro.



Figura 32: Muestreo en el tanque rompepresión de la planta San Pedro.



Figura 33: Clarificador 1 de la planta San Pedro.



Figura 34: Verificación del encendido de los equipos en la planta San Pedro.



Figura 35: Clarificador 2 de la planta San Pedro.



Figura 36: Drenaje mina saliente de la planta San Pedro.

Anexo 3: Ficha de reporte de laboratorio químico

Esta ficha sirve para tomar los tomar las concentraciones de metales pesados en la planta de tratamiento de aguas ácidas San Pedro.

Tabla 17

Ficha de toma de datos en campo.

	<h2>REPORTE DE LABORATORIO QUIMICO</h2>
---	---

FECHA:

Hora de recepción:

PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS ACIDAS-SAN PEDRO																				
Puntos de Muestreo	METALES TOTALES								METALES DISUELTOS								pH	CN WAD (g/m3)	CN TOTAL (g/m3)	
	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Al (mg/L)				
POZA 15																				
POZA 16																				
CLARIFICADOR 1																				
TK ROMPE PRESIÓN 02																				
CLARIFICADOR 2																				
DIQUE MINA																				
LMP (D.S. 010-2010-MINAM)	0.4		0.16	1.2		0.002	0.0016			1.6 (*)								6-9		

