

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN

ESCUELA DE POSTGRADO



**EFFECTO DEL SULFATO FERROSO EN LA
CALIDAD DEL EFLUENTE INDUSTRIAL
CIANURADO DE LA EMPRESA MINERA
AURÍFERA RETAMAS S.A. 2018**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE
MAGISTER EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE**

MENCION GESTIÓN AMBIENTAL

TESISTA: CABRERA MONTALVO ABRAHAMS MOISES

ASESOR: RUBEN ROJAS PORTAL

HUANUCO – PERU

2018

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres quienes siempre me apoyaron y quienes se sacrificaron para darme una educación, a mis hermanos quienes son el motivo a realizar esta Maestría, y a quienes me ayudaron a conseguir los materiales y bibliografías.

AGRADECIMIENTO

A mis padres:

Que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona y a luchar por lo que quiero, gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar una gran meta. Los quiero mucho.

A mis hermanos:

Gracias por su apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.

A la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión:

Mi alma mater, por brindarme información, referencias bibliográficas, el área de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y todas las facilidades posibles para realizar la presente Tesis.

RESUMEN

La presente tesis intitulada “Efecto del Sulfato Ferroso en la Calidad del Efluente Industrial Cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018” se realizó en el Anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, región de La Libertad y tiene por objetivo determinar el efecto del sulfato ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. Y así dar una solución a la pérdida de la carga de agua. Con este fin, la pregunta de investigación es la siguiente: ¿Cuál será el efecto del sulfato ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado? y ¿Cuál será la concentración óptima de sulfato ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles? La pregunta de investigación se responde a través de un experimento que implica añadir diferentes concentraciones de sulfato ferroso en distintas relaciones en peso a seis muestras del efluente, analizando diferentes parámetros para evaluar la calidad del agua. Las respuestas recibidas muestran que sí hay un efecto positivo del sulfato ferroso en el efluente, y así, estando dentro de los Límites Máximos Permisibles. Se recomienda que las mineras auríferas implementen un tratamiento a sus efluentes, para evitar la pérdida de carga y calidad del agua. Se podrían realizar investigaciones adicionales para identificar otra metodología y/u otro diseño de planta a nivel laboratorio para los tratamientos.

Palabras Claves: Lixiviación, Cianuro, Sulfato Ferroso, Límites Máximos Permisibles.

ABSTRACT

The present thesis entitled "Effect of Ferrous Sulphate on the Quality of the Effluent Industrial Cyanurado of the Minera Aurífera Retamas S.A. 2018 "was carried out in the Annex of Llacuabamba, district of Parcoy, province of Pataz, La Libertad region, and its objective is to determine the effect of ferrous sulphate on the quality of the cyanide-treated industrial effluent at the Minera Aurífera Retamas S.A. And so give a solution to the loss of water load. To this end, the research question is as follows: What will be the effect of ferrous sulfate on the quality of the industrial cyanide effluent? and What will be the optimum concentration of ferrous sulphate for the quality of the cyanide industrial effluent to be within the Maximum Permissible Limits? The research question is answered through an experiment that involves adding different concentrations of ferrous sulphate in different weight ratios to six samples of the effluent, analyzing different parameters to evaluate the quality of the water. The responses received show that there is a positive effect of ferrous sulfate in the effluent, and thus, being within the Maximum Permissible Limits. It is recommended that gold miners implement a treatment to their effluents, to avoid the loss of cargo and water quality. Additional research could be conducted to identify another methodology and / or other plant design at the laboratory level for the treatments.

Key Words: Leaching, Cyanide, Ferrous Sulfate, Maximum Permissible Limits.

INTRODUCCIÓN

La finalidad del trabajo de investigación es disminuir la concentración de cianuro total de los vertimientos realizados por la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A, mediante Sulfato Ferroso y determinar su concentración óptima mediante los análisis y tratamientos realizados a seis muestras, con lo cual poder solucionar el problema de la contaminación del Efluente Industrial Cianurado cumpliendo los Límite Máximo Permisible establecidos en el D.S. No. 010-2010-MINAM. Para el tratamiento del presente estudio se ha utilizado el sulfato ferroso, por referencias bibliográficas, el fácil uso, control, rapidez y costos accesibles. Las aguas post tratamiento pueden ser vertidas a un cuerpo receptor (ríos y lagunas) sin generar impactos significativos al ambiente.

En el presente trabajo titulado: “Efecto del Sulfato Ferroso en la Calidad del Efluente Industrial Cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018” para su mejor comprensión y análisis se ha organizado en cinco capítulos. El primer capítulo se presenta la descripción del problema, los objetivos y las hipótesis. También las variables, la justificación, viabilidad y limitaciones. El segundo capítulo se ocupa de los antecedentes, bases teóricas y las definiciones conceptuales. Se tratan aspectos como el uso del cianuro para la obtención del oro, los problemas ambientales producidos por la falta de carga y calidad de la Cuenca Rio Parcoy. Se describe también las características del Cianuro y Sulfato Ferroso. En el tercer capítulo se aborda el tipo, diseño y esquema de investigación. Como también la población y muestra, instrumentos de recolección de datos, técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos. En el cuarto capítulo se ofrece la presentación de los resultados, contrastando las hipótesis secundarias. El quinto capítulo se presenta la contrastación de la hipótesis general; siguiendo con las conclusiones y sugerencias de esta tesis.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	iv
SUMMARY	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
1.1 Descripción del Problema	12
1.2 Formulación del Problema	14
1.3 Objetivos	14
1.4 Hipótesis	15
1.5 Variables	16
1.6 Justificación	16
1.6.1 Aspectos Teóricos	16
1.6.2 Aspecto Social	16
1.6.3 Aporte Metodológico	17
1.7 Viabilidad	18
1.8 Limitaciones	18
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	19
2.1 Antecedentes	19
2.2 Bases Teóricas	20
2.2.1 Sulfato Ferroso	20
2.2.2 Cianuro	23
2.2.3 Calidad del Efluente Industrial Cianurado	36
2.2.4 Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.	42
2.2.5 Límites Máximos Permisibles	55
2.3 Definiciones Conceptuales	56
2.4 Marco Legal	57
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO	58
3.1 Tipo de Investigación	58
3.2 Diseño y Esquema de Investigación	58
3.3 Población y Muestra	60
3.4 Definición Operativa del Instrumento de Recolección de Datos	68
3.5 Técnicas de Recojo, Procesamiento y Presentación de Datos	70
CAPITULO IV: RESULTADOS	72

4.1 Análisis de los resultados	72
4.1.1. Concentración del pH y de los Cianuros Metálicos Complejos	74
4.1.2. Monitoreo de los Parámetros Físicos de los Vertimientos que realiza la Empresa Minera Auríferas Retamas S.A.	77
4.1.3. Contrastaciones De Las Hipótesis Específicas	79
CAPITULO V: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	92
CONCLUSIONES	98
SUGERENCIAS	99
BIBLIOGRAFÍA	100
ANEXOS	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Anexo A

FIGURA 1. Vista microscópica de los cristales de cianuro (17)	
FIGURA 2. Producción mundial de cianuro utilizada en minería (17)	
FIGURA 3. Distribución geográfica de minas que utilizan cianuro.	
FIGURA 4. Proceso para la obtención del oro (17)	
FIGURA 5. Relación entre HCN y CN ⁻ en función del pH (21)	
FIGURA 6. Complejos de Cianuro (11)	
FIGURA 7. Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.	
FIGURA 8. Disposición de relaves	
FIGURA 9. Río Parcoy	
FIGURA 10. Quebradas del Río Parcoy	
FIGURA 11. Vertimiento del Efluente Industrial Cianurado	
FIGURA 12. Laguna Blanca	
FIGURA 13. Planta a nivel de laboratorio para realizar la investigación	
FIGURA 14. Puntos de Muestro	
FIGURA 15. Cianuro Total antes del Tratamiento.	
FIGURA 16. Tratamiento del Efluente Industrial Cianurado.	
FIGURA 17. Tratamiento del Efluente Industrial Cianurado.	
FIGURA 18. pH-meter	
FIGURA 19. Carbón Activado	
FIGURA 20. Cianuro Total Después del Tratamiento	74
FIGURA 21. Temperatura	77
FIGURA 22. TDS.	77
FIGURA 23. Oxígeno Disuelto.	78
FIGURA 24. Conductividad Eléctrica.	78
FIGURA 25. Turbidez	79
FIGURA 26. Comparación del Cianuro Pre y Post Tratamiento	93
FIGURA 27. Comparación del Hierro Pre y Post Tratamiento	95
FIGURA 28. Comparación del Cobre Pre y Post Tratamiento	95
FIGURA 29. Comparación del Cinc Pre y Post Tratamiento	96
FIGURA 30. Comparación del pH Pre y Post Tratamiento	97

ÍNDICE DE CUADROS

Anexo B

CUADRO 1. Concentración de cianuro de fondo en determinadas plantas.	
CUADRO 2. Ubicación del punto de muestreo E1	62
CUADRO 3. Ubicación del punto de muestreo E2	63
CUADRO 4. Ubicación del punto de muestreo E3	64
CUADRO 5. Ubicación del punto de muestreo E4	65
CUADRO 6. Ubicación del punto de muestreo E5	66
CUADRO 7. Ubicación del punto de muestreo E6	67
CUADRO 8. LMP para Descargas de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas	
CUADRO 9. Concentración de Cianuro Total en el Efluente Industrial Cianurado de la Empresa Aurífera Retamas S.A	72
CUADRO 10. Concentración de Cianuro Total en el Efluente Industrial Cianurado de la Empresa Aurífera Retamas S.A	73
CUADRO 11. Concentración del pH	74
CUADRO 12. Concentración del Hierro	75
CUADRO 13. Concentración del Cobre	75
CUADRO 14. Concentración del Cinc	76
CUADRO 15. Concentración del Plomo	76
CUADRO 16. Resumen de procesamiento de casos	80
CUADRO 17. Pruebas de normalidad	80
CUADRO 18. Descriptivos	80
CUADRO 19. Normalidad	81
CUADRO 20. Estadísticas de muestras emparejadas	81
CUADRO 21. Correlaciones de muestras emparejadas	81
CUADRO 22. Prueba de Muestras Emparejadas	82
CUADRO 23. Verificación de la Hipótesis	82
CUADRO 24. Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes Líquidos de actividades minero – metalúrgicas	83
CUADRO 25. Resumen de procesamiento de casos	83
CUADRO 26. Descriptivos	83
CUADRO 27. Pruebas de normalidad	84
CUADRO 28. Normalidad	85

CUADRO 29. Estadísticas de muestras emparejadas	85
CUADRO 30. Correlaciones de muestras emparejadas	85
CUADRO 31. Prueba de Muestras emparejadas.	85
CUADRO 32. Verificación de la Hipótesis	85
CUADRO 33. Resumen de procesamiento de casos	86
CUADRO 34. Descriptivos	86
CUADRO 35. Pruebas de normalidad	87
CUADRO 36. Normalidad	87
CUADRO 37. Estadísticas de muestras emparejadas	87
CUADRO 38. Correlaciones de muestras emparejadas	87
CUADRO 39. Prueba de Muestras emparejadas.	88
CUADRO 40. Verificación de la Hipótesis	88
CUADRO 41. Resumen de procesamiento de casos	88
CUADRO 42. Descriptivos	88
CUADRO 43. Pruebas de normalidad	89
CUADRO 44. Normalidad.	89
CUADRO 45. Estadísticas de muestras emparejadas	90
CUADRO 46. Correlaciones de muestras emparejadas	90
CUADRO 47. Prueba de Muestras Emparejadas	90
CUADRO 48. Verificación de la Hipótesis.	90
CUADRO 49. Estadísticas de muestra única	90
CUADRO 50. Prueba de Muestra Única	91
CUADRO 51. Verificación de la Hipótesis	91
CUADRO 52. Comparación del Cianuro pre y Post Tratamiento	92
CUADRO 53. Prueba de Muestras Emparejadas	93
CUADRO 54. Verificación de la Hipótesis	93
CUADRO 55. Matriz de Consistencia	110
CUADRO 56. Resultados de Análisis	111

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del Problema

Para la extracción de oro con una mayor pureza y cantidad por tonelada de mineral de roca, se utiliza actualmente el procedimiento de lixiviación por cianuro de sodio. El cianuro de sodio es una sustancia química industrial con un precio bajo favorable por las empresas auríferas para la obtención del oro. El procedimiento se realiza en la planta concentradora, donde básicamente el cianuro de sodio se disuelve en grandes cantidades de agua y en condiciones ligeramente oxidantes, disuelve el oro contenido en el mineral.

La Planta Concentradora de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. tiene una capacidad de mineral de 1 800 Toneladas Métricas Secas (dmtu) por día, trabajando ininterrumpidamente 24 horas al día, los 365 días del año (1). El oro se obtiene de minerales que contienen entre 0,5 y 13,7 g/ton de roca (2), por lo cual al día la Empresa Minera extrae entre 13,23 a 24,66 kg de oro. Una tonelada de cianuro tiene un precio aproximadamente de US \$ 1 500 y extrae un promedio de hasta 6 kg de oro cuyo precio en el mercado es de aproximadamente de US \$ 58 500, lo que significa una relación de precios muy convenientes (2).

Para obtener esta cantidad de oro la Empresa Minera emplea 225 kg de cianuro de sodio disuelta en 225 000 litros de agua diarios, cuya solución es calentada a una temperatura aproximada de 21 °C (3).

A la par el cianuro es una sustancia química sumamente tóxica, para la salud y el medio ambiente, así formando un gran problema para el desarrollo socio-ambiental, ya que estas aguas cianuradas ya no pueden ser vertidas a los cuerpos

receptores por que sobrepasan los Límites Máximos Permisibles de 1 mg/L que determina el D.S. N° 010-2010-MINAM (4). Y así procediendo a la pérdida de la carga hídrica de los cuerpos de aguas que abastecen a la empresa aurífera.

Al mes la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. utiliza 6 750 000 litros de agua al mes obtenidas de la parte alta de la Cuenca Rio Parcoy, (anexo de Llacuabamba, distrito de Parcoy, provincia de Pataz, departamento de La Libertad), exactamente de la Laguna Blanca, que es abastecedora principal de la cuenca con la quebrada Mush Mush Alto (5). La Laguna Blanca tiene 1,88 Km² (188 hectáreas), con una capacidad aproximada de 1 880 millones de Litros de agua, un 40 % de la laguna está prácticamente seca, por lo que afecta directamente con la carga y calidad de la Cuenca Rio Parcoy y a los centros poblados de Parcoy, Retamas, Llacuabamba y Pías, que utilizan estas aguas cianuradas para regadío de su segunda actividad con mayor ingreso económico, la agricultura, de los cuales destacan los cultivos de papa, maíz, haba, arvejas, oca, quinua, cebada, etc.

El 29 de Mayo del 2013 el OEFA sancionó con 20 UIT's a La Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. Porque en el 2009 ocurrió un derrame de pulpa de relave minero directamente en la quebrada Mush Mush, al no haber construido el canal de contingencia de derrames en un tramo de aproximadamente 300 metros lineales y no haber adoptado medidas que eviten o impidan el impacto (6). En el 2016 la Empresa Minera presentó su Primer Informe Técnico Sustentatorio (ITS) con el fin de obtener los permisos para ampliar su producción a 2 160 toneladas métricas diarias, cifra que representaría un incremento del 20% en relación a su capacidad actual, con lo cual se necesitaría una mayor cantidad de agua para el proceso de lixiviación (7).

Esta problemática de la Cuenca del Rio Parcoy trae un desbalance y fracturación del Desarrollo Sostenible que se busca en el transcurso de la Maestría de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Mención Gestión Ambiental.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General:

¿Cuál será el efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. 2018?

1.2.2. Problemas Específicos:

- 1) ¿Cuál es el efecto de la concentración 1 (E1) a la concentración 6 (E6) de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total en el efluente industrial cianurado de la empresa minera Auríferas Retamas S.A.?
- 2) ¿Cuál será concentración óptima del Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

Determinar el efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. 2018

1.3.2. Objetivos Específicos:

- 1) Establecer los efectos de la concentración 1 (E1) a la concentración 6 (E6) de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total en el efluente industrial cianurado de la empresa minera Auríferas Retamas S.A.
- 2) Calcular la concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis General:

Hi: Sí, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A entonces las aguas industriales tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.

Ho: No, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A entonces las aguas industriales no tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.

1.4.2. Hipótesis Específicos:

1) **Hi1:** Sí, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas industriales tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.

Ho1: No, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas residuales no tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.

2) **Hi2:** Sí, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

Ho2: No, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

1.5. Variables

1.5.1. Variable Independiente:

- Sulfato Ferroso.

1.5.2. Variable Dependiente:

- Calidad del efluente industrial cianurado.

1.6. Justificación

1.6.1. Aspectos Teóricos:

Las empresas enfocadas en minerales auríferos utilizan el proceso de lixiviación por cianuro para la extracción de oro a una mayor pureza y cantidad por tonelada de mineral de roca, pero este proceso ha sustituido a la recuperación del oro mediante el mercurio, cuyo procedimiento era adherirse al oro formando un amalgama que facilitaba la separación de la rocas o piedras en las que se encontraban, luego procedían a calentar la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. Es de esperar que este procedimiento al igual que la lixiviación por cianuro traen muchos problemas ambientales, más para al recurso hídrico, pero a su vez es muy rentable para las empresas mineras ya que una tonelada de cianuro tiene un precio aproximadamente de US \$ 1 500 y extrae un promedio de hasta 6 kg de oro cuyo precio en el mercado es de aproximadamente de US \$ 58 500, lo que significa una relación de precios muy convenientes (2).

1.6.2 Aspecto Social:

El agua es el componente principal para el desarrollo de las diferentes actividades que realiza el hombre, en las partes bajas de la captación del agua para las actividades mineras, como: cultivos de plantas en el sector agrario y la crianza de ovinos y camélidos en el sector ganadero, los cuales generan el ingreso económico a las poblaciones adyacentes. Es por ello que la calidad y carga del agua sean óptimas para el riego y bebida de animales, en cuanto a sus parámetros (Cualquier elemento, sustancia o propiedad física, química o biológica del efluente líquido de actividades mineras-metalúrgicas que define su calidad) (4) establecidos por el D.S. N° 010 – 2010 – MINAM.

La calidad del agua destinada al riego de plantas como frutales, legumbres, cereales entre otros, necesita satisfacer un patrón de calidad. En tal sentido, no debe contener sustancias como el cianuro y metales pesados que son tóxicos para el suelo y las plantas (8).

Las personas son afectadas por el agua de diferentes maneras ya sea directa o indirectamente y se generan muchas enfermedades, las diarreas, son el principal síntoma de gran parte de las enfermedades transmitidas por el agua; los microorganismos causantes de las enfermedades pueden entrar a nuestro cuerpo por vías como la boca, nariz, esto hace que se generen infecciones.

Lo que se busca es un desarrollo sostenible ya que las empresas mineras es un gran ingreso económico a la sociedad pero respetando el medio ambiente. Por lo cual se propone el tratamiento de estas aguas cianuradas mediante el sulfato ferroso, para cumplir el valor límite permisible de cianuro total establecido por el D.S No. 010-2010-MINAM (4), y hacer que este recurso hídrico post tratamiento pueda ser vertido a un cuerpo receptor sin ningún problema ambiental, y así no afectar la carga ni la calidad de los cuerpo de agua.

1.6.3. Aspecto Metodológico:

La metodología utilizada para cumplir el valor límite permisible de cianuro total fue basada en el análisis de los resultados de la calidad del efluente industrial cianurado post tratamiento con diferentes concentraciones de Sulfato Ferroso, y así calcular la concentración óptima de ella.

Se diseñó un mecanismo a nivel laboratorio para el tratamiento del efluente industrial cianurado para recuperar la calidad y carga de los cuerpos de agua, con un estudio longitudinal por la medición en dos ocasiones de la variable del estudio.

Los procedimientos, metodología, y resultados se presentan aquí como una herramienta de apoyo para una futura implementación para favorecer el recurso hídrico y cumplir los Límites Máximos Permisibles establecidos por el D.S. N° 010 – 2010 – MINAM (4).

1.7. Viabilidad

Es viable económica por los bajos costos de los insumos utilizados, y es ambientalmente factible, el factor “tiempo” no es un problema ya que los estudios se realizaran máximo en tres meses, contando con un laboratorio y equipos para tomar todos los datos, experimentación, demostración y la muestra de resultados.

1.8. Limitaciones

No se presentaron ninguna limitación en el desarrollo de la presente Tesis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Alarcón Garay (10) "Proyecto para la instalación de un planta de destrucción de cianuro eliminación de metales en efluentes cianurados procedentes del tratamiento de minerales sulfurados". Objetivo: Determinar el nivel de destrucción de cianuros y metales alcanzados con el reactivo sulfato ferroso monohidratado calidad-1, seguido de peróxido de Hidrogeno (50%), aplicado a nivel industrial. Conclusión: En relación al cianuro total la cinética de destrucción de este método acido de Caro es rápida y solo demora horas, pero no tienen el mismo efecto para los metales pesados llegar a 1,384 ppm de hierro y cianuro total a 0,82 ppm, indica que los complejos de hierros son los que predominan en este proceso.

En el caso de la prueba final con sulfato ferroso monohidratado se llegó hasta 61,2 ppm de cianuro total y 18,08 ppm de hierro, esto indica que no hubo una buena agitación debido al equipo con que se trabajó, si se hubiera dado el caso de que el hierro sea 1 ppm, entonces se podría asegurar este valorar obteniendo de 61,2 ppm.

Si el hierro es insoluble y se encuentra en el estado Fe^{+3} precipitará en el rango de pH 5,5 – 8,9, si esta como ion soluble ferroso Fe^{+2} , se tiene que hacer insoluble volviéndolo a Fe^{+3} por oxidación o elevando el pH a 12.

Mamani Endara (11) "Implementación de procesos de destrucción de cianuro con sulfato ferroso y peróxido de hidrogeno". Objetivo: Encontrar un(os) proceso(s) viable(s) y económicamente factible para la degradación de cianuro y metales contaminantes de las distintas soluciones presentes en la unidad minera en estudio. Estudiar los procesos seleccionados para el tratamiento: condiciones óptimas,

estabilidad de los precipitados, elementos residuales por el tratamiento, etc. Conclusión: El proceso con sulfato ferroso acompleja al cianuro libre; sin embargo a condiciones óptimas del proceso (pH=5.5-6.5) un porcentaje de los complejos débiles disociables en ácido se disocian en cianuros libres que a su vez son acomplejados a ferrocianuros insolubles, en la práctica el pH queda determinado por el sulfato ferroso (es de esta manera la cual se optimizó el proceso en esta investigación), es necesario profundizar la investigación buscando disminuir el consumo de sulfato ferroso adicionando algún ácido.

Condori Ccoillo, Díaz Inocente (12) “Proceso de detoxificación de soluciones cianuradas usando el método Inco en efluentes mineros”. Objetivos: Realizar pruebas de detoxificación de cianuro variando ampliamente los principales parámetros de operación (dosificación de solución de bisulfito, pH y dosificación de solución sulfato de cobre pentahidratado) para determinar su rango óptimo. Conclusiones: El proceso INCO por presentar una cinética más rápida se presenta como una gran alternativa para el proceso de detoxificación ya que al trabajar con mayores flujos de destrucción permiten afrontar el desbalance hídrico generado en planta y a su vez una reducción en los costos de destrucción en un 44% por metro cúbico, cumpliéndose con los límites máximos permisibles de cianuro normados por el Ministerio de Energía y Minas, R.M. N° 011-96 EM/VMM Niveles Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos de las Actividades Minero Metalúrgicas (13).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Sulfato Ferroso:

El sulfato de hierro es un compuesto químico inorgánico perteneciente al grupo de las oxisales. Es cualquier sustancia iónica formada a partir de hierro metálico y ácido sulfúrico.

Dependiendo del estado de oxidación del hierro, puede tratarse de:

- Sulfato de hierro (II), FeSO_4 , antes llamado sulfato ferroso.
- Sulfato de hierro (III), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, antes llamado sulfato férrico (14).

El sulfato de hierro (II) es un compuesto químico iónico de fórmula (FeSO_4). También llamado sulfato ferroso, caparrosa verde, vitriolo verde, vitriolo de hierro, melanterita o Szomolnokita, el sulfato de hierro(II) se encuentra casi siempre en forma de salheptahidratada ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), de color azul-verdoso (14)

- Nomenclatura sistemática: tetraoxosulfato (VI) de hierro.
- Nomenclatura stock: sulfato de hierro (II).
- Nomenclatura tradicional: sulfato ferroso.
- Tipo de compuesto: oxisales.

Forma anhidra e hidratos

El sulfato de hierro (II) puede encontrarse en varios estados de hidratación, y varias formas de estas existen en la Naturaleza (14):

- $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (mineral: szomolnokita).
- $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.
- $\text{FeSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mineral: siderotilo).
- $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (mineral: melanterita).

A 90 °C, el heptahidrato pierde agua para formar el monohidrato incoloro, también llamado vitriolo verde o caparrosa.

La fórmula química de esta sal es FeSO_4 , la cual se origina de la reacción del hidróxido ferroso $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y el ácido sulfúrico H_2SO_4 (14).

Obtención

En el proceso de acabado del acero antes de la galvanoplastia o el recubrimiento, la lámina o la barra de acero se pasa a través de un baño decapante de ácido sulfúrico. Este tratamiento produce grandes cantidades de sulfato de hierro (II) como producto (14).

Otra fuente de grandes cantidades de esta sustancia es la producción de dióxido de titanio a partir del mineral ilmenita.

Comercialmente se prepara por oxidación de la pirita, o tratando hierro con ácido sulfúrico.

Reactividad química

- Estable en condiciones normales de uso y almacenamiento.
- En cualquiera de sus formas hidratadas, pierde agua en contacto con aire seco.
- Bajo exposición a la humedad, se oxida formando un recubrimiento marrón de sulfato de hierro (III), muy corrosivo.

- Al quemarse puede producir óxidos de azufre.
- Usar crema de manos (14)

Usos

El sulfato ferroso se usa para purificación de agua por floculación y para eliminar fosfatos en las plantas de depuración municipales e industriales para prevenir la eutrofización de masas de agua superficiales (15).

Grandes cantidades de esta sal se usan como agente reductor, sobre todo para la reducción de cromatos en cemento.

- Nutrición:

El sulfato ferroso se usa para tratar la anemia ferropénica. Efectos secundarios de esta terapia pueden incluir náuseas y molestias epigástricas después de tomar el hierro (14).

- Colorante:

El sulfato ferroso se usa en la fabricación de tintas, muy especialmente tinta ferrogálica de hierro, que se usó desde la Edad Media hasta la Revolución Americana. También se usa en la coloración de la lana como mordiente (14).

El sulfato ferroso puede usarse también para teñir el hormigón de un color amarillento oxidado.

Los carpinteros usan disoluciones de sulfato ferroso para teñir la madera de arce con un matiz plateado.

Otros usos

En horticultura se emplea como acondicionador del césped y para eliminar los musgos (15).

En la segunda mitad del siglo XIX, el sulfato ferroso se empleó como revelador fotográfico de imágenes por el proceso al colodión húmedo.

A veces se añade sulfato ferroso al agua de enfriamiento que circula a través de los tubos de latón de un condensador de turbinas para que resistan la erosión y proteger el recubrimiento del interior de estos tubos (16).

En micología se utiliza para identificar algunas setas, por ejemplo dentro de las russulas se distingue la russula cyanoxantha de las otras russulas que si reaccionan con el sulfato de hierro (14).

2.2.2. Cianuro:

El Cianuro es un término general que se aplica a un grupo de sustancias químicas que contienen carbono y nitrógeno. Se encuentra presente en la naturaleza o son producidas por el hombre. Existen más de 2,000 fuentes naturales de cianuro, entre ellos, distintas especies de artrópodos, insectos, bacterias, algas, hongos y plantas superiores (17).

El término cianuro sirve para designar a una familia de compuestos químicos que se caracterizan por la presencia de un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un enlace triple. La familia del cianuro comprende un grupo de compuestos inorgánicos que se caracterizan por la presencia del grupo $-C\equiv N$. Los compuestos orgánicos que contienen éste grupo se denominan nitrilos (11). Vista en la Figura 1. Vista microscópica de los cristales de cianuro en formación (17) - Anexo A.

El cianuro puede ser un gas incoloro como el cianuro de hidrógeno (HCN), o el cloruro de cianógeno (CNCl), o encontrarse en forma de cristales como el cianuro de sodio (NaCN) o el cianuro de potasio (KCN) (10).

El cianuro se describe con un olor a “almendras amargas”, pero no siempre emana olor y no todas las personas pueden detectarlo. Además el límite de detección del olor es cercano a la concentración donde comienza a ser tóxico.

El cianuro puede presentarse de muchas formas y la clasificación de estos puede hacerse como sigue: Cianuro total, Cianuro WAD Y Cianuro libre.

La palabra cianuro tiene connotaciones negativas debido a que muchos de sus compuestos presentan propiedades sumamente tóxicas o letales, como lo demuestra su aplicación en venenos. El cianuro es una sustancia química, que actúa como tóxico a través de la inhibición de ciertas proteínas mitocondriales bloqueando el Ciclo de Krebs, sistema central del proceso de respiración celular. Si bien su efectividad a bajas concentraciones es fulminante, el individuo muere bajo dolorosos espasmos y convulsiones que pueden tardar entre diez segundos a unos minutos. También es conocido por su denominación militar AN (para el cianuro de hidrógeno) y CK (para el cloruro de cianógeno) (12).

El Cianuro es altamente tóxico debido a que actúa inhibiendo el complejo de citocromo C Oxidasa, lo que hace que se bloquee la cadena transportadora de electrones, es decir, la respiración de las células. Principalmente, su nocividad radica en su poder de hacer que el oxígeno no cumpla su función en el organismo, al bloquear el paso de este hacia los glóbulos rojos, para poder posteriormente ser utilizado en la respiración (10). Así por ejemplo, cuando se realiza un proceso de autopsia a un cadáver que ha sufrido un envenenamiento por cianuro, se ve claramente una alta concentración de oxígeno situado en las venas, junto con cantidades de ácido láctico, como resultado de un procedimiento de respiración de tipo anaerobia por parte de las células con carencias del elemento oxígeno.

El cianuro de hidrógeno, bajo el nombre de Zyklon B, se utilizó como agente genocida por los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial. Según lo indican varios informes, es posible que el cianuro de hidrógeno gaseoso haya sido utilizado junto con otros agentes químicos contra los habitantes de la ciudad kurda de Halabja, al noreste de Irak, durante la Guerra Irán-Irak en la década de 1980 (17).

La combustión de un gran número de sustancias naturales y sintéticas como la lana, seda, acrílicos y poliuretanos produce desprendimiento de cianuro de hidrógeno.

Se cree que el envenenamiento por cianuro sea una de las principales causas mortales entre las víctimas de los incendios.

La industria minera y del plástico en general consume el 82% del cianuro producido en el mundo. Su uso está basado principalmente en las áreas industrial, minero, en la galvanoplastia de electrodeposición de zinc, oro, cobre y especialmente plata. La minería lo utiliza para hidrometalurgia en solución a base de agua para extraer y recuperar metales como el oro y la plata mediante el proceso llamado lixiviación, que sustituyó al antiguo método de extracción por amalgamado de metales preciosos con mercurio (11).

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de EE. UU. (EPA, por sus siglas en inglés) regula los niveles permitidos de cianuro en el agua potable. El nivel

máximo de cianuro permitido en el agua potable es 0,2 partes de cianuro por millón de partes de agua (0,2 ppm). La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE. UU. (OSHA, por sus siglas en inglés) ha establecido un límite para el cianuro de hidrógeno y la mayoría de las sales de cianuro de 10 partes de cianuro por un millón de partes de aire (10 ppm) en el aire del trabajo (17).

2.2.2.1. Historia, orígenes y uso del Cianuro:

El primer trabajo bien documentado fueron los estudios de Scheele sobre la solubilidad del oro en soluciones de cianuro que datan de 1783 en Suecia. La química oro-cianuro se estudió activamente a mediados del siglo XIX en Inglaterra (Faraday), Alemania (Elsner) y Rusia (Elkington y Bagration). Alrededor de 1840, Elkington obtuvo una patente por el uso de soluciones de cianuro de potasio para galvanoplastiar oro y plata. Elsner lideró la evaluación del papel del oxígeno en la disolución del oro mediante soluciones de cianuro. La “Ecuación de Elsner”, que describe la extracción del oro del mineral mediante el cianuro, se conoció en 1846 (10).

Las patentes formalizadas por McArthur y los hermanos Forrest en 1887 y 1888 efectivamente establecieron el proceso vigente de cianuración, el uso de la disolución del cianuro y la precipitación por medio del zinc.

La primera planta de cianuración a escala comercial comenzó a funcionar en la Mina Crown en Nueva Zelanda en 1889, y hacia 1904 los procesos de cianuración también estaban en marcha en Sudáfrica, Australia, Estados Unidos, México y Francia. Por consiguiente, a comienzos de siglo, el uso del cianuro para extraer oro de mineral de baja ley ya era una tecnología metalúrgica plenamente establecida (17).

El cianuro se produce industrialmente de dos maneras: como subproducto de la fabricación de fibras acrílicas y de ciertos plásticos o mediante la combinación de gas natural y amoníaco a altas temperaturas y presiones para producir cianuro de hidrógeno (HCN) gaseoso. Posteriormente, el cianuro de hidrógeno gaseoso se puede combinar con hidróxido de sodio (NaOH) para producir cianuro de sodio (NaCN) y agua (H₂O). Luego se elimina el agua mediante secado y filtrado y el cianuro de sodio se convierte en briquetas blancas y sólidas de aproximadamente 10 centímetros cuadrados (12).

El cianuro se produce en grandes cantidades (alrededor de 1.4 millón de toneladas por año) como uno de los pocos compuestos básicos que se utilizan principalmente para sintetizar una amplia gama de químicos orgánicos industriales, como el nylon y los acrílicos. La recuperación de oro utiliza aproximadamente el 18% de la producción mundial de cianuro (17).

Por razones técnicas y económicas, el cianuro es la sustancia química elegida para la recuperación del oro del mineral. Se consigue fácilmente a un precio razonablemente bajo.

El cianuro es uno de los principales compuestos utilizados por la industria química debido a su composición de carbono y nitrógeno, ambos elementos comunes, y a la facilidad con la cual reacciona con otras sustancias.

Además, el cianuro se utiliza en productos farmacéuticos como el laetril, una sustancia para combatir el cáncer, y el nitroprusiato, una droga para reducir la presión arterial. Los compuestos de cianuro también se utilizan en vendas quirúrgicas que promueven la cicatrización y reducen las cicatrices.

El 20% restante de la producción de cianuro se utiliza para fabricar cianuro de sodio, una forma sólida de cianuro cuya manipulación es relativamente fácil y segura. De este porcentaje, el 90%, es decir, el 18% de la producción total, se utiliza en minería en todo el mundo, mayormente para la recuperación de oro. Mostrado en la Figura 2. Porción de la producción mundial de cianuro utilizada en minería (17) - Anexo A.

2.2.2.2. El uso del cianuro en la minería del Oro:

El cianuro se utiliza en minería para extraer oro (y plata) del mineral, debido a que es uno de los pocos reactivos que lo disuelven en combinación con el agua, y en particular, en mineral de baja ley y mineral que no puede tratarse fácilmente mediante procesos físicos simples como la trituración y la separación por gravedad.

Existen en EE.UU. patentes del proceso del uso del cianuro para extraer oro desde 1869, pero la primera planta de cianuración en escala comercial estuvo en la mina Crown en Nueva Zelanda en 1889, para posteriormente extenderse a Estados Unidos, Australia, México, Sudáfrica y Francia (17). Mostrado en la Figura 3. Distribución geográfica de minas que utilizan cianuro - Anexo A.

Como se aprecia en la Figura 3, hay minas de oro y plata en todo el mundo, aunque la producción se está concentrando cada vez más en América del Sur y Australia, en canteras a cielo abierto y lixiviación en montones. En 2003 se recuperaron en el mundo unas 2.650 toneladas de oro, de las cuales una cuarta parte correspondió a las 20 minas de mayor producción.

El cianuro de sodio es el compuesto de cianuro que se utiliza con mayor frecuencia en la industria minera, seguido del cianuro de calcio. El cianuro de sodio se obtiene por reacción de hidróxido de sodio con el cianuro de hidrogeno (21).

El uso de soluciones a base de agua para extraer y recuperar metales como el oro se denomina hidrometalurgia. El proceso en el que se usa cianuro para obtener el oro se llama lixiviación (que puede ser en tanque o en pilas). La solución resultante que contiene oro se denomina “solución cargada” (17).

Luego se agrega zinc o carbón activado a la solución cargada para recuperar el oro extrayéndolo de la solución. La solución residual o “estéril” (es decir, carente de oro) puede recircularse para extraer más oro o enviarse a una instalación para el tratamiento de residuos (17).

La lixiviación en tanque es el método convencional por el cual el mineral aurífero se tritura y se muele hasta reducirlo a menos de un milímetro de diámetro. En algunos casos se puede recuperar parte del oro de este material finamente molido como partículas discretas de oro mediante técnicas de separación por gravedad. En la mayoría de los casos, el mineral finamente molido se lixivia directamente en tanques para disolver el oro en una solución de cianuro. Cuando el oro se recupera en una planta convencional de lixiviación en tanque, la solución estéril se recogerá junto con los residuos sólidos (relaves) en un sistema de depósitos de relaves. Allí, parte de la solución permanecerá dentro de los poros de los relaves sedimentados y parte se decantará y se recogerá en un estanque encima de los relaves (17).

Los recientes avances técnicos permiten la lixiviación en pila de algunos minerales auríferos. Con este método, el mineral se tritura y se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se lo coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. Cuando se utiliza la tecnología de lixiviación en pila para extraer oro, la solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se

recicla de regreso al sistema de lixiviación. Mostrado en la Figura 4. Proceso para la obtención del oro (17) - Anexo A.

Se ha intentado usar otros compuestos para recuperar el oro, sin embargo ninguno de ellos ha demostrado ser tan eficiente como el cianuro en este proceso, tanto en temas económicos como ambientales se refiere.

El oro y el cianuro:

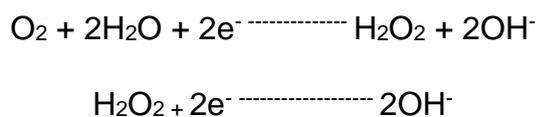
La lixiviación del oro es un proceso electroquímico, en donde el oro se disuelve en solución alcalina de cianuro y se oxida en tres etapas.

- La primera etapa se oxida para pasar a su estado Au(+1).
- En la segunda etapa forma un compuesto de AuCN, causando una temporal pasivación sobre la superficie de oro.
- En la tercera etapa el compuesto formado adsorbe complejos de cianuro libre para formar Au(CN)₂.

Anódica:



Catódica:



Resultando la Ecuación General conocido como la Ecuación de Elsner:



2.2.2.3. Riesgo de Exposición al Cianuro en Humanos:

El cianuro proviene de fuentes naturales y artificiales. Irónicamente, muchos científicos sostienen que el cianuro fue el primer compuesto orgánico en el planeta, del cual evolucionaron los componentes químicos de la vida. Miles de animales, plantas, insectos, hongos y bacterias forman, excretan y degradan cianuro. El

cianuro que potencialmente se produce y libera durante la digestión o la cocción de plantas cianogénicas puede alcanzar niveles del orden de centenas de partes por millón. Mostrada en el Cuadro 1. Concentración de cianuro de fondo en determinadas plantas – Anexo B.

Entre las plantas que producen cianuro figuran las almendras, los duraznos, el bambú, los brotes de poroto, la mandioca, las castañas de Cajú, las cerezas, las lentejas, las aceitunas, la papa, el sorgo y los porotos de soja. El ejemplo más conocido de envenenamiento por cianuro de origen natural en seres humanos está relacionado con la ingestión de alimentos cianogénicos, en especial la mandioca (yuca), en cientos de millones de personas que habitan en la región ecuatorial. Si no se prepara correctamente, el cianuro se libera en proporciones tóxicas que pueden provocar parálisis crónica de brazos y piernas, especialmente en los jóvenes.

Existen cuatro principales escenarios de riesgos que deben ser encarados mediante planes específicos para cada sitio:

- Exposición de seres humanos o receptores ecológicos al cianuro derramado durante un accidente de transporte.
- Exposición de los trabajadores, especialmente al cianuro de hidrógeno gaseoso en lugares cerrados.
- Exposición de seres humanos por escapes de cianuro en solución al agua superficial o subterránea que puede ser ingerida.
- Exposición de receptores ecológicos, como aves o peces, a soluciones que contienen cianuro (17).

El cianuro es un veneno de acción rápida capaz de matar a una persona en cuestión de minutos si está expuesta a una dosis suficientemente elevada. Los seres humanos pueden estar expuestos al cianuro mediante inhalación, ingestión o absorción a través de la piel (21).

El cianuro impide a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y “cianosis” (decoloración azulada de la piel). El sistema respiratorio deja de nutrir a las células con oxígeno, un estado que, si no se trata, causa respiración rápida y profunda seguida por convulsiones, pérdida del conocimiento y asfixia. El

antídoto más común es el nitrito de amilo, que puede administrarse en forma oral o por inyección.

Aunque hay muchas fuentes diarias de exposición al cianuro (escapes de los automóviles, humo de tabaco, incendios), el cianuro no se acumula en los tejidos porque el cuerpo transforma esas pequeñas cantidades en un compuesto menos tóxico llamado tiocianato, que luego se excreta. No es conocido que el cianuro cause cáncer o defectos congénitos o que pueda afectar adversamente la reproducción (13).

Para el cianuro libre, la dosis letal en humanos por ingestión o inhalación varía entre 50 y 200 mg (1 a 3 mg de cianuro libre por kg. de masa corporal). La dosis letal por absorción dérmica es considerablemente mayor, alrededor de 100 mg por kg de peso corporal.

2.2.2.4. Riesgo de Exposición al Cianuro en el Medio Ambiente:

Los materiales peligrosos afectan no sólo a los seres humanos, sino también a los receptores ecológicos. En los ambientes mineros, hay tres grupos importantes de receptores ecológicos o ambientales: los mamíferos, los reptiles y los anfibios; las aves (especialmente las aves silvestres migratorias); y los peces y otros integrantes de la vida acuática. De igual manera pueden afectar las aguas superficiales, aguas subterráneas, el suelo, y la calidad del aire, durante la operación de la mina y luego del cierre de la misma (17).

A. Aguas superficiales y subterráneas

El primer problema es la contaminación física y química durante la operación de la mina. La generación de drenajes ácidos, en cambio es un problema a largo plazo.

Además de los desechos se pueden liberar a las aguas superficiales y subterráneas, reactivos químicos, como el cianuro de sodio, tal como ha ocurrido en numerosos casos documentados. Las masas de rocas explotadas, las zonas deforestadas, los caminos abiertos, contribuyen a la generación de sedimentos y aumentan los sólidos totales en los cuerpos de aguas de superficie (15).

Drenajes ácidos

Se definen como los drenajes que se generan por la oxidación de los sulfuros contenidos en los minerales, a través de la exposición al aire y al agua, efecto que se produce naturalmente (drenaje ácido de las rocas: DAR), pero que se agrava y magnifica por el grado de molienda y remoción de cantidades enormes de rocas (drenaje ácido de las minas: DAM) (15).

Las soluciones ácidas pueden alcanzar las aguas superficiales o subterráneas de acuerdo a la hidrología del lugar. El potencial para la generación de ácido y la liberación de otros constituyentes (metales pesados) aumenta por la exposición de las rocas a la atmósfera (ambiente oxidante). El nivel de acidez también es influenciado por la presencia o ausencia de bacterias. *Thiobacillus ferrooxidans* puede oxidar los metales que contienen sulfuros, conduciendo a una aceleración en la generación de ácido (2).

El potencial de generar ácido, así como la liberación de otros componentes, se incrementa en las unidades mencionadas (1-4) en comparación a los minerales en su lugar original, debido a que las rocas son finamente molidas y presentan una gran superficie de partícula, y se encuentran además en un ambiente oxidante.

Desagote en las minas

Para permitir la extracción del mineral las minas superficiales o subterráneas requieren del bombeo de agua para desagotarlas, sin embargo al final de las operaciones el bombeo se interrumpe y las galerías y/o tajos se llenan de agua, produciendo una liberación no controlada de las aguas de la mina que pueden ser ácidas y contener metales, así como sólidos suspendidos y disueltos (15).

Derrames de cianuro durante la operación

Este tipo de incidente puede ocurrir durante el transporte o en las instalaciones de la mina por factores climáticos (fusión de nieve, tormentas), movimiento de suelos o fallas en los equipos. Se encuentra documentado y se presentan las tablas 1 y 2 a modo de algunos ejemplos representativos. El accidente más terrible fue quizás la catástrofe de Baia Mare, en Rumania, en Enero de 2000, donde un derrame de cianuro involucró a tres países: Hungría, Rumania y Yugoslavia, afectando al suministro de agua potable de 2,5 millones de personas y a las actividades económicas de más de un millón y medio que viven del turismo,

la agricultura y la pesca a lo largo del Río Tisza [5]. Por otra parte, en el Estado de Montana (USA) se encuentra prohibida la utilización de cianuro en la lixiviación de oro a raíz de la contaminación producida en suelos, napas y aguas como consecuencias de 50 escapes de cianuro entre los años 1982 y 1998 (año en que se prohibió). La más prevalente es la contaminación de las aguas freáticas (17).

Liberación de sustancias tóxicas luego del cierre

En los desechos de las minas, cuando concluyen las operaciones, permanecen una variedad de constituyentes que incluyen: cianuro residual, productos de su descomposición, principalmente cianatos y tiocianatos, metales pesados y sulfuros. La generación de ácido (DAM) puede movilizar metales pesados y arsénicos que causan degradación del suelo y contaminan las aguas (16). En un informe de la EPA del año 1998 se estudian 66 casos de daños provocados por la minería a gran escala. Los casos ilustran el daño significativo a la salud humana y medio ambiente provocado por el residuo de la minería y el procesamiento de los minerales, particularmente por la disposición de éstos en el terreno. Los perjuicios son tanto causados por los residuos regulados por la legislación como por los excluidos de la misma y se dan a través de todas las regiones de EEUU, en una dilatada variedad de zonas climáticas, así como de zonas geológicas, y en medio rurales como urbanos (2).

B. Suelo

Los efectos ambientales asociados con el suelo son de tres tipos: erosión, sedimentación y contaminación.

La erosión y sedimentación ocurren por las voladuras, molienda y remoción de vegetación relacionadas con la actividad minera. La contaminación ocurre por derrames de productos asociados con los equipos: hidrocarburos, productos de perforación, solución lixiviante (cianuro de sodio). Si bien se proponen numerosos métodos para la detoxificación del cianuro, cada tratamiento puede generar nuevos desechos y algunos de ellos (ej.: clorinación, ozono, peróxido de hidrógeno) son tóxicos para bacterias y otras formas de vida (2).

C. Aire

La fuga de polvos desde los tajos y embalses es la fuente primaria de contaminación con metales pesados y desde los diques de cola el escape de

cianuro de hidrógeno (gas). Se estima que 20.000 toneladas de cianuro de hidrógeno se evaporan anualmente de esta fuente, y considerando su elevada vida media se puede acumular en la atmósfera (2).

2.2.2.5. Química del Cianuro, análisis y tratamiento:

Después de haber extraído el oro por medio de procesos hidrometalúrgicos, pueden estar presentes tres tipos principales de compuestos de cianuro en los efluentes residuales o en las soluciones de los procesos: cianuro libre, cianuro débilmente complejado y cianuro fuertemente complejado. Juntos, los tres compuestos de cianuro constituyen el “cianuro total”. Al conocer la química de estos tres tipos de cianuro se puede comprender su comportamiento respecto de la seguridad y el ambiente.

Cianuro Libre

“Cianuro libre” es el término utilizado para describir tanto el ion de cianuro (CN^-) que se disuelve en el agua del proceso como cualquier cianuro de hidrógeno (HCN) que se forma en la solución. Las briquetas sólidas de cianuro de sodio se disuelven en el agua para formar el ion de sodio y el anión de cianuro (CN^-). El anión de cianuro se combina luego con el ion de hidrógeno para formar HCN molecular. La concentración del ion de hidrógeno en el agua del proceso se expresa mediante el conocido parámetro pH. Casi todo el cianuro libre está presente como HCN cuando hay abundantes iones de hidrógeno presentes, es decir, a un valor de pH de 8 o menos. Este HCN , entonces, puede volatilizarse y dispersarse en el aire. Cuando el pH es superior a 10.5, hay pocos iones de hidrógeno presentes y casi todo el cianuro libre está presente como CN^- . En condiciones normales de temperatura y presión, las concentraciones de HCN y CN^- son iguales a un valor de pH de aproximadamente 9.4. Mostrado en la Figura 5. Relación entre HCN y CN^- en función del pH (17) - Anexo A.

Complejo De Cianuro

Aunque las soluciones que contienen cianuro se utilizan en minería porque reaccionan con el oro, también reaccionan con otros metales. El mineral aurífero casi siempre contiene otros metales, entre ellos hierro, cobre, zinc, níquel y plata, así como otros elementos, como el arsénico. En la mayoría de los cuerpos mineralizados, las concentraciones de otros metales típicamente son mayores que

la concentración de oro en varios órdenes de magnitud. Por ejemplo, un mineral aurífero de baja ley apropiado para lixiviación con cianuro podría contener 0.5 a 1 gramo de oro por tonelada (0.5 a 1 parte por millón [ppm] de oro); por el contrario, la concentración de hierro de las rocas cristalinas promedio es de aproximadamente 3.5% (35,000 ppm) (10). Los metales como el cobre, el zinc y el níquel pueden estar presentes en concentraciones que varían entre decenas y miles de partes por millón. Los análisis químicos de las soluciones utilizadas en los procesos y de los efluentes residuales derivados del procesamiento indican que la mayor parte del cianuro en solución está químicamente ligado a metales distintos de las pequeñas cantidades de oro o plata.

Cuando los elementos químicos se combinan en una solución para formar especies solubles, los químicos se refieren a ellas como “complejos”. Existe una amplia gama de interacciones químicas y físicas entre los componentes de los complejos. Algunos complejos son muy estables, mientras que otros se destruyen fácilmente. Los químicos analíticos pueden definir la estabilidad relativa de los complejos de cianuro de diferentes metales con gran precisión. La evaluación de la cantidad y los tipos de cianuro es importante para todos los aspectos del uso del cianuro. Es particularmente importante poder distinguir tanto con exactitud como con precisión entre los distintos compuestos de cianuro para asegurar la elección de una metodología eficaz de detoxificación (17).

Complejos Débiles Y Fuertes De Cianuro

Convencionalmente, los químicos en cianuro distinguen entre los complejos “débiles” y “fuertes” de cianuro. Los complejos débiles de cianuro, con frecuencia denominados cianuros “disociables en ácidos débiles” o cianuros DAD (WAD), pueden disociarse en solución y producir concentraciones ambientalmente significativas de cianuro libre. Los complejos débiles incluyen complejos de cianuro de cadmio, cobre, níquel, plata y zinc. El grado al cual se disocian estos complejos depende en gran medida del pH de la solución (12).

Por otra parte, los complejos fuertes de cianuro se degradan mucho más lentamente que el cianuro DAD en condiciones químicas y físicas normales. Los complejos de cianuro con oro, cobalto y hierro son fuertes y estables en solución. Esta estabilidad del complejo oro-cianuro es un factor clave en el uso del cianuro para la extracción del oro del mineral. Una vez que el oro entra a la solución ligado

al cianuro, permanece complejado con el cianuro hasta que las condiciones del proceso se cambian con el fin de removerlo de la solución. El cobalto está presente únicamente en trazas, pero el hierro está virtualmente presente en todos los materiales geológicos. Para la mayoría de las situaciones mineras, los complejos fuertes de cianuro son predominantemente cianuros de hierro (17).

La velocidad a la cual los complejos se disocian y liberan cianuro libre en la solución depende de varios factores, entre ellos, la concentración inicial del complejo de cianuro, la temperatura, el pH de la solución y la intensidad de la luz, especialmente de la radiación ultravioleta.

Análisis Y Monitoreo Del Cianuro

El cianuro generalmente se mide mediante uno de los siguientes métodos analíticos: análisis de cianuro total o análisis de cianuro WAD (disociable en ácidos débiles). El primero se utiliza para determinar el cianuro total en soluciones, incluso el cianuro libre y los cianuros ligados a metales, como los cianuros de hierro no tóxicos y más estables (17). El procedimiento analítico para determinar el cianuro WAD se utiliza para las formas libres y complejadas de cianuro, excepto para el cianuro e hierro. Un método más antiguo pero que todavía se emplea en lugar del análisis de cianuro WAD es el denominado "cianuro dócil a la cloración". Mostrado en la Figura 6. Complejos de Cianuro (21) - Anexo A.

2.2.2.6. Problema de Contaminación relacionado con el Cianuro y Minería:

La industria moderna del oro utiliza el cianuro casi exclusivamente como agente lixivador del oro. Se han utilizado otros agentes complejantes como la tiourea, los cloruros y otros haluros para extraer oro del mineral, pero generalmente no son rentables y presentan problemas particulares para el ambiente y la salud.

Una vieja técnica para la recuperación del oro, que ha dejado de utilizarse en las modernas plantas de extracción de oro, es la amalgama con mercurio líquido. En algunos países en desarrollo, los mineros artesanales siguen utilizando el mercurio líquido para complejar el oro proveniente de pequeñas explotaciones mineras. Sin embargo, se ha desalentado esta práctica debido a que el deficiente manejo del mercurio líquido y del vapor que surge al volatizar el mercurio provoca serios problemas de salud a los mineros artesanales (17).

La parte del ecosistema más vulnerable a las potenciales consecuencias dañinas de la exposición al cianuro es la vida acuática. Los organismos acuáticos suelen ser más sensibles a los efectos toxicológicos del cianuro y no pueden evitarlos una vez que éste ingresa en su medio ambiente. La principal causa de exposición de animales acuáticos al cianuro son las descargas involuntarias de soluciones con altos niveles de cianuro en aguas superficiales.

El 12 de Agosto del 2015 una enorme explosión sacudió la ciudad china de Tianjin y provocó la muerte de 104 personas. Las explosiones tuvieron lugar en una bodega de la empresa Ruihai International Logistics, Los contenedores de ese almacén contenían 700 toneladas de cianuro sódico. La potencia de la explosión fue la equivalente a 21 toneladas de TNT. La sal cianurada es muy tóxica cuando se encuentra en estado gaseoso y líquido, en estado gaseoso resulta mucho más peligrosa porque puede entrar por vía respiratoria. Tras romperse los contenedores, quedaron dispersas en un área de unos 100.000 metros cuadrados produciendo grandes problemas de salud, contaminación en el agua y el aire (2).

2.2.3. Calidad del efluente industrial cianurado:

2.2.3.1. Calidad del Agua:

Es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas y el bienestar humano: de ella depende la biodiversidad, la calidad de los alimentos, las actividades económicas, etc. Por tanto, la calidad del agua es también un factor influyente en la determinación de la pobreza o riqueza de un país.

Desde la perspectiva de su gestión, la calidad del agua se define por su uso final. Así, el agua para el recreo, la pesca, la bebida o como hábitat para organismos acuáticos requiere de mayores niveles de pureza, mientras que para obtener energía hidráulica, por ejemplo, las normas de calidad son mucho menos importantes. Sin embargo, debemos tener en cuenta que después de su uso el agua suele volver de nuevo al sistema hidrológico, de manera que si se deja sin tratamiento puede acabar afectando gravemente al medio.

Los factores que la afectan son el aumento de la población, la masiva urbanización, el vertido de nuevos patógenos y productos químicos procedentes de las industrias y el auge de especies invasoras son factores clave que contribuyen

al deterioro de la calidad del agua en todo el mundo, a los cuales se está sumando ya el cambio climático.

El aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones hidrológicos (sequías e inundaciones) afectan a la calidad del agua y agravan su contaminación por sedimentos, nutrientes, carbono orgánico disuelto, agentes patógenos, pesticidas, etc. Además, el aumento del nivel del mar provoca la salinización de aguas subterráneas y estuarios, reduciendo la disponibilidad de agua dulce para consumo humano y para los ecosistemas en las zonas costeras (15).

2.2.3.2. Efluente Industrial:

Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas, por su comportamiento en las aguas receptoras y en la forma como estos afectan el medio ambiente acuático, generalmente contienen sustancias orgánicas disueltas incluyendo tóxicos, materiales biodegradables y persistentes, sustancias inorgánicas disueltas incluyendo nutrientes, sustancias orgánicas insolubles y solubles.

Los principales parámetros que hay que considerar y determinar en estos análisis, son los siguientes:

Características físicas:

- Oxígeno Disuelto: Es el oxígeno que esta disuelto en el agua. Esto se logra por difusión del aire del entorno, la aireación del agua que ha caído sobre saltos o rápidos; y como un producto de desecho de la fotosíntesis
- Conductividad Eléctrica: Refleja la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y está directamente relacionada con la concentración de sales disueltas en el agua.
- Turbiedad: La provoca la presencia de sustancias en suspensión o en materia coloidal
- Olor. Se debe generalmente a la presencia de sustancias inorgánicas y u orgánicas disueltas, que poseen olor en sí mismas. El olor característico de un agua séptica, se debe al desprendimiento de sulfuro de hidrogeno (H_2S)

que se genera a partir de la reducción de sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos aeróbicos.

- Sólidos Totales: Son los materiales suspendidos y disueltos en el agua. Se obtienen evaporando el agua a 105 °C y pesando el residuo. Además este residuo puede ser dividido en sólidos volátiles en orgánicos y sólidos fijos o inorgánicos.

- Temperatura: El aumento de temperatura de un líquido residual, disminuye la solubilidad de oxígeno del entorno del cuerpo receptor donde se vuelca el mismo. Incide también en los procesos biológicos (12).

Características Químicas:

- pH: Es importante su determinación por la influencia que tiene en el desarrollo de la vida acuática.

- Hierro: Es un metal y como tal no se encuentra en estado puro en la naturaleza sino que está formando parte de numerosos minerales. Existen muchos minerales que contienen hierro.

- Cobre: Es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales y cuyo número atómico es 29. Este metal de transición (por el lugar que ocupa en la tabla periódica de los elementos) se caracteriza por su brillo y su tonalidad rojiza.

- Zinc: Es un micromineral que participa en más de 200 reacciones químicas a nivel celular. Está implicado en prácticamente todos los sistemas de mantenimiento y regulación corporal.

- Plomo: Es un metal gris-azulado muy conocido, que existe naturalmente en pequeñas cantidades en la corteza terrestre. Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles.

Características biológicas:

- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua mediante procesos biológicos aerobios, se suele referir al consumo en 5 días (DBO5), también suele emplearse, pero menos el (DBO21) de 21 días. Se mide en ppm de O₂ que se consume (16).

Todos los organismos que se encuentran en el agua son importantes en el momento de establecer el control de la calidad de la misma sin considerar si tienen su medio natural de vida en el agua o pertenecen a poblaciones transitorias introducidas por el ser humano; si su crecimiento lo propician los nutrientes presentes en el escurrimiento natural y en aguas residuales municipales o lo frenan los venenos procedentes de la actividad agrícola o industrial; y si tienen capacidad para intoxicar a las personas y a los animales superiores (12).

A efectos prácticos, el interés se centra en la presencia e importancia de organismos sustitutos como indicadores de la posible presencia de patógenos y sobre la necesidad de adoptar medidas efectivas para la destrucción o control de estos.

Por otro lado hay también muchos organismos que sirven como índice de calidad del estado de un agua.

Los parámetros biológicos se usan como índices de calidad de aguas. Hay muchos seres vivos que se emplean como indicadores de la calidad de un agua. Así, según predominen unos organismos u otros, podremos saber el estado de un agua. Además sabemos que, en el caso de un vertido, el contaminante se diluye en el agua y, a veces, se hace difícil su detección, pero el efecto causado al ecosistema perdura durante más tiempo. Entre estos organismos podemos citar a macro invertebrados o a ciertas especies de algas, diatomeas (16).

2.2.3.3. Tratamiento de agua:**A. Métodos de tratamiento de las aguas:**

Los métodos de tratamiento pueden clasificarse en dos grandes grupos en función de sus requerimientos de operación y mantenimiento:

Sistemas activos

Esta requiere una operación constante, el suministro de productos químicos y energía, presentando también elevados costos. Las plantas de tratamiento convencionales que constituye en neutralización, sedimentación y coagulación son los más comunes y fáciles de implantar, aunque en los últimos tiempos se han comenzado a desarrollar sistemas que permiten el tratamiento en instalaciones de menor complejidad (15).

Estas técnicas de tratamiento por sistemas activos se basan en lograr que los metales y otros elementos contaminantes presentes en disolución formen compuestos insolubles que puedan ser separados por decantación.

Sistemas pasivos

Dentro de estos sistemas se han investigado diversos métodos de tratamiento pasivo y se ha comprobado que dan buenos rendimientos en la neutralización del pH, en la eliminación de metales pesados y otros elementos contaminantes (materia orgánica). Además requieren poco mantenimiento y su bajo costo puede ser asumido durante largos períodos de tiempo 25 años.

Se basan en los mismos procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en los humedales naturales, en donde se modifican favorablemente ciertas características de las aguas contaminadas, consiguiendo la eliminación de metales y la neutralización del pH (15).

Estos sistemas de tratamiento no requieren prácticamente personal de operación ni mantenimiento, y su instalación es considerablemente más barata que la de los sistemas activos convencionales.

2.2.3.4. Teoría de la lixiviación:

Es la disolución selectiva de los metales, presentes en las especies mineralógicas de cualquier naturaleza, desde los sólidos que los contienen, mediante una solución disolvente acuoso (12).

A. Métodos de lixiviación:

Los principales métodos de lixiviación usados en la actualidad se pueden clasificar de la forma que sigue:

Lixiviación In-Situ

Consiste en la aplicación de soluciones directamente sobre el mineral que está ubicado en el lugar del yacimiento, sin someterlo a labores de extracción minera alguna.

Lixiviación en botaderos

Consiste en el tratamiento de minerales de muy bajas leyes, normalmente debajo de la ley de corte económica para la planta principal conocidos como “estéril mineralizado”. En los yacimientos más antiguos, este material muchas veces se acumuló sin prestar atención a su tratamiento posterior, normalmente en cañones o quebradas cercanas a las minas. Alcanzando alturas de 100 metros o más y el sustrato basal no siempre es el adecuado para recoger soluciones, sin embargo estas continúan aplicándose en la parte superior y colectándose en una laguna de intersección en la roca impermeable más próxima (10).

Lixiviación en pilas (Pad)

A diferencia de los botaderos, en este caso el mineral tiene una mayor ley y, por lo tanto, económicamente paga por un tratamiento más complejo a través de una planta de chancado. Las pilas se cargan habitualmente entre 3 y 10 metros, sobre un sustrato impermeable, normalmente protegido con una membrana de plástico del tipo polietileno de alta, baja o muy baja densidad o cloruro de polivinilo, que puede tener desde 0,1 a 1,5 mm de espesor según las exigencias de cada aplicación. Para ayudar a la recolección de las soluciones se usan cañerías de drenaje perforadas y canaletas abiertas. Las soluciones se distribuyen por medio de goteros, incluso enterrados en los casos de condiciones climáticas extremas o bien mediante aspersores dependiendo de la evaporación y la disponibilidad de agua en cada operación (9).

Lixiviación en bateas inundadas

Conocido como sistema de lixiviación por percolación, consiste en una estructura con forma de paralelepípedo de hormigón, protegido interiormente con

asfalto antiácido o resina epódica, provisto de un fondo falso de madera y una tela filtrante, que se llena hasta arriba de mineral y que se inundan con las soluciones de lixiviación (9).

Lixiviación por agitación

Para ello se requiere que el mineral este finamente molido, por esto se aplica solamente a minerales frescos de leyes altas, que por su mayor valor contenido justifican una molienda húmeda, a cambio de una mayor recuperación y de un menor tiempo de proceso. Así se aumentan el área expuesta a la lixiviación y la agitación permite disminuir el espesor de la capa limitante de difusión, al mismo tiempo que se maximiza el área de la interfase gas-líquido (12).

Lixiviación del oro y la plata

Los cianuros de potasio, sodio y calcio, en medio alcalino, disuelven el oro formando complejos de cianuro. Sin embargo, industrialmente se prefiere usar el cianuro de sodio (NaCN) por su mayor contenido de CN⁻ activo por unidad de peso: 53%, versus 40% en el caso del KCN, lo que influye en los precios de comercialización y transporte. El cianuro de calcio, Ca (CN)₂, no es tan utilizado, a pesar de presentar un buen porcentaje de ion CN⁻ activo: 56,5% dado que suele comercializarse con un mayor contenido de impurezas que en los otros dos casos (21).

El O₂ que actúa como oxidante está presente en la lixiviación sin costo, pero cinéticamente no es muy favorable dada su baja solubilidad y consumos laterales, controlando la velocidad de disolución. La recuperación de oro disuelto con cianuro normalmente se puede realizar a través de la precipitación con zinc, previa desoxigenación de las soluciones, proceso conocido como Merrill Crowe (12).

2.2.4. Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.

Minera Aurífera Retamas S.A. es una empresa de minería subterránea de capital íntegramente peruano. El yacimiento conocido como "Cerro El Gigante", que viene explorando y explotando sostenidamente hace 30 años se encuentra ubicado en el "Batolito de Pataz", que forma parte del complejo geológico del Maraón, rico en concentraciones de oro y plata.

La Empresa MARSA (Minera Aurífera Retamas S.A.) es una empresa minera dedicada a la explotación y tratamiento de mineral aurífero. Sus Unidades de Producción más importantes son las de San Andrés y la de Retamas 2, conocida como R-2, en la que la explotación de mineral se realiza en forma subterránea.

En Abril de 1981 se constituye MARSA teniendo como accionistas fundadores y propietarios, a don Andrés Marsano Porras, don Ignacio Larco Pedraza, don Santos Valdivieso, don Germán Patrón y don José Heighes. La Unidad Económica Administrativa "Retamas" fue aprobada por R.D. 125/87/EM-DGM-DCM del 10 de Mayo de 1991 y R.D. 105/92/EM-DGM-DCM del 30 de Julio de 1992 (1).

En sus inicios, la empresa fue inaugurada con una planta de tratamiento de 50 Toneladas Métricas Secas por Día; actualmente tiene una planta con una capacidad de 1800 Toneladas Métricas Secas por Día.

MARSA cuenta con el PAMA Aprobado por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas por Resolución Directoral N° 189-97 EM/DGM de fecha 14 de Mayo 1997. Así también MARSA cuenta con la Aprobación de Culminación de ejecución de los Proyectos establecidos en su PAMA Aprobado por la Dirección General de Minería del Ministerio de Energía y Minas por Resolución Directoral N° 300- 2002- EM/DGM de fecha 08 de Noviembre del 2002 (1).

2.2.4.1. Ubicación

Minera Aurífera Retamas S.A. está ubicada en el anexo de Llacuabamba distrito de Parcoy, provincia de Patate departamento de La Libertad; en el flanco Oeste de la Cordillera Oriental a 180 Km. hacia el Este de la ciudad de Trujillo a una altura de 3900 m.s.n.m. Mostrado en la Figura 7. Empresa Minera Aurífera Retamas S.A - Anexo A.

Para llegar a la zona de estudio, desde Lima, existen dos vías de acceso: una Terrestre, y otra aérea combinada con terrestre: La terrestre va desde: Lima - Trujillo - Huamachuco - Chagual - San Andrés - Zona de Depósito de Desmonte Alaska constituido por carreteras asfaltada y afirmada un pequeño tramo carrozable el total para su recorrido es de 997.2 Km. La combinada aérea- terrestre: Lima- Trujillo (Aérea), Trujillo- Chagual (Aérea), Chagual- San Andrés- Zona de Depósito de Desmonte Alaska, haciendo un total en tiempo de 6 horas.

La topografía de la zona es accidentada con laderas muy empinadas. El clima es predominantemente frío con dos estaciones climáticas diferenciadas: lluviosa entre los meses de noviembre y abril y relativamente seca el resto del año

2.2.4.2 Aspectos Geológicos

En el territorio del distrito minero de Parcoy, en el Batolito de Pataz, se encuentra el depósito mineral conocido como «El Gigante», donde MARSA desarrolla sus operaciones. Está emplazado en rocas intrusivas granitoides de la edad Paleozoica. Constituido por filones de cuarzo con concentraciones de sulfuros, la concentración de mineral se presenta en forma de un cuerpo mineralizado (ore shoot) controlado por estructuras del tipo lazo cimoide.

En las exploraciones y desarrollo, la política de MARSA es mantener el nivel de reservas, para lograr este objetivo se desarrolla un agresivo programa mensual de avances lineales de alrededor de 2 mil metros. Las exploraciones son vitales para encontrar y renovar sus reservas.

Este agresivo programa de exploraciones con labores mineras se viene ejecutando desde la cota 3220 hacia cotas más profundas. Este programa junto a los programas de perforación diamantina de largo alcance permiten incrementar nuevas áreas de exploración y una reevaluación de las áreas más antigua.

2.2.4.3. Explotación Minera

La mina produce 1650 Toneladas Métricas Secas Diarias, mineral proveniente de la explotación, preparación y desarrollo. Los principales métodos de explotación son Cámaras y Pilares Mecanizados con rendimientos de 8 tm/h-g, Corte y Relleno Ascendente y el Long Wall (convencional), en perforación se utiliza perforadoras tipo jackleg, y para la limpieza winches eléctricos de arrastre en las labores convencionales y scoop en los tajos mecanizados, y para restablecer el macizo rocoso se usa el relleno hidráulico de alta densidad. Para desarrollar las labores de exploración, preparación se utilizan jumbos de electrohidráulicos de un brazo, scoops desde 1.5 yd³ hasta 4.5 yd³ de capacidad y palas neumáticas de 10 pies³. En todas las labores se emplea los ventiladores auxiliares desde 5,000 dm hasta 18,000 dm para expulsar el aire viciado hasta los tres circuitos principales de ventilación que está conformado por cruceros y chimeneas raiseboring de 6' y 8' de

diámetro, en los extremos de los circuitos se tienen instalados extractores que suman 420,000 cfm (1).

MARSA, decidió profundizar la mina de manera mecanizada construyendo la Rampa Patrick de 4.0 m por 4.5 m, que tiene un recorrido de 5500 m. y se ejecutó la profundización de la rampa 11 etapa, que tiene una longitud de 4000 m. En la construcción de la Rampa se utilizó jumbos electrohidráulicos de dos brazos, scoop de 6 yd³, volquetes de 20 m³ de capacidad, para el desagüe de las aguas subterráneas se empleó bombas de 300 hp de potencia y 50 l/s, y se construyó una cámara principal de bombeo donde se instaló la bomba de 400Hp y 150 l/s de capacidad como medida de contingencia (1).

Tiene una casa fuerza de energía neumática 16,000 cfm, y la red troncal de 22,000 m. para minimizar las caídas de presión el aire es conducido por tuberías de metálica de 16", 12", 10" y 8" de diámetro.

2.2.4.4. Planta de Beneficio

La Planta de Beneficio cuenta con una capacidad de procesamiento de mineral de 1800 Tonelada Métrica Seca por Día, procesa el mineral ininterrumpidamente 24 horas al día, 365 días al año. El mineral antes de ser chancado es sometido a una clasificación previa para separar el producto de -1/2" que acompañará al mineral de tolva de gruesos proveniente de la mina, el rechazo de la clasificación, es decir el material mayor a 1/2" se tritura en una chancadora primaria de quijadas de 15"x24" y luego se complementa el chancado en dos chancadoras cónicas de 48 FC y 36 FC hasta obtener un producto fino que pasa la malla -1/2" (1). En el beneficio del mineral se aplican cuatro procesos metalúrgicos importantes:

- Concentración de los minerales auríferos (mayormente sulfuros).
- Cianuración de los concentrados auríferos.
- Precipitación de los valores disueltos mediante el uso del polvo de zinc (Proceso Merriii-Crowe).
- Deposición separada de los relaves de flotación y cianuración.

El mineral chancado a 100% -1/2" pasa luego al proceso de molienda, el que se realiza en dos molinos de bolas de 9'0"x8', en circuito cerrado con un ciclón de 20"Ø (1).

Para la concentración de los minerales valiosos, además de la operación gravimétrica, el oro tanto libre como asociado a las piritas, es recuperado aplicando el proceso físico-químico de "Flotación por Espumas". Esta etapa está orientada principalmente a la recuperación de valores finos (tamaños cercanos a 200 mallas). En la flotación se utilizan dos reactivos: el colector (Z-6) y un espumante. Los concentrados son espesados y filtrados para separar el agua que le acompaña, de tal manera que se evita el incremento de líquido en el circuito de cianuración (3).

La cianuración se aplica al concentrado obtenido en la planta de concentración, cuyo volumen representará aproximadamente entre la séptima y octava parte del total de mineral alimentado. Las etapas que comprende el proceso de cianuración son: Remolienda y clasificación con presencia de cianuro (> 95%-37 micras), espesamiento y clarificación de la solución rica, lixiviación en tanques agitadores, lavado en contracorriente y finalmente la recuperación de los valores disueltos mediante el proceso Merriii-Crowe con polvo de zinc (3).

La remolienda de concentrados se realiza en dos molinos de bolas 5' x 10' con carga de bolas entre 1 1/2" y 1" de diámetro, clasificados en un nido de ciclones de 10" con una alta dilución para asegurar el corte de > a 95 % - 400 mallas (37 micras). En este circuito se disuelve el 90% del oro quedando un 5 a 6 % para ser disuelto en los agitadores (1).

El overflow de los ciclones (con sólidos altamente diluidos por la abundancia del líquido (< a 7% de sólidos) es conducido a un espesador para separar la solución rica por rebose que finalmente va al Merriii-Crowe previa clarificación y conducir a los sólidos a través del underflow de este equipo hacia el circuito de agitadores para que complete la lixiviación del oro (3).

La pulpa final del circuito de agitadores es conducida al circuito de lavado en contracorriente para recuperar los valores disueltos y devolverlos en recirculación con el líquido que rebosa del primer espesador lavador hacia el nido de ciclones.

El Merriii-Crowe es el proceso que utiliza el polvo de zinc y se aplica para precipitar valores disueltos de oro y plata contenidos en líquidos fácilmente clarificados. Comprende cuatro etapas:

- La filtración a presión para la eliminación de los sólidos aun presentes después de la clarificación de la solución rica.

- La desaereación de la solución rica, donde la solución filtrada pasa a una torre donde interiormente se dispersa en una cámara porosa para quitarle fácilmente el oxígeno contenido en el líquido mediante una bomba de vacío.
- Precipitación de valores mediante el polvo de zinc, a la solución rica proveniente de la parte baja de la torre libre de sólidos y de oxígeno se le agrega polvo de zinc como agente químico que reacciona inmediatamente formando un precipitado sólido que es arrastrado con el fluido y recuperado por filtración. Mientras que las partículas de zinc mayormente se disuelven.
- Filtración del precipitado valioso, los sólidos valiosos formados por la reacción con el polvo de zinc son recuperados en otros filtros a presión y quedan atrapados en las cámaras de estos equipos dejando pasar al líquido muy pobre en valores al que se le llama solución pobre o barren (1).

2.2.4.5. Disposición de Relaves

Los relaves son depositados en canchas separadas e integradas por un dique principal con crecimiento de eje central y muro conformado por los gruesos del relave de flotación, rigurosamente compactado. El crecimiento del dique de contención, se lleva con una gradiente de 3 a 1. Mostrado en la Figura 8. Disposición de relaves - Anexo A.

A. Depósito de Relaves de Flotación

El efluente clarificado del "espejo" de la relavera de flotación es bombeado nuevamente a la Planta de Beneficio para formar la pulpa en el proceso de molienda; para lo cual se tiene instalada una bomba con su respectiva línea de conducción (1).

B. Depósito de Relaves de Cianuración

Para el almacenamiento de los relaves de cianuración se cuenta con dos canchas de relaves. Los depósitos para el relave de cianuración se construyen modularmente con una capacidad de un año de operación.

La pulpa del relave de cianuración es bombeada desde la Planta de Cianuración hasta sus respectivas relaveras, en donde se decantan los sólidos en suspensión (1).

2.2.4.6. Desarrollo Sostenible de la cuenca del río Parcoy:

Descripción General:

La cuenca del río Parcoy se encuentra ubicada en la provincia de Patate del departamento de La Libertad. Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran ubicados entre las coordenadas 77° 19' 08" y 77° 38' 08" de longitud Oeste y 07° 52' 43" y 08° 06' 05" de latitud Sur (5).

Los principales centros poblados ubicados dentro de la cuenca son: Parcoy, Retamas, Llacuabamba y Pías.

El acceso por carretera se realiza siguiendo la siguiente ruta, mostrado en la Figura 9. Río Parcoy - Anexo A.:

- Lima – Trujillo: Carretera asfaltada de 580 km.
- Trujillo – Chagual: Carretera afirmada de 340 km.

Fisiografía

La zona es de relieve abrupto, con quebradas, ríos encañonados y laderas pronunciadas que alcanzan hasta un 50% de pendiente. Fisiográficamente la zona es un típico valle en formación emplazado en el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, cuyas aguas discurren de Sur a Norte (5).

Los puntos más altos de la cuenca alcanzan los 4 500 msnm, mientras que el punto más bajo, que corresponde a la confluencia con el Marañón, se encuentra aproximadamente a los 1 400 msnm. En las cabeceras de las quebradas principales, existen valles en forma de U, valles colgados y depósitos glaciares, ubicados a ambos lados de la Cordillera.

Clima y Meteorología

El clima de la zona es el típico de la Cordillera de los Andes. En general, la temperatura ambiental disminuye con la altitud, mientras que la precipitación aumenta (5).

Por ejemplo: donde se desarrollan las operaciones de la Unidad Minera Horizonte entre los 2 700 y 3 000 msnm, la temperatura media anual oscila entre los 16 y 24°C; entre las cotas 3 200 y 3 700 msnm, donde se desarrolla parte de las operaciones de MARSA la temperatura media anual oscila entre 16 y 20 °C y

entre los 3 700 y 4 200 msnm donde se desarrolla otra parte de las operaciones de MARSA, la temperatura media anual varía entre los 6 y 10 °C.

Al igual que en el resto de los Andes peruanos, existe una época de lluvias que se extiende de noviembre a marzo, seguida de una época de estiaje entre los meses de abril a octubre.

Geología Regional

El área pertenece a las fosas tectónicas del Marañón y consiste de una faja angosta de cuencas tectónicas, constituidos a su vez por fajas hundidas que coinciden más o menos con el valle del Marañón y son delimitadas por grandes fallas más o menos verticales de orientación NW-SE.

Los límites de las fosas están constituidas por grandes bloques levantados del basamento metamórfico, la cuenca presenta sedimentos desde el precámbrico paleozoico y mesozoico y rocas de batolito granodiorítico del terciario y esto último denominado como el Batolito de Pataz, considerándose el cuerpo intrusivo más importante de la región, y que comprende un área de 200 km².

- Complejo Marañón: Las rocas más antiguas de la región se encuentran en el complejo Marañón que consiste de rocas metamórficas de bajo grado, filita negra, meta-andesita verdosa y mica-esquistos gris verdoso. La secuencia tiene un espesor máximo de más de 2,000 m y data del precámbrico al cambriano.

- Formación Contava: Esta es la unidad más antigua que sobreyace al complejo Marañón, consistente en lutitas y pizarras negras o gris oscuras en capas delgadas, en las cuales se intercalan capas delgadas de cuarcitas; su espesor máximo es de 500 m.

- Grupo Ambo: El Grupo Ambo tiene un espesor promedio de 300 m, alcanzando un máximo de 500 m, consistiendo en areniscas y lutitas con intercalaciones de conglomerados y restos de plantas del carbonífero.

- Grupo Mitu: Las areniscas y conglomerados rojos oscuros del grupo Mitu tienen un espesor promedio de 200 m, el conglomerado basal del grupo se compone de elementos suredondeados de caliza, arenisca parda, andesita rosada y areniscas arcóscas.

- Grupo Pucará: El grupo Pucará está caracterizado por bancos gruesos de caliza gris clara que en partes es silicificada y seguido por caliza negra, bituminosa, bien estratificada en capas delgadas de un espesor máximo de 500m.

- Formación Goyllarisquizga: Esta unidad está compuesta de una secuencia de areniscas grises, marrones y ojizas de grano medio a grueso en capas medianas a gruesas que llevan intercalaciones de lutita gris y rojiza, con un espesor total de 300 m.

- Formación Crisnejas: La formación Crisnejas conformada por calizas, areniscas calcáreas y lutitas calcáreas con un espesor promedio de 200 m.

- Formación Chota: La formación Chota está conformada por lutitas, arcilitas rojas y areniscas.

- Depósitos del cuaternario: A lo largo de los cauces de los ríos principales aparecen terrazas extensas, el material del que están compuestas es de un conglomerado mal clasificado de guijarros.

- Rocas intrusivas: Las principales rocas intrusivas que afloran extensamente en el área son: el granito rojo, granodiorita y diorita.

Sismicidad

De acuerdo a la clasificación del Instituto Geofísico del Perú, la cuenca está ubicada en una zona de sismicidad media, con actividad tectónica referida a epicentros superficiales relacionados con la fosa tectónica y fallas regionales, así como también de epicentros profundos relacionados a una placa tectónica continental y la placa oceánica de Nazca.

Recursos Naturales

A. Agua: La zona es de relieve abrupto, con quebradas, ríos encañonados y laderas pronunciadas con pendientes de hasta 50%; las aguas discurren de Sur Este a Nor Oeste. La quebrada Llacuabamba se origina por las subcuencas de las quebradas Mush Mush, Ventanas y Molinetes.

La quebrada Mush Mush tiene su origen en la Laguna Blanca y Mush Mush Alto que son pequeños valles fluvio-glaciares que colectan el agua de las precipitaciones y la descargan en pequeños cursos de agua. Las características hidrográficas de la Laguna Blanca son: área = 1.88 km²; pendiente promedio = 22.5% y de Mush

Mush Alta son: área = 2.68 km²; pendiente promedio = 18.1 % (5). Mostrado en la Figura 10. Quebradas del Río Parcoy - Anexo A.

- **Laguna Blanca:** Su abastecimiento se debe principalmente a escorrentías superficiales y su descarga fluye aguas abajo hacia la quebrada Mush Mush. En el lugar existe un dique de enrocado que fue construido con la finalidad de regular la salida del flujo de agua. Parte de la descarga de la laguna es derivada hacia la planta de beneficio de San Andrés.

- **Quebrada Mush Mush (después de quebrada Molinetes):** Durante la época de estiaje, el caudal varía entre 40 y 60 lt/s, mientras que, en la estación de lluvias el caudal varía alrededor de 1 m³/s. La quebrada Mush Mush es desviada de su cauce a través de una tubería de concreto armado y un canal de sección rectangular; en el lecho de la quebrada y en la ladera se depositan los relaves formado pilas, cuyos taludes en la coronación son dos unidades horizontales por una vertical.

- **Quebrada Ventanas:** Se origina en Las Tres Lagunas y Laguna Negra. Su caudal es aproximadamente 3 veces el caudal de la Quebrada Mush Mush; a 50 ms antes del encuentro con dicha quebrada. En la Quebrada Ventanas hay una obra hidráulica, que permite captar sus aguas a través de un canal de sección rectangular trasladando el agua para sus operaciones en la parte inferior.

La confluencia de los ríos Llacuabamba y Parcoy tiene lugar a 2,850 msnm en la localidad de Retamas: Distito de Parcoy, Provincia de Patatz departamento de La Libertad. Su nominación del río aguas abajo es de Río Parcoy.

B. Fauna

A pesar del paisaje bastante pobre en cobertura vegetal, la zona en su conjunto muestra una diversidad de aves, 30 especies agrupadas en 20 familias y 9 órdenes, cuya lista taxonómica se presenta en el cuadro siguiente. Además, entre otros vertebrados, se pueden mencionar a los reptiles como las “lagartijas” (*Tropidurus peruviana*), “pacasos” (*Ginero Iguana*); anfibios (sapos del género *Bufo*); igualmente se tiene la presencia del “Zorro costeño” (*Dusicyon Sechure*). En la laguna Pías, la especie de peces más importantes es la “carpa” (*Cyprinus carpio*) empleada para consumo humano (5).

C. Minería

La mineralización se encuentra asociada al Batolito de Pataz, siendo los yacimientos en explotación del tipo filoniano, el mineral se extrae de vetas de cuarzo y sulfuros, donde el oro, como principal metal económico, se encuentra rellenando fracturas en piritas o en los contactos galena-pirita o esfalerita-pirita (1).

La mineralogía de las vetas está conformada por cuarzo y pirita, como minerales principales; de igual forma galena, esfalerita y chalcopirita; como minerales secundarios.

Las vetas constituyen una asociación típica mesotermal (250- 350° C) de cuarzo-pirita-oro, la mineralización se debe al relleno hidrotermal de fisuras originadas principalmente en rocas metamórficas y son ubicadas generalmente muy cerca al contacto con el batolito granodiorítico y menos común dentro del cuerpo intrusivo mismo (1).

D. Paisaje

La cuenca se caracteriza por un relieve abrupto, con quebradas, ríos encañonados y laderas pronunciadas con pendientes de hasta 50%, con valles en formación emplazados en el flanco occidental de la Cordillera Oriental de los Andes, cuyas aguas discurren de Sur a Norte conformando las estribaciones más altas de la cuenca del Marañón.

Factor Antrópico

A. Agricultura: La agricultura representa el 22% de la economía, segundo ingreso económico más importante, después de la minería. Los cultivos destacados en el departamento son: caña de azúcar, papa, arroz, maíz amarillo, espárrago y alfalfa cuyo peso en el valor bruto de la producción y en la superficie sembrada, es determinante en la evolución sectorial.

B. Ganadería: La ganadería representa el tercer ingreso económico, contando con ganado vacuno, ovinos y cerdos. La actividad ganadera tiene una gran importancia en el desarrollo del Distrito, por el número de personas que trabajan en ella, por su participación como rubro generador de empleo y divisas, por la capacidad de generar el autoabastecimiento del mercado, evitando la dependencia alimentaria externa; así como, por su aporte relevante en el Producto Bruto Interno del país. El Departamento de La Libertad tiene condiciones y características

potenciales en cuanto a recursos naturales como suelo y agua para el desarrollo de la ganadería, así como los recursos humanos expresados en las costumbres y en las actitudes por adquirir nuevas capacidades para mejorar nuestra competitividad. Sin embargo en el sector ganadero no se cuenta con una planificación estratégica.

C. Actividad Minera: Las empresas más importantes que operan en la zona son Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA) y Consorcio Minero Horizonte. Otra empresa de menor capacidad de producción es la llamada Compañía Minera Real Aventura, que beneficia minerales auríferos a razón de unas 50 TPD. Estas empresas que utilizan el proceso de flotación de piritas y las subsecuente cianuración del oro contenido en ellas, donde se requiere una molienda muy fina para poder liberar las especies valiosas. Las pequeñas o microempresas generalmente de tipo informal, benefician minerales auríferos de leyes más altas, empleando procesos artesanales de amalgamación y refogado de la amalgama.

También, se conoce de una actividad pequeña, con rasgos de informal, que se encuentra localizada en áreas muy cercanas a las empresas formales o en zonas mineras tradicionales.

Recurso Social

El mayor ingreso económico y la actividad principal en el Distrito es la minería con un 65%, congregando a Retamas, La Soledad, Llacuabamba y Parcoy, que son los centros poblados urbanos que cuentan con mayor población. Luego las actividades comerciales y de servicios con un 10%. La agricultura y ganadería representan el 22% de la economía del Distrito. La construcción significa un 3%, que se ha incrementado con las obras de infraestructura por parte del gobierno local. Las principales empresas mineras en el distrito de Parcoy son: Minera Aurífera Retamas S.A. (MARSA), Consorcio Minero Horizonte S.A. (CMH), y Compañía Aurífera Real Aventura S.A.C. Dichas Empresas optienen oro como producto final. Además existe la Minería Artesanal, que es de pequeña escala.

El distrito de Parcoy tiene una población de 19 941 habitantes, con un IDH (Índice de Desarrollo Humano) de 0.3432, con una esperanza de vida de 71.53 años, con una población de educación secundaria de 24.58% y años de educación de 7.75, y con un ingreso familiar per cápita de 435.4 Nuevos Soles al mes (Fuente: Índice de Desarrollo Humano departamental, provincial y distrital 2012 - PNUD).

Impacto Ambiental

La problemática principal radica en la pérdida de calidad y carga del factor agua en la parte alta de la Cuenca del Río Parcoy, con lo que conlleva a una falla en la Gestión y Manejo de la Cuenca, en busca de un Desarrollo Sostenible. Con el propósito de mostrar un enfoque integral de los impactos registrados en la Cuenca del Río Parcoy-Llacuabamba, en primer lugar, es importante efectuar algunas precisiones respecto al origen de la contaminación mineral en la cuenca, fundamentalmente por la presencia de las compañías Mineras Horizonte, Marsa y Real Aventura, que presentan una compleja variedad mineralógica, la cual unida a la antigüedad e intensidad de la actividad de exploración y explotación, es sumamente trascendente en la generación de elementos metálicos disueltos a las aguas del río. Asimismo, el proceso de cianuración utilizado por todas las compañías es otra fuente importante de contaminación. Igualmente, el avanzado proceso de intemperismo de algunos relaves también aporta con infiltraciones contaminantes.

Definitivamente, la fuente primaria de contaminación inorgánica son las distintas fases mineralógicas (minerales) presentes en las zonas de explotación minera. Estos minerales que forman parte tanto de lo extraído como de lo que permanece dentro de la mina, reaccionan inicialmente con el oxígeno del aire, formándose elementos disueltos que son transportados por las aguas de infiltración a la mina. A su vez, con la existencia, de microorganismos, se producen reacciones secundarias que elevan el nivel oxidante de las soluciones (presencia de iones férricos), los cuales aceleran las reacciones de descomposición.

La descargas de bocaminas de las operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. se centran en el cerro El Gigante y en la Quebrada San Vicente. Los efluentes de las bocaminas Porvenir Medio, Porvenir Intermedio y Huacrachuco forman un solo flujo de agua en la ladera del Cerro El Gigante. Las aguas de las bocaminas Nivel 5, Española y Españolita drenan a la Quebrada San Vicente; debido al corto recorrido y a su pendiente, se considera a la descarga al río Llacuabamba, como punto de descarga al ambiente. La descarga de la sub-unidad R2 (Estación 20) es el último vertimiento en el recorrido del río Llacuabamba (5). Mostrado en la Figura 11. Vertimiento del efluente industrial cianurado - Anexo A.

A la par, al mes la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. utiliza 6 750 000 litros de agua obtenidas de la parte alta de la Cuenca Rio Parcoy, exactamente de la Laguna Blanca, que es abastecedora principal de la cuenca junto con la quebrada Mush Mush Alto (5). La Laguna Blanca tiene 1,88 Km² (188 hectáreas), con una capacidad aproximada de 1 880 millones de litros de agua, un 40 % de la laguna está prácticamente seca, por lo que afecta directamente con la carga y calidad de la Cuenca Rio Parcoy, y a los centros poblados de Parcoy, Retamas, Llacuabamba y Pías, que utilizan estas aguas cianuradas para regadío de su segunda actividad con mayor ingreso económico, la problemática de la agricultura se da por las pequeñas dimensiones y baja calidad de los cultivos (papa, maíz, haba, arvejas, oca, quinua, cebada, etc.) Por la insuficiente o nula calidad del agua que utilizan como regadío, procedente de la Cuenca del Río Parcoy (5). Mostrado en la Figura 12. Laguna Blanca - Anexo A.

2.2.5. Límites Máximos Permisibles:

El Límite Máximo Permisible (LMP) 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.

La fijación de dichos límites tiene como finalidad proteger al ambiente y la salud humana de ciertos elementos y/o sustancias que puedan representar un riesgo para ellas, pero a diferencia de los ECA los LMP establecen un límite aplicable a las emisiones, efluentes o descargas al ambiente, individualizando los límites por actividad productiva. Así, los LMP son exigibles y su cumplimiento es obligatorio para cada una de las personas o empresas de cada sector.

Por ese motivo, cada una de las personas o empresas debe realizar las acciones necesarias para que su accionar no implique sobrepasar los LMP establecidos. Entre los sectores para los que se han establecido LMP tenemos: transportes y comunicaciones, minería, hidrocarburos, electricidad, construcción y saneamiento, industria cementera, de curtiembres y papel, así como la industria pesquera, entre otros (18).

El Límite Máximo Permisible (LMP) para descargas de efluentes mineros en nuestro país, se determina en función al D.S. No. 010-2010-MINAM, en cual se

indica el valor límite permisible de cianuro total, que debe estar presente en el efluente tratado que debe ser menor a 1 mg/L, medición en cualquier momento y 0,8 mg/L en el promedio anual.

2.3. Definiciones Conceptuales

- **Efluentes Industriales:** Residuos provenientes de la industria; pueden ser clasificados ampliamente de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas
- **Cianuro:** es un anión monovalente de representación CN^- . El mismo contiene el grupo cianuro ($:\text{C}\equiv\text{N}:$), que consiste de un átomo de carbono con un enlace triple con un átomo de nitrógeno. Incoloro: Que no tiene color.
- **Sulfato Ferroso:** es un compuesto químico iónico de fórmula (FeSO_4). También llamado sulfato ferroso, caparrosa verde, vitriolo verde, vitriolo de hierro, melanterita o Szomolnokita
- **Lixiviación:** También extracción sólido-líquido, es un proceso en el que un disolvente líquido pasa a través de un sólido pulverizado para que se produzca la disolución de uno o más de los componentes solubles del sólido.
- **Neutralización:** Es una reacción química que ocurre entre un ácido y una base produciendo una sal y agua.
- **Sedimentación:** Acción de sedimentar o sedimentarse, es el proceso por el cual el sedimento en movimiento se deposita
- **Coagulación:** Acción de coagular o coagularse.
- **Decantación:** Procedimiento para separar dos sustancias mezcladas, una líquida de otra que no lo es o dos líquidos inmiscibles (agua y aceite) mediante el vertido de la más densa.
- **pH:** Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.
- **Deforestación:** Extinción de las plantas forestales de un terreno.
- **DAR (Drenaje ácido de las rocas), DAM (Drenaje ácido de las minas):** trata sobre la predicción, prevención y manejo del drenaje producido de la oxidación del mineral sulfuroso.

- **Cianato:** Es un ion de carga negativa o anión formado por un átomo de oxígeno, otro de carbono y otro de nitrógeno, unidos entre sí mediante enlaces covalentes, dejando una carga negativa.

2.4. Marco Legal

- Ley N°28611 “Ley General Del Ambiente”.
- Ley N° 29338 “Ley De Recursos Hídricos” - “Reglamento De La Ley De Recursos Hídricos”
- D.S. N° 001-2010-AG “Reglamento De La Ley De Recursos Hídricos” - Título V; Capítulo Vi: Vertimientos De Aguas Residuales Tratadas Artículo 131º.- Aguas Residuales Y Vertimientos.
- D.S. N° 010-2010 MINAM “Aprueban Límites Máximos Permisibles Para La Descarga De Efluentes Líquidos De Actividades Mineros – Metalúrgicos”.
- Ley N° 27446 “Ley Del Sistema Nacional De Evaluación De Impacto Ambiental” – “Reglamento De La Ley Del SEIA”

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de Investigación

La investigación es Aplicada, porque se buscó resolver un problema práctico en las mineras auríferas. Sustentado en Roel Pineda (19), indica que la investigación aplicada es la que se efectúa con vistas a ampliar el conocimiento científico en algún campo específico de la realidad, a partir de los progresos de la ciencia básica. En este caso, se amplía el conocimiento científico en el campo Metalúrgico y Ambiental. Según el número de mediciones de la variable del estudio es Longitudinal por que ha sido medido en dos ocasiones. El nivel de investigación fue cuasi experimental, porque se manipuló intencionalmente la variable independiente en cantidades diferentes para cada muestra, obteniendo seis resultados diferentes y siendo analizadas entre sí para ver el grado de significancia.

3.2. Diseño y Esquema de Investigación

Materia Prima:

La materia prima para el trabajo de investigación está constituido por los Efluentes Industriales Cianurados provenientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. vertidos en la Quebrada Molientes que abastece al Río Parcoy, como resultado del proceso de cianuración para la obtención del oro. Estas muestras se analizaron en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión para obtener la calidad del agua que presenta el Río Parcoy.

Se analizaron los siguientes parámetros:

- pH
- Hierro (Fe)

- Cobre (Cu)
- Zinc (Zn)
- Plomo (Pb)
- Cianuro total

Preparación de Reactivos:

- Cada muestra se trabajó por separado añadiendo diferentes concentraciones de Sulfato Ferroso Monohidratado en distintas relaciones en peso (gramo de neutralizante / mg/L de cianuro total / total a neutralizar), 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1 (20).

Preparación:

- Verter la Muestra del efluente industrial cianurado en la Planta Nivel Laboratorio, en la primera celda, dejarlo agitar por 10 minutos y abrir el la llave de paso para que fluya a la siguiente celda.
- Preparar un filtro con 11 - 12 g De Carbón Activado.

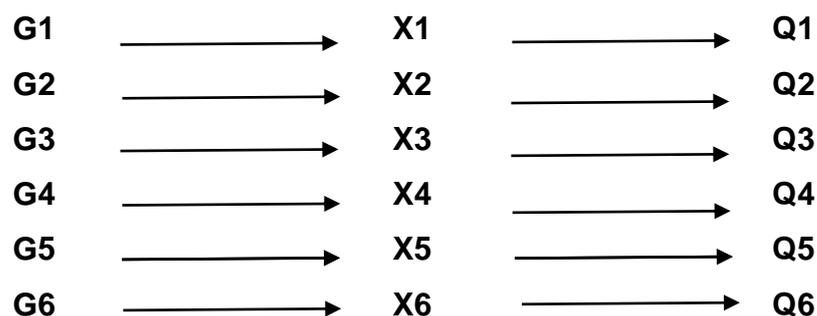
Valoración:

- Pesar el Sulfato Ferroso.
- Disolver en 75 mL de agua destilada en un Erlenmeyer.

Procedimiento:

- Agregar el agua destilada con Sulfato Ferroso a la celda que contiene el efluente industrial cianurado en plena agitación. Medir el pH con un pH-metro.
- Abrir la llave de paso para que la muestra fluya a la siguiente celda. Esperar que toda la muestra se encuentre en la tercera celda.
- Sumergir el filtro del Carbón Activado en la muestra. Dejarlo Agitar.
- Abrir la llave de paso. Esperar que la muestra fluya a la cuarta celda.
- Medir el pH con un pH-metro.
- Abrir la siguiente llave de paso y enviar la muestra Post tratamiento para analizar la calidad del agua con los siguientes parámetros: pH, Hierro (Fe), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Cianuro total, del efluente industrial cianurado en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrón.

Se analizó los datos recolectados combinándolos entre sí mediante tablas y gráficos.



Dónde:

- G: Grupo de sujetos
- X: Tratamiento, estímulo o condición experimental
- Q: Medición de los sujetos de un grupo.

3.3. Población y Muestra

3.3.1. Población

La población en estudio fue el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. vertidos en la Quebrada Molinetes que abastece al Río Parcoy. La empresa minera utiliza 6 750 000 litros de agua al mes obtenidas de la Laguna Blanca, la cual tiene 1,88 Km² (188 hectáreas), con una capacidad aproximada de 1 880 millones de litros de agua.

3.3.2. Muestra

Se tomó como referencia 6 muestras cada una de un 1 litro de agua con contenidos de cianuro total procedentes de la presa de relaves y el sub drenaje de depósito de relaves de flotación, los cuáles fueron sometidos a las diferentes pruebas en el laboratorio, en un tiempo de tratamiento de 30 minutos con un caudal promedio de 0,001 L/s. Se tomaron dos muestras, E1 y E2 en el sub drenaje de depósito de relaves de flotación, las muestras E2 y E3 en la presa de relaves y las muestras E4 y E5 de la unión de estas dos vertientes. Las muestras fueron tomadas cada dos días para ver las variantes producidas por el factor tiempo.

Obtención: Fueron obtenidas de las operaciones mineras de la empresa Aurífera Retamas S.A. vertidos en la Quebrada Molientes que abastece al Río Parcoy, como resultado del proceso de cianuración para la obtención del oro.

Se llena un recipiente plástico con un promedio de 1,5 litros del efluente industrial cianurado, para comenzar con el tratamiento del agua, previamente dejamos decantar los sólidos totales en suspensión (STS), para luego proceder a extraer 1 litro de líquido.

Las muestras para el presente estudio fueron obtenidas de acuerdo a un protocolo de monitoreo de agua y teniendo en cuenta la representatividad de la muestra dentro del proceso, un factor importante viene a ser la velocidad con que se realicen las pruebas, con cada muestra se realizan las pruebas para tratar empleando el método de sulfato ferroso. En total se obtuvo seis (6) muestras para realizar seis (6) pruebas. Cada una de estas muestras las llamaremos Efluente 1, 2, 3, 4, 5, 6, respectivamente, proceden de las aguas del efluente residual industrial del proceso de cianuración obtenidas en diferentes puntos del vertiente a la Quebrada Molienda, por ende, tendrán una variabilidad en cuanto a contenido de compuestos en solución. Mostrado en la Figura 14. Puntos de Muestro - Anexo A.

Cuadro 2. Ubicación del punto de muestreo E1

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.												
Cuenca	:	Parcoy												
Código de Cuenca	:	49899												
<u>Identificación del Punto</u>														
Código del punto de muestra	:	E1												
Ubicación	:	Afuera de las piscinas de relaves de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.												
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, con regular vegetación.												
Ubicación	:													
Distrito:	Parcoy	Provincia: Pataz												
		Región: La Libertad												
Medición de posicionamiento	:													
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>232590</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9108984</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3783</td> </tr> </table>	Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	232590	Coordenadas Norte (m)	9108984	Altitud (msnm)	3783
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)													
Tipo de Proyeccion	WGS 84													
Zona UTM	18 L													
Coordenadas Este (m)	232590													
Coordenadas Norte (m)	9108984													
Altitud (msnm)	3783													
Medición del caudal (promedio)	:	2,16 L/s												
Fecha: 12/05/2018														

Cuadro 3. Ubicación del punto de muestreo E2

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.														
Cuenca	:	Parcoy														
Código de Cuenca	:	49899														
<u>Identificación del Punto</u>																
Código del punto de muestra	:	E2														
Ubicación	:	Afuera de las piscinas de relaves de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.														
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, con regular vegetación.														
Ubicación	:															
Distrito:	Parcoy	Provincia:	Pataz	Región:	La Libertad											
Medición de posicionamiento	:															
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>232510</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9109001</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3754</td> </tr> </table>			Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	232510	Coordenadas Norte (m)	9109001	Altitud (msnm)	3754
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)															
Tipo de Proyeccion	WGS 84															
Zona UTM	18 L															
Coordenadas Este (m)	232510															
Coordenadas Norte (m)	9109001															
Altitud (msnm)	3754															
Medición del caudal (promedio)	:	3,85 L/s														
Fecha: 14/05/2018																

Cuadro 4. Ubicación del punto de muestreo E3

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.												
Cuenca	:	Parcoy												
Código de Cuenca	:	49899												
<u>Identificación del Punto</u>														
Código del punto de muestra	:	E3												
Ubicación	:	Metros abajo de la carretera para el Ingreso de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.												
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.												
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, quebrada, con regular vegetación.												
Ubicación	:													
Distrito:	Parcoy	Provincia: Pataz Región: La Libertad												
Medición de posicionamiento	:													
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>232443</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9108831</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3811</td> </tr> </table>	Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	232443	Coordenadas Norte (m)	9108831	Altitud (msnm)	3811
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)													
Tipo de Proyeccion	WGS 84													
Zona UTM	18 L													
Coordenadas Este (m)	232443													
Coordenadas Norte (m)	9108831													
Altitud (msnm)	3811													
Medición del caudal (promedio)	:	14,79 L/s												
Fecha: 12/05/2018														

Cuadro 5. Ubicación del punto de muestreo E4

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.														
Cuenca	:	Parcoy														
Código de Cuenca	:	49899														
<u>Identificación del Punto</u>																
Código del punto de muestra	:	E4														
Ubicación	:	Metros abajo de la carretera para el Ingreso de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.														
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, quebrada, con regular vegetación.														
Ubicación	:															
Distrito:	Parcoy	Provincia:	Pataz	Región:	La Libertad											
Medición de posicionamiento	:															
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>232418</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9108920</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3764</td> </tr> </table>			Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	232418	Coordenadas Norte (m)	9108920	Altitud (msnm)	3764
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)															
Tipo de Proyeccion	WGS 84															
Zona UTM	18 L															
Coordenadas Este (m)	232418															
Coordenadas Norte (m)	9108920															
Altitud (msnm)	3764															
Medición del caudal (promedio)	:	18,60 L/s														
Fecha: 14/05/2018																

Cuadro 6. Ubicación del punto de muestreo E5

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.														
Cuenca	:	Parcoy														
Código de Cuenca	:	49899														
<u>Identificación del Punto</u>																
Código del punto de muestra	:	E5														
Ubicación	:	Metros abajo de la unión de las dos fuentes de relaves mineros.														
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.														
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, quebrada, con regular vegetación.														
Ubicación	:															
Distrito:	Parcoy	Provincia:	Pataz	Región:	La Libertad											
Medición de posicionamiento	:															
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>232361</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9109047</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3675</td> </tr> </table>			Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	232361	Coordenadas Norte (m)	9109047	Altitud (msnm)	3675
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)															
Tipo de Proyeccion	WGS 84															
Zona UTM	18 L															
Coordenadas Este (m)	232361															
Coordenadas Norte (m)	9109047															
Altitud (msnm)	3675															
Medición del caudal (promedio)	:	25,68 L/s														
Fecha: 16/05/2018																

Cuadro 7. Ubicación del punto de muestreo E6

Cuerpo de Agua	:	Aguas vertidos en la Quebrada Molientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Clasificación del Cuerpo de agua	:	Categoría 4 / clase especial.														
Cuenca	:	Parcoy														
Código de Cuenca	:	49899														
<u>Identificación del Punto</u>																
Código del punto de muestra	:	E6														
Ubicación	:	A pocos metros de que se una con la quebrada Molienda.														
Accesibilidad	:	Ingreso por la carretera de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.														
Representatividad	:	Se ubicó el punto después de un recorrido por la ribera del río donde se observó el cauce regular.														
Descripción del lugar	:	Zona rocosa, quebrada, con regular vegetación.														
Ubicación	:															
Distrito:	Parcoy	Provincia:	Pataz	Región:	La Libertad											
Medición de posicionamiento	:															
		<table border="1"> <tr> <td>Tipo de Coordenadas</td> <td>UTM (Unidades Técnicas Métricas)</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Proyeccion</td> <td>WGS 84</td> </tr> <tr> <td>Zona UTM</td> <td>18 L</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Este (m)</td> <td>231999</td> </tr> <tr> <td>Coordenadas Norte (m)</td> <td>9109327</td> </tr> <tr> <td>Altitud (msnm)</td> <td>3556</td> </tr> </table>			Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)	Tipo de Proyeccion	WGS 84	Zona UTM	18 L	Coordenadas Este (m)	231999	Coordenadas Norte (m)	9109327	Altitud (msnm)	3556
Tipo de Coordenadas	UTM (Unidades Técnicas Métricas)															
Tipo de Proyeccion	WGS 84															
Zona UTM	18 L															
Coordenadas Este (m)	231999															
Coordenadas Norte (m)	9109327															
Altitud (msnm)	3556															
Medición del caudal (promedio)	:	27,7 L/s														
Fecha: 18/05/2018																

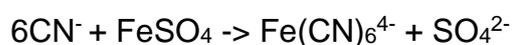
3.4. Definición operativa del instrumento de recolección de datos

Para la primera muestra se analizó la concentración de cianuro total del efluente industrial, y se calculó la cantidad en gramos del Sulfato Ferroso Monohidratado (gramo de neutralizante / mg/L de cianuro total / total a neutralizar), 1/1, 2/1, 3/1, 4/1, 5/1, 6/1 (20), Se procuró trabajar con un rango de pH de 4 – 8.5, como un parámetro de control, ya que como menciona Mamani¹¹ con un exceso de Sulfato Ferroso el pH decrece de 4 no haría precipitar a los cianuros metálicos complejos, y por encima del pH 8.5 puede dar como resultado la resolubilización del cianuro precipitado y así la velocidad de degradación se reduce apreciablemente, siendo necesarios periodos de tiempo más largos para llegar a contenidos aceptables. El agua post tratamiento se llevó a analizar con un instrumento de química analítica, ICP para Metales Totales y Disueltos en el laboratorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Se repitió el proceso y así controlando la variable independiente. Para la presentación de datos se utilizaran cuadros, tablas y gráficos.

Se realizó un monitoreo cada semana por un mes para observar los parámetros físicos de los vertimientos que realiza la Empresa Minera Auríferas Retamas S.A. con el equipo Multiparámetro para muestreo en Campo.

Precipitación de Cianuro Libre mediante Ion Ferroso

El cianuro libre puede ser convertido en un compuesto poco tóxico con la adición de un exceso de una sal soluble de hierro, como lo es el sulfato ferroso ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).



La adición de iones ferrosos a soluciones conteniendo cianuro férrico deja un precipitado azul conocido como azul de Turnbull. Por otra parte, los iones férricos reaccionan con el cianuro ferroso para formar el insoluble azul de Prussia.

La precipitación del cianuro libre luego de la adición de ion ferroso es una reacción rápida y toma entre 15 a 30 minutos en ser realizada. La concentración final de cianuro libre puede llegar a menos de 1 mg/L.

El método de precipitación de cianuro libre con ion ferroso, si bien es uno de los métodos más baratos para tratamiento de efluentes, las soluciones resultantes no pueden ser descargadas directamente y por lo general se necesita de un tratamiento secundario.

Diseño de la planta a nivel de laboratorio

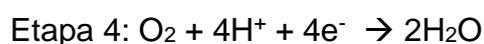
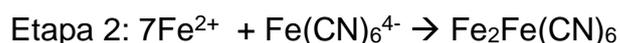
La planta a nivel de laboratorio tiene una capacidad para tratar un volumen promedio de 2 litros. El cual es sometido a un tiempo de 30 minutos de tratamiento. Mostrado en la Fotografía 13. Planta a nivel de laboratorio para realizar la investigación - Anexo A.

Procedimiento del tratamiento con Sulfato Ferroso:

Para iniciar los experimentos se toman 6 muestras de 1 litro cada uno, de agua del efluente minero de la empresa minera Aurífera Retamas S.A, después de realizado la sedimentación de los sólidos totales en suspensión (STS).

Las concentraciones del agua residual industrial tienen concentración de cianuro total de 4,49 mg/L a 5,61 mg/L. Los cuales necesitan realizar el tratamiento hasta alcanzar los límites para el vertimiento a un cuerpo receptor de 1 mg/L según el D.S. No. 010-2010-MINAM. Cada muestra de agua residual industrial, es sometida a una agitación constante por un espacio de 10 minutos con la finalidad de conseguir las reacciones y los resultados deseados. Figura 16. Tratamiento del efluente industrial cianurado - Anexo A.

A continuación se muestra las reacciones químicas que se producen producto de la reacción del ion ferroso con la presencia del cianuro libre en el agua del efluente del agua industrial de la empresa minera aurífera Retamas S.A., siendo las siguientes reacciones:



Como se puede apreciar en las reacciones químicas, en la etapa 3, se logra estabilizar el contenido de cianuro libre en presencia del ion ferroso al lograr la formación de ferrocianuro complejo ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$) un compuesto insoluble que se

logra la precipitación con la ayuda de un floculante, y con la etapas 4, se consigue la estabilización de los iones para obtener un agua con concentraciones menores a los límites establecidos en según el D.S. No. 010-2010-MINAM.

Según los cálculos de la demanda de ion ferroso requerido en la proceso de reacción con el cianuro libre, a cada muestra se le agrego 4 g, 8 g, 15 g, 20 g, 25 g, y 30 g Correspondientemente para formar el compuesto de hexacianoferrato (ferrocianuro). También durante la operación se puede apreciar que el método es de fácil control, rápida reacción química, el traslado y uso de los insumos químicos no requiere procedimientos rigurosos de seguridad. Figura 17. Tratamiento del Efluente Industrial Cianurado - Anexo A.

Es importante realizar la medición del pH, como un parámetro de control para que las reacciones química que se desean lograr, para lo cual el rango de pH debe ser de 4 a 8,5, ya que como menciona Mamani¹¹ con un exceso de Sulfato Ferroso el pH decrece de 4 no haría precipitar a los cianuros metálicos complejos, y por encima del pH 8.5 puede dar como resultado la resolubilización del cianuro precipitado y así la velocidad de degradación se reduce apreciablemente, siendo necesarios periodos de tiempo más largos para llegar a contenidos aceptables. Por lo que es importante contar con un equipo pH-meter para realizar estas mediciones. Figura 18. pH-meter - Anexo A.

Se sumergió el filtro del Carbón Activado en la muestra, para un control del color y olor, controlar el Azul de Prussia que se produjo y volverlo inodoro, ya que el Cianuro después del tratamiento con el Sulfato Ferroso deja un olor fuerte, aunque bien ya no se considera tóxico, aún mantiene un hedor. Figura 19. Carbón Activado - Anexo A.

3.5. Técnicas de recojo, procesamiento y presentación de datos

Para el recojo de datos de información documental se utilizó la observación conductiva por que se manipuló o condujo los hechos que se observan, también la observación no conductiva por que estará centrada en la revisión de tesis, libros, revistas e información de internet que tengan relación con la investigación, y la observación no estructurada porque se buscó y anotó los diferentes hechos que se observaron sin ningún patron. El procesamiento y administración de base de datos

se realizó en el Software Excel e IBM SPSS versión 22.0. Y la presentación fue mediante cuadros, gráficos y tablas.

El análisis de los resultados de la calidad del efluente industrial cianurado fue mediante la prueba estadística de T de Student para medias de dos muestras emparejadas y para solo una muestra, trabajado en el software IBM SPSS versión 22.0.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados

Cuadro 9. Concentración de Cianuro Total en el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

Resultados de Medición Cianuro Total Antes del Tratamiento		
Efluente	mg/L	LMP (mg/L)
1	4,52	1
2	4,49	1
3	5,61	1
4	5,59	1
5	5,06	1
6	5,03	1

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

Como se aprecia los resultados del monitoreo realizado al efluente de las operaciones mineras de la empresa Aurífera Retamas S.A, sin ningún tratamiento previo, muestra problema en su composición de la concentración de cianuro total, superando el valor límite de vertimiento establecido de 1 mg/L. Los resultados de los análisis muestran contenidos de 4,49 mg/L a 5,61 mg/L de cianuro total, como

se muestra en el Cuadro N° 9 y la figura N° 15. Lo que nos indica que necesita de un tratamiento.

Figura 15. Concentración de Cianuro Total en el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.



Fuente: Cuadro 09.

Los resultados en las pruebas realizadas después del tratamiento con la tecnología de sulfato ferroso, realizada al efluente industrial de la empresa Minera Aurífera Retamas S.A. muestran valores en su concentración de cianuro total, por debajo de los límites máximos permisibles según el D.S. No. 010-2010-MINAM, lo que indica que el agua fue tratada en lo que concierne a este parámetro. Cuyos resultados se muestra en el cuadro N° 10.

Cuadro 10. Concentración de Cianuro Total en el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

Resultados de Medición Cianuro Total Después del Tratamiento		
Efluente	mg/L	LMP (mg/L)
1	0,39	1
2	0,29	1
3	0,41	1

4	0,36	1
5	0,46	1
6	0,43	1

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

En el diagrama N° 20 , se muestra los resultados del contenido de cianuro total después del tratamiento con respecto a los Límites Máximos Permisibles del D.S. No. 010-2010-MINAM, los cuales como se puede apreciar están comprendidos entre 0.29 mg/L como valor mínimo y 0.46 mg/L valor máximo de los resultados analizados.

Figura 20. Cianuro Total Después del Tratamiento.



Fuente: Cuadro 10.

4.1.1. Concentración del pH y de los Cianuros Metálicos Complejos

Cuadro 11. Concentración del pH de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

COMPARACION DEL pH PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	LMP	PRE	POST
E1	6 \diamond 9	8,86	7,97
E2	6 \diamond 9	8,54	7,2
E3	6 \diamond 9	8,94	6,2
E4	6 \diamond 9	8,56	5,8
E5	6 \diamond 9	8,38	5,1
E6	6 \diamond 9	8,27	4,2

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

El pH antes del tratamiento se mantiene a un nivel de 8, con variaciones mínimas; después del tratamiento varía significativamente entre 7,97 hasta 4,2. Encontrándose por debajo de los LMP marcado entre 6 y 9 de pH. Ésta varianza se debe a la cantidad de Sulfato Ferroso manejado en las diferentes muestras trabajadas.

Cuadro 12. Concentración del Hierro de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

COMPARACION DEL HIERRO PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	LMP mg/L	PRE mg/L	POST mg/L
E1	2	3,44	1,67
E2	2	3,35	1,24
E3	2	4,61	1,76
E4	2	4,45	1,54
E5	2	3,7	1,97
E6	2	3,6	1,84

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

La concentración de Hierro en las seis muestras sobrepasan los LMP, con más diferencia en los efluentes E3 y E4, provenientes de la Presa de Relaves, después del tratamiento se encuentran por debajo de los 2 mg/l requerido por el MINAM.

Cuadro 13. Concentración del Cobre de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

COMPARACION DEL COBRE PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	LMP mg/L	PRE mg/L	POST mg/L
E1	0,5	0,5	0,28
E2	0,5	0,37	0,27
E3	0,5	0,59	0,34
E4	0,5	0,55	0,3
E5	0,5	0,53	0,38
E6	0,5	0,46	0,36

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

La concentración del Cobre se mantienen al límite con lo requerido por el MINAM, bordeando el 0,5 mg/l, pasando por lo mínimo desde el efluente E3 al efluente E6, después del tratamiento todos se encuentran dentro de los LMP.

Cuadro 14. Concentración del Cinc de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

COMPARACION DEL CINCO PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	LMP mg/L	PRE mg/L	POST mg/L
E1	1,5	1,55	0,72
E2	1,5	1,51	0,53
E3	1,5	2,08	0,76
E4	1,5	2,01	0,66
E5	1,5	1,67	0,85
E6	1,5	1,62	0,79

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

La concentración del Cinc en todos los efluentes sobre pasan los LMP, que marca un máximo de 1,5 mg/l, los puntos más altos son los efluente E3 y E4, provenientes de la presa de relaves. La concentración después del tratamiento disminuye significativamente entre 0,85 a 0,53 mg/l.

Cuadro 15. Concentración del Plomo de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

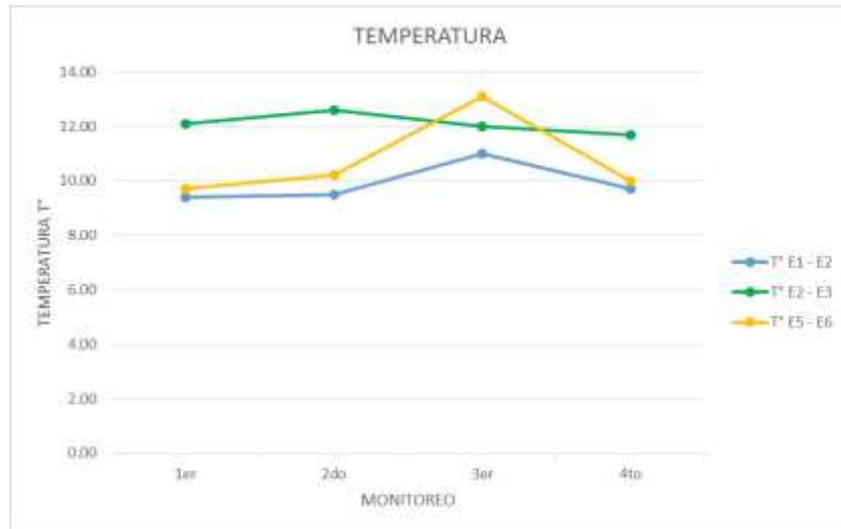
COMPARACION DEL PLOMO PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	LMP mg/L	PRE mg/L	POST mg/L
E1	0,2	< 0,05	< 0,05
E2	0,2	< 0,05	< 0,05
E3	0,2	< 0,05	< 0,05
E4	0,2	< 0,05	< 0,05
E5	0,2	< 0,05	< 0,05
E6	0,2	< 0,05	< 0,05

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

En el caso del Plomo (Pb) su concentración es sumamente mínima, por lo cual ya no se tendrá en cuenta para los siguientes análisis.

4.1.2 Monitoreo de los Parámetros Físicos de los Vertimientos que realiza la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

Figura 21. Temperatura



Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

La temperatura de descarga debe mantenerse en $<35^{\circ}\text{C}$, el promedio de la temperatura a lo largo de 4 semanas en los tres puntos tomados para el análisis de los parámetros físicos se encuentran entre 9°C y 12°C , encontrándose dentro de los LMP.

Figura 22. TDS.



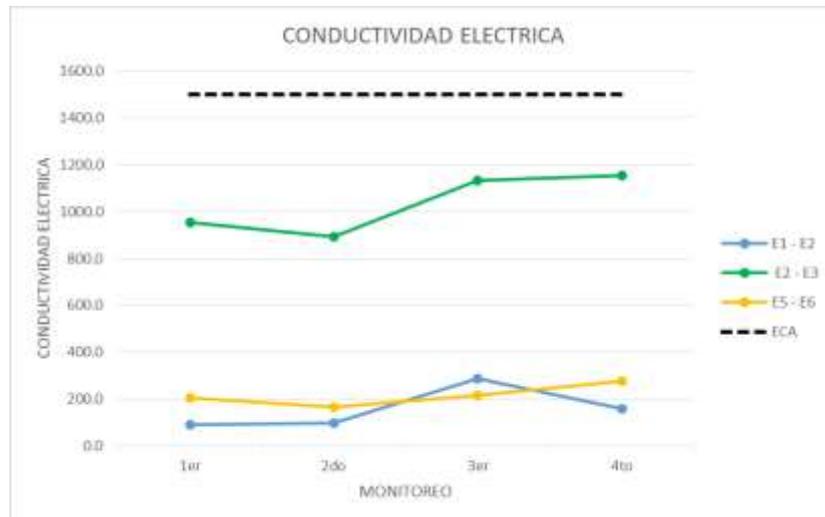
Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

En los Solidos Disueltos Totales, se registra un promedio de 619,50 en la segunda estación, proveniente de la Presa de Relaves, una diferencia significativa a comparación de las otras dos estaciones, el comportamiento de este parámetro se encuentra dentro del rango aceptable, debido a la presencia de iones positivos como negativos.

Figura 23. Oxígeno Disuelto.

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

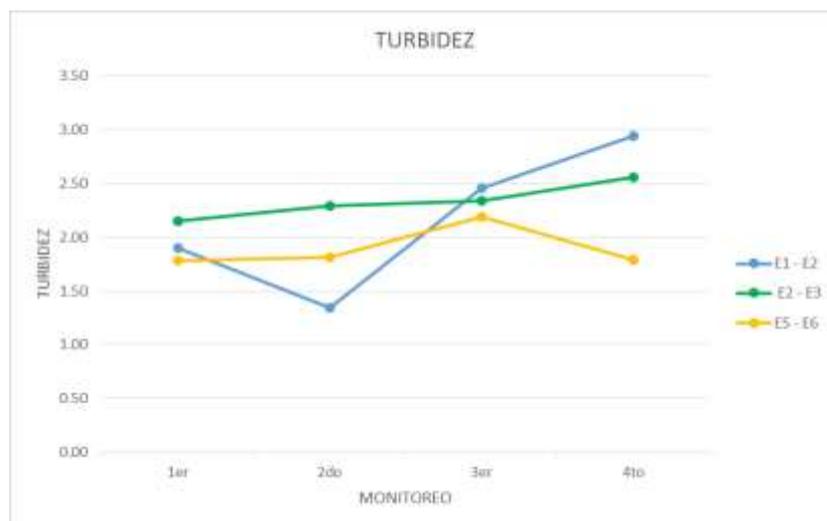
El control de este parámetro es importante para favorecer la propagación de las bacterias que degradan la materia orgánica, también para la oxidación de la misma materia orgánica en un proceso químico, los tres puntos de monitoreo tienen con un rango entre 7,34 y 7,68, sobrepasando los 5 ppm marcado por el MINAM.

Figura 24. Conductividad Eléctrica

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

Se encuentra dentro del rango aceptable de los LMP, estando por debajo de los 1 500 $\mu\text{S/cm}$, con un varianza entre 159 y 1 033 $\mu\text{S/cm}$.

Figura 25. Turbidez.



Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

La turbidez tiende a 2,16 en la primera estación, 2,34 en la segunda, el nivel más alto proveniente de la presa de relaves, y 1,89 en la tercera estación.

4.1.3. Contrastaciones De Las Hipótesis Específicas

A. H_{i1} : Sí, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas industriales tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.

H_{o1} : No, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas residuales no tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.

▪ Resultados Estadísticos:

Alfa $\alpha = 0,05 = 5\% \rightarrow$ Nivel de significancia estadística.

▪ NORMALIDAD

Kolmogorov-Smirnov muestras grandes (>30 individuos)

Chapiro Wilk muestras pequeñas (<30 individuos)

Criterio para Determinar Normalidad:

P-valor $\geq \alpha$ Aceptar H_i = Los datos provienen de un distribución **normal**.

P-valor $< \alpha$ Aceptar H_o = Los datos **NO** provienen de un distribución **normal**.

Cuadro 16. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Cuadro 17. Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO	0,198	6	0,200*	0,872	6	0,235
CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	0,167	6	0,200*	0,960	6	0,820

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Cuadro 18. Descriptivos

			Estadístico	Error estándar
CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO	Media		5,0500	0,20002
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,5358	
		Límite superior	5,5642	
	Media recortada al 5%		5,0500	
	Mediana		5,0450	
	Varianza		0,240	
	Desviación estándar		0,48994	
	Mínimo		4,49	
	Máximo		5,61	
	Rango		1,12	
	Rango intercuartil		1,08	
	Asimetría		0,022	0,845
	Curtosis		-1,869	1,741
CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	Media		0,3900	0,02436
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,3274	
		Límite superior	0,4526	
	Media recortada al 5%		0,3917	
	Mediana		0,4000	
	Varianza		0,004	

Desviación estándar	0,05967	
Mínimo	0,29	
Máximo	0,46	
Rango	0,17	
Rango intercuartil	0,10	
Asimetría	-,864	0,845
Curtosis	0,794	1,741

Cuadro 19. Normalidad.

NORMALIDAD		
P-valor (antes)= 0,235	>	$\alpha = 0,05$
P-valor (después)= 0,820	>	$\alpha = 0,05$
CONCLUSIÓN: Como el P-valor es mayor que α se concluye que los datos del Cianuro Total provienen de una distribución normal .		

- **DECISIÓN ESTADÍSTICA – PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS RELACIONADAS**

Cuadro 20. Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO	5,0500	6	0,48994	0,20002
CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	,3900	6	0,05967	0,02436

Cuadro 21. Correlaciones de muestras emparejadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO & CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	6	0,348	0,499

Cuadro 22. Prueba de Muestras Emparejadas

	Diferencias emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO - CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	4,66000	0,47248	0,19289	4,16416	5,15584	24,159	5	0,000

El criterio para decidir es:

Si la probabilidad obtenida **P-valor** $\leq \alpha$, rechazar **Ho1** (Se acepta **Hi1**).

Si la probabilidad obtenida **P-valor** $> \alpha$, no rechazar **Ho1** (Se acepta **Ho1**).

Cuadro 23. Verificación de la Hipótesis

P-valor = 0,000	<	$\alpha = 0,05$
<p><u>CONCLUSIÓN:</u> Como P-valor es menor que α, se dice que hay una diferencia significativa en las medias de la concentración de Cianuro Total antes y después del tratamiento. Por lo cual se ACEPTA la Hi1 y se concluye que Sí existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas industriales tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.</p> <p>De hecho el Cianuro Total en promedio bajó su concentración de 5,0500 mg/L a 0,3900 mg/L.</p>		

B. Hi2: Sí, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

Ho2: No, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

Cuadro 24 Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes Líquidos de actividades minero – metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 – 9	6 – 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: D.S. No. 010-2010-MINAM

▪ **Resultados Estadísticos del HIERRO:**

Alfa α = 0,05 = 5% → Nivel de significancia estadística.

▪ **NORMALIDAD**

Kolmogorov-Smirnov muestras grandes (>30 individuos)

Chapiro Wilk muestras pequeñas (<30 individuos)

Criterio para Determinar Normalidad:

P-valor $\geq \alpha$ Aceptar H_1 = Los datos provienen de un distribución **normal.**

P-valor $< \alpha$ Aceptar H_0 = Los datos **NO provienen de un distribución **normal**.**

Cuadro 25. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Fe PRE TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Fe POST TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Cuadro 26. Descriptivos

		Estadístico	Error estándar
Fe PRE TRATAMIENTO	Media	3,8583	0,21911
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,2951
	Límite superior	4,4216	

	Media recortada al 5%		3,8448	
	Mediana		3,6500	
	Varianza		0,288	
	Desviación estándar		0,53671	
	Mínimo		3,35	
	Máximo		4,61	
	Rango		1,26	
	Rango intercuartil		1,07	
	Asimetría		0,788	0,845
	Curtosis		-1,659	1,741
Fe POST TRATAMIENTO	Media		1,6700	0,10469
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,4009	
		Límite superior	1,9391	
	Media recortada al 5%		1,6772	
	Mediana		1,7150	
	Varianza		0,066	
	Desviación estándar		0,25644	
	Mínimo		1,24	
	Máximo		1,97	
	Rango		0,73	
	Rango intercuartil		0,41	
	Asimetría		-,873	0,845
	Curtosis		0,787	1,741

Cuadro 27. Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
Fe PRE TRATAMIENTO	0,283	6	0,145	0,844	6	0,140
Fe POST TRATAMIENTO	0,167	6	0,200*	0,959	6	0,812

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Cuadro 28. Normalidad.

NORMALIDAD		
P-valor (antes)= 0,140	>	$\alpha = 0,05$
P-valor (después)= 0,812	>	$\alpha = 0,05$
CONCLUSIÓN: Como P-valor es mayor que α se concluye que los datos del Hierro provienen de una distribución normal .		

▪ **DECISIÓN ESTADÍSTICA – PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS RELACIONADAS**

Cuadro 29. Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 Fe PRE TRATAMIENTO	3,8583	6	0,53671	0,21911
Fe POST TRATAMIENTO	1,6700	6	0,25644	0,10469

Cuadro 30. Correlaciones de muestras emparejadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 Fe PRE TRATAMIENTO & Fe POST TRATAMIENTO	6	0,171	0,746

Cuadro 31. Prueba de Muestras emparejadas.**Prueba de muestras emparejadas**

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Fe PRE TRATAMIENTO - Fe POST TRATAMIENTO	2,18833	0,55377	0,22607	1,60719	2,76947	9,680	5	0,000

Cuadro 32. Verificación de la Hipótesis

P-valor = 0,000	<	$\alpha = 0,05$
------------------------	-------------	-----------------------------------

▪ **Resultados Estadísticos del COBRE:**

Alfa $\alpha = 0,05 = 5\% \rightarrow$ Nivel de significancia estadística.

▪ **NORMALIDAD**

Kolmogorov-Smirnov muestras grandes (>30 individuos)

Chapiro Wilk muestras pequeñas (<30 individuos)

Criterio para Determinar Normalidad:

P-valor $\geq \alpha$ Aceptar H_1 = Los datos provienen de un distribución **normal**.

P-valor $< \alpha$ Aceptar H_0 = Los datos **NO** provienen de un distribución **normal**.

Cuadro 33. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Cu PRE TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Cu POST TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Cuadro 34. Descriptivos

		Estadístico	Error estándar	
Cu PRE TRATAMIENTO	Media	0,5000	0,03162	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,4187	
		Límite superior	0,5813	
	Media recortada al 5%	0,5022		
	Mediana	0,5150		
	Varianza	0,006		
	Desviación estándar	0,07746		
	Mínimo	0,37		
	Máximo	0,59		
	Rango	0,22		
	Rango intercuartil	0,12		
	Asimetría	-,891	0,845	
	Curtosis	0,766	1,741	
	Cu POST TRATAMIENTO	Media	0,3217	0,01833
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	0,2745	
		Límite superior	0,3688	
Media recortada al 5%		0,3213		
Mediana		0,3200		
Varianza		0,002		
Desviación estándar		0,04491		

Mínimo	0,27	
Máximo	0,38	
Rango	0,11	
Rango intercuartil	0,09	
Asimetría	0,134	0,845
Curtosis	-2,083	1,741

Cuadro 35. Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Cu PRE TRATAMIENTO	0,167	6	0,200 [*]	0,956	6	0,790
Cu POST TRATAMIENTO	0,185	6	0,200 [*]	0,928	6	0,562

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Cuadro 36. Normalidad

NORMALIDAD		
P-valor (antes)= 0,790	>	$\alpha = 0,05$
P-valor (después)= 0,562	>	$\alpha = 0,05$
CONCLUSIÓN: Como P-valor es mayor que α se concluye que los datos del Cobre Total provienen de una distribución normal .		

- **DECISIÓN ESTADÍSTICA – PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS RELACIONADAS**

Cuadro 37. Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1 Cu PRE TRATAMIENTO	0,5000	6	0,07746	0,03162
Cu POST TRATAMIENTO	0,3217	6	0,04491	0,01833

Cuadro 38. Correlaciones de muestras emparejadas

	N	Correlación	Sig.
Par 1 Cu PRE TRATAMIENTO & Cu POST TRATAMIENTO	6	0,431	0,393

Cuadro 39. Prueba de Muestras emparejadas.

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Cu PRE TRATAMIENTO - Cu POST TRATAMIENTO	0,17833	0,07083	0,02892	0,10400	0,25266	6,167	5	0,002

Cuadro 40. Verificación de la Hipótesis

P-valor = 0,002	<	$\alpha = 0,05$
------------------------	-------------	-----------------------------------

- **Resultados Estadísticos del CINC:**

Alfa $\alpha = 0,05 = 5\%$ → Nivel de significancia estadística.

- **NORMALIDAD**

Kolmogorov-Smirnov muestras grandes (>30 individuos)

Chapiro Wilk muestras pequeñas (<30 individuos)

Criterio para Determinar Normalidad:

P-valor $\geq \alpha$ Aceptar H_1 = Los datos provienen de un distribución **normal**.

P-valor $< \alpha$ Aceptar H_0 = Los datos **NO** provienen de un distribución **normal**.

Cuadro 41. Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Zn PRE TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%
Zn POST TRATAMIENTO	6	100,0%	0	0,0%	6	100,0%

Cuadro 42. Descriptivos

		Estadístico	Error estándar
Zn PRE TRATAMIENTO	Media	1,7400	0,09947
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,4843
		Límite superior	1,9957
	Media recortada al 5%	1,7339	
	Mediana	1,6450	

	Varianza		0,059	
	Desviación estándar		0,24364	
	Mínimo		1,51	
	Máximo		2,08	
	Rango		0,57	
	Rango intercuartil		0,49	
	Asimetría		0,786	0,845
	Curtosis		-1,679	1,741
Zn POST TRATAMIENTO	Media		0,7183	0,04586
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	0,6005	
		Límite superior	0,8362	
	Media recortada al 5%		0,7215	
	Mediana		0,7400	
	Varianza		0,013	
	Desviación estándar		0,11232	
	Mínimo		0,53	
	Máximo		0,85	
	Rango		0,32	
	Rango intercuartil		0,18	
	Asimetría		-,880	0,845
	Curtosis		0,784	1,741

Cuadro 43. Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Zn PRE TRATAMIENTO	0,280	6	0,155	0,842	6	0,137
Zn POST TRATAMIENTO	0,173	6	0,200*	0,958	6	0,801

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Cuadro 44. Normalidad.

NORMALIDAD		
P-valor (antes)= 0,137	>	$\alpha = 0,05$
P-valor (después)= 0,801	>	$\alpha = 0,05$
CONCLUSIÓN: Como P-valor es mayor que α se concluye que los datos del Cinc Total provienen de una distribución normal .		

▪ **DECISIÓN ESTADÍSTICA – PRUEBA T STUDENT PARA MUESTRAS RELACIONADAS**

Cuadro 45. Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desviación estándar	Media de error estándar
Par 1	Zn PRE TRATAMIENTO	1,7400	6	0,24364	0,09947
	Zn POST TRATAMIENTO	0,7183	6	0,11232	0,04586

Cuadro 46. Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Zn PRE TRATAMIENTO & Zn POST TRATAMIENTO	6	0,172	0,744

Cuadro 47. Prueba de Muestras Emparejadas.

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Zn PRE TRATAMIENTO - Zn POST TRATAMIENTO	1,02167	0,25007	0,10209	0,75923	1,28410	10,007	5	0,000

Cuadro 48. Verificación de la Hipótesis.

P-valor = 0,000	<	$\alpha = 0,05$
------------------------	-------------	-----------------------------------

▪ **Resultados Estadísticos del SULFATO FERROSO:**

Alfa $\alpha = 0,05 = 5\% \rightarrow$ Nivel de significancia estadística.

Cuadro 49. Estadísticas de muestra única

	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
SULFATO FERROSO	6	17,00	9,960	4,066

Cuadro 50. Prueba de Muestra Única

Prueba de muestra única						
	Valor de prueba = 0					
	T	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
SULFATO FERROSO	4,181	5	0,009	17,000	6,55	27,45

Cuadro 51. Verificación de la Hipótesis

P-valor Fe = 0,000	<	$\alpha = 0,05$
P-valor Cu = 0,002	<	$\alpha = 0,05$
P-valor Zn = 0,000	<	$\alpha = 0,05$

CONCLUSIÓN: Hay diferencia significativa en las medias de la concentración de Hierro, Cobre y Zinc antes y después del tratamiento, además se encuentran dentro de los LMP. Por lo cual se **ACEPTA** la **Hi2** y se concluye que Si la calidad del efluente industrial cianurado está dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM entonces la mejor concentración de Sulfato Ferroso Si tendrá efecto significativo en la cantidad de cianuro libre.

De hecho la Concentración óptima del Sulfato Ferroso es de 17 g Por Litro para un tratamiento efectivo al efluente industrial cianurado.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Contrastación de la Hipótesis General

Hi: Sí, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. entonces las aguas industriales tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.

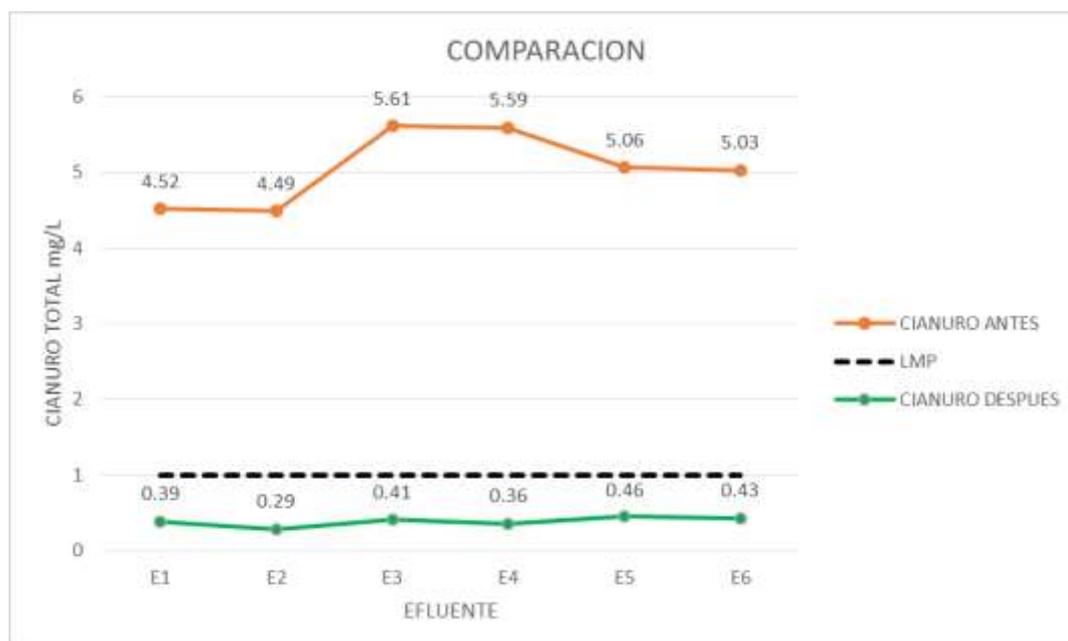
Ho: No, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. entonces las aguas industriales no tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.

Cuadro 52. Comparación del Cianuro Total pre y post Tratamiento de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.

COMPARACION DEL CIANURO PRE Y POST TRATAMIENTO			
EFLUENTE	PRE	SULFATO FERROSO	POST
E1	4,52	4 gr.	0,39
E2	4,49	8 gr.	0,29
E3	5,61	15 gr.	0,41
E4	5,59	20 gr.	0,36
E5	5,06	25 gr.	0,46
E6	5,03	30 gr.	0,43

Fuente: Vertientes de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018

Figura 26. Comparación del Cianuro Pre y Post Tratamiento de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A 2018 – La Libertad – Pataz – Parcoy.



Fuente: Cuadro 52.

Cuadro 53. Prueba de Muestras Emparejadas

Prueba de muestras emparejadas

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
CIANURO TOTAL PRE TRATAMIENTO - CIANURO TOTAL POST TRATAMIENTO	4,66000	0,47248	0,19289	4,16416	5,15584	24,159	5	0,000

Cuadro 54. Verificación de la Hipótesis

P-valor = 0,000	<	$\alpha = 0,05$
<p>CONCLUSIÓN: Hay diferencia significativa en las medias de la concentración de Cianuro Total antes y después del tratamiento. Por lo cual se concluye que el tratamiento (Sulfato Ferroso) SI tuvo un efecto significativo sobre la variable Cianuro Total. Y se acepta la Hi, SI existe efecto del Sulfato Ferroso en la Calidad del efluente industrial cianurado en la empresa Minera Aurífera Retamas S.A. entonces</p>		

las aguas industriales tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.

De hecho el Cianuro Total en promedio bajó su concentración de 5,0500 mg/L a 0,3900 mg/L.

Mamani¹¹ menciona que el parámetro más importante en la determinación de la estabilidad o del grado de disociación de los complejos cianurados metálicos es el pH de su disolución.

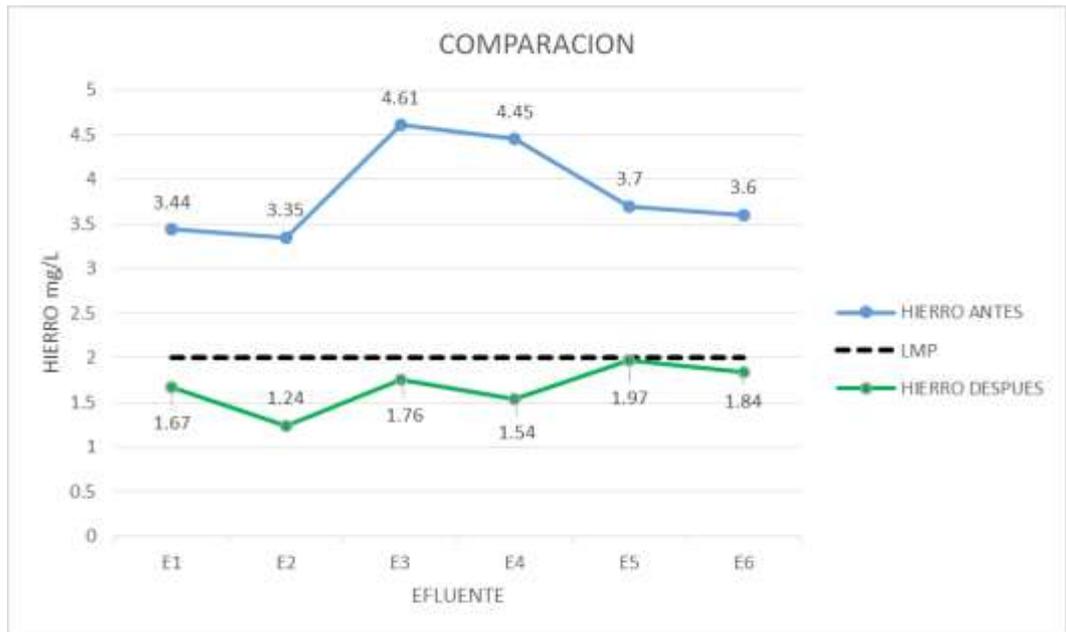
Los componentes sólidos pueden regular la química de la disolución en lo que se refiere a alcalinidad o acidez (control del pH), capacidad de estabilización y grado de oxidación o reducción (potencial redox), dando como resultado la adsorción por intercambio de iones o la reacción química en la disolución de cianuro (por ejemplo, precipitación de un compuesto insoluble).

Y que con un exceso de Sulfato Ferroso el pH decrece de 4 con lo cual no haría precipitar a los cianuros metálicos complejos, y por encima del pH 8.5 puede dar como resultado la resolubilización del cianuro precipitado y así la velocidad de degradación se reduce apreciablemente, siendo necesarios periodos de tiempo más largos para llegar a contenidos aceptables.

Al realizar el análisis a los parámetros, Cianuro Total, Hierro, Cobre y Cinc post tratamiento encontramos un patrón muy singular entre los Efluentes E5 y E6 a comparación de los otros Efluentes (E1, E2, E3, E4), y al analizarlo con la variación del pH obtenidos en los análisis, corrobore que lo sustentado por Mamani¹¹ es acertado.

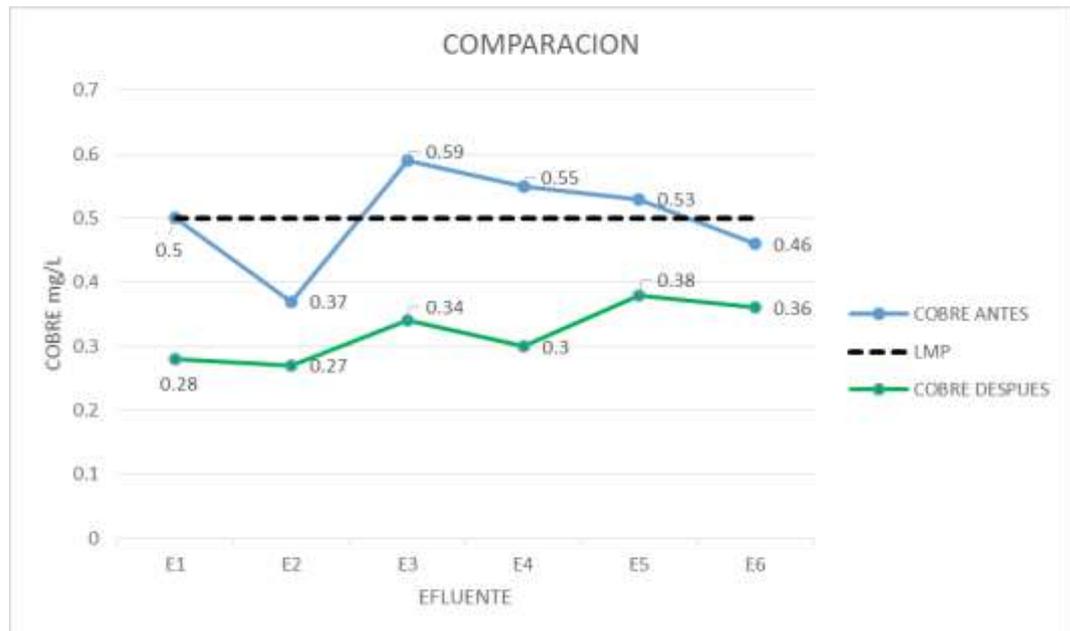
Las concentraciones de Cianuros Metálicos Complejos (Fe, Cu, Zn) tienden a elevarse a medida que se aplica más cantidad de Sulfato Ferroso.

Figura 27. Comparación del Hierro Pre y Post Tratamiento



Fuente: Cuadro 12

Figura 28. Comparación del Cobre Pre y Post Tratamiento



Fuente: Cuadro 13

Figura 29. Comparación del Cinc Pre y Post Tratamiento

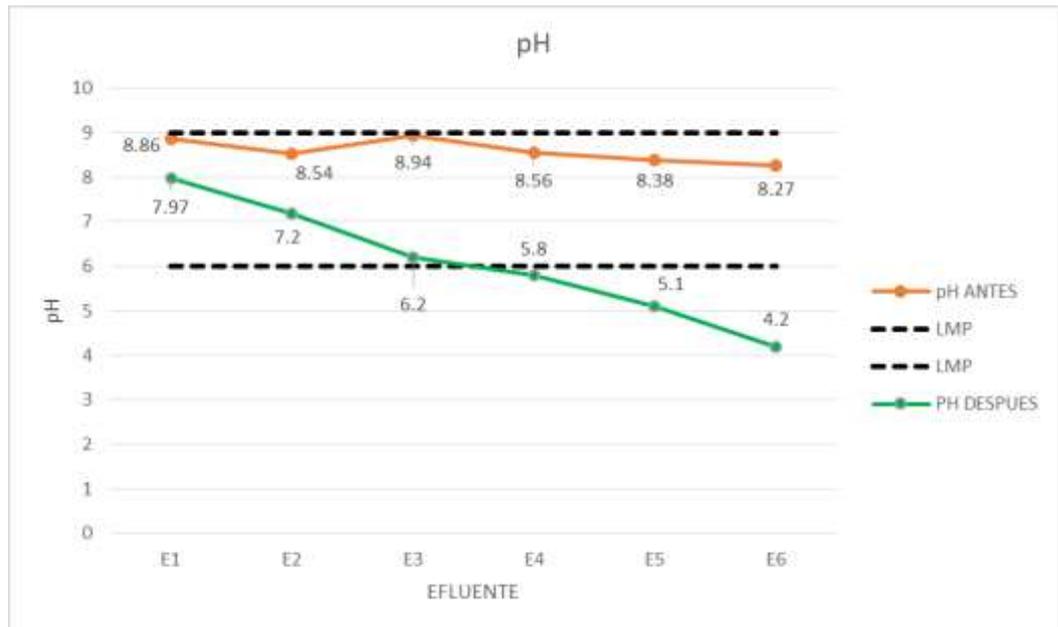
Fuente: Cuadro 14

Las concentración del Hierro antes del tratamiento sobrepasa los LMP del D.S. N° 010-2010-MINAM, post tratamiento las concentraciones decaen a grandes rasgos y entrar al rango establecido que es de 2 mg/L, pero el Efluente E5 bordea el límite con un 1,97 mg/L, y con el Efluente E4 aumenta sus valores a comparación de los Efluentes E3 y E4.

En el caso del Cobre, sus concentraciones antes del tratamiento de los Efluentes E1, E2 y E6 se encuentran dentro de lo establecido, 0.5 mg/L, aunque el resto de Efluentes no sobrepasan por mucho el límite, como en el caso del Hierro, post tratamiento todos Efluentes se encuentran bajo de lo marcado por el MINAM, pero observamos el mismo patrón en los Efluentes E5 y E6, se elevan a comparación del E3 y E4.

El Cinc tiene un LMP de 1,5 mg/L, en el Efluente E2 se encuentra al límite y el Efluente E1 también lo está bordeando, de ahí los siguientes Efluentes se disparan, post tratamiento todos los Efluentes se encuentran dentro del rango permitido, pero con el mismo patrón de los ya mencionados Cianuros Metálicos Complejos.

Figura 30. Comparación del pH Pre y Post Tratamiento



Fuente: Cuadro 11

Al analizar el pH antes y después del tratamiento, observamos que el rango del pH pre tratamiento se encuentra dentro de los LMP, pero desciende a un estado más ácido a medida que el Sulfato Ferroso aumenta su cantidad. En el Efluente E1 se utilizó 4 g estando con un pH 7.97 al aumentarlo a 8 g en el Efluente E2 decrece a un pH 7.2, en el paso del Efluente E3 al E4 con 20 g de Sulfato Ferroso el pH ya se encuentra bajo el rango del LMP, en los puntos E5 y E6, con 25 y 30 g respectivamente, decrece hasta llegar a 4,2.

A lo mencionado por Mamani¹¹, se afirma que el exceso de Sulfato Ferroso es poco efectiva para el tratamiento del efluente industrial cianurado, por lo que no logra precipitar al Cianuro Total ni a los cianuros metálicos complejos.

CONCLUSIONES

1. El pH juega un papel importante dentro del proceso de destrucción del Cianuro Total, el exceso de Sulfato Ferroso es poco efectiva para el tratamiento del Efluente Industrial Cianurado, por lo que no logra precipitar al Cianuro Total ni a los cianuros metálicos complejos. El patrón de las concentraciones de los Efluentes E5 y E6 que se elevan a comparación de los efluentes E3 y E4, se debe al uso de la cantidad de 25 y 30 gr de Sulfato Ferroso en los puntos E5 y E6 respectivamente, haciendo que el pH decrezca hasta llegar a 4,2.

2. La Concentración óptima del Sulfato Ferroso es de 17 g por litro para un tratamiento efectivo al Efluente Industrial Cianurado. En el caso de los Cianuros Metálicos Complejos existe una diferencia significativa en las medias de la concentración de Hierro, Cobre y Cinc antes y después del tratamiento, y se encuentran dentro de los LMP. Por lo cual la calidad del Efluente Industrial Cianurado post tratamiento está dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM entonces la mejor concentración de Sulfato Ferroso si tiene un efecto significativo en la cantidad de cianuro libre.

SUGERENCIAS

1. Para el tratamiento de Efluentes Industriales Cianurados la teoría nos dice que se debe trabajar en un rango de 4 a 8,5 de pH, a lo cual se sugiere con los resultados de esta tesis estabilizar el Cianuro Total en un rango necesario de 5,8 y 6,20 de pH.

2. Se sugiere realizar investigaciones adicionales para poder identificar otra metodología y/u otro diseño de planta a nivel laboratorio para el tratamiento del efluente industrial cianurado, utilizando un máximo de 17 gramos de Sulfato Ferroso por litro, para un tratamiento efectivo. El producto resultante post tratamiento, pueden ser mezclados con algunos aditivos, ser horneado y luego secado, logrando obtener ladrillos el cual se puede usar en todo tipo de construcciones. Como se está desarrollando en Arequipa con una planta piloto donde se desarrolla este proceso de transformación, a cargo de la compañía Centro de Estudios y Entrenamiento de Procesos Metalúrgicos Minera Porvenir (Cepromet).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Huilca Rodríguez D, Sihuay Jayacc R. Estudio Del Mecanismo De Activacion De Los Granos De Oro En La Flotacion De Los Minerales Refractarios Piriticos En Marsa. [Tesis Para Optar El Grado De Bachiller]. Huancayo: Universidad Nacional Del Centro Del Perú; 2014.
2. Jimeno Gonzales S. Impactos Ambientales Y En La Salud Humana De La Minería A Cielo Abierto Para La Extracción De Oro Utilizando Lixiviación Con Soluciones De Cianuro [Internet]. Citado 20 Diciembre 2017]. Disponible En: https://www.ocmal.org/wp-content/uploads/2017/.../impacto_mineria_con_cianuro.
3. 911metallurgist. Cianuro de Oro y Plata [Internet]. [Citado 28 Abril 2018]. Disponible En: <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/cianuracion-oro-plata/>.
4. Perú. Ministerio Del Ambiente. D.S. N° 010-2010 "Aprueban Límites Máximos Permisibles Para La Descarga De Efluente Líquido De Actividades Minero-Metalúrgicas". Diario Oficial El Peruano (Agosto 21 2010).
5. Dirección General de Asuntos Ambientales. Estudio De Evaluación Ambiental Territorial Y De Planteamientos Para Reducción O Eliminación De La Contaminación De Origen Minero En La Cuenca Del Río Parcoy – Llacuabamba. La Libertad: Ministerio de Energía y Minas; 1997.
6. Ministerio del Ambiente. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental OEFA. Resolución Directoral N° 225-2013-OEFA/DFSAL Sanción a la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. Expediente N° 024-09-MA/E (Mayo 29 2013).
7. Rumbo Minero. Aurífera Retamas Ampliará Capacidad De Ampliación [Internet]. [Citado 27 Abril 2018]. Disponible En: <http://www.rumbominero.com/noticias/mineria/aurifera-retamas-ampliaria-capacidad-de-produccion-de-planta-de-beneficio-san-andres/>.
8. Iagua. Agua, Cianuro Y Minería Del Oro: 30 Años De Accidentes [Internet]. [Citado 23 Marzo 2017]. Disponible En: <https://www.lagua.es/Blogs/Plataforma-Salvemos-Cabana/Agua-Cianuro-Y-Mineria-Del-Oro-30-Anos-De-Accidentes>.
9. Digesa. Estandares De Calidad De Agua [Internet]. [Citado 31 Marzo 2008]. Disponible En: http://www.digesa.minsa.gob.pe/Depa/Informes_Tecnicos/Grupo%20de%20uso%203.Pdf.
10. Alarcón Garay M. Proyecto Para La Instalación De Un Planta De Destrucción De Cianuro Y Eliminación De Metales En Efluentes Cianurados Procedentes Del Tratamiento De Minerales Sulfarados. [Tesis Para Optar El Grado De Título]. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería; 2009.

11. Mamani Endara Oa. Implementación De Procesos De Destrucción De Cianuro Con Sulfato Ferroso Y Peroxido De Hidrogeno. [Tesis Para Optar El Grado De Titulo]. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería Facultad De Ingeniería Geologica Minera Y Metalurgica; 2007.
12. Diaz Inocente D, Condori Ccoillo I. Proceso De Detoxificación De Soluciones Cianuradas Usando El Método Inco En Efluentes Mineros. [Tesis Para Optar El Grado De Titulo]. Lima: Universidad Nacional De Ingeniería; 2009.
13. Perú. Ministerio De Energía Y Minas. Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM “Aprueban Los Niveles Máximos Permisibles Para El Efluente Liquido Minero Metalúrgico”. Diario Oficial El Peruano (Enero 10 1996).
14. Formulación Química. Feso4 / Sulfato De Hierro (II) [Internet]. [Citado 24 Abril 2018]. Disponible En: [Http://Www.Formulacionquimica.Com/Feso4/](http://www.formulacionquimica.com/feso4/).
15. Ecured. Calidad Del Agua [Internet]. [Citado 24 Abril 2018]. Disponible En: [Https://Www.Ecured.Cu/Calidad_Del_Agua](https://www.ecured.cu/calidad_del_agua).
16. Monografías. Parámetros Y Propiedades Biológicas Del Agua [Internet]. [Citado 24 Abril 2018]. Disponible En: [Http://Www.Monografias.Com/Trabajos16/Parametros-Agua/Parametros-Agua.Shtml#PPARAM](http://www.monografias.com/trabajos16/parametros-agua/parametros-agua.shtml#PPARAM).
17. Logsdon M, Hagelstein K, Mudder T. El Manejo Del Cianuro En La Extracción De Oro. Canadá: Consejo Internacional de Metales y Medio Ambiente ICME; 2001.
18. Esan. ¿Qué Son Los Estándares De Calidad Ambiental Y Los Límites Máximos Permisibles? [Internet]. [Citado 24 Abril 2018]. Disponible En: [Https://Www.Esan.Edu.Pe/Apuntes-Empresariales/2016/04/Que-Son-Los-Estandares-De-Calidad-Ambiental-Y-Los-Limites-Maximos-Permisibles/](https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2016/04/que-son-los-estandares-de-calidad-ambiental-y-los-limites-maximos-permisibles/).
19. Jacobo S, Gonzales P, Pérez T, Rojas P. Fundamentos Teóricos Y Metodológicos Para La Investigación Científica En Ciencias Agrarias. Huánuco: Mercurio Marketing Publicidad & Negocios; 2013.
20. Castillo Fajardo J, Burbano Mendoza D, Burbano Mendoza J, Apraez Milton N, Rosero Moreano M. Estudio De Métodos Químicos De Remoción De Cianuro Presente En Residuos De Cianuración Provenientes Del Proceso De Extracción De Oro De Veta En El Departamento De Nariño [Trabajo de Investigación]. Colombia: Universidad de Caldas; 2010.
21. Arévalo Sánchez C. Control De Efluentes Cianurados Mediante La Oxidación Con Peróxido De Hidrogeno En Un Laboratorio De Análisis De Minerales. [Tesis Para Optar El Grado De Titulo]. Lima: Universidad Nacional Mayor De San Marcos; 2011.

ANEXOS

Anexo A

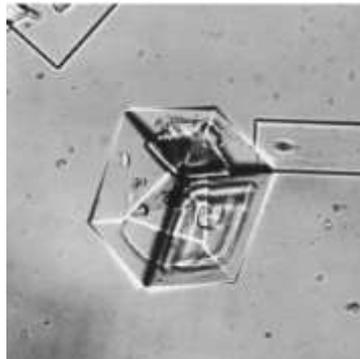


Figura 1. Vista microscópica de los cristales de cianuro en formación. (17)



Figura 2. Porción de la producción mundial de cianuro utilizada en minería (17)

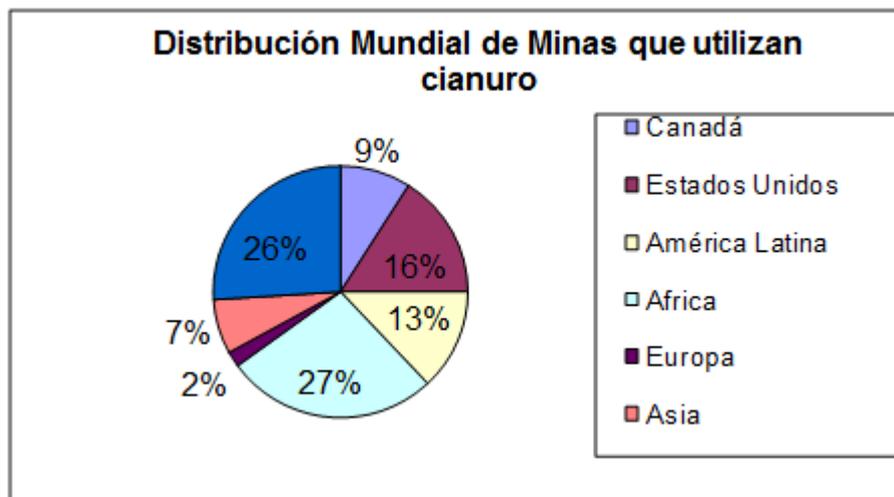


Figura 3. Distribución geográfica de minas que utilizan cianuro

Fuente: Propia del Estudio.

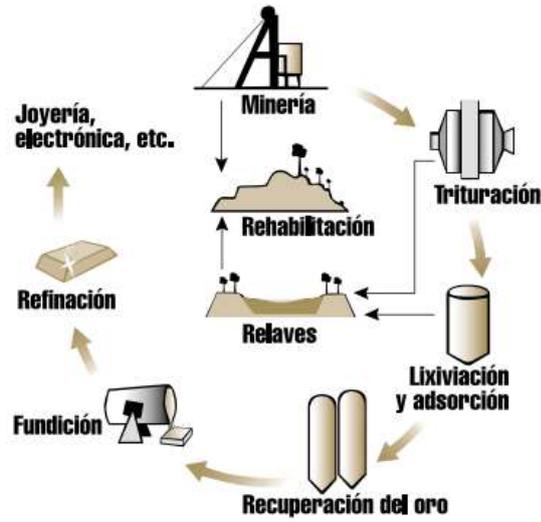


Figura 4. Proceso para la obtención del oro (17)

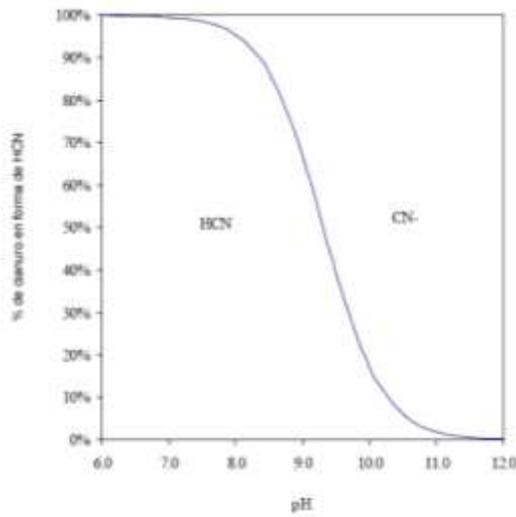


Figura 5. Relación entre HCN y CN⁻ en función del pH (21)

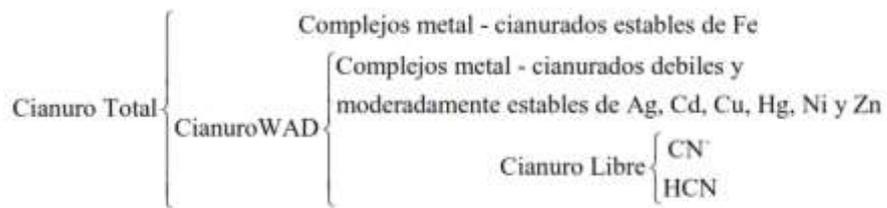


Figura 6. Complejos de Cianuro (21)



Figura 7. Empresa Minera Aurífera Retamas S.A.
Fuente: Google Earth



Figura 8. Disposición de relaves
Fuente: Google Earth

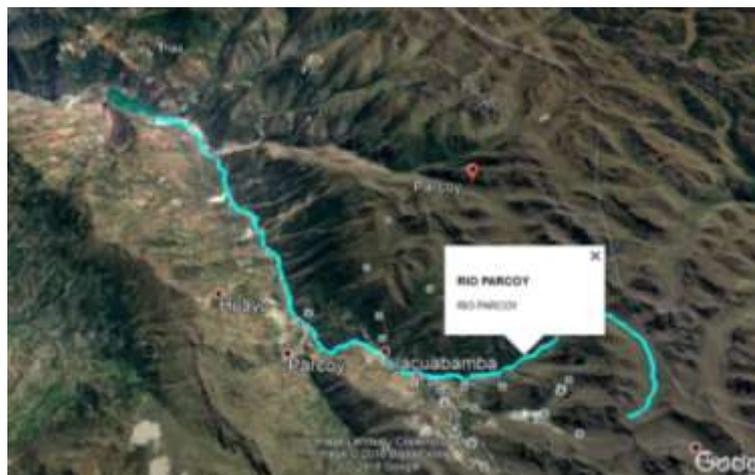


Figura 9. Río Parcoy
Fuente: Google Earth



Figura 10. Quebradas del Río Parcoy
Fuente: Google Earth



Figura 11. Vertimiento del efluente industrial cianurado
Fuente: Google Earth



Figura 12. Laguna Blanca
Fuente: Google Earth.



Fotografía 13. Planta a nivel de laboratorio para realizar la investigación

Fuente: Propia del Estudio.



Figura 14. Puntos de Muestra

Fuente: Google Earth



Figura 16. Tratamiento del efluente industrial cianurado

Fuente: Propia del Estudio.



Figura 17. Tratamiento del Efluente Industrial Cianurado
Fuente: Propia del Estudio.



Figura 18. pH-meter
Fuente: Propia del Estudio.



Figura 19. Carbón Activado
Fuente: Propia del Estudio.

Anexo B

Cuadro 1. Concentración de cianuro de fondo en determinadas plantas.

Plantas cianogénicas	Concentración (mg/kg)
Bamboo (Bambusa, Arundinaria, Dendrocalamus)	
Punta	Max. 8.000
Tallo	Max. 3.000
Pasto Star , Cynodon plectostachyus, entero	180
Familia de las rosas , Malus spp., Pyrus spp.	Max. 200
Mandioca , Manihot esculenta	
Variedades amargas	
Hojas	347 – 1.000
Raíces	327 – 550
Raíces secas	95 – 2.450
Tallo	1.130
Afrecho	162
Corteza	
Cianuro Total	1.351
Cianuro Libre	102
Cáscara	
Cianuro Total	1.390
Cianuro Libre	255
Pulpa	
Cianuro Total	810
Cianuro Libre	53
Variedades dulces	
Hojas	377 – 500
Raíces	138
Raíces secas	46-<100
Afrecho	81
Poroto , Phaseolus lunatus	
Estados Unidos	100 – 170
Burma	2.100
Puerto Rico	3.000
Java	3.120
Almendra , Prunus amygdalus, nuez	
Amarga	280 – 2.500
Picante	86 – 98
Dulce	22 - 54
Semillas , 4 especies, Nigeria, entera, habitualmente ingerida por seres humanos	
Phaseolus sp.	381 – 1.093
Vigna sp.	285 – 1.23
Cajanus sp.	208 – 953
Canavalia sp.	285 – 953
Sorgo , Sorghum spp., planta joven, entera	Max. 2.500

Fuente: Propia de Estudio.

Cuadro 8. Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes Líquidos de actividades minero – metalúrgicas

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH		6 – 9	6 – 9
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo hexavalente	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: D.S. No. 010-2010-MINAM

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: EFECTO DEL SULFATO FERROSO EN LA CALIDAD DEL EFLUENTE INDUSTRIAL CIANURADO DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. 2018.

TESISTA: ING. CABRERA MONTALVO ABRAHAMS MOISES

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN
<p>GENERAL: - ¿Cuál será el efecto del Sulfato Ferroso en la Calidad del Efluente Industrial Cianurado en la empresa Minera Aurífera Retamas S.A.?</p> <p>ESPECÍFICOS: - ¿Cuál es el efecto de la concentración E1 a la concentración E6 del Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total en el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Auríferas Retamas S.A.?</p> <p>- ¿Cuál será la mejor concentración de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM?</p>	<p>GENERAL: Determinar el efecto del Sulfato Ferroso en la Calidad del Efluente Industrial Cianurado en la empresa Minera Aurífera Retamas S.A.</p> <p>ESPECÍFICOS: - Establecer los efectos de las concentraciones E1 a la concentración E6 del Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total en el efluente industrial cianurado de la Empresa Minera Auríferas Retamas S.A.</p> <p>- Calcular la mejor concentración de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.</p>	<p>GENERAL Hi: Sí, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. entonces las aguas industriales tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.</p> <p>Ho: No, existe efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del efluente industrial cianurado en la empresa minera Aurífera Retamas S.A. entonces las aguas industriales no tendrán efectos significativos en la concentración de cianuro total.</p> <p>ESPECÍFICOS: Hi1: Sí, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas industriales tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.</p> <p>Ho1: No, existe efecto de las concentraciones E1 a la concentración E6 de Sulfato Ferroso en la cantidad de cianuro total entonces las aguas residuales no tendrán un efecto significativo en la calidad del efluente industrial cianurado.</p> <p>Hi2: Sí, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.</p> <p>Ho2: No, existe una concentración óptima de Sulfato Ferroso para que la calidad del efluente industrial cianurado esté dentro de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.</p>	<p>INDEPENDIENTE: X1: Sulfato Ferroso.</p> <p>DEPENDIENTE: Y1: Calidad del Efluente Industrial Cianurado</p>	<p>Concentraciones Calidad de agua. D.S. No. 010-2010-MINAM.</p>	<p>(Gramo de neutralizante / mg/L de cianuro total / total a neutralizar)</p> <p>X2: 1/1 X3: 2/1 X4: 3/1 X5: 4/1 X6: 5/1 X7: 6/1</p> <p>Límite Máximo Permisible del cianuro total 1ml/L mencionado en el D.S. No. 010-2010-MINAM. Y2: Cianuro Total ml/L Y3: pH Y4: Fe ml/L Y5: Cu ml/L Y6: Zn ml/L Y7: Pb ml/L</p>	<p>TIPO: Aplicativo</p> <p>NIVEL: Experimental</p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS

Capítulo V: RESULTADOS

4.1 CALIDAD DE AGUA: Resultados del Monitoreo de Efluentes Minero Metalúrgicos. Los resultados correspondientes al monitoreo de efluentes minero metalúrgico, presentados a continuación son comparados con los Límites Máximos Permisibles para Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgicas, establecidos en el D.S. N° 010-2010-MINAM:

Tabla N° 1.6.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Parámetros Físicoquímicos

PARÁMETROS	UNIDAD	L.M.P.	MP-1				Mensual
		DS N° 010-2010-MINAM	1ra.	2da.	3ra.	4ta.	
pH	μ.e.	6 - 9	8.86	7.26	7.85	8.54	8.13
Temperatura	°C	-	9.40	9.5	11.0	9.70	9.90
Conductividad	μS/cm	1.500	90.4	99.1	288.0	159.8	159.33
Turbiedad	mg/L	-	1.90	1.3	2	2.94	2.16
Oxígeno Disuelto	ppm	5.0	7.29	7.33	7.38	7.37	7.34
TDS	mg/L	-	54	59	173	96	95.50

Tabla N° 1.7.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Parámetros Físicoquímicos

PARÁMETROS	UNIDAD	L.M.P.	MP-2				Mensual
		DS N° 010-2010-MINAM	1ra.	2da.	3ra.	4ta.	
pH	μ.e.	6 - 9	8.94	8.56	8.37	8.37	8.56
Temperatura	°C	-	12.1	12.6	12	11.7	12.10
Conductividad	μS/cm	1.500	954	892	1132	1154	1,033.00
Turbiedad	mg/L	-	2.15	2.29	2.34	2.56	2.34
Oxígeno Disuelto	ppm	5.0	7.4	7.51	6.42	7.87	7.30
TDS	mg/L	-	572	535	679	692	619.50



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS

Tabla N° 1.8.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Parámetros Físicoquímicos

PARÁMETROS	UNIDAD	L.M.P.	MP-3				Mensual
		DS N° 010-2010-MINAM	1ra.	2da.	3ra.	4ta.	
pH	μ.e.	6 - 9	7.87	8.38	8.25	8.27	8.19
Temperatura	°C	-	9.7	10.2	13.1	10	10.75
Conductividad	μS/cm	1.500	204.7	167	216.3	279	216.75
Turbiedad	mg/L	-	1.78	1.81	2.19	1.79	1.89
Oxígeno Disuelto	ppm	5.0	7.58	7.73	7.83	7.59	7.68
TDS	mg/L	-	123	100	130	167	130.00

Tabla N° 1.9.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Parámetros Químicos Antes del Tratamiento

PUNTOS DE CONTROL	pH		Fe		Cu		Zn		Pb	
	LMP		LMP	mg/L	LMP	mg/L	LMP	mg/L	LMP	mg/L
E1	6 <> 9	8.86	2	3.44	0.5	0.5	1.5	1.55	0.2	< 0.05
E2	6 <> 9	8.54	2	3.35	0.5	0.37	1.5	1.51	0.2	< 0.05
E3	6 <> 9	8.94	2	4.61	0.5	0.59	1.5	2.08	0.2	< 0.05
E4	6 <> 9	8.56	2	4.45	0.5	0.55	1.5	2.01	0.2	< 0.05
E5	6 <> 9	8.38	2	3,70	0.5	0.53	1.5	1.67	0.2	< 0.05
E6	6 <> 9	8.27	2	3.6	0.5	0.46	1.5	1.62	0.2	< 0.05

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
VICERRECTOR ACADÉMICO
DIRECCIÓN GENERAL DE LABORATORIOS PEDAGÓGICOS
Mg. Luis Alberto PAOHECO PENA
DIRECTOR GENERAL DE LABORATORIOS PEDAGÓGICOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
DIRECCION GENERAL DE LABORATORIOS

Tabla N° 1.10.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Parámetros Químicos Después del Tratamiento

PUNTOS DE CONTROL	pH		Fe		Cu		Zn		Pb	
	LMP		LMP	mg/L	LMP	mg/L	LMP	mg/L	LMP	mg/L
E1	6 <> 9	7.97	2	1.67	0.5	0.28	1.5	0.72	0.2	< 0.05
E2	6 <> 9	7.2	2	1.24	0.5	0.27	1.5	0.53	0.2	< 0.05
E3	6 <> 9	6.2	2	1.76	0.5	0.34	1.5	0.76	0.2	< 0.05
E4	6 <> 9	5.8	2	1.54	0.5	0.3	1.5	0.66	0.2	< 0.05
E5	6 <> 9	5.1	2	1.97	0.5	0.38	1.5	0.85	0.2	< 0.05
E6	6 <> 9	4.2	2	1.84	0.5	0.36	1.5	0.79	0.2	< 0.05

N° 1.11.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Medición de Cianuro Total Antes del Tratamiento

CIANURO TOTAL		
EFLUENTE	mg/L	LMP (mg/L)
E1	4.52	1
E2	4.49	1
E3	5.61	1
E4	5.59	1
E5	5.06	1
E6	5.03	1

Tabla N° 1.12.- Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua de Medición de Cianuro Total Después del Tratamiento

CIANURO TOTAL		
EFLUENTE	mg/L	LMP (mg/L)
E1	0.39	1
E2	0.29	1
E3	0.41	1
E4	0.36	1
E5	0.46	1
E6	0.43	1

NOTA BIOGRÁFICA



Ing. Cabrera Montalvo Abrahams Moises, nació en la ciudad de Cerro de Pasco en el año 1993, realizó sus estudios universitarios en la Universidad Nacional “Daniel Alcides Carrión”, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental, obteniendo el Título de Ingeniero Ambiental en el año 2017. Contando con un Diplomado de Especialización en Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo en la Universidad Nacional “Hermilio Valdizán”, ejerció su carrera en diferentes empresas tanto en el área de Medio Ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo y Relaciones Comunitarias, posteriormente culminó con sus estudios de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible Mención: Gestión Ambiental en la Universidad Nacional “Hermilio Valdizán”.



UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILO VALDIZÁN

Huánuco – Perú

ESCUELA DE POSGRADO

Campus Universitario, Pabellón V "A" 2do. Piso – Cayhuayna
Teléfono 514760 -Pág. Web. www.posgrado.unheval.edu.pe



ACTA DE DEFENSA DE TESIS DE MAESTRO

En el Auditorio de la Escuela de Posgrado, siendo las **18:00h**, del día **jueves 19 DE JULIO DE 2018**, ante los Jurados de Tesis constituido por los siguientes docentes:

Dr. Santos Severino JACOBO SALINAS	Presidente
Dr. Fernando Jeremías GONZALES PARIONA	Secretario
Mg. Joel TUCTO BERRIOS	Vocal

Asesor de Tesis: Dr. Rubén ROJAS PORTAL (Resolución N° 0319-2018-UNHEVAL/EPG-D)

El aspirante al Grado de Maestro en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, mención en Gestión Ambiental, Don, Abrahams Moises CABRERA MONTALVO.

Procedió al acto de Defensa:

Con la exposición de la Tesis titulado: **"EFECTO DEL SULFATO FERROSO EN LA CALIDAD DE EFLUENTE INDUSTRIAL CIANURADO DE LA EMPRESA MINERA AURÍFERA RETAMAS S.A. 2018"**

Respondiendo las preguntas formuladas por los miembros del Jurado y público asistente.

Concluido el acto de defensa, cada miembro del Jurado procedió a la evaluación del aspirante a Maestro, teniendo presente los criterios siguientes:

- a) Presentación personal.
- b) Exposición: el problema a resolver, hipótesis, objetivos, resultados, conclusiones, los aportes, contribución a la ciencia y/o solución a un problema social y Recomendaciones.
- c) Grado de convicción y sustento bibliográfico utilizados para las respuestas a las interrogantes del Jurado y público asistente.
- d) Dicción y dominio de escenario.

Así mismo, el Jurado plantea a la tesis **las observaciones** siguientes:

.....
.....

Obteniendo en consecuencia el Maestría la Nota de Diecisiete (17)
Equivalente a MUY BUENO, por lo que se declara APROBADO
(Aprobado ó desaprobado)

Los miembros del Jurado, firman el presente **ACTA** en señal de conformidad, en Huánuco, siendo las 19.40. horas del 19 de julio de 2018.

.....
PRESIDENTE
DNI N° 65029222

.....
SECRETARIO
DNI N° 22491216

.....
VOCAL
DNI N° 22415364

Legenda:
19 a 20: Excelente
17 a 18: Muy Bueno
14 a 16: Bueno

(Resolución N° 01622-2018-UNHEVAL/EPG-D)

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS ELECTRÓNICA DE POSGRADO

1. IDENTIFICACIÓN PERSONAL

Apellidos y Nombres: Cabrera Montalvo Abrahams Moises

DNI: 71034553

Correo electrónico: zemoisesm16@gmail.com

Teléfono de casa: 063-422489 Celular: 942606379 Oficina:

2. IDENTIFICACIÓN DE LA TESIS

POSGRADO
Maestría: <u>Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible.</u>
Mención: <u>Gestión Ambiental</u>

Grado Académico obtenido:

MAESTRO

Título de la tesis:

Efecto del Sulfato Ferroso en la calidad del Efluyente Industrial
Cianuro de la Empresa Minera Aurífera Retamas S.A. 2018.

Tipo de acceso que autoriza el autor:

Marcar "X"	Categoría de acceso	Descripción de acceso
<input checked="" type="checkbox"/>	PÚBLICO	Es público y accesible el documento a texto completo por cualquier tipo de usuario que consulta el repositorio.
<input type="checkbox"/>	RESTRINGIDO	Solo permite el acceso al registro del metadato con información básica, mas no al texto completo.

Al elegir la opción "Público" a través de la presente autorizo de manera gratuita al Repositorio Institucional – UNHEVAL, a publicar la versión electrónica de esta tesis en el Portal Web repositorio.unheval.edu.pe, por un plazo indefinido, consintiendo que dicha autorización cualquier tercero podrá acceder a dichas páginas de manera gratuita, pudiendo revisarla, imprimirla o grabarla, siempre y cuando se respete la autoría y sea citada correctamente.

En caso haya marcado la opción "Restringido", por favor detallar las razones por las que se eligió este tipo de acceso:

Asimismo, pedimos indicar el periodo de tiempo en que la tesis tendría el tipo de acceso restringido:

() 1 año () 2 años () 3 años () 4 años

Luego del periodo señalado por usted(es), automáticamente la tesis pasará a ser de acceso público.

Fecha de firma: 30-07-2018

Firma del autor