



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EFECTO DEL TIEMPO DE AGITACIÓN, DOSIFICACIÓN DE TIOUREA Y CIANURO DE SODIO COMO AGENTES LIXIVIANTES SOBRE LA RECUPERACIÓN DE ORO EN UN MINERAL OXIDADO DE AYACUCHO”.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Jáuregui Rudas, Elmer Jhoe
Bach. Villanueva Rodríguez, Quilmer Rol

Asesor:

Ing. Álvarez León, Víctor Eduardo
Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A DIOS:

Quien me ha premiado con la vida, salud. El me ha guiado y bendecido hasta el día de hoy para poder realizar mis metas trazadas.

A MI MADRE

Martina Rudas Ocas, quien depositó toda su confianza en mi persona, dándome la mejor herencia de la vida. Gracias por tu sacrificio y por brindarme todo para que hoy concluya una etapa más en formación profesional.

Jhoe Jáuregui

Este proyecto de investigación la dedico especialmente a mis padres por su sacrificio y esfuerzo, por el apoyo incondicional en mi formación de mi carrera profesional para nuestro futuro y creer en mi capacidad, y gracias por motivarme siempre para alcanzar mis metas.

Quilmer Villanueva

AGRADECIMIENTO

La realización de esta tesis ha requerido esfuerzo y mucha dedicación por parte mía y de mi compañero y no hubiese sido posible sin la ayuda y cooperación desinteresada de todas y cada uno de nuestros familiares que han sido un soporte muy fuerte en cada momento difícil que se nos ha presentado.

Primeramente agradecemos a Dios, por nunca desampararnos, por fortalecer nuestra alma e iluminar nuestro pensamiento con sabiduría.

Un agradecimiento muy especial a los ingenieros Ing. Álvarez León Víctor Eduardo y al Ing. Vega Gonzales Juan, por su incondicional apoyo, por su orientación y acertada apreciación para realización de este trabajo.

Finalmente, un agradecimiento a todas y cada de una de las personas que han vivido con nosotros la realización de esta tesis, y que no necesito mencionar porque tanto ellas como nosotros sabemos que desde lo más profundo de nuestros corazones estamos muy agradecidos por habernos brindado su apoyo, ánimo y sobre todo su amor incondicional.

Los Autores

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática.....	10
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos.....	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	15
1.4. Hipótesis.....	16
1.4.2. Hipótesis general	16
1.4.3. Hipótesis específicas	16
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	19
2.1. Tipo de investigación	19
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	20
2.2.1. Población.....	20
2.2.2. Muestra.....	20
2.2.3. Equipos e Instrumentos	20
2.2.4. Materiales	20
2.2.5. Insumos y Reactivos.....	21
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	21
2.4. Procedimiento.....	22
2.5 Dosificaciones e insumos para las pruebas experimentales.....	25
CAPÍTULO III. RESULTADOS	29
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	56
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Dosificaciones para el NaCN para las pruebas de lixiviación por agitación en botellas	25
Tabla 2 Dosificaciones de Tiourea para las pruebas de lixiviación por agitación en botellas	26
Tabla 3 Resultados de las pruebas experimentales de lixiviación con NaCN y Tiourea	29
Tabla 4 Prueba T de muestras NaCN y Tiourea en la recuperación de Au (%)	31
Tabla 5 Recuperación de Au con tiempos de agitación de NaCN y Tiourea.....	32
Tabla 6 Análisis de Varianza de NaCN con respecto al tiempo de agitación.....	33
Tabla 7 Análisis de Varianza con respecto al tiempo de agitación.....	34
Tabla 8 Dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio	35
Tabla 9 Análisis de Varianza con respecto a la dosificación de NaCN.....	36
Tabla 10 Método de Tukey Pairwise para la Dosificación de NaCN y 95 % de confianza.....	36
Tabla 11 Análisis de Varianza con respecto a la Dosificación de Tiourea.....	37
Tabla 12 Comparación de Tukey Pairwise en la Dosificación de Tiourea	38
Tabla 13 Resultados de las pruebas de lixiviación con NaCN	39
Tabla 14 Análisis de Varianza de Dosificación y tiempo de agitación NaCN	40
Tabla 15 Resultados de las pruebas experimentales de lixiviación con Tiourea	41
Tabla 16 Análisis de Varianza de Dosificación y tiempo de agitación Tiourea	43
Tabla 17 Consumo de NaCN en función de la dosificación y tiempo de agitación.....	43
Tabla 18 Consumo de Tiourea en función de la dosificación y tiempo de agitación	44
Tabla 19 Recuperación de Au en la prueba N°1 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas	60
Tabla 20 Recuperación de Au en la prueba N°2 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas	60
Tabla 21 Recuperación de Au en la prueba N°3 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas	61
Tabla 22 Recuperación de Au en la prueba N°4 con 0.5 % NaCN y tiempo de 48 horas	61
Tabla 23 Recuperación de Au en la prueba N°5 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas	61
Tabla 24 Recuperación de Au en la prueba N°6 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas	62
Tabla 25 Recuperación de Au en la Prueba N°7 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas	62
Tabla 26 Recuperación de Au en la prueba N°8 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 48 horas	62
Tabla 27 Recuperación de Au en la prueba N°9 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas	63
Tabla 28 Recuperación de Au en la prueba N°10 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas	63

Tabla 29 Recuperación de Au en la prueba N°11 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas	63
Tabla 30 Recuperación de Au en la prueba N°12 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 48 horas	64
Tabla 31 Recuperación de Au en la prueba N°13 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas	64
Tabla 32 Recuperación de Au en la prueba N°14 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas	64
Tabla 33 Recuperación de Au en la prueba N° 15 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas	65
Tabla 34 Recuperación de Au en la prueba N°16 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas	65
Tabla 35 Recuperación de Au en la prueba N°17 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas	65
Tabla 36 Recuperación de Au en la prueba N°18 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas	66
Tabla 37 Recuperación de Au en la prueba N°19 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas	66
Tabla 38 Recuperación de Au en la prueba N°20 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas	66
Tabla 39 Recuperación de Au en la prueba N°21 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas	67
Tabla 40 Recuperación de Au en la prueba N°22 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas	67
Tabla 41 Recuperación de Au en la prueba N°23 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas	67
Tabla 42 Recuperación de Au en la prueba N°24 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas	68
Tabla 43 Condiciones de la prueba N°1	69
Tabla 44 Información de consumo de NaCN de la prueba N°1	69
Tabla 45 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°1	70
Tabla 46 Condiciones de la prueba N°2	71
Tabla 47 Información de consumo de NaCN de la prueba N°2	71
Tabla 48 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°2	72
Tabla 49 Condiciones de la prueba N°3	73
Tabla 50 Información de consumo de NaCN de la prueba N°3	73
Tabla 51 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°3	74
Tabla 52 Condiciones de la prueba N°4	75
Tabla 53 Información de consumo de NaCN de la prueba N°4	75
Tabla 54 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°4	76
Tabla 55 Condiciones de la prueba N°5	77
Tabla 56 Información de consumo de NaCN de la prueba N°5	77
Tabla 57 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°5	78
Tabla 58 Condiciones de la prueba N°6	79

Tabla 59 Información de consumo de NaCN de la prueba N°6	79
Tabla 60 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°6	80
Tabla 61 Condiciones de la prueba N°7	81
Tabla 62 Información de consumo de NaCN de la prueba N°7	81
Tabla 63 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°7	82
Tabla 64 Condiciones de la prueba N°8	83
Tabla 65 Información de consumo de NaCN de la prueba N°8	83
Tabla 66 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°7	84
Tabla 67 Condiciones de la prueba N°9	85
Tabla 68 Información de consumo de NaCN de la prueba N°9	85
Tabla 69 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°9	86
Tabla 70 Condiciones de la prueba N°10	87
Tabla 71 Información de consumo de NaCN de la prueba N°10	87
Tabla 72 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°10	88
Tabla 73 Condiciones de la prueba N°11	89
Tabla 74 Información de consumo de NaCN de la prueba N°11	89
Tabla 75 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°11	90
Tabla 76 Condiciones de la prueba N°12	91
Tabla 77 Información de consumo de NaCN de la prueba N°12	91
Tabla 78 Consumo de reactivos de la prueba experimental N°12	92
Tabla 79 Resultados de volumen de la muestra y gasto del titulante	93
Tabla 80 Consumo de tiourea en función a la dosificación y tiempo de agitación	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del proceso del mineral mediante lixiviación	22
Figura 2. Dosificación de NaCN y tiempo de agitación vs Recuperación de Au	29
Figura 3. Dosificación de tiourea y tiempo de agitación vs Recuperación de Au	30
Figura 4. Consumo de NaCN vs Tiempo de agitación y Dosificación de NaCN	44
Figura 5. Consumo de Tiourea vs Dosificación de Tiourea y Tiempo de agitación.....	45
Figura 6. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	70
Figura 7. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	72
Figura 8. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	74
Figura 9. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	76
Figura 10. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	78
Figura 11. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	80
Figura 12. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	82
Figura 13. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	84
Figura 14. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	86
Figura 15. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	88
Figura 16. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	90
Figura 17. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación	92

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo determinar el efecto del tiempo de agitación, dosificación de cianuro de sodio y tiourea como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho. El estudio experimental se realizó mediante lixiviación por agitación en botellas, la cantidad de pruebas experimentales fue de 24, utilizando mineral oxidado con una ley de 5,33 g/TM de Au, por lo cual se busca recuperar el porcentaje de Au a través de dos agentes lixiviantes, Tiourea y Cianuro de Sodio, las pruebas se determinaron con dosificaciones de 0.5 g/L, 1 g/L y 2 g/L y con tiempo de agitación de 12, 24, 36, 48 horas, aplicado para cada agente lixiviante. Los mejores resultados han sido obtenidos con la dosificación de cianuro de sodio de 2 g/L y el tiempo de agitación de 48 horas la mayor recuperación fue de 95.757 % de Au; así mismo con la dosificación de tiourea de 2 g/L y tiempo de 48 horas la máxima recuperación fue de 62.758 % de Au. Cabe recalcar que no hay mucha bibliografía relacionada al tema de lixiviación de óxidos por lo que la presente tesis servirá de línea base para investigaciones futuras relacionadas a la lixiviación.

Palabras clave: Lixiviación, Dosificación, Cianuro de sodio, Tiourea, Tiempo de agitación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad la lixiviación es un proceso metalúrgico vital para la extracción de metales preciosos en la industria minera, por ello se utiliza agente lixivante como el Cianuro que ofrece altos valores de disolución, actualmente este reactivo es muy utilizado, sin embargo es un compuesto químico de carácter tóxico, por lo cual ha sido restringido. Es por esto que se han investigado agentes lixiviantes diferentes al Cianuro, con el fin de utilizarlos como alternativas en los procesos de lixiviación de oro, entre ellas destaca la tiourea (Carrillo, Delgado, & Córdoba, 2013).

En el proceso de cianuración para la obtención de oro y plata, el análisis químico del cianuro es una operación compleja y de gran importancia para su control, y para la descarga de efluentes el cianuro se encuentra formando diferentes compuestos, cada uno de ellos con diferente estabilidad y, por lo tanto, diferente toxicidad, diferente método de análisis y diferente método de eliminación. Para el análisis del cianuro existe una gran variedad de métodos analíticos disponibles, pero estos métodos presentan dificultades a causa de la interferencia de algunos elementos presentes en la solución. El análisis resulta complicado y los resultados pueden variar según el método utilizado. (Nava, 2007).

En el ámbito internacional, tenemos registro que desde aproximadamente finales del siglo XIX, el cianuro de sodio es empleado intensamente en operaciones auríferas para la disolución o lixiviación de oro. El proceso fue patentado en el Reino Unido por J.S. MacArthur y los hermanos W. y R. Forrest el 19 de octubre de 1887. (Guerrero, 2015).

La lixiviación con cianuro es el método comúnmente usado para beneficio de minerales auríferos, sin embargo este lixivante, además de los elevados niveles de toxicidad, La disolución de oro y plata con tiourea se viene dando desde 1868, El proceso de cianuración fue descubierto en Nueva Zelanda y Sudáfrica en 1887 fue descubierto el proceso de cianuración y en el año siguiente se construyó una instalación basada en este proceso en Nueva Zelanda y Sudáfrica. La disolución de oro y plata en soluciones ácidas de tiourea fue inicialmente reportada en 1941 por Plaskin y Kozhukhova (Meza y Sánchez, 2012).

Cabe recalcar que el proceso de lixiviación propiamente dicho esta visto como tóxico, produciendo efectos negativos en el medioambiente. Debido a estos efectos negativos es la búsqueda de alternativas más amigables, por lo consiguiente se toma como agente lixivante a la Tiourea, para hacer frente a las limitaciones que en tiempos actuales están enfocadas a la preservación y cuidado del medio ambiente. (José Isaí, Robinson de Jesús, Mario, & Cesar Armando, 2013).

Cuando realizamos el proceso de lixiviación con Tiourea se utilizaron tres dosificaciones distintas de agente lixivante. Las lixivitaciones con tiourea ofrecen gran reactividad en tiempos comprendidos de 8 a 16 horas, razón por la cual las curvas de la grafica de este proceso ofrecen información detallada del aumento de extracción de oro con respecto al tiempo y control de pH; a medida que transcurre el tiempo, la reactividad de la tiourea es mayor, y manteniendo el pH entre 1.8 y 2.5, rango de mayor activación y, por consiguiente, mejor recuperación de metal de interés. (Santamaria Roncancio, Torres Gómez, Parra Pinilla, & Ortiz Otálora, 2013).

Un estudio publicado en la revista “Journal of metals”, nos dice que el uso de la Tiourea es eficiente en la recuperación de Au; logrando recuperar hasta el 50 % con la aplicación de una dosificación de 0.5 g/TM. Se producen principales efectos positivos en minerales oxidados con características de reacciones Rédox, la rápida acción de la tiourea es potenciada carbón activado que funciona como agente adsorbente. (Schulze, 1984).

Otro estudio demuestra que la Tiourea es eficiente en la recuperación de Au, disolviendo en concentraciones ácidas. Menciona que es importante tener en cuenta las reacciones que se producen y que están presentes dentro del proceso de lixiviación para la recuperación de Au. Una de las reacciones que se debe tener en cuenta es la Rédox por posibles oxidaciones a exposición medioambiente. Con este estudio se demostró que es posible remplazar las soluciones canutadas como agentes lixiviantes por una solución basada en Tiourea. (Li & Miller, 2006).

Un estudio realizado con agentes lixiviantes tiourea y cianuro sódico. Este estudio describe la secuencia a manera de procedimiento, empezando por la caracterización del mineral mediante Difracción de Rayos X (DRX), ensayos al fuego y cuantificación de oro por Absorción Atómica (AA). Seguidamente se verifica la dosificación en función al tiempo con los agentes en muestras minerales de 100 g, durante 8 horas, con una agitación de 800 rpm y temperatura ambiente, tomando muestras de solución a intervalos controlados de tiempo. Y finalmente se realiza un análisis de rendimientos de extracción de oro. (Santamaria Roncancio, Torres Gómez, Parra Pinilla, & Ortiz Otálora, 2013).

A medida que aumenta la concentración de agente lixiviante aumenta el porcentaje de metal de interés extraído. Al valorar la curva de mayor concentración de cianuro se tiene el mejor rendimiento en el proceso de lixiviación de mineral aurífero con este agente en un periodo de ocho horas continuas de trabajo. Es posible alcanzar mayores porcentajes en rendimiento sabiendo que la reactividad del cianuro puede tardar 16 a 48 horas. Esta investigación muestra resultados alto de recuperación a medida que se emplea mayor concentración y mayor tiempo agitación. Concluyendo que es directamente proporcional, el agente lixiviante al aumentar la dosificación y el tiempo de agitación da mayor recuperación de Au. (Santamaría, et al; 2013).

En el Perú también se han realizado estudios en mención a la lixiviación, tal es el caso que en Trujillo; la lixiviación con el agente tiourea arroja resultados positivos que son importantes e incluso pueden reemplazar el cianuro en la extracción de Au. En la parte experimental este estudio, cuando realizamos el proceso de lixiviación con Tiourea se utilizaron tres dosificaciones distintas de agente lixiviante. Se logró una recuperación de 62% en el tiempo empleado para el proceso fue de 4 a 5 horas. (Peña y Escobar, 2016).

El mineral de óxidos con el que se van a realizar las pruebas experimentales, es proveniente de Ayacucho. El mineral oxidado presenta asociaciones con plata (Ag), cobre (Cu) plomo (Pb). Zinc (Zn), Fierro (Fe), Arsénico (As) y Antimonio (Sb). Mediante un análisis ICP se determinó que las leyes de los minerales son despreciables a excepción del Au, el cual es el metal de interés a recuperar; por otra parte la plata no presenta una ley considerable lo cual nos indica que es mineral de ganga. Sin embargo para la misma muestra a manera de contrastar y validar información se realizó también el “Ensayo al fuego”, el cual nos arroja una ley de 5.33 g/TM de Au. (Universidad nacional de Trujillo - Laboratorio de metalurgia, 2019).

Hablando del cianuro, este es el resultado de combinar el gas natural y amoníaco con requerimiento de temperaturas y presiones elevadas. Este primer paso se obtiene cianuro de hidrógeno, el mismo que debe ser adsorbido en una solución de hidrógeno de Sodio o también cianuro de potasio según corresponda. (Fernández, 2007).

Entre las características principales de la Tiourea tenemos que es una sustancia blanca, cristalina, soluble en agua y en alcohol, con punto de fusión de 180 – 182 °C. A temperatura ambiente una solución saturada de thiourea tiene una concentración de 140 g/L. la thiourea puede ser absorbida haciendo calentar tiocianato de amonio (NH₄SCN) concentrado en presencia de disulfuro de carbono (CS₂). (Peña y Escobar, 2016).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto del tiempo de agitación en la dosificación de Tiourea y Cianuro de Sodio como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho?

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Determinar el efecto del tiempo de agitación, dosificación de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes, sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del tiempo de agitación sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.
- Determinar el efecto de las dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro.
- Determinar el efecto de las interacciones del tiempo de agitación y de la dosificación de tiourea y cianuro de sodio en la recuperación de oro.
- Determinar los consumos de tiourea y cianuro de sodio en las pruebas de lixiviación por agitación.

1.4. Hipótesis

1.4.2. Hipótesis general

A mayor tiempo de agitación y dosificación de cianuro de sodio y tiourea se obtiene mayor recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es igual a la Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea).

$H_1: \mu_i > \mu_2$ (La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es mayor a la Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea).

1.4.3. Hipótesis específicas

- El efecto del tiempo de agitación sobre la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho se ha determinado específicamente en tiempos de 12, 24, 36 y 48 horas.

$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$

(El tiempo de agitación (en horas) NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Cianuro de Sodio).

$H_1: \tau_i \neq 0$

(Al menos uno de los tiempos de agitación (en horas) influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Cianuro de Sodio).

- Las dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro, que la dosificaciones se establecerá de 0.5, 1 y 2 gramos.

Prueba de Hipótesis para el NaCN

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$$

(El Nivel de la Dosificación de Cianuro de Sodio NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1: \beta_i \neq 0$$

(Al menos un nivel de Dosificación de Cianuro de Sodio influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

Prueba de Hipótesis para la tiourea

$$H_0: Y_1 = Y_2 = Y_3 = Y_4$$

(El nivel de la Dosificación de Tiourea NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1: Y_i \neq 0$$

(Al menos un nivel de Dosificación de Tiourea influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

- La interacción del tiempo y la dosificación de cianuro de sodio tienen un efecto significativo en la recuperación de oro; también para la tiourea sucede el mismo efecto.

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_b = 0$$

(El tiempo de agitación NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \tau_i \neq 0$$

(Al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

Prueba de hipótesis para la tiourea

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

(El nivel de Dosificación de Tiourea NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \beta_j \neq 0$$

(Al menos uno de los niveles de Dosificación de Tiourea influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

- Los consumos de tiourea y cianuro de sodio en las pruebas de lixiviación por agitación en botellas incrementarán a medida que se quiera obtener mayor recuperación.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación de tipo Aplicada - Experimental a nivel de laboratorio, debido a que los datos manejados fueron obtenidos mediante procesos de análisis realizados en laboratorio, donde se manipula una de las variables independientes dosificación del agente lixiviante, con tiempo de agitación, para medir su efecto en la recuperación de Au.

De acuerdo con (Vargas, 2009), la investigación aplicada es práctica y empírica, que se caracteriza por busca la aplicación y utilización de conocimientos adquiridos, además el uso del conocimiento y los resultados de la investigación, se realiza de una forma muy rigurosa , organizada y sistemática de conocer la realidad.

De la misma manera es del tipo experimental según menciona (Hernandez, et al, 2014), que la ecesencia de concepción de lo experimental, es que se requiere la manipulación intencional de una acción, en el sentido científico, que se refiere al estudio donde se manipulan intencionalmente una o más variables independientes de supuestas causas o efectos, dentro de una situación de control, para analizar posibles resultados de la variable dependiente.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población

Mineral oxidado proveniente del tajo de voladura del departamento de Ayacucho.

2.2.2. Muestra

Se seleccionó la muestra de 50 Kg de mineral oxidado.

2.2.3. Equipos e Instrumentos

- Chancadora primaria de quijada de 5” x 7” pulgadas.
- Molino de bolas de capacidad de 1 kg.
- Cuarteador especializada para muestras.
- Balanza electrónica de capacidad 100 kg.
- Balanza analítica.
- pH metro.
- 8 botellas para agitación con capacidad de 4L
- Tamices malla N° - 200.
- Rolador para agitación de botellas.
- Prensador de filtrado de mineral.
- Estufa de secado de muestras.
- Pulverizador.

2.2.4. Materiales

- 8 Vasos de precipitación
- Fiola de 500 ml.
- Papel filtro.
- Papel craft
- Brochas de laboratorio.
- Bolsas plásticas para muestras
- Marcador permanente para enumerar muestras
- Frascos para depósito de solución de muestras

2.2.5. Insumos y Reactivos

- Solución de ácido Sulfúrico
- Cal
- Agua 12 L
- Agentes de lixiviación
 - Cianuro de Sodio
 - Tiourea
- Oxidantes
 - Cloruro Férrico

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnica de Muestreo: Se realizó un muestreo no probabilístico, por conveniencia.

Esto debido a que solo se toma una muestra representativa del mineral oxidado, al mismo que se le realiza una homogenización y posteriormente con la técnica del

2.3.2. cuarteo se establece la cantidad a emplear en las pruebas experimentales para lixiviación por agitación en botellas.

2.3.3. Análisis de datos: Para realizar el análisis se hace uso del software Minitab2017, el mismo que nos brinda apartados de análisis de varianza (ANOVA), análisis en base a las hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1); las cuales nos sirve para evaluar posibles respuestas al fenómeno estudiado (Recuperación vs tiempo vs dosificación) teniendo en cuenta el valor de “p value”. Adicional a esto para decidir que agente lixiviante es el más adecuado en cuanto a dosificaciones, se realiza las comparaciones estadísticas en base a Tukey Pairwise Comparisons. Y finalmente para la representación grafica nos apoyamos en Excel2013, con el apartado gráfico de barras; con el fin de poder interpretar de manera entendible y dinámica los datos trabajados.

2.4. Procedimiento

Como todo procedimiento experimental cuenta con una secuencia de pasos y etapas a seguir, la lixiviación por agitación en botellas, se define por los siguientes procesos:

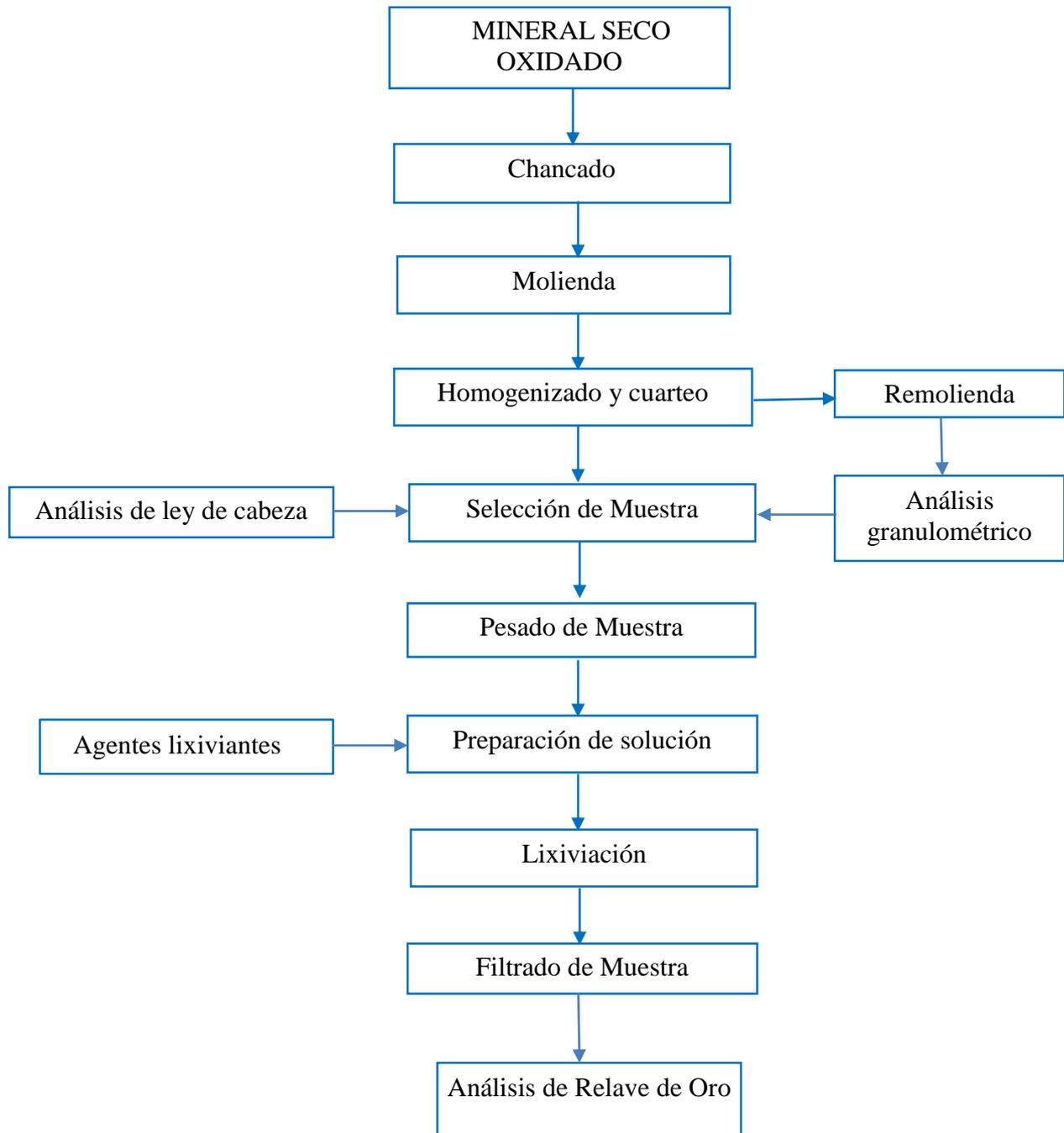


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso del mineral mediante lixiviación

Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.4.1. Procedimiento de manipulación de mineral oxidado para recuperación Au.

- Se selecciona 50 kg de mineral, se hace el apilamiento del mineral en la parte de un espacio de concreto limpio libre de contaminantes, donde se apila en forma de cónica, esta técnica se realiza con una pala y cucharón donde se homogeniza varias veces con el propósito de que las partículas de mineral este dispersa en toda la muestra.
- El mineral oxidado seleccionado para las pruebas de lixiviación por agitación, se ha establecido la cantidad apropiada de 50 kg de mineral, con la cual se hizo el chancando primario y secundario respectivo, de esta cantidad inicial se divide en 2 partes iguales que vendrían a ser 25 kg repartidos en cada saco para los procesos siguientes.
- El mineral pasará completamente homogenizado al cuarteador estático tipo Jones que consiste en reducir la cantidad de muestra, obteniendo en dos partes iguales uniformes, hasta obtener la cantidad necesaria de 12 kg de muestra de mineral representativo.
- Después de haber obtenido del cuarteador la muestra necesaria representativa, se realiza el proceso de remolienda que consiste en un molino de bolas de capacidad de 1 kg, donde se hará la molienda en un determinado tiempo.
- La molienda de mineral se establece a la granulometría adecuada del pasante del 80 % en la malla -200, donde se realizó este proceso con respectivos tiempos hasta determinar el tiempo correcto, que la granulometría eficiente para obtener una mayor recuperación de Oro.
- Posteriormente de acuerdo a la capacidad del molino se va realizando la molienda de 1 kg, una vez terminado la molienda, se deposita en bolsa plástica, hasta llegar a la cantidad de los 12 kg de molienda en la granulometría establecida.

- El siguiente paso es unir toda la muestra completamente molida, donde esta se lleva al proceso de roleo que consiste en mezclar el mineral de una manera correcta en una superficie de manto de jebe realizado entre dos personas especialmente para homogenizar la muestra, esta operación se realiza por unos minutos.
- Para iniciar la preparación de la solución es importante analizar el pH natural del mineral, por tanto, en la lixiviación de cada reactivo se requiere un pH determinante, en este caso para el cianuro de sodio trabaja con pH alcalino, con el cual se tomó una muestra de 250 gramos vertiéndose con agua en un vaso de precipitación, esta se realizó a través de un agitador magnético donde indicaba un pH 7, por lo cual se tiene que incrementar hasta llegar a pH 11, agregando la cantidad cal necesaria de 0.75 gramos (Cal) hasta llegar a lo establecido.
- De esta forma se realiza para la tiourea, la cual este reactivo trabaja con pH ácido, de tal manera, se tuvo que utilizar ácido sulfúrico para reducir el pH de 7 hasta 2 para lixiviar correctamente.
- Pesar el mineral en bolsas plásticas con una cantidad ya determinada de 250 gramos cada una, determinando la cantidad de botellas que se requieren para cada corrida.
- Posteriormente se prepara la solución de acuerdo a la prueba N°1 se inicia la lixiviación con el Cianuro sódico por el tiempo de agitación por botellas de 12 horas, determinando la cantidad establecida de concentrado.

2.5 Dosificaciones e insumos para las pruebas experimentales

Tabla 1

Dosificaciones para el NaCN para las pruebas de lixiviación por agitación en botellas

N°	Dosificaciones	Tiempo	Peso Mineral	NaCN	Volumen H ₂ O	Cal (CaO)	pH Requerido
Pruebas	(g/L)	(h)	(kg)	(g)	(L)	(g)	
1	0.5	12	0.25	0.25	0.5	0.75	11
2	0.5	24	0.25	0.25	0.5	0.75	11
3	0.5	36	0.25	0.25	0.5	0.75	11
4	0.5	48	0.25	0.25	0.5	0.75	11
5	1	12	0.25	0.5	0.5	0.75	11
6	1	24	0.25	0.5	0.5	0.75	11
7	1	36	0.25	0.5	0.5	0.75	11
8	1	48	0.25	0.5	0.5	0.75	11
9	2	12	0.25	1	0.5	0.75	11
10	2	24	0.25	1	0.5	0.75	11
11	2	36	0.25	1	0.5	0.75	11
12	2	48	0.25	1	0.5	0.75	11

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

Tabla 2
Dosificaciones de Tiourea para las pruebas de lixiviación por agitación en botellas

N° Pruebas	Dosificaciones (g/L)	Tiempo (h)	NaCN (g)	FeCL ₃ (g)	H ₂ SO ₄ (ml)	Peso Mineral (kg)	Volumen H ₂ O (L)	pH requerido
13	0.5	12	0.25	0.53	2.2	0.25	0.5	2
14	0.5	24	0.25	0.53	2.2	0.25	0.5	2
15	0.5	36	0.25	0.53	2.2	0.25	0.5	2
16	0.5	48	0.25	0.53	2.2	0.25	0.5	2
17	1	12	0.5	1.06	2.2	0.5	0.5	2
18	1	24	0.5	1.06	2.2	0.5	0.5	2
19	1	36	0.5	1.06	2.2	0.5	0.5	2
20	1	48	0.5	1.06	2.2	0.5	0.5	2
21	2	12	1	2.12	2.2	1	0.5	2
22	2	24	1	2.12	2.2	1	0.5	2
23	2	36	1	2.12	2.2	1	0.5	2
24	2	48	1	2.12	2.2	1	0.5	2

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

- Colocar el mineral y las dosificaciones en cada botella para iniciar las pruebas de lixiviación por agitación en botellas.
- Colocar las botellas en el Rolador para lixiviar con los tiempos variables desde 12, 24, 36 y 48 horas, para ambos agentes lixiviantes.
- El filtrado de mineral consiste en separar la solución del relave, depositando la solución en frascos con la respectiva enumeración, de la misma manera el relave colocar en bandejas de metal codificadas.
- Llevar las bandejas con las muestras minerales en sólido a la estufa de secado de mineral a 120 °C por un tiempo de 2 horas.
- Posteriormente pulverizar el mineral con un tiempo de 4 a 5 minutos, luego colocarlos en las bolsas plásticas debidamente enumeradas, para el análisis de relaves y el consumo de tiourea y cianuro de sodio en cada prueba.

2.4.2. Procedimiento de análisis de datos Minitab2017

- Para poder trabajar los datos en el Software, primero se ordena la data tabulada en Excel2013 para poder jalar dichos datos, se procede con la selección del diseño completo al azar e ingresar las variables y trabajarlos.
- Indicar variable respuesta y factor, por ende el objetivo es verificar la varianza de los datos, el software nos brinda un apartado de análisis de varianza (ANOVA), análisis en base a las hipótesis nula (H_0) e hipótesis alterna (H_1); que evalúa posibles respuestas al fenómeno estudiado (Recuperación vs tiempo vs dosificación) teniendo en cuenta el valor de “p value”, además se determina el nivel de confianza para contrastación de hipótesis.

- Para realizar un análisis de comparaciones estadísticas en base a Tukey Pairwise Comparisons, post prueba de hipótesis, Para ver el rendimiento o tomar la decisión de cual agente es el más efectivo en recuperación de Au. Para los gráficos seleccionamos la opción correspondiente y luego se obtendrán los resultados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1.1. Efecto del tiempo de agitación, dosificación de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes, sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.

Tabla 3
Resultados de las pruebas experimentales de lixiviación con NaCN y Tiourea

Tiempo (h)	Recuperación con NaCN			Recuperación con Tiourea		
	0.5 (g/L) NaCN	1 (g/L) NaCN	2 (g/L) NaCN	0.5 (g/L) Tiourea	1 (g/L) Tiourea	2 (g/L) Tiourea
12	80.019	83.189	86.754	27.392	34.034	46.248
24	82.270	85.816	90.375	31.707	40.056	57.711
36	85.253	88.311	92.702	36.773	47.665	59.662
48	88.499	89.812	95.757	39.212	49.719	62.758

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

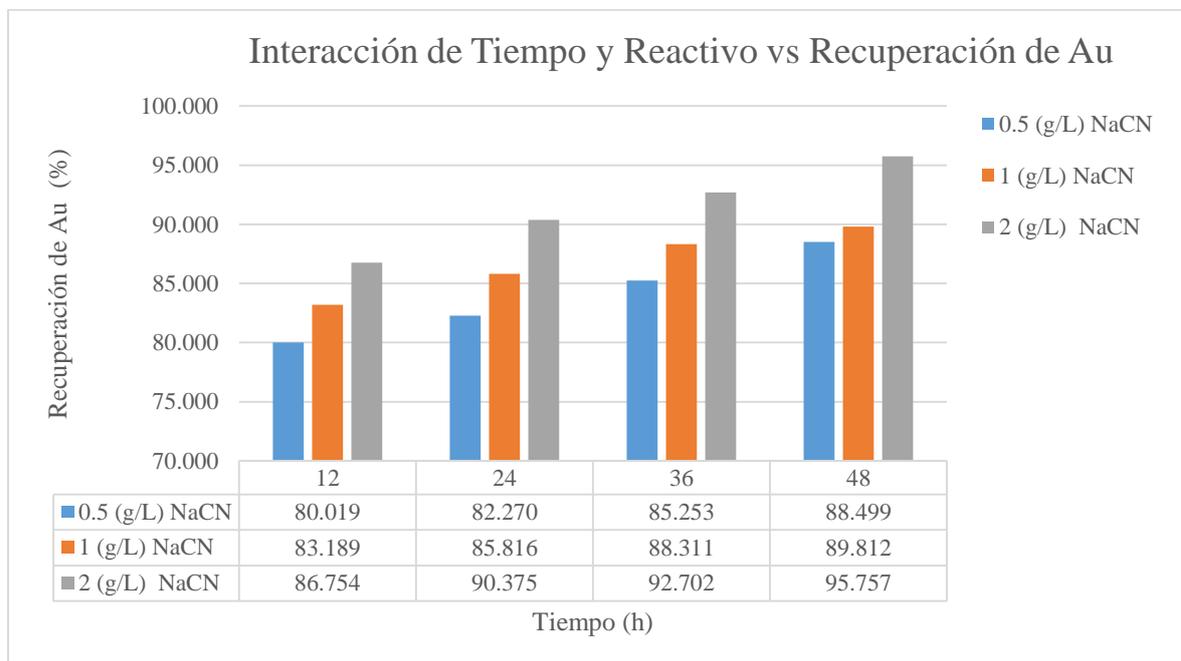


Figura 2. Dosificación de NaCN y tiempo de agitación vs Recuperación de Au

Fuente: Data de pruebas experimentales con NaCN, 2019

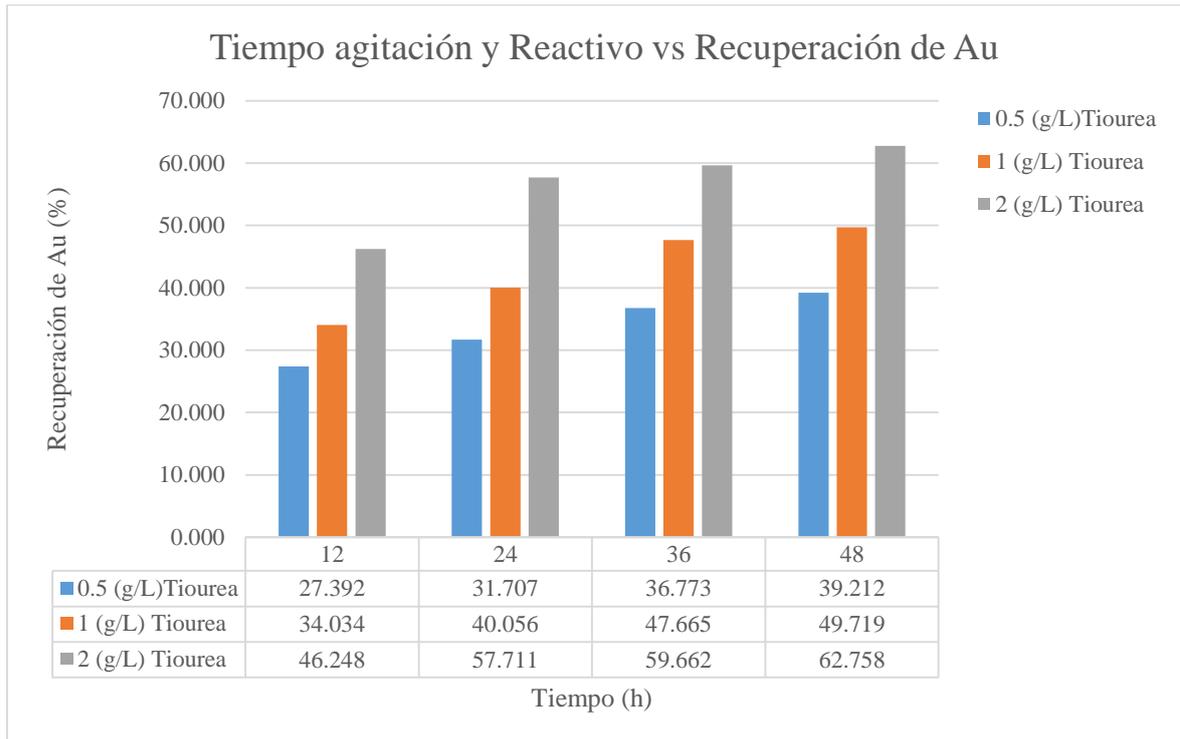


Figura 3. Dosificación de tiourea y tiempo de agitación vs Recuperación de Au

Fuente: Data de pruebas experimentales con Tiourea, 2019.

Prueba de Hipótesis

Por lo tanto es preciso desarrollar una prueba de Hipótesis de comparación de Medias de la Recuperación de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio Vs Dosificación de Tiourea.

$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es igual a La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea).

$H_1: \mu_i > \mu_2$ (La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es mayor a La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea)

$\alpha = 0.05$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 4

Prueba T de muestras NaCN y Tiourea en la recuperación de Au (%)

Prueba de Dos muestras T para recuperación de Au (%)	N°	Media	Desviación estándar	Error estándar
Recuperación de Au (%) NaCN	12	87.40	4.48	1.3
Recuperación de Au (%) Tiourea	12	44.4	11.5	3.3

Fuente: Software Minitab versión 2017.

Diferencia de medias = u (Recuperación de Au (%) NaCN) – u (Recuperación de Au (%) Tiourea), estimación de diferencia de 42.98, 95 % límite inferior para la diferencia de 36.87, T – prueba de diferencia = 0 (vs >): T – valor = 12.08, **P valor = 0.000**, DF = 22 y ambos usan desviación estándar agrupada de 8.7178.

Como el p value = 0.000 < α = 0.05, Se Rechaza la H_0 y se acepta la H_1 y se concluye que La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es mayor a La Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea.

1.2. Efecto del tiempo de agitación sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.

Tabla 5
Recuperación de Au con tiempos de agitación de NaCN y Tiourea

Tiempo (Horas)	Recuperación Au (%) con NaCN	Recuperación de Au (%) con Tiourea
12	80.02	27.39
24	82.27	31.71
36	85.25	37.77
48	88.5	39.21
12	83.19	34.03
24	85.82	40.06
36	88.31	47.66
48	89.81	49.72
12	86.75	46.75
24	90.38	57.71
36	92.7	59.66
48	95.76	62.76

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

Prueba de Hipótesis para el NaCN

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se lixivia con Cianuro de Sodio a diferentes tiempos de agitación, mediante el modelo estadístico lineal de un Diseño Completo al Azar.

$$Y_{ij} = u + \tau_j + \varepsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad ; \text{ modelo efectos fijos}$$

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \tau_4$$

(El tiempo de agitación (en horas) NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Cianuro de Sodio).

$$H_1: \tau_i \neq 0$$

(Al menos uno de los tiempos de agitación (en horas) influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Cianuro de Sodio).

$$\alpha = 0.05$$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 6
Análisis de Varianza de NaCN con respecto al tiempo de agitación

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Tiempo (horas)	3	107	35.68	2.51	0.133
Error	8	113.7	14.21		
Total	11	220.8			

Fuente: Software Minitab versión 2017

Como el p value = 0.133 > $\alpha = 0.05$, Se Acepta la H_0 y se concluye que el tiempo de agitación (en horas) NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Cianuro de Sodio.

Prueba de Hipótesis para la tiourea

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se lixivia con Tiourea a diferentes tiempos de agitación, mediante el modelo estadístico lineal de un Diseño Completo al Azar.

$$Y_{ij} = u + \mu_j + \epsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad ; \text{ modelo efectos fijos}$$

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

(El tiempo de agitación (en horas) NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Tiourea).

$$H_1: \mu_i \neq 0$$

(Al menos uno de los tiempos de agitación (en horas) influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Tiourea)

$$\alpha = 0.05$$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 7
Análisis de Varianza con respecto al tiempo de agitación

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Tiempo (horas)	1	366.9	122.3	0.9	0.482
Error	8	1086.5	135.8		
Total	11	1453.4			

Fuente: Software Minitab versión 2017

Como el p value = 0.482 > $\alpha = 0.05$, Se Acepta la H_0 y se concluye que el tiempo de agitación (en horas) NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho, cuando se lixivia con Tiourea.

1.3. Efecto de las dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro.

Tabla 8
Dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio

Dosificación de Tiourea (g/L)	Recuperación de Au (%) con NaCN	Recuperación Au (%) con Tiourea
0.5	80.02	27.39
0.5	82.27	31.71
0.5	85.25	36.77
0.5	88.5	39.21
1	83.19	34.03
1	85.82	40.06
1	88.31	47.66
1	89.81	49.72
2	86.75	46.75
2	90.38	57.71
2	92.7	59.66
2	95.76	62.76

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

Prueba de Hipótesis para el NaCN

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se realiza con una Dosificación de Cianuro de Sodio, mediante el modelo estadístico lineal de un Diseño Completo al Azar.

$$Y_{ij} = u + \beta_j + \epsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad ; \text{ modelo efectos fijos}$$

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4$$

(El Nivel de la Dosificación de Cianuro de Sodio NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$H_1: \beta_i \neq 0$

(Al menos un nivel de Dosificación de Cianuro de Sodio influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$\alpha = 0.05$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 9

Análisis de Varianza con respecto a la dosificación de NaCN

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Tiempo (horas)	2	111.4	55.71	4.59	0.042
Error	9	109.3	12.15		
Total	11	220.8			

Fuente: Software Minitab versión 2017.

Como el p value = 0.04 < $\alpha = 0.05$, Se Rechaza la H_0 y se acepta la H_1 y se concluye que

Al menos un nivel de Dosificación de Cianuro de Sodio influye de manera significativa en la recuperación de oro, de un mineral oxidado de Ayacucho.

Al realizar un análisis Post Prueba de Hipótesis con el Método de Tukey

Tabla 10

Método de Tukey Pairwise para la Dosificación de NaCN y 95 % de confianza

Dosificación de NaCN	Nº	Media	Agrupación	
2.0	4	91.40	A	
1.0	4	86.78	A	B
0.5	4	84.01		B

Fuente: Software Minitab versión 2017.

Mediante el análisis de comparación múltiple del método de Tukey, se llega a la conclusión que la Dosificación de Cianuro, que genera la mayor Recuperación de Oro, es 2 (g/L).

Prueba de Hipótesis para la tiourea

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se realiza con una Dosificación de Tiourea, mediante el modelo estadístico lineal de un Diseño Completo al Azar.

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_j + \epsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$j = 1, 2, \dots, k \quad ; \text{ modelo efectos fijos}$$

$$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma_4$$

(El Nivel de la Dosificación de Tiourea NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1: \gamma_i \neq 0$$

(Al menos un nivel de Dosificación de Tiourea influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$\alpha = 0.05$$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 11
Análisis de Varianza con respecto a la Dosificación de Tiourea

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Dosificación (g/L)	2	1068.5	534.24	12.49	0.003
Error	9	385.0	42.77		
Total	11	1453.4			

Fuente: Software Minitab versión 2017.

Como el $p \text{ value} = 0.003 < \alpha = 0.05$, Se Rechaza la H_0 y se acepta la H_1 y se concluye que Al menos un nivel de Dosificación de Tiourea influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

Al realizar un análisis Post Prueba de Hipótesis con el Método de Tukey

Tabla 12
Comparación de Tukey Pairwise en la Dosificación de Tiourea

Dosificación de Tiourea	N°	Media	Agrupación
2.0	4	56.72	A
1.0	4	42.87	B
0.5	4	33.77	B

Fuente: Software Minitab versión 2017.

Mediante el análisis de comparación múltiple del método de Tukey, se llega a la conclusión que la Dosificación de Tiourea, que genera la mayor Recuperación de Oro, es 2 (g/L).

1.4. Efecto de las interacciones del tiempo de agitación y de la dosificación de cianuro de sodio en la recuperación de oro.

Tabla 13
Resultados de las pruebas de lixiviación con NaCN

N° de Pruebas	Dosificaciones de NaCN (g/L)	Tiempo (h)	Ley de cabeza (g/TM)	Ley de colas (g/TM)	Recuperación de Au (%)
1	0.5	12	5.33	1.065	80.019
2	0.5	24	5.33	0.945	82.270
3	0.5	36	5.33	0.786	85.253
4	0.5	48	5.33	0.613	88.499
5	1	12	5.33	0.896	83.189
6	1	24	5.33	0.756	85.816
7	1	36	5.33	0.623	88.311
8	1	48	5.33	0.543	89.812
9	2	12	5.33	0.706	86.754
10	2	24	5.33	0.513	90.375
11	2	36	5.33	0.389	92.702
12	2	48	5.33	0.227	95.757

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

Prueba de Hipótesis para el tiempo de agitación y dosificación de NaCN

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se realiza con dos variantes representadas por el Tiempo de agitación y la Dosificación de NaCN, mediante el modelo estadístico Bifactorial Completo al Azar.

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_j + \beta_j + \epsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$j = 1, 2, \dots, b \quad ; \text{ modelo efectos fijos}$$

I) Con respecto a tratamientos (Tiempo de agitación)

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_b = 0$$

(El tiempo de agitación NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \tau_i \neq 0$$

(Al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

II) Con respecto a Bloques (Dosificación de NaCN)

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

(El nivel de Dosificación de Cianuro de Sodio NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \beta_j \neq 0$$

(Al menos uno de los niveles de Dosificación de Cianuro de Sodio influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$\alpha = 0.05$$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la H_0

Tabla 14
Análisis de Varianza de Dosificación y tiempo de agitación NaCN

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Tiempo (h) 2	3	107.043	35.6811	93.71	0.000
Dosificación NaCN	2	111.393	55.6966	146.28	0.000
Error	6	2.285	0.3808		
Total	11	220.721			

Fuente: Software Minitab versión 2017.

I) Como p value para el Tiempo de agitación = $0.000 < 0.05$, Se Rechaza H_0 y Se concluye que al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

II) Como p value para el nivel de Dosificación de Cianuro de Sodio = $0.000 < 0.05$, Se Rechaza H_0 y Se concluye que al menos uno de los niveles de Dosificación de Cianuro de Sodio influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

1.5. Efecto de las interacciones del tiempo de agitación y de la dosificación de tiourea en la recuperación de oro.

Tabla 15

Resultados de las pruebas experimentales de lixiviación con Tiourea

N° de Pruebas	Dosificaciones de NaCN (g/L)	Tiempo (h)	Ley de cabeza (g/TM)	Ley de colas (g/TM)	Recuperación de Au (%)
13	0.5	12	5.33	3.87	27.392
14	0.5	24	5.33	3.64	31.707
15	0.5	36	5.33	3.37	36.773
16	0.5	48	5.33	3.24	39.212
17	1	12	5.33	3.516	34.034
18	1	24	5.33	3.195	40.056
19	1	36	5.33	2.79	47.655
20	1	48	5.33	2.68	49.719
21	2	12	5.33	2.865	46.747
22	2	24	5.33	2.254	57.711
23	2	36	5.33	2.15	59.662
24	2	48	5.33	1.985	62.758

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

Prueba de hipótesis para la Tiourea

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se realiza con dos variantes representadas por el Tiempo de agitación y la Dosificación de Tiourea, mediante el modelo estadístico Bifactorial Completo al Azar.

$$Y_{ij} = \mu + \gamma_j + \beta_j + \varepsilon_{ij} ; \quad i = 1, 2, \dots, a$$
$$j = 1, 2, \dots, b$$

III) Con respecto a tratamientos (Tiempo de agitación)

$$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_b = 0$$

(El tiempo de agitación NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \tau_i \neq 0$$

(Al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho)

IV) Con respecto a Bloques (Dosificación de NaCN)

$$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

(El nivel de Dosificación de Tiourea NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$$H_1 = \beta_j \neq 0$$

(Al menos uno de los niveles de Dosificación de Tiourea influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho).

$\alpha = 0.05$

Si p – value es menor a $\alpha = 0.05$, se Rechaza la **H₀**

Tabla 16

Análisis de Varianza de Dosificación y tiempo de agitación Tiourea

Fuente	DF	SS Ajustado	MS Ajustado	Valor F	Valor P
Tiempo (h)	3	375.37	125.123	37.94	0.000
Dosificación Tiourea	2	1056.13	528.065	160.12	0.000
Error	6	19.79	3.298		
Total	11	1451.29			

Fuente: Software Minitab versión 2017.

III) Como p value para el Tiempo de agitación = $0.000 < 0.05$, Se Rechaza H₀ y Se concluye que al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

IV) Como p value para el nivel de Dosificación de Tiourea = $0.000 < 0.05$, Se Rechaza H₀ y Se concluye que al menos uno de los niveles de Dosificación de Tiourea, influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho.

1.6. Consumo de cianuro de sodio en las pruebas de lixiviación por agitación.

Tabla 17

Consumo de NaCN en función de la dosificación y tiempo de agitación

Tiempo (h)	Consumo de Reactivo NaCN (Kg/TM)		
	0.5 (g/L) NaCN	1 (g/L) NaCN	2 (g/L) NaCN
12	1.48	1.68	1.97
24	1.68	1.87	2.07
36	1.85	1.92	2.26
48	2.34	2.71	2.86

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

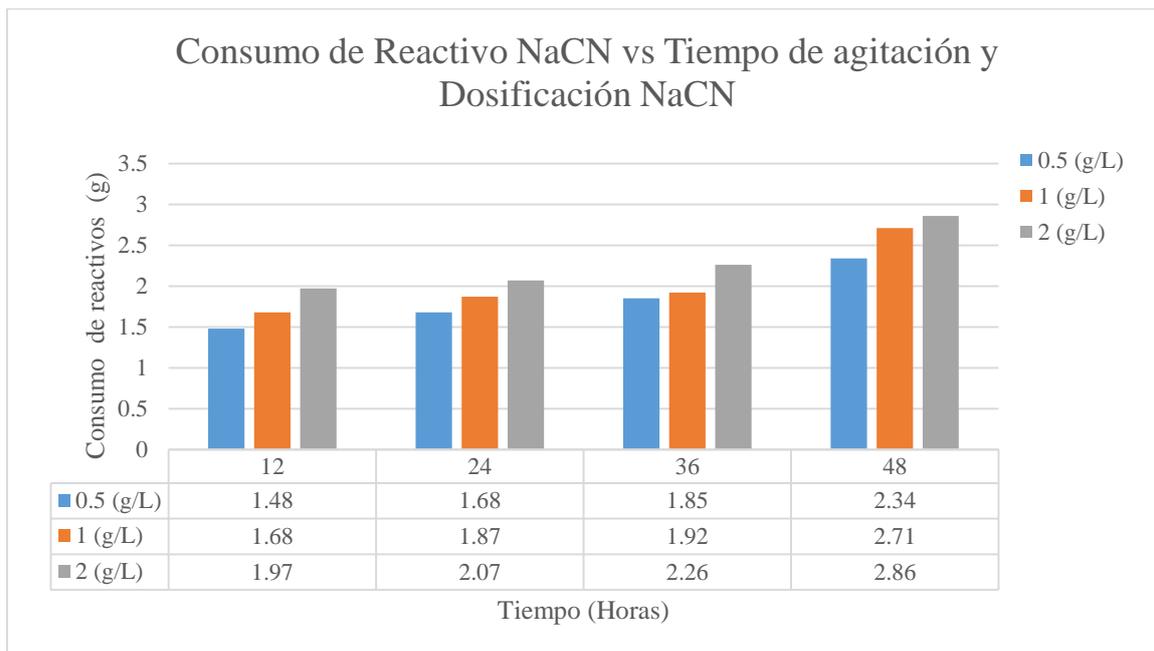


Figura 4. Consumo de NaCN vs Tiempo de agitación y Dosificación de NaCN

Fuente: Data de pruebas experimentales con NaCN, 2019.

1.7. Consumo de tiourea en las pruebas de lixiviación por agitación.

Tabla 18

Consumo de Tiourea en función de la dosificación y tiempo de agitación

Tiempo (h)	Consumo de Tiourea (Kg/TM)		
	0.5 (g/L) Tiourea	1 (g/L) Tiourea	2 (g/L) Tiourea
12	0.607	0.722	0.757
24	0.656	0.919	0.53
36	0.803	1.066	1.150
48	0.902	1.115	1.248

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

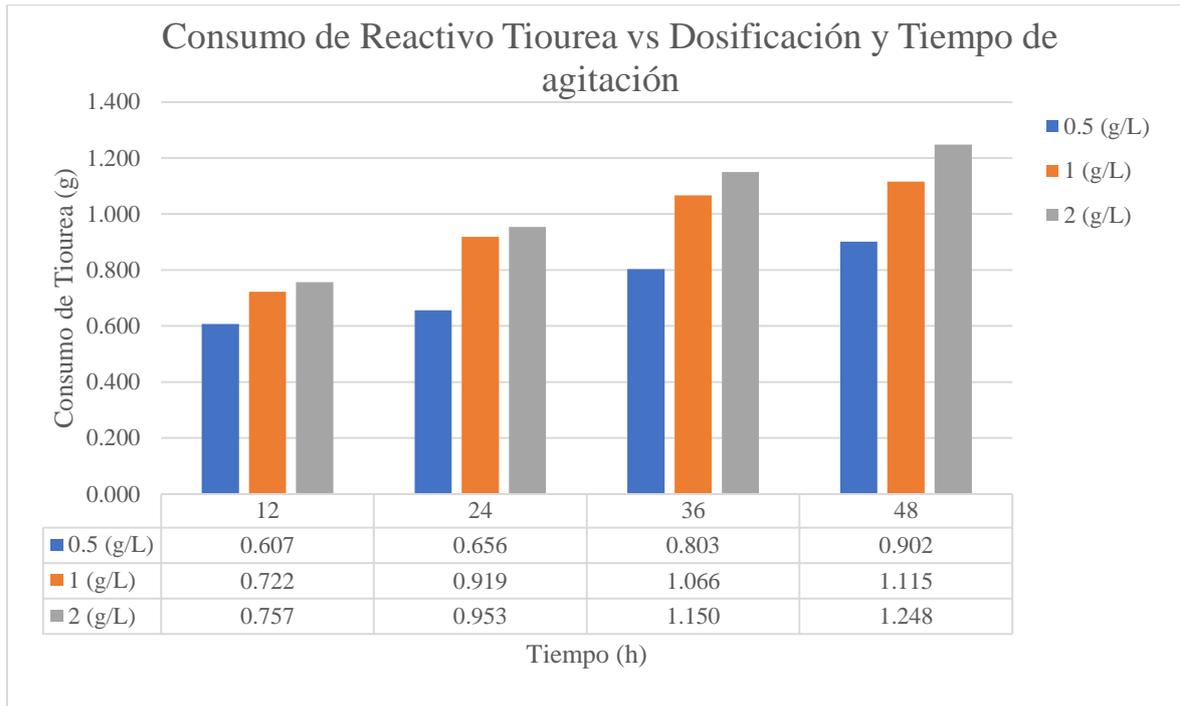


Figura 5. Consumo de Tiourea vs Dosificación de Tiourea y Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales con Tiourea, 2019.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Para el efecto del tiempo de agitación, dosificación de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes, sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.

En la tabla N° 3 se muestra que con un tiempo de agitación de 48 horas con Cianuro de Sodio, presenta la recuperación más alta de 95.757 % de Au. Así mismo sucede con la tiourea, que el tiempo óptimo establecido es de 48 horas, presentado la recuperación más alta de 62.758 % de Au, por lo tanto, el tiempo de 48 horas para cada reactivo establecido en las pruebas experimentales es favorable para lixiviar mineral oxidado. También se concluye que la Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Cianuro de Sodio es mayor a la Recuperación promedio de Au (%) con Dosificación de Tiourea, estos resultados contrasta con la tesis de (Carrillo Sandoval, 2013) muestran resultados opuestos, que la lixiviación con óxidos para el cianuro de sodio el tiempo de 35 horas logró una recuperación de 80 % oro, y para la tiourea en un tiempo 10 horas recuperó 95 % de oro. Para las dosificaciones de Cianuro de sodio de 2 g/L, presentando una recuperación alta de 95.757 % Au, así también para la Tiourea la recuperación, se da en la dosificación de 2 g/L, obteniendo una recuperación de 62.758 % Au.

Al realizar las pruebas de hipótesis, realizando las dos variantes de Tiempo de agitación y Dosificación de los agentes lixiviantes, Tiourea y Cianuro de Sodio, haciendo el análisis de prueba de dos muestras “T” y intervalo de confianza, presentando la recuperación promedio de Au (%), a través de este análisis, resulta que el p – value es de 0.000, siendo menor al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto se rechaza la

hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna, concluyendo que la recuperación promedio de Au (%) con dosificación de Cianuro de Sodio es mayor a la recuperación promedio de Au (%) con dosificación de Tiourea.

Para el efecto del tiempo de agitación sobre la recuperación de oro en un mineral oxidado de Ayacucho.

Lo planteado en esta hipótesis es la siguiente afirmación “El tiempo de agitación NO influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho”, para el Cianuro de Sodio, de acuerdo al p - value es de 0.133, siendo mayor a 0.05; así mismo ocurre con la tiourea, de acuerdo a su p - value es de 0.482, siendo mayor a 0.05, es decir se acepta H_0 , al realizar el análisis estadístico, se comprueba que esta hipótesis no es verdadera, ya que los resultados nos muestran que a mayor tiempo de agitación la recuperación es directamente proporcional, es decir mayor tiempo mayor recuperación. Así mismo en las tablas de resultados de dosificación, se muestra que los resultados de mayor recuperación son obtenidos con una dosificación de 2 g/L (Esta es la mayor dosificación de nuestras pruebas experimentales). Como parte de la hipótesis antes mencionada tenemos una variante que afirma “Al menos uno de los tiempos de agitación influye de manera significativa en la recuperación de oro de un mineral oxidado de Ayacucho”. Esta variante se comprueba con investigaciones similares donde el tiempo si influye en el porcentaje de recuperación. Los óxidos presentan mayor recuperación en tiempo más prolongado en el caso del uso de Cianuro, en un tiempo de 12 horas se alcanza el 80% de recuperación y en un tiempo de 35 horas la recuperación alcanzada es de 88.24% de Au. (Carrillo Sandoval, 2013).

En esta tesis estamos dosificando los agentes lixiviantes en óxidos, sin embargo el uso de los mismos agentes en minerales sulfurados tienen un efecto de mayor recuperación en función al tiempo logrando una mejor recuperación de metal de interés. Cuando se trabajó concentración de 1.5 g de agente lixiviante se logró el mayor rendimiento con respecto a las demás concentraciones más bajas. (Santamaría, et al; 2013).

En un estudio realizado de varias pruebas de optimización en lixiviación en un medio ácido con Tiourea en un mineral oxidado de oro, de acuerdo a los resultados indican que luego de 9 horas de lixiviación se puede extraer 71.4 % de Au; así mismo con el cianuro luego de 60 horas de lixiviación, los resultados obtenidos fue de 91.5 % de Au. (Cano, 2014).

Efecto de las dosificaciones de tiourea y cianuro de sodio como agentes lixiviantes sobre la recuperación de oro.

En las pruebas experimentales con las diferentes dosificaciones empleadas, se comprueba que cuando se tiene una mayor dosificación del agente lixiviante (Cianuro de Sodio y Tiourea) mayor es la recuperación que se obtiene. Se afirma que la dosificación es un factor importante tal como se menciona en una investigación con el uso de Tiourea nos dice que se demuestra que el porcentaje de extracción de Oro va aumentando por variables distintas en la cual destaca la dosificación, a mayor dosificación de Tiourea mayor recuperación de Oro. (Narváez y Sánchez, 2013). Otro estudio en relación al Cianuro de Sodio nos dice que a mayor concentración se produce una mayor recuperación de oro, siendo la recuperación más alta de 92.37% con 800 ppm. (Mendo, 2016) En cuanto a esta afirmación en las pruebas experimentales de la

tesis con una dosificación de 2 g/L (2000 ppm) hemos obtenido una recuperación de 95.76 % de Au, en la contrastación de la hipótesis de la dosificación de Cianuro de sodio, es posible la recuperación de Au (%), mediante el análisis estadístico lineal de un diseño completo al azar, con un nivel de significancia de 0.05, siendo el p – value de 0.04, es decir que se rechaza la hipótesis nula, aceptando la hipótesis alterna, concluyendo que al menos un nivel de dosificación de cianuro de sodio influye de manera significativa en la recuperación de Au; así mismo ocurre con la dosificación de la tiourea, siendo su p – value de 0.003, siendo menor al valor del nivel de significancia, rechazando la hipótesis nula, concluyendo al menos un nivel de dosificación con tiourea, influye de manera significativa en la recuperación de Au.

Un estudio revela que dosificaciones distintas, siendo las más alta de 1,5 g de Tiourea se obtuvo la mayor recuperación de Au, cabe recalcar que ésta investigación esta enfocada en sulfuros a diferencia de la presente tesis en óxidos. Sin embargo es comprobable que la mayor dosificación implica una mejor recuperación del mineral de interés. (Santamaría, et al; 2013). Los resultados obtenidos de recuperación de Au en la presente Tesis, con una dosificación de 2 g/L de Tiourea se logró la mayor recuperación de Au en un 62.76 %.

En la comprobación de la hipótesis, al realizar el análisis Post prueba con el método de comparación múltiple a través de Tukey, se llega a la conclusión que la dosificación de Cianuro de Sodio, quien mas genera mayor recuperación de oro, es de 2 g/L, así también, se comprueba la hipótesis, al realizar el análisis Post prueba, se llega a la conclusión que la dosificación de tiourea, quien mas genera mayor recuperación de oro, es de 2 g/L.

Efecto de las interacciones del tiempo de agitación y de la dosificación de cianuro de sodio en la recuperación de oro.

- Tiempo VS Recuperación (NaCN)

El comportamiento del agente lixiviante NaCN (2 g/L) nos dice que la mayor recuperación se obtiene con un tiempo más prolongado. En un tiempo de 12 horas la recuperación de Au alcanza un 86.754 %, y esta recuperación va aumentando a medida que pasa el tiempo de agitación por consiguiente en un tiempo de 24 horas se alcanzó una recuperación de Au de 90.375 %, en un tiempo de 36 horas se logró recuperar 92.702 % de Au; teniendo como tiempo máximo de agitación 48 horas se obtuvo la máxima recuperación de Au logrando alcanzar el 95.757 %.

Es posible describir la Recuperación Au (%), cuando se realiza con dos variantes representadas por el Tiempo de agitación y la Dosificación de Tiourea, mediante el modelo estadístico Bifactorial Completo al Azar, siendo p – value de 0.000, es decir que se rechaza la hipótesis nula, porque es menor al nivel de significancia, por lo tanto, al menos uno de los tiempos de agitación, influye de manera significativa en la recuperación de Au de un mineral oxidado de Ayacucho.

- Dosificación VS Recuperación (NaCN)

Para las pruebas experimentales, se ha trabajado con dosificaciones de 0.5, 1 y 2 g/L del agente lixiviante (NaCN) aplicadas en óxidos. Con las cuales se comprueba que la dosificación de 2 g/L es la que nos da mayor recuperación. Siendo la mínima recuperación 86.754 % de Au (12 horas) y la máxima recuperación de Au obtenida de 95.757 % (48 horas). A diferencia de la dosificación de 0.5 g/L que nos da una recuperación de Au mínima de 80.019 % (12 horas) y una recuperación de Au máxima

de 88.499 % (48 horas). Concluimos que la dosificación es directamente proporcional a la recuperación de 80.019 % Au, con respecto a los bloques de NaCN en la comprobación de hipótesis, presentado un P – value de 0.000, siendo menor al nivel de significancia de 0.005, por lo tanto que al menos una dosificación influye en la recuperación de Au.

- **Tiempo VS Recuperación (Tiourea)**

El comportamiento del agente lixiviante Tiourea (2 g/L) nos dice que la mayor recuperación se obtiene con un tiempo más prolongado. En un tiempo de 12 horas la recuperación de Au alcanza un 46.248 %, y esta recuperación va aumentando a medida que pasa el tiempo de agitación por consiguiente en un tiempo de 24 horas se alcanzó una recuperación de Au de 57.711 %, en un tiempo de 36 horas se logró recuperar 59.662 % de Au; teniendo como tiempo máximo de agitación 48 horas se obtuvo la máxima recuperación de Au logrando alcanzar el 62.758 %, para la comprobación de la hipótesis de acuerdo a la descripción de la recuperación de Au (%), cuando se realiza con dos variantes representadas por el tiempo de agitación, mediante el modelo estadístico Bifactorial completo al azar, presenta un p - value de 0.000, siendo menor al nivel de significancia, es decir rechazamos la hipótesis nula, concluyendo que al menos un tiempo de agitación influye de manera significativa en la recuperación de Au.

- **Dosificación VS Recuperación (Tiourea)**

Para las pruebas experimentales, se ha trabajado con dosificaciones de 0.5, 1 y 2 g/L del agente lixiviante Tiourea) aplicadas en óxidos. Con las cuales se comprueba que la dosificación de 2 g/L es la que nos da mayor recuperación. Siendo la mínima recuperación 46.248 % de Au (12 horas) y la máxima recuperación de Au obtenida de 62.758 % (48 horas). A diferencia de la dosificación de 0.5 g/L que nos da una recuperación de Au mínima de 27.392 % (12 horas) y una recuperación de Au máxima de 39.212 % (48 horas). Concluimos que la dosificación es directamente proporcional a la recuperación.

En una investigación realizada, utilizando dosificaciones diferentes, para la recuperación de Au, en la dosificación máxima de 2 g/L de tiourea, se obtuvo la recuperación más alta de 62 % de Au, presentando los resultados en tendencia creciente. (Peña y Escobar, 2016).

De la misma manera en la comprobación de hipótesis de la dosificación de Tiourea, presenta un p – Value de 0.000, siendo menor al nivel de significancia de 0.05, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que al menos un nivel de dosificación influye en la recuperación de Au.

Consumos de los agentes lixiviantes en función a la recuperación.

- Consumo de NaCN

Las dosificaciones son las que mejores resultados ha dado en cuanto a recuperación de Au. En cuanto al consumo, se verifica en función al tiempo transcurrido y esta dado en Kg/TM, En la tabla 17 se muestra los resultados de consumo de las pruebas experimentales del Cianuro de Sodio donde se obtuvo la recuperación máxima de 95.757 % Au en el tiempo de 48 horas y la dosificación de 2 g/L, es decir que el consumo máximo en esta prueba con cianuro de sodio fue de 2.86 Kg/TM, en el tiempo de 12 horas y la dosificación de 0.5 g/L se obtuvo la mínima recuperación de 80.019 % de Au, por lo tanto su consumo mínimo es de 1.48 Kg/TM.

- Consumo de Tiourea

En la tabla 18 se muestran los resultados de los consumos de Tiourea de las pruebas experimentales, especificando que en la dosificación de 2 g/L y tiempo de 48 horas la recuperación mas alta fue de 62.758 % de Au, donde el consumo máximo de Tiourea en esta prueba es de 1.248 Kg/TM, en la dosificación de 0.5 g/L y tiempo de 12 horas la recuperación mínima en esta prueba realizada fue de 27.392 % de Au, el consumo mínimo de Tiourea es de 0.757 Kg/TM, se observa que a medida que va aumentando la dosificación y tiempo, el consumo de tiourea incrementa.

4.2 Conclusiones

El tiempo de agitación y la dosificación de cianuro de sodio, tiene un efecto significativo en la recuperación de oro; así mismo sucede con el tiempo de agitación y la dosificación de tiourea porque de acuerdo a la prueba de hipótesis realizada, su “p” experimental es menor que el “p” estadístico (cuando $p \leq 0.05$).

Se concluye que NO existe efecto significativo del tiempo de agitación sobre la recuperación de oro, ($p > 0.05$), siendo el tiempo más adecuado de 48 horas, que presentó una recuperación alta de 95.757 % de Au. Así mismo sucede con la tiourea, que el tiempo óptimo establecido es de 48 horas, presentado la recuperación más alta de 62.758 % de Au, por lo tanto el tiempo de 48 horas para cada reactivo establecido en las pruebas experimentales es favorable para lixiviar mineral oxidado.

Se concluye que existe efecto significativo de la dosificación de NaCN y tiourea en la recuperación de oro ($P < 0.05$); asimismo se determinó el efecto de las dosificaciones de 0.5 g/L, 1 g/L y 2 g/L de cianuro de sodio en la recuperación de oro, los resultados de las pruebas experimentales obtenidos la dosificación de 2 g/L es la más eficiente en el porcentaje de recuperación fue de 95.757 % oro; de la misma manera ocurre con la dosificación de tiourea, es decir que la dosificación más adecuada es de 2 g/L por lo cual se obtiene mayor recuperación de oro.

Llegamos a la conclusión que las interacciones del tiempo de agitación y dosificaciones de cianuro de sodio y tiourea en la recuperación de oro, afirmando que las condiciones operacionales adecuadas para obtener la recuperación más alta de oro en las pruebas experimentales con cianuro de sodio, el tiempo agitación es de 48 horas y la dosificación eficaz de 2 g/L, por lo cual la interacción con la tiourea sucede de la misma manera, el mayor tiempo de agitación es de 48 horas y la dosificación de 2 g/L la recuperación es alta.

Concluimos que el consumo del cianuro de sodio en el tiempo de 48 horas y dosificación de 2 g/L donde se tuvo la máxima recuperación de 95.757 % de Au, el consumo de Cianuro de Sodio fue de 2.86 Kg/TM; así mismo sucede con la Tiourea, en el tiempo de 48 horas y dosificación de 2 g/L donde se obtuvo la mayor recuperación de 62.758 % de Au, el consumo máximo de Tiourea fue de 1.248 Kg/TM, por lo cual en las pruebas experimentales realizadas, los resultados de cada prueba obtenida el consumo de reactivos incrementa a medida que el tiempo de agitación y la dosificación del cianuro de sodio y la tiourea también incrementan en la recuperación de Au.

REFERENCIAS

- Cano (2016). *Extracción y adsorción de metales preciosos en medio ácido con tiourea y carbón activado*. Tesis de grado. Facultad de ingeniería de procesos. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa.
- Carrillo, M., Delgado, J., & Córdoba, E. (2013). Lixiviación con Tiourea de dos minerales Auroargentíferos Santandereanos . *Revista Colombiana de Materiales N.5 pp.*, 319-324.
- Fernández Pérez, B. (2007). *Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina*. Tesis de post grado. Universidad de Oviedo. España.
- Guerrero Rojas, J. (2015). *Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/258499252_Cianuro_Toxicidad_y_Destruccion_Biologica
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mexico: Interamericana Editores. S.A de C.V.
- Li & Miller (2006). *A review of gold leaching in acid thiourea solutions*. Publication in a Journal. Mineral Processing & Extractive Metall. Department of metallurgical engineering. UNIVERSITY OF UTAH. Denomination USA.

José Isaí, S. R., Robinson de Jesús, T. G., Mario, P. P., & Cesar Armando, O. O. (2013).

Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano. *Revista Facultad de Ingeniería*, 97-103.

Mendo (2016). *Efecto de la concentración de cianuro y la granulometría de un mineral oxidado, en la recuperación de oro mediante lixiviación por agitación, Cachachi -*

Cajamarca 2016. Tesis de grado. Universidad Privada del Norte. Cajamarca.

Meza Carranza, E. H., & Sanchez Llaros, R. G. (s.f.). *Utilización de la Thiourea como agente*

alternativo para lixiviar minerales altamente refractarios en la recuperación de oro.

Tesis de grado. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.

NAVA ALONSO, F. (2007). *Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración.*

Mexico: Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.

Narváez & Sánchez (2013). *Evaluación de la viabilidad del uso de la tiourea utilizando SO₂*

y agentes oxidantes, para disminuir el porcentaje de recuperación de oro 2013. Tesis

de grado. Universidad Nacional de Trujillo. *Trujillo*.

Peña & Escobar (2016). *Influencia de la concentración de Thiourea sobre la extracción de*

oro por lixiviación de un mineral oxidado a pH ácido controlado con ácido cítrico.

Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Química - Universidad Nacional de Trujillo.

Santamaria Roncancio, J. I., Torres Gómez, R., Parra Pinilla, M., & Ortiz Otálora, C. A.

(2013). *Comparación de cianuro y tiourea como agentes lixiviantes de un mineral aurífero colombiano*. Colombia: Tesis de grado.

R.G. Schulze (1984). *New aspects in thiourea leaching of precious metals*. Journals and editions JOURNAL OF METALS. Denomination USA.

Vargas Cordero, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33, 155-165. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>.

ANEXOS

ANEXO N°1. Resultado de análisis químico de ley de oro por ensayo al fuego (Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo).

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
LABORATORIO DE PROCESAMIENTO DE MINERALES



CERTIFICADO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Solicitado por	QUILMER VILLANUEVA RODRIGUEZ	
Código de muestra	M1	
Muestras recibidas	1	
Asunto	Análisis Químico	
Características y condiciones	BOLSA SIN LACRAR	
Fecha de recepción	18/09/2019	
RESULTADOS		

Método	ME-FA	ME-FA
Elemento	Au	Ag
Unidades	(g/TM)	(g/TM)
MF1	5.33	<0.05

(Oz/TC)	(Oz/TC)
0.16	...

Método de ensayo:
FIRE ASSAY

Fecha de emisión de reporte: lunes, 23 de septiembre de 2019


Ing. Juan Vega González
 Jefe de Laboratorio
 CIP 79515



Escuela de Ingeniería Metalúrgica - Ciudad Universitaria Av. Juan Pablo II S/N Urb. San Andrés.

ANEXO N°2. Fórmulas del balance metalúrgico y del contenido metálico de las pruebas experimentales para la recuperación de Au.

1. Contenido Metálico = Peso del mineral (Kg) * Ley Au (mg/kg).

2. Recuperación (%) = $\frac{\text{contenido metálico Au} - \text{contenido metálico del relave}}{\text{contenido metálico Au}} \times 100$

Tabla 19

Recuperación de Au en la prueba N°1 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	1.05	0.26625	80.019

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 20

Recuperación de Au en la prueba N°2 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.945	0.23625	82.270

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 21

Recuperación de Au en la prueba N°3 con 0.5 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.786	0.1965	85.253

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 22

Recuperación de Au en la prueba N°4 con 0.5 % NaCN y tiempo de 48 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.613	0.15325	88.499

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 23

Recuperación de Au en la prueba N°5 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.896	0.224	83.189

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 24

Recuperación de Au en la prueba N°6 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.756	0.189	85.816

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 25

Recuperación de Au en la Prueba N°7 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3225	100
Relave	0.25	0.623	0.15575	88.311

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 26

Recuperación de Au en la prueba N°8 con 1 (g/L) NaCN y tiempo de 48 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.543	0.13575	89.812

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 27

Recuperación de Au en la prueba N°9 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 12 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.706	0.1765	86.754

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 28

Recuperación de Au en la prueba N°10 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 24 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.513	0.12825	90.375

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 29

Recuperación de Au en la prueba N°11 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 36 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.389	0.09725	92.702

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 30

Recuperación de Au en la prueba N°12 con 2 (g/L) NaCN y tiempo de 48 horas

Cianuro Sódico (NaCN)	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	0.227	0.05675	95.757

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 31

Recuperación de Au en la prueba N°13 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.87	0.9675	27.392

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 32

Recuperación de Au en la prueba N°14 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.64	0.91	31.707

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 33

Recuperación de Au en la prueba N° 15 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.37	0.8425	36.773

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 34

Recuperación de Au en la prueba N°16 con 0.5 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.24	0.81	39.212

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 35

Recuperación de Au en la prueba N°17 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.516	0.879	34.034

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 36

Recuperación de Au en la prueba N°18 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	3.195	0.79875	40.056

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 37

Recuperación de Au en la prueba N°19 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	2.79	0.6975	47.655

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 38

Recuperación de Au en la prueba N°20 con 1 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	2.68	0.67	49.719

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 39

Recuperación de Au en la prueba N°21 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 12 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del Mineral (kg)	Ley Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au Ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	2.865	0.71625	46.248

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 40

Recuperación de Au en la prueba N°22 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 24 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del mineral (kg)	Ley de Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	2.254	0.5635	57.711

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 41

Recuperación de Au en la prueba N°23 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 36 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del mineral (kg)	Ley de Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	2.15	0.5375	59.662

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 42

Recuperación de Au en la prueba N°24 con 2 (g/L) Tiourea y tiempo de 48 horas

Tiourea SC(NH ₂) ₂	Peso del mineral (kg)	Ley de Au (g/TM)	Contenido Metálico (mg)	Recuperación de Au ensayada (%)
Cabeza Sólido	0.25	5.33	1.3325	100
Relave	0.25	1.985	0.49625	62.758

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

ANEXO 5. Resultados de consumo de NaCN

Tabla 43

Condiciones de la prueba N°1

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 0.5 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	500	0.25	0.75	11	12

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 44

Información de consumo de NaCN de la prueba N°1

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
02/08/2019 8:20 a.m.	0	11	0.00	500.00	0.75	0.0000	0	0
02/08/2019 9:20 a.m.	1	11	1.40	342.30	0	0.1577	0.003423	0.1543
02/08/2019 11:20 a.m.	3	11	1.60	391.20	0	0.1088	0.003912	0.2592
02/08/2019 3:20 a.p.m.	7	11	1.70	415.65	0	0.0844	0.041565	0.3394
02/08/2019 8:20 p.m.	12	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.004646	0.3702
TOTAL					0.750	0.386	0.016137	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 45
Consumo de reactivos de la prueba experimental N°1

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.370	0.750	1.48	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°1

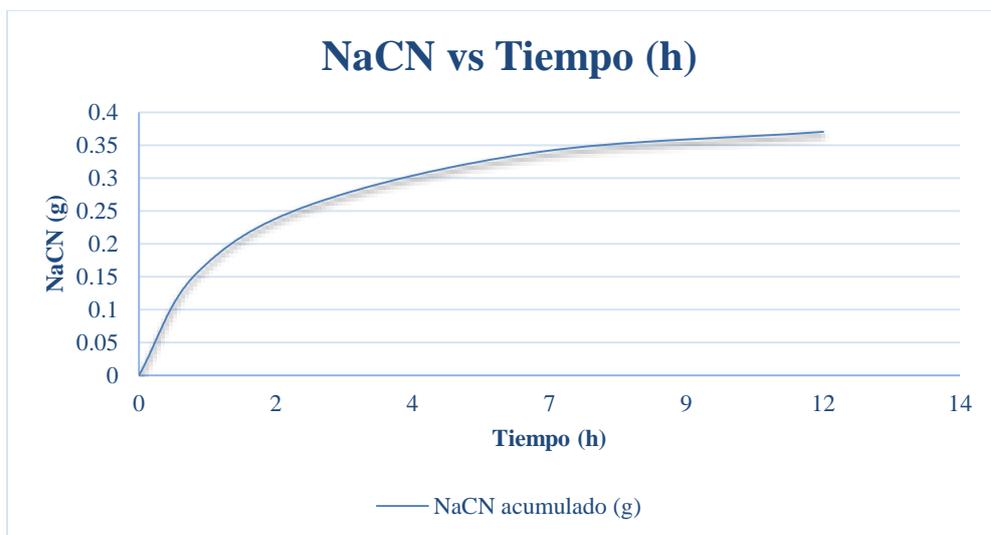


Figura 6. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 46
Condiciones de la prueba N°2

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 0.5 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	500	0.25	0.75	11	24

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 47
Información de consumo de NaCN de la prueba N°2

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
02/08/2019 9:05 a.m.	0	11	0.00	500.00	0.75	0.0000	0	0
02/08/2019 10:05 a.m.	1	11	1.40	342.30	0	0.1577	0.003423	0.1543
02/08/2019 12:05 a.m.	3	11	1.50	366.75	0	0.1333	0.0036675	0.2839
02/08/2019 8:05 p.m.	11	11	1.70	415.65	0	0.0844	0.041565	0.3641
03/08/2019 9:05 p.m.	24	11	1.80	440.10	0	0.0599	0.004401	0.4196
TOTAL					0.750	0.435	0.015648	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 48

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°2

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.420	0.750	1.48	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°2

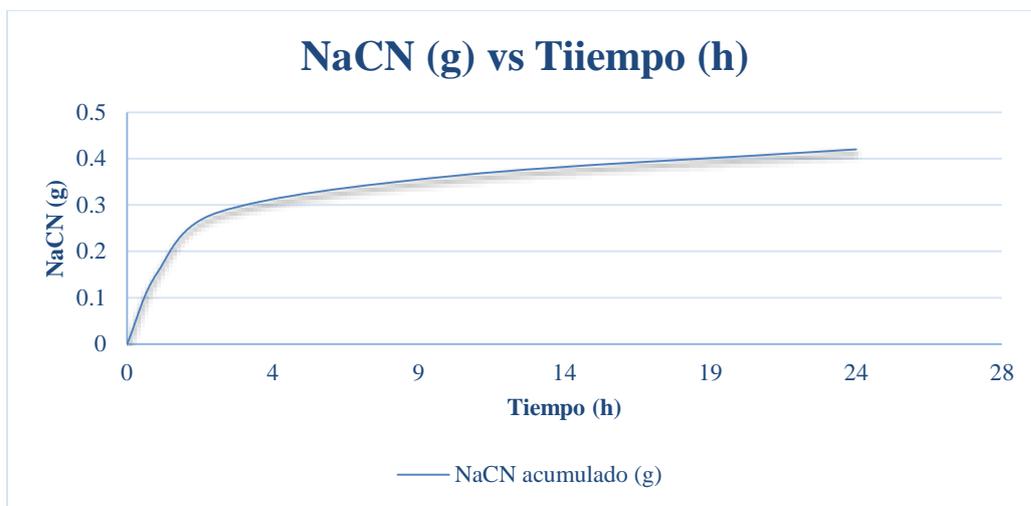


Figura 7. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 49
Condiciones de la prueba N°3

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 0.5 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	500	0.25	0.75	11	36

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 50
Información de consumo de NaCN de la prueba N°3

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
02/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	500.00	0.75	0.0000	0	0
02/08/2019 4:15 p.m.	1	11	1.40	342.30	0	0.1577	0.003423	0.1543
02/08/2019 6:15 p.m.	3	11	1.60	391.20	0	0.1088	0.003912	0.2592
02/08/2019 9:15 p.m.	6	11	1.70	415.65	0	0.0844	0.0041565	0.3394
03/08/2019 3:15 a.m.	12	11	1.80	440.10	0	0.0599	0.004401	0.3949
03/08/2019 3:15 p.m.	24	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.4257
04/08/2019 12:15 a.m.	33	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.4565
04/08/2019 3:15 a.m.	36	11	2	489.00	0	0.0110	0.00489	0.4626
TOTAL					0.750	0.493	0.0300735	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la universidad Nacional de Trujillo

Tabla 51
Consumo de reactivos de la prueba experimental N°3

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.463	0.750	1.85	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°3

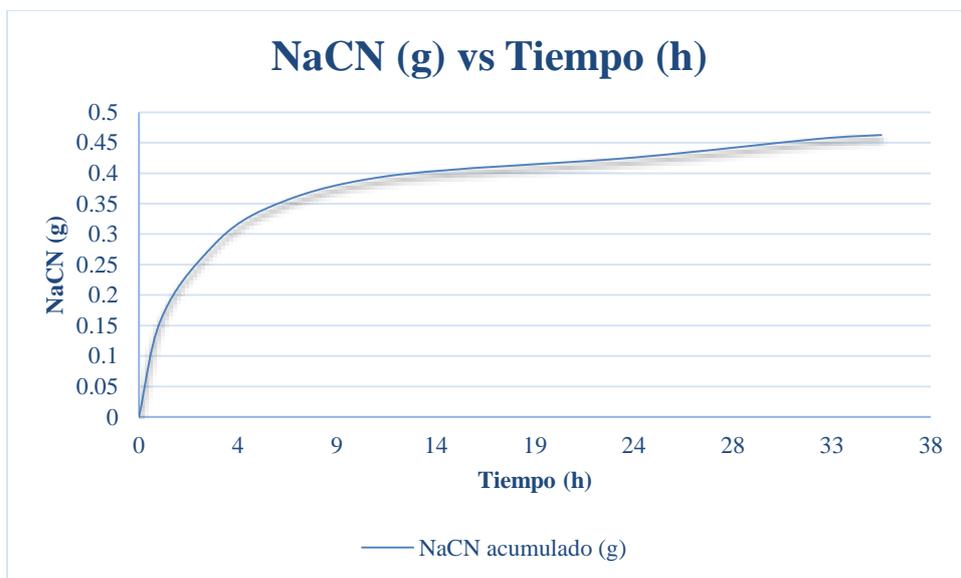


Figura 8. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 52
Condiciones de la prueba N°4

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 0.5 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	500	0.25	0.75	11	48

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 53
Información de consumo de NaCN de la prueba N°4

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
06/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	500.00	0.75	0.0000	0	0
06/08/2019 4:15 p.m.	1	11	1.30	317.85	0	0.1822	0.0031785	0.1790
06/08/2019 6:15 p.m.	3	11	1.40	342.30	0	0.1577	0.003423	0.3332
06/08/2019 9:15 p.m.	6	11	1.50	366.75	0	0.1333	0.0036675	0.4628
07/08/2019 7:15 a.m.	16	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.4936
07/08/2019 4:15 p.m.	25	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.5244
08/08/2019 9:15 a.m.	42	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.5552
08/08/2019 3:15 a.m.	48	11	1.90	464.55	0	0.0355	0.0046455	0.5860
TOTAL					0.750	0.615	0.028851	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la universidad Nacional de Trujillo

Tabla 54
Consumo de reactivos de la prueba experimental N°4

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.586	0.750	2.34	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°4

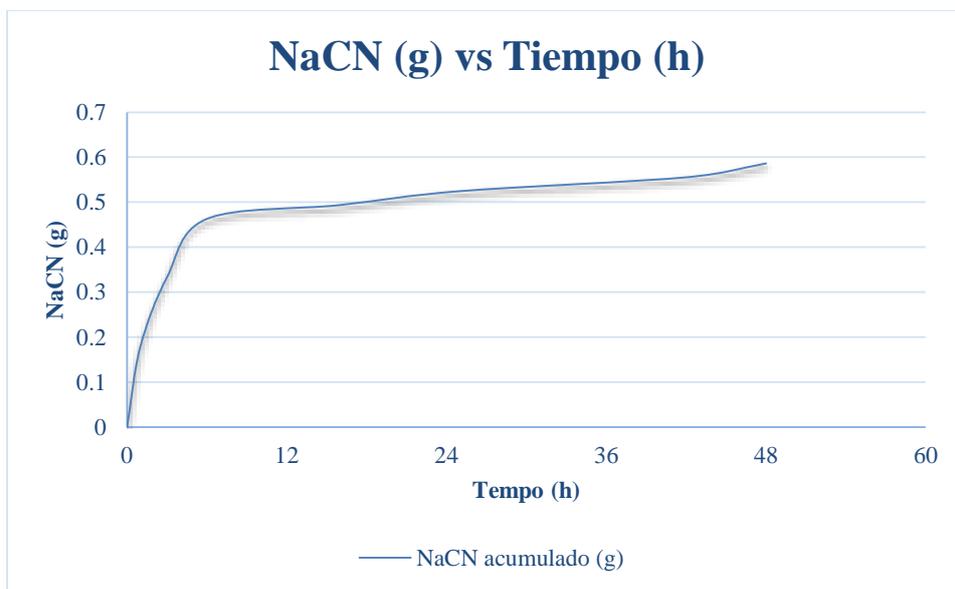


Figura 9. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 55
Condiciones de la prueba N°5

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 1 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	1000	0.5	0.75	11	12

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 56
Información de consumo de NaCN de la prueba N°5

Fecha y hora	Tiempo de agitación (h)	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
02/09/2019 8:20 a.m.	0	11	0.00	1000.00	0.75	0.0000	0	0
02/09/2019 9:20 a.m.	1	11	3.20	782.40	0	0.2176	0.007824	0.2098
02/09/2019 11:20 a.m.	3	11	3.60	880.20	0	0.1198	0.008802	0.3208
02/09/2019 3:20 p.m.	7	11	3.80	929.10	0	0.0709	0.009291	0.3824
02/09/2019 8:20 p.m.	12	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.4193
TOTAL					0.750	0.455	0.0354525	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 57

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°5

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.419	0.750	1.68	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°5

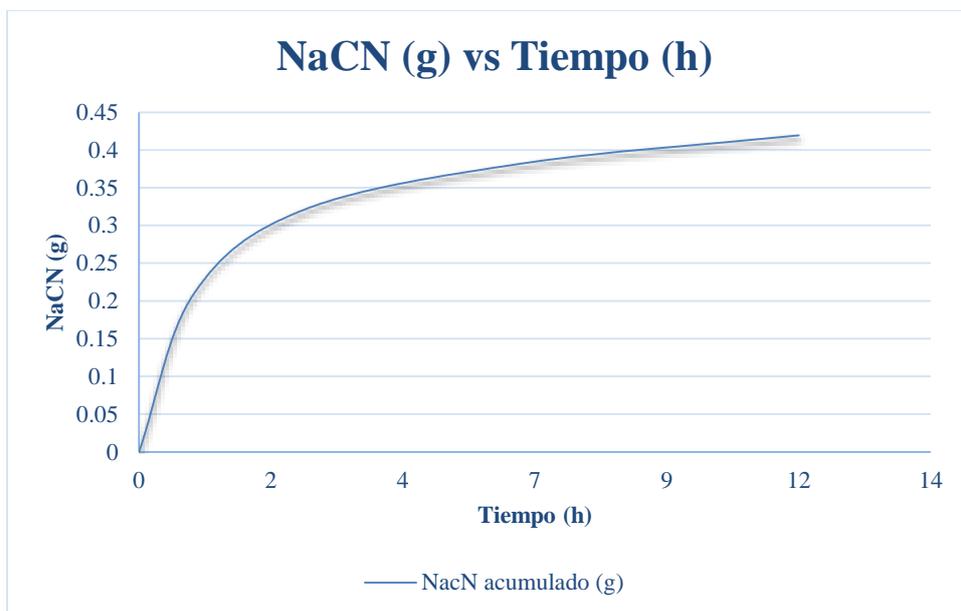


Figura 10. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 58
Condiciones de la prueba N°6

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 1 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	1000	0.5	0.75	11	24

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 59
Información de consumo de NaCN de la prueba N°6

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
05/09/2019 8:20 a.m.	0	11	0.00	1000.00	0.75	0.0000	0	0
05/09/2019 9:20 a.m.	1	11	3.40	831.30	0	0.1687	0.008313	0.1604
05/09/2019 11:20 a.m.	3	11	3.60	880.20	0	0.1198	0.008802	0.2714
05/09/2019 3:20 p.m.	7	11	3.60	880.20	0	0.1198	0.008802	0.3824
06/09/2019 8:20 p.m.	12	11	3.70	904.65	0	0.0954	0.0090465	0.4687
TOTAL					0.750	0.504	0.0349635	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 60
Consumo de reactivos de la prueba experimental N°6

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.469	0.750	1.87	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°6

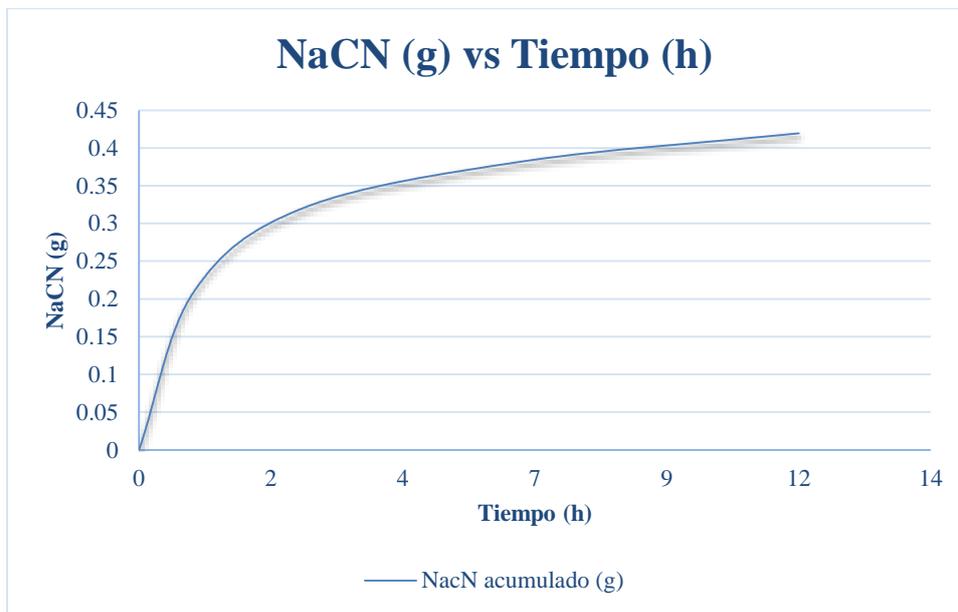


Figura 11. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 61
Condiciones de la prueba N°7

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 1 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	1000	0.5	0.75	11	36

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 62
Información de consumo de NaCN de la prueba N°7

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
08/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	1000.00	0.75	0.0000	0	0
08/08/2019 4:15 p.m.	1	11	3.60	880.20	0	0.1198	0.008802	0.1110
08/08/2019 6:15 p.m.	3	11	3.70	904.65	0	0.0954	0.0090465	0.1973
08/08/2019 9:15 p.m.	6	11	3.70	904.65	0	0.0954	0.0090465	0.2836
09/08/2019 3:15 a.m.	12	11	3.80	929.10	0	0.0709	0.009291	0.3452
09/08/2019 3:15 p.m.	24	11	3.80	929.10	0	0.0709	0.009291	0.4068
10/08/2019 12:15 a.m.	33	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.4437
10/08/2019 3:15 a.m.	36	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.4807
TOTAL					0.750	0.545	0.064548	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la universidad Nacional de Trujillo

Tabla 63

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°7

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.481	0.750	1.92	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°7

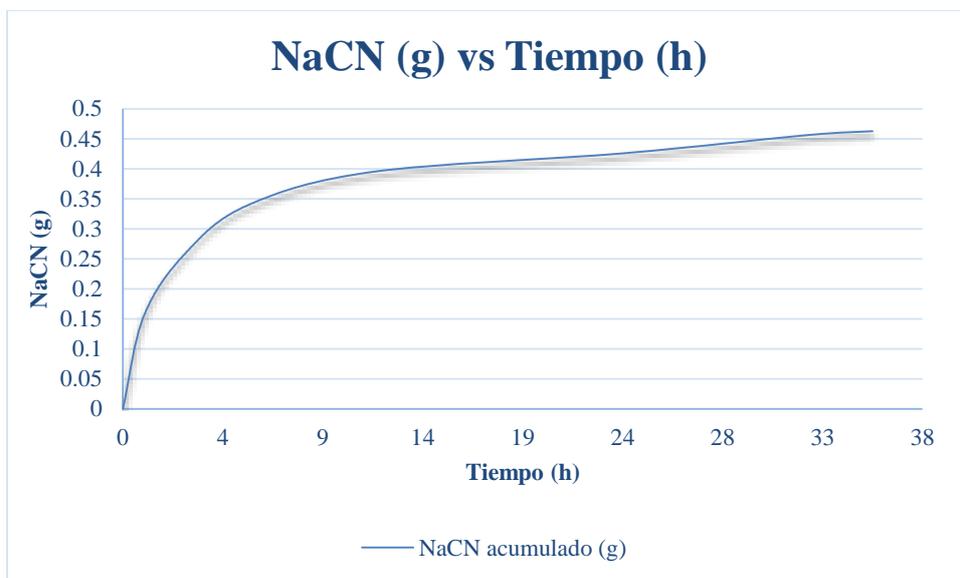


Figura 12. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 64
Condiciones de la prueba N°8

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 1 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	1000	0.5	0.75	11	48

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 65
Información de consumo de NaCN de la prueba N°8

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
08/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	1000.00	0.75	0.0000	0	0
08/08/2019 4:15 p.m.	1	11	3.20	782.40	0	0.2176	0.007824	0.2098
08/08/2019 6:15 p.m.	3	11	3.30	806.85	0	0.1932	0.0080685	0.3949
08/08/2019 9:15 p.m.	6	11	3.60	880.20	0	0.1298	0.008802	0.5059
08/08/2019 7:15 a.m.	16	11	3.80	929.10	0	0.0709	0.009291	0.5675
09/08/2019 4:15 p.m.	25	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.6044
10/08/2019 9:15 a.m.	42	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.6413
10/08/2019 3:15 a.m.	48	11	3.90	953.55	0	0.0465	0.0095355	0.6782
TOTAL					0.750	0.741	0.062592	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la universidad Nacional de Trujillo

Tabla 66
Consumo de reactivos de la prueba experimental N°7

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.678	0.750	2.71	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°7

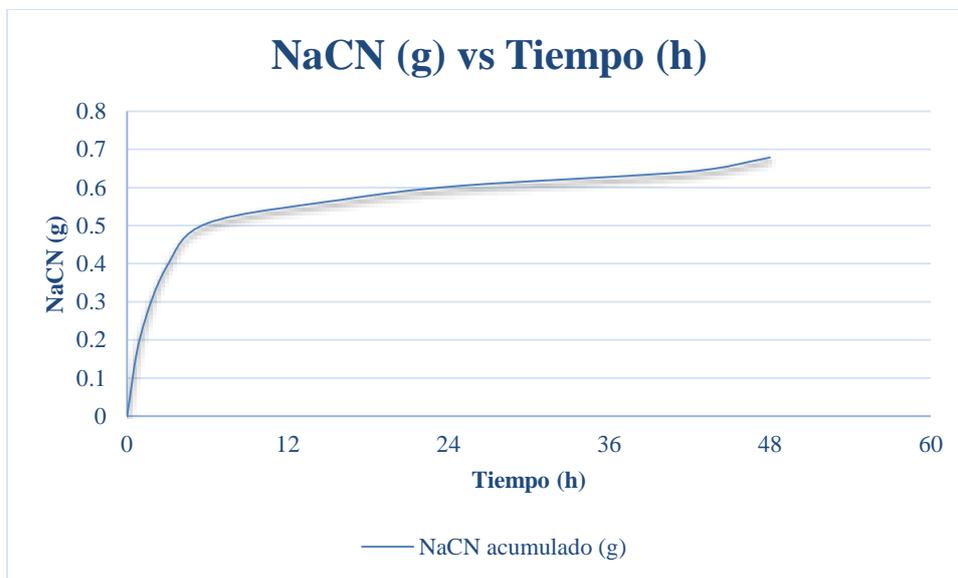


Figura 13. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 67
Condiciones de la prueba N°9

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 2 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	2000	1	0.75	11	12

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 68
Información de consumo de NaCN de la prueba N°9

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
08/08/2019 8:20 a.m.	0	11	0.00	2000.00	0.75	0.0000	0	
08/08/2019 9:20 a.m.	1	11	7.30	1784.85	0	0.2152	0.0178485	0.1973
08/08/2019 11:20 a.m.	3	11	7.60	1858.20	0	0.1418	0.018582	0.3205
08/08/2019 3:20 p.m.	7	11	7.70	1882.65	0	0.1174	0.0188265	0.4190
08/08/2019 8:20 p.m.	12	11	7.80	1907.1	0	0.0929	0.019071	0.4929
TOTAL					0.750	0.567	0.074328	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 69

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°9

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.493	0.750	1.97	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°7

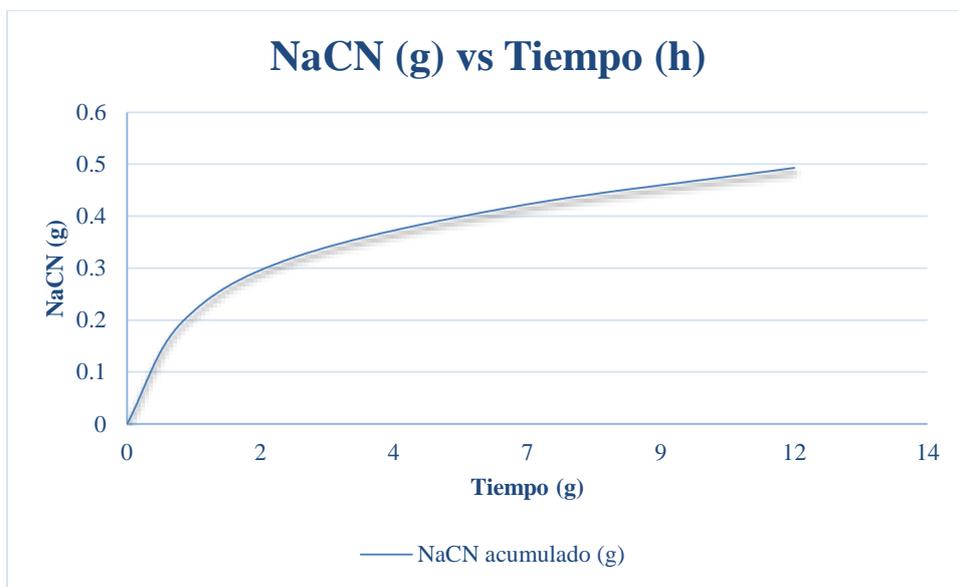


Figura 14. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 70
Condiciones de la prueba N°10

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 2 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	2000	1	0.75	11	24

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 71
Información de consumo de NaCN de la prueba N°10

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
10/08/2019 9:05 a.m.	0	11	0.00	2000.00	0.75	0.0000	0	0
10/08/2019 10:05 a.m.	1	11	7.10	1735.95	0	0.2641	0.0173595	0.2467
10/08/2019 12:05 p.m.	3	11	7.60	1858.20	0	0.1418	0.018582	0.3699
10/08/2019 8:05 p.m.	11	11	7.70	1882.65	0	0.1174	0.0188265	0.4684
11/08/2019 9:05 a.m.	24	11	7.90	1931.55	0	0.0685	0.0193155	0.5176
TOTAL					0.750	0.592	0.0740835	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 72

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°10

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.518	0.750	1.97	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°10

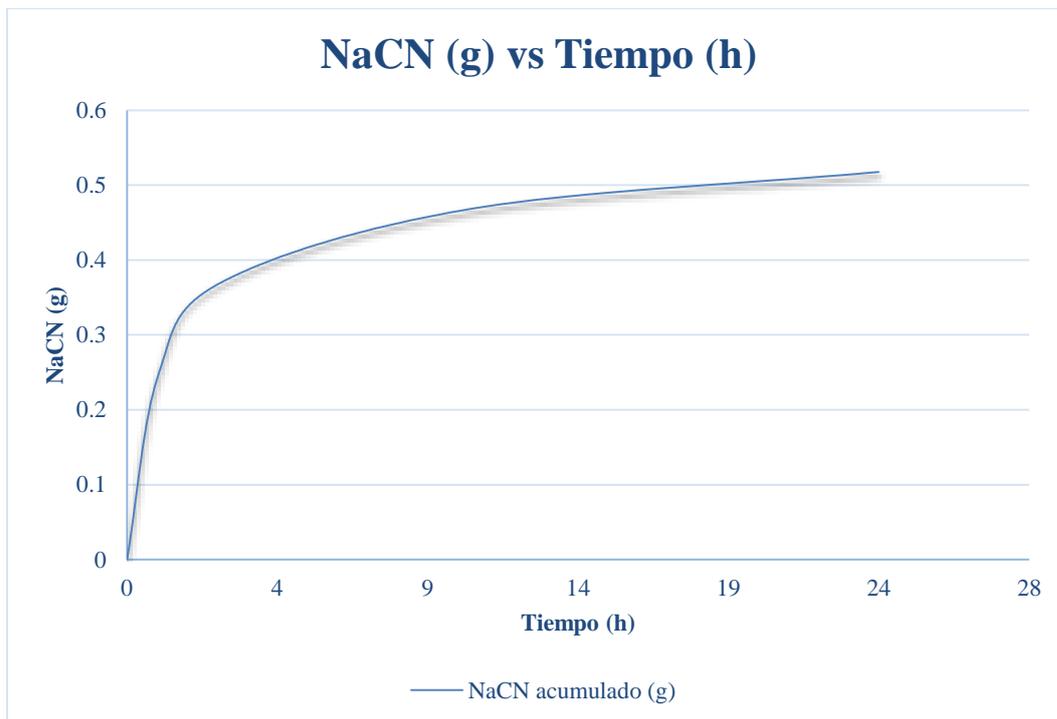


Figura 15. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 73
Condiciones de la prueba N°11

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 2 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	2000	1	0.75	11	36

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 74
Información de consumo de NaCN de la prueba N°11

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
10/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	2000.00	0.75	0.0000	0	0
10/08/2019 4:15 p.m.	1	11	7.20	1760.40	0	0.2396	0.017604	0.2220
10/08/2019 6:15 p.m.	3	11	7.50	1833.75	0	0.1663	0.0183375	0.3699
10/08/2019 9:15 p.m.	6	11	7.80	1907.10	0	0.0929	0.019071	0.4437
11/08/2019 3:15 a.m.	12	11	7.90	1931.55	0	0.0685	0.0193155	0.4929
11/08/2019 3:15 p.m.	24	11	8.00	1956.00	0	0.0440	0.01956	0.5173
12/08/2019 12:15 a.m.	33	11	8.00	1956.00	0	0.0440	0.01956	0.5418
12/08/2019 3:15 a.m.	36	11	8.00	1956.00	0	0.0440	0.01956	0.5662
TOTAL					0.750	0.699	0.133008	

Tabla 75

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°11

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.566	0.750	2.26	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°11

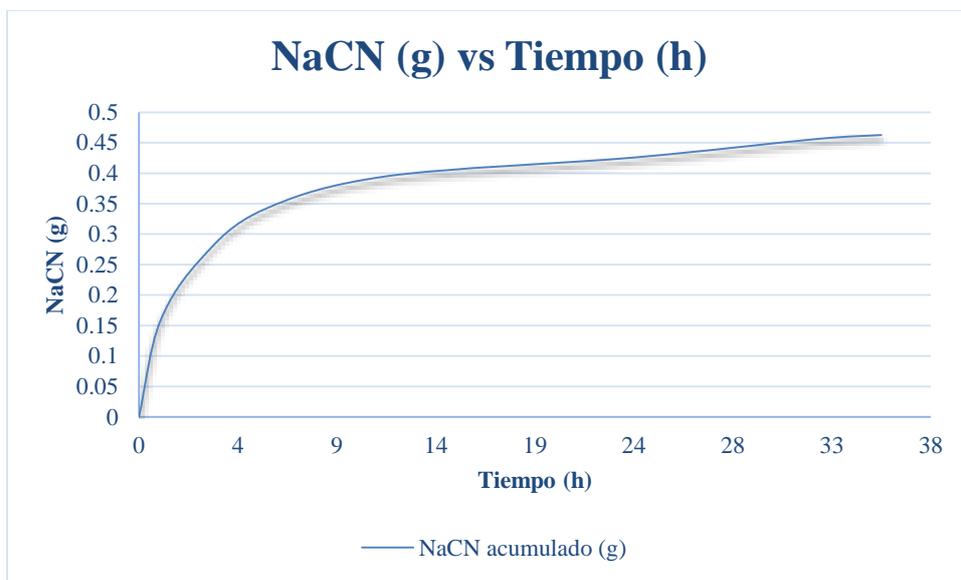


Figura 16. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

Tabla 76
Condiciones de la prueba N°12

Tipo de mineral	Granulometría	Dilución (% sólidos)	Acides del mineral	Peso del mineral (Kg)	Agua (L)	NaCN 2 (g/L) o ppm	NaCN (g)	Cal (CaO) (g)	pH	Tiempo (h)
Óxido	80 % -200#	33	7	0.25	0.5	2000	1	0.75	11	48

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Tabla 77
Información de consumo de NaCN de la prueba N°12

Fecha y hora	Tiempo de agitación	pH	Gasto AgNO ₃ (ml)	NaCN Libre (ml)	CaO Agregado (g)	NaCN Reposición (g)	NaCN Eliminado (g)	NaCN Acumulado (g)
10/08/2019 3:15 p.m.	0	11	0.00	2000.00	0.75	0.0000	0	0
10/08/2019 4:15 p.m.	1	11	7.30	1784.85	0	0.2152	0.0178485	0.1973
10/08/2019 6:15 p.m.	3	11	7.40	1809.30	0	0.1907	0.018093	0.3699
10/08/2019 9:15 p.m.	6	11	7.60	1858.20	0	0.1418	0.018582	0.4931
10/08/2019 7:15 a.m.	16	11	7.80	1907.10	0	0.0929	0.019071	0.5670
11/08/2019 4:15 p.m.	25	11	7.90	1931.55	0	0.0685	0.0193155	0.6161
12/08/2019 9:15 a.m.	42	11	7.90	1931.55	0	0.0685	0.0193155	0.6652
12/08/2019 3:15 a.m.	48	11	7.90	1931.55	0	0.0685	0.0193155	0.7144
TOTAL					0.750	0.846	0.131541	

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la universidad Nacional de Trujillo

Tabla 78

Consumo de reactivos de la prueba experimental N°12

NaCN (g)	CaO (g)	NaCN (Kg/TM)	CaO (Kg/TM)	Factor de Solución	Factor Corregido
0.714	0.750	2.86	3	250	0.978

Fuente: Data de pruebas experimentales de NaCN

NaCN acumulado en función del control de tiempo agitación de la prueba N°12

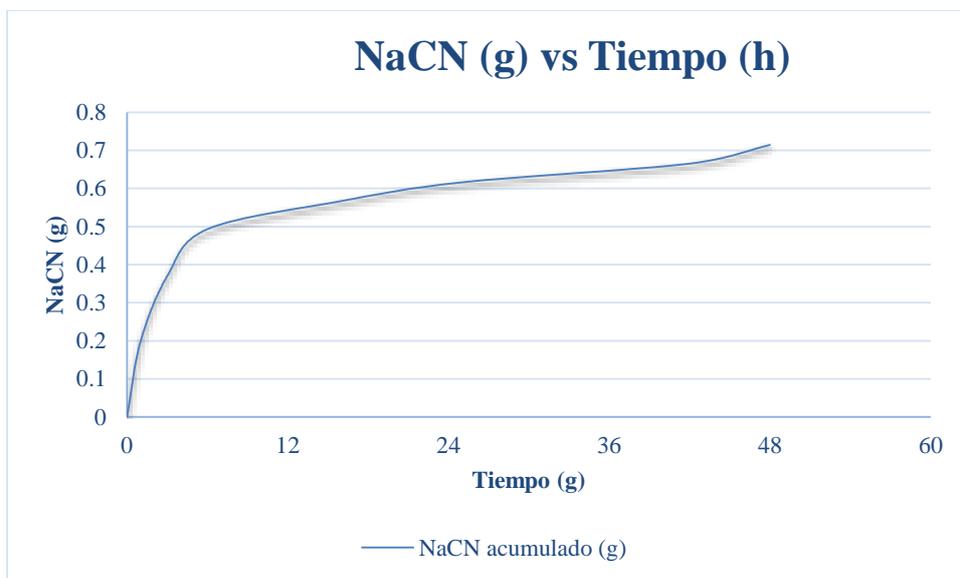


Figura 17. Dosificación de NaCN vs Tiempo de agitación

Fuente: Data de pruebas experimentales

ANALISIS QUIMICO DE LA TIOUREA LIBRE

1. Preparación de la solución $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

- Pesar 16,82 g de $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ y disolverlo en agua destilada hasta completar 1000 ml. Adicionando 5 – 10 ml HNO_3 y luego agitar hasta obtener una disolución completa.
- La equivalencia química de la solución será que $1\text{ml } \text{Hg}(\text{NO}_3)_2 = 0.0039 \text{ g Tu}$ (tiourea Libre)

2. Procedimiento para la valoración de una solución de $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$

- Pesar 0.5 g Tu q.p. y disolverlo con agua destilada hasta completar 50 ml
- De la solución preparada se saca 5 ml de muestra y se titula con la solución de $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ reportando un consumo tal como se detalla en la siguiente tabla 79.

Tabla 79

Resultados de volumen de la muestra y gasto del titulante

Nº	volumen de la Muestra	Gasto de titulante
Muestra	(ml)	(ml)
1	5	6.8
2	5	6.7
3	5	6.8
	Promedio	6.77

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

Calculo del factor:

$$\text{Factor} = 12.82/6.77$$

$$\text{Factor} = \mathbf{1.89}$$

3. Preparación del indicador Difenicarbacida

- Pesar 0.4 g de Difenicarbacida
- Disolver el Difenicarbacida en 20 ml de ácido acético glacial y seguir con la disolución con alcohol absoluto hasta completar 200 ml.

4. Procedimiento para el análisis de Tiourea

- Tomar 5 ml de solución a analizar previamente filtrada y agregarlo a un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Agregar 50 ml de agua destilada ácida.
- Agregar 1 ml del indicador Difenicarbacida.
- Titular con la solución valorada de $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ hasta la aparición del color rosado – violeta indicando el punto de la titulación.
- Leer el gasto del titulante y hacer los cálculos respectivos son las siguientes formulas.

$$\text{Tu pte (g)} = \frac{\text{ml gastados} \times \text{factor} \times 0.0039 \times V_{\text{solución}}}{V_{\text{muestra}}}$$

$$\text{Tu consumido (g)} = (\text{g}) \text{ Tu i} - \text{Tu pte}$$

$$(\text{Tu}) \text{ pte (g/L)} = \frac{\text{g Tu pte}}{V_{\text{solución}}} \times 1000$$

Tabla 80

Consumo de tiourea en función a la dosificación y tiempo de agitación

Dosificación Tiourea (g/L)	Tiempo (h)	Volumen Muestra Solución (ml)	Gasto Hg(NO ₃) ₂ (ml)	Tiourea inicial (g)	Tiourea final (g)	Consumo Tiourea (g)	Consumo Tiourea (Kg/TM)
0.5	12	15	0.4	0.25	0.09828	0.15	0.60688
0.5	24	15	0.35	0.25	0.086	0.16	0.65602
0.5	36	15	0.2	0.25	0.04914	0.20	0.80344
0.5	48	15	0.1	0.25	0.02457	0.23	0.90172
1	12	15	1.3	0.5	0.31941	0.18	0.722336
1	24	15	1.1	0.5	0.27027	0.23	0.91892
1	36	15	0.95	0.5	0.23342	0.27	1.06634
1	48	15	0.9	0.5	0.22113	0.28	1.11548
2	12	15	3.3	1	0.81081	0.19	0.75676
2	24	15	3.1	1	0.76167	0.24	0.95332
2	36	15	2.9	1	0.71253	0.29	1.14988
2	48	15	2.8	1	0.68796	0.31	1.24816

Fuente: Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Nacional de Trujillo

ANEXO N°5 Fotografías del procedimiento de lixiviación por agitación en botellas

Foto N°1. Selección de muestra de 50 kg de mineral requerido para las pruebas de lixiviación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°2. Homogenización del mineral



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°3. Cuarteador de mineral



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°4. Pesado de la muestra representativa de 12 kg para las pruebas de lixiviación necesarias.



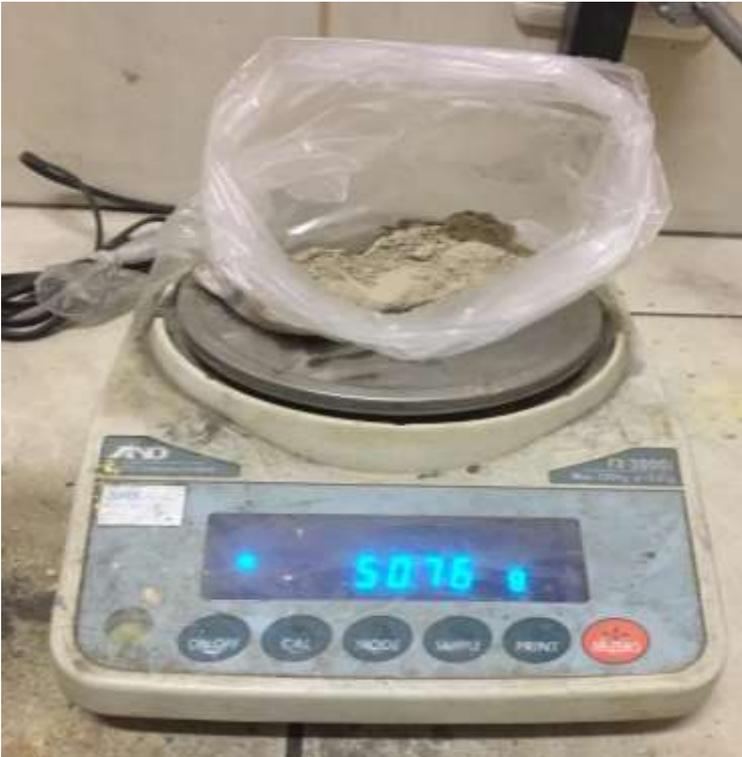
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°5. Molienda del mineral en el molino de capacidad de 1 kg establecida con la granulometría establecida.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°6. Muestra de 50 gramos de mineral para determinar el pH de cada agente lixiviante.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°7. Estableciendo el pH para cada reactivo



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°8. Tamizado del mineral para precisar el pasante del 80% de sólido en la malla N° -200.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°9. Tamizando el mineral hasta llegar al porcentaje requerido del 80 %.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°10. Uniendo todas las muestras de mineral después de la molienda.



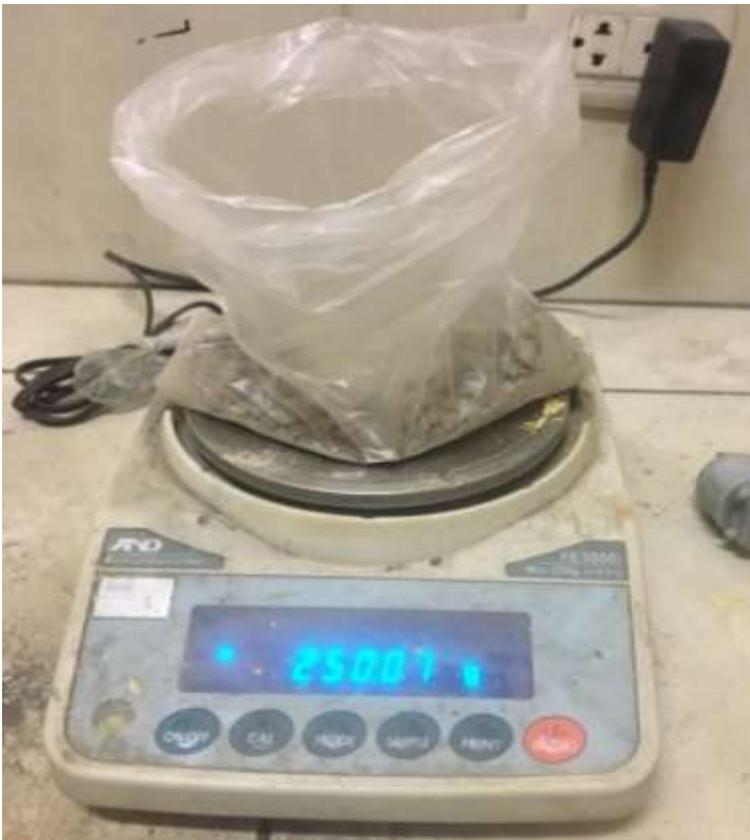
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°11. Roleo de las muestras con la finalidad de homogenizar el mineral.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°12. Pesado de mineral de 250 gramos establecido para cada botella.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°13. Reactivos y oxidante requeridos para las pruebas de lixiviación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°14. Introduciendo las dosificaciones requeridos a cada botella.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°15. Muestras preparadas de mineral con 250 gramos, reactivos e insumos son introducidos dentro de cada botella establecido.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°16. Colocando las botellas en el Rolador para realizar la agitación.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°17. Filtrando las muestras para obtener el relave y las solución.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°18. Depositando la solución de la muestra de solución en un recipiente.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°19. Muestras de relave de mineral listas para el secado.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Foto N°20. Pulverización de la muestra de relave para su posterior análisis.



Fuente: Elaboración propia, 2019.