

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALURGICA



TESIS

**Mejora del grado de extracción de Oro de un mineral intrusivo a
través del blending del tajo Calaorco en Unidad Minera Tahoe Perú**

La Arena S.A. La libertad-2019

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Metalurgista

Autor: Bach. Christian Raymer FLORES CRUZ

Asesor: Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

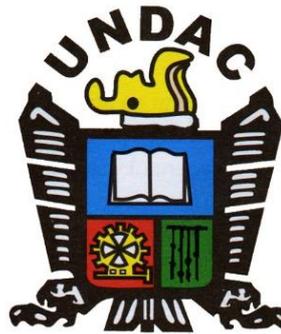
Cerro de Pasco – Perú - 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERIA

METALURGICA



TESIS

**Mejora del grado de extracción de Oro de un mineral intrusivo a
través del blending del tajo Calaorco en Unidad Minera Tahoe Perú**

La Arena S.A. La libertad-2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. José Eli CASTILLO MONTALVÁN
PRESIDENTE

Mg. Marco Antonio SURICHAQUI HIDALGO
MIEMBRO

M.Sc. Ramiro SIUCE BONIFACIO
MIEMBRO

DEDICATORIA

Agradecer a Dios por las oportunidades que siempre me dio.

A mis padres que siempre estuvieron a mi lado.

A mis hermanos por su constante apoyo.

RECONOCIMIENTO

- ✓ A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Metalúrgica por las sabias experiencias que compartieron conmigo.
- ✓ A la Unidad Minera Tahoe La Arena S.A. por las facilidades que me brindaron para poder realizar las pruebas y ensayos metalúrgicos, y análisis químicos respectivamente para realizar la presente investigación.

RESUMEN

La presente investigación describe el comportamiento metalúrgico de la muestra intrusiva y la muestra producto del blending de mineral INTRUSIVO y ARENISCA del tajo Calaorco de Minera La Arena S.A.

El programa experimental consistió en la caracterización química de las muestras, primero se llevaron a cabo pruebas preliminares de lixiviación por agitación en botellas y en prueba de lixiviación por percolación en columna con diferentes granulometrías.

En la prueba de cianuración por percolación en columna, se lograron recuperaciones de oro en el mineral (INTRUSIVO + ARENISCA) que es de **74,1 %**, la recuperación de cobre en el mineral (INTRUSIVO + ARENISCA) es de **0,2%**.

Respecto al consumo de reactivos para la lixiviación del mineral (INTRUSIVO + ARENISCA): con referencia al consumo de cal es de **0,99 Kg/TM** de mineral y en cuanto al cianuro de sodio su consumo es de **0,09 Kg/TM** de mineral.

Palabra clave: blending, lixiviación, cianuración, intrusivo, percolación.

ABSTRACT

The present investigation describes the Metallurgical behavior of the intrusive sample and the sample product of the INTRUSIVE and ARENISCA ore blending of the Calaorco de Minera La Arena S.A.

The experimental program consisted of the chemical characterization of the samples, first preliminary tests of leaching by agitation in bottles and in leaching test by column percolation with different granulometries were carried out.

In the cyanidation test by column percolation, recovery of gold in the ore (INTRUSIVE + ARENISCA) was 74,1%. The recovery of copper in the mineral (INTRUSIVE + ARENISCA) is 0,2%.

Regarding the consumption of reagents for mineral leaching (INTRUSIVE + ARENISCA), with reference to the consumption of lime is 0,99 Kg CaO/TM of mineral and as for sodium cyanide its consumption is 0,09 Kg/TM of mineral.

Keyword: blending, leaching, cyanidation, intrusive, percolation.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se realizó para poder conocer la posibilidad de recuperar oro del mineral que no es muy poroso, por tanto, se realizó la metodología recomendada por la Universidad, así se tiene el presente trabajo de la siguiente forma:

Capítulo I.- Se realiza la identificación del problema, mediante la justificación del problema, así como identificar las limitaciones que se tuvo para el desarrollo del presente trabajo.

Capítulo II.- Se desarrolló la parte teórica en donde se fundamenta los principios científicos que involucran el proceso de lixiviación y percolación.

Capítulo III.- En esta parte se da a conocer los trabajos realizados con el mineral intrusivo del tajo Calaorco y se determina las características de la operación.

Capítulo IV. En esta sección se realiza los ensayos con las posibles soluciones para mejorar la extracción del oro del mineral intrusivo y sus posibles combinaciones con otro mineral a fin de alcanzar mayores extracciones de oro.

Esperando que la presente investigación sirva para dar una referencia de cómo resolver problemas con minerales intrusivos, agradezco por el apoyo brindado a la universidad.

El autor

INDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Identificación y determinación del problema	1
1.2	Delimitación de la investigación	2
1.3	Formulación del problema.....	2
	1.3.1 Problema general.	3
	1.3.2 Problemas Específicos.	3
1.4	Formulación de objetivos	3
	1.4.1 Objetivo General.....	4
	1.4.2 Objetivos Específicos.	5
1.5	Justificación de la investigación.....	5
1.6	Limitaciones de la investigación	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de estudio	7
2.2	Bases teóricas – científicas	13
	2.2.1 Base Teórico.....	13
2.3	Definición de Términos Básicos	33
2.4	Formulación de hipótesis.....	35
2.4.1	Hipótesis general.	35
2.4.2	Hipótesis específica.....	35
2.5	Identificación de variables.....	36
	Variable independiente.....	36
	Variable dependiente.....	36
	Variables intervinientes	36
2.6	Definición Operacional de variables e indicadores	37

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1	Tipo de Investigación	38
3.2	Métodos de Investigación.....	38
3.3	Diseño de la investigación.....	39
3.4	Población y muestra	39
	3.4.1 Población.....	39
	3.4.2 Muestra.....	39

3.5	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	40
3.6	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	42
3.7	Tratamiento Estadístico	50
3.8	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación..	67
3.9	Orientación ética.....	67

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Descripción del trabajo de campo.	68
	4.1.1 Preparación de las Muestras y Blending:	68
4.2	Presentación, análisis e interpretación resultados:	74
4.3	Prueba de hipótesis	84
4.4	Discusión de resultados.	85

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Identificación y determinación del problema

El mineral intrusivo se forma a partir del magma que se enfría por debajo de la superficie de la tierra. Este proceso de enfriamiento toma un tiempo muy largo, en la escala de los miles o millones de años y produce una matriz de granos de cristal mineral. Esta estructura cristalina es lo suficientemente grande como para ser vista a simple vista.

El mineral intrusivo del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe – La Arena tiene problemas de percolación, su estructura arcillosa no permite que la solución lixivante percole a través del mismo.

1.2 Delimitación de la investigación

La presente investigación tiene la finalidad de aportar experiencias del comportamiento de minerales intrusivos cuando se tiene la posibilidad de recuperar el mineral valioso utilizando técnicas de cianuración

1.2.1 Delimitación espacial

El desarrollo de la investigación se desarrollará en la Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad.

1.2.2 Delimitación temporal

6 meses, abril del 2019. – Setiembre del 2019.

1.2.3 Delimitación conceptual

Cianuración

Incremento del grado de extracción

Mineral intrusivo

Lixiviación en columnas

Blending de minerales.

1.3 Formulación del problema

La investigación se desarrolla ante la posibilidad de recuperar oro a partir de minerales intrusivos que tienen dificultad para ser lixiviados y que operaciones previas se deberían realizar a fin de mejorar dicho proceso.

1.3.1 Problema general.

Para comenzar la investigación sistematizada debemos realizar la formulación de la interrogante que pretendemos solucionar.

¿Cómo mejora el grado de extracción de oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019?

1.3.2 Problemas Específicos.

- 1) ¿Cuál es el factor que impiden mejorar del grado de extracción de oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019?
- 2) ¿Qué tipos de análisis, ensayos, pruebas experimentales se realizará para mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019?
- 3) ¿Cuál es el incremento en el grado de extracción de oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019?

1.4 Formulación de objetivos

Minera La Arena está ubicado al Este de la ciudad de Trujillo en el Norte del Perú, a 15 Km de la ciudad de Huamachuco, en el distrito de Huamachuco,

provincia de Sánchez Carrión, región La Libertad, según se observa en la Figura N° 1.

Figura N°01.-Ubicación geográfica de la mina La Arena S.A.



Fuente: Google Maps

La presente investigación tiene por finalidad realizar pruebas metalúrgicas a nivel laboratorio y escala piloto, para obtener la información básica sobre el comportamiento metalúrgico de la lixiviación del mineral **INTRUSIVO** (del tajo Calaorco) y de la muestra **ARENISCA** (del tajo Calaorco) que fueron blendeados (mezclados) a distintas proporciones con la finalidad de asegurar una buena percolación. Entonces el objetivo general es:

1.4.1 Objetivo General.

Mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019.

1.4.2 Objetivos Específicos.

1. Identificar los factores que impiden mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019.
2. Identificar los análisis, ensayos y pruebas experimentales que se realizarán para mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019.
3. Determinar el incremento en el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019.

1.5 Justificación de la investigación

El área de planta de procesos, a través de laboratorio metalúrgico, está realizando pruebas metalúrgicas de lixiviación para encontrar los parámetros adecuados para el tratamiento a nivel industrial de este tipo de mineral.

Al inicio se realizó pruebas de lixiviación con mineral INTRUSIVO 100% (sin mezclar con algún otro tipo de mineral), de ello se obtuvo resultados de que no percola la solución lixivante por efectos de impermeabilización.

El mineral INTRUSIVO al ser lixiviado, presenta problemas de percolación (a pesar que se empezó el riego con un flow rate de 8 l-hr/m²), el problema surge

debido a que conforme va percolando la solución de lixiviación, esta conlleva partículas finas, las mismas que se van acomodando en los intersticios y por consiguiente se va compactando dicho mineral y es este fenómeno lo que origina que se vaya impermeabilizando y no siga percolando la solución de lixivante.

1.6 Limitaciones de la investigación

Podemos tener limitación en cuanto a:

- Financiamiento para elaborar y realizar los diferentes experimentos.
- Apoyo de personal especializado en lixiviación de mineral intrusivo con contenidos de oro.
- Información previa de tratamiento de mineral intrusivo en las operaciones de planta.
- Limitaciones respecto a información bibliográfica respecto a temas de lixiviación de minerales intrusivos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de estudio

Las investigaciones realizadas en base a la extracción del oro, han sido desarrolladas en las empresas debido a una necesidad de mejorar el grado de extracción del oro, es así que tenemos las siguientes investigaciones:

(Pardavé, 2009) ¹ en su tesis de investigación en su resumen nos hace conocer:

La constante variación de los precios de los metales en los mercados internacionales hace necesario la mejora de la tecnología de lixiviación para

Pardavé, B. A. (2009). *ESTUDIO DE PARÁMETROS EN LA LIXIVIACIÓN EN PILAS PARA OPTIMIZAR LA EXTRACCIÓN DE ORO*. Huancayo.

obtener recuperaciones del mineral aurífero que se tiene problemas en la lixiviación.

Para el cual realizamos variación de la dosificación de cianuro de sodio, manteniendo ciclos de riego, utilizar aspersores y riego por goteo según el tipo de material, variando la malla de riego la humectación es más uniforme y en mayor área. Basado en estos criterios cambia la perspectiva para tratar materiales marginales. La presente investigación y la evaluación de nuestro proceso nos darán la factibilidad y viabilidad para reducir nuestros costos operativos variando los parámetros en nuestra operación para así poder reducir nuestro costo de lixiviación y poder tratar mineral de leyes inferiores a 0,400 ppm y mayores de 0,300 ppm.

Primero se inició con las pruebas en botella y luego en módulos pilotos basadas en consumo de cianuro, granulometría de mineral, radios de consumo de cal y dan como resultado característica de comportamiento de cada mineral y como resultado de la modificación de estas variables tenemos un alentador incremento de la recuperación en un margen de 1 y 3 % y de manera más expectante sale a reducir el factor ambiental y de seguridad ya que al disminuir la fuerza de cianuro hay menos riesgo de intoxicaciones por cianuro y al momento de hacer el lavado de la pila para su cierre habremos dejado cianuro en mínimas cantidades según los límites máximos permisibles.

El control de la fuerza de las soluciones hará que siempre tengamos constante la ley de soluciones pregnant además debemos tener en cuenta la adición necesaria de cal, el cual mantendrá un pH adecuado para evitar la formación de

ácido cianhídrico y la formación de carbonatos en las soluciones porque los carbonatos perjudicaran los procesos siguientes, principalmente cuando se emplea carbón activado.

Debido a tener márgenes muy estrechos de ganancia esto no permite explotar concesiones y reservas de mineral aurífero de muy baja ley actualmente son pocas las empresas que hacen este proceso, entonces debemos de mover grandes cantidades de mineral y desmonte aprovechando el volumen de material. Este tipo de operación involucra consumo en grandes cantidades de reactivos tales como el cianuro y la cal, materiales el reducir nuestro costo directo en 0.000001% sin afectar nuestra recuperación o en caso contrario mantener nuestros gastos incrementando la recuperación de extracción en la pila proporcionaría una rentabilidad incrementándose las onzas de oro esto nos direcciona a mejorar los procesos hidrometalúrgicos.

(Ortega, 2009) ² en su tesis de investigación en su resumen nos hace conocer:

El presente trabajo ha sido desarrollado en base a pruebas experimentales realizadas a escala de laboratorio como las pruebas en botella y a nivel de planta piloto. Estas pruebas fueron llevadas a cabo en la Compañía Minera Auífera Santa Rosa S.A. (COMARSA) en el año 2005; a la vez se realizó en paralelo con el circuito de carbón activado industrial a fin de comparar el proceso de carbón en solución (CIS) con el proceso de resina en solución (RIS).

ARICA, K. Y. (2009). RECUPERACIÓN DE ORO DESDE SOLUCIONES CIANURADAS POR INTERCAMBIO IONICO EN LA COMPAÑÍA MINERA AUÍFERA SANTA ROSA S.A. LIMA.

En base a las pruebas, los resultados que se obtuvieron experimentalmente se considera que existen ventajas cualitativas que favorecen el uso de resinas sintéticas, siendo los principales parámetros de operación: la rápida velocidad de extracción del oro desde soluciones cianuradas, aún con la presencia de cianoaniones, su resistencia a la atricción, su mayor capacidad de carga, su selectividad al preferir el Au, absorbiendo en menor proporción a la plata y el cobre en comparación con el carbón activado además esto ha sido verificando a escala piloto.

A nivel industrial se ha comprobado que resultan también muy favorables ya que las resinas requieren menor temperatura de descarga en comparación con el carbón además no requiere reactivación térmica, solo se necesita de un lavado con una solución diluida de HCl para regenerar a las resinas.

En conclusión, el tratamiento de recuperación de oro desde soluciones cianuradas haciendo uso de las resinas sintéticas, es una tecnología a ser considerada como una posible reducción de costos y mejoras en el proceso.

(Marcapura y Chávez, 2017)³ en su tesis de investigación en su resumen nos hace conocer:

Minera Yanacocha S.R.L, es una empresa internacional que su principal actividad en el Perú es la producción de oro, esta compañía se ubica en la

Marcapura y Chávez (2017). INFLUENCIA DE NUEVOS PROCESOS DE LIXIVIACIÓN EN LA RECUPERACIÓN DE Au EN MATERIAL FINO EXTRAÍDO DEL TAJO CERRO NEGRO – MINERA YANACOCHA SRL - 2017. Cajamarca.

provincia y departamento de Cajamarca, aproximadamente a 34 kilómetros al norte de la ciudad de Cajamarca.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la factibilidad para procesar este mineral fino en un Pad Dinámico, por tal razón se ha realizado la construcción de una celda de prueba en el Pad de la Quinoa, donde se ha descargado 36 000 toneladas de mineral fino (40% -200m) conteniendo 568 onzas de oro. La celda tiene un área de 2 353 m² y la altura del lift de 8 metros. El periodo de lixiviación fue de 50 días, para el cual se estuvo controlando el flujo de la solución barren, y se analizó la descarga de la solución pregnant (PLS).

El mineral fue acondicionado con cal de Chinalinda a un ratio de 3,0 kg/t. El pH de la solución en la descarga de la celda, inició con un valor de 2,5, esto se ha incrementando progresivamente hasta terminar la prueba con un valor de 7,8.

Al término de la prueba, el ratio solución/Ore (S/O) alcanzado fue de 0,411, las recuperaciones de oro y plata fueron de 46,6% y 6,2% respectivamente. De las perforaciones realizadas antes y después de la lixiviación se ha estimado una recuperación de oro de 54%.

(VALVERDE, 2019) ⁴ en su tesis de investigación en su resumen nos hace conocer:

El presente trabajo de investigación se ha estudiado la extracción de Au y la velocidad de percolación a partir de un mineral aurífero del Proyecto Ayahuanca, se ha evaluado 3 variables: Blending (mezclado) del mineral con niveles de 0%, 50% y 75%, alteración del mineral con niveles de sílice deleznable, sílice granular y sílice masiva; y concentración de cianuro de sodio con niveles de 150 ppm, 250 ppm y 350 ppm, las pruebas han sido desarrollados en el laboratorio metalúrgico del Proyecto.

En la parte experimental se realizaron 27 pruebas con replica según el diseño factorial; y realizando un análisis de varianza se ha logrado determinar que las variables de mayor significancia en la extracción de oro son la velocidad de percolación y el blending del mineral y la alteración del mineral.

Así mismo los mejores resultados de extracción de oro se obtuvieron bajo las siguientes condiciones: 75% sílice granular, 12,5% sílice deleznable y 12,5% sílice masiva, la solución del lixiviado tuvo una concentración de cianuro de sodio de 250 ppm, alcanzando un 89,32 % de extracción de oro con una velocidad de percolación de 1,85 m/día.

VALVERDE, F. D. (2019). INFLUENCIA DEL BLENDING DEL MINERAL, ALTERACIÓN DE MINERAL Y CONCENTRACIÓN DE CIANURO DE SODIO, EN LA VELOCIDAD DE PERCOLACIÓN Y PORCENTAJE DE EXTRACCIÓN DE ORO DEL MINERAL AURÍFERO DEL PROYECTO AYAHUANCA, TRATADO POR LIXIVIACIÓN EN PILAS. HUANCVELICA.

Se puede comprobar que el blending se debe realizar con una planificación y operación adecuada, es viable y favorable para mantener y poder cumplir una producción sostenida de ingreso de finos de oro al Pad y recuperación en planta.

2.2 Bases teóricas – científicas

2.2.1 Base Teórico

EL BLENDING DE MINERALES

El blending es una mezcla en cantidades predeterminadas y controladas para dar un producto uniforme. (Infomine, 2016). El blending de mineral en el pad es una operación importante y crítico que la mayoría de empresas mineras tiene que afrontar, para tal fin se revisan continuamente los planes de producción haciéndose las correcciones y ajustes necesarios, además para un efectivo control y administración el balance de la calidad y estabilidad de la mezcla, la cual debe llevarse a cabo de forma técnica y con ayuda de la mejor tecnología disponible (Izquierdo, 2016).

En muchas operaciones las tareas de blending se realizan de forma manual (a cada frente de mineral se le asigna manualmente su aporte y se sigue el proceso interactivo hasta que se logra los objetivos en términos de volumen y calidad). Es una práctica generalizada, sin embargo, nos preguntamos cómo Ingenieros de Minas si estos métodos corresponden a una solución óptima (Izquierdo, 2016).

El mal manejo del Blending, llega a producir rentabilidades bajas para la empresa. La obtención del máximo valor económico de concentrados de mineral de los diferentes tajos de mina está supeditada al Blending de mineral que

obtenga las leyes de cabeza que optimicen el rendimiento metalúrgico económico de Planta Concentradora (Obregón, 2016).

LIXIVIACIÓN EN PILAS

La lixiviación en pilas corresponde a un proceso mediante el cual se procede a extraer metales por percolación de una solución a través de un lecho o pila de mineral. De este modo se obtiene una solución cargada en metales y otros iones la que es conducida a un proceso de recuperación.

Previo a la formación de la pila, el mineral debe ser chancado (triturado) en el caso de que los tests metalúrgicos previos lo determinen, para lograr una adecuada granulometría, que permita una rápida y óptima lixiviación, utilizándose generalmente granulometrías de $-1/4"$ (6.35 mm) hasta $-3/4"$ (19 mm). La elección de la granulometría adecuada para un proceso de lixiviación en pila varía dependiendo del mineral a tratar y será entonces necesario realizar varios tests que definan el tamaño óptimo de partícula, caso contrario si el mineral es poroso y fuertemente permeable será suficiente la granulometría ROM (run-of-mine) para lixiviar adecuadamente el mineral. La existencia de finos y lamas en la formación del lecho de lixiviación produce deficiencias en el fluido dinámico al existir migración vertical de finos durante la operación, impidiendo un flujo uniforme de la solución. La segregación de finos, originada en el montaje de la pila o bien durante la operación, define áreas ciegas entre tamaños gruesos disminuyendo la percolación y conduciendo el flujo de solución por zonas de fácil acceso o canalización. La operación y el proceso más empleado para enfrentar el problema de permeabilidad y percolación originado por los finos y arcillas, son el blending y la aglomeración, respectivamente. El

proceso de aglomeración consiste en esencia en la adhesión de partículas finas a las más gruesas que actúan como núcleos. Para que se produzca la unión de partículas es necesaria la acción de un agente aglomerante o aglutinante. En el caso de lixiviación de oro en pilas, el aglomerante utilizado es agua junto con la cal y el cemento (adicionalmente, en algunos casos se utilizan aditivos orgánicos tipo polímeros que permitan mejorar las características del aglomerado), esto es se emplea cemento siempre y cuando la buena ley de oro en el mineral de cabeza y los costos de operación lo permitan. La adición de cemento permite la incorporación de una parte del agente lixivante en la aglomeración, junto con mejorar las características del aglomerado. La incorporación de solución de cianuro de sodio en la aglomeración define asimismo un proceso adicional llamado curado alcalino. En la etapa de curado se produce la pre-lixiviación de los minerales oxidados auríferos y de algunas partículas de oro asociado a sulfuros al reaccionar con el cianuro de sodio adicionado conjuntamente con el aglomerante cemento. Estas reacciones se ven favorecidas con el aumento de temperatura que se produce en el sistema de acuerdo con la hidrólisis del cianuro de sodio, por lo cual es recomendable que sean adicionados primeramente la cal y a continuación el cianuro conjuntamente a un pH 10,5 y a continuación el cemento en forma separada. El curado se completa con una etapa de reposo de uno a tres días que asegura la reacción del cianuro presente, para luego comenzar la lixiviación del mineral. Una vez aglomerado el mineral aurífero en el caso de ser necesario, se construye la pila, asegurándose que la disposición del material sea homogénea y se deja reposar por algunos días. Este período de reposo se denomina curado y permite la pre-lixiviación de los óxidos existentes. Luego la pila es irrigada con la solución lixivante por sistemas de aspersión o goteo,

utilizando tasas de irrigación desde 5 a 40 l/h/m². En el caso de minerales oxidados, normalmente la irrigación es continua; en cambio para minerales mixtos o sulfurados se utiliza un sistema de irrigación intermitente para lograr una concentración más alta de cobre en la solución efluente, utilizando un menor volumen de solución. Si en la operación se utiliza un circuito cerrado de solución, esta es continuamente recirculada entre las etapas de recuperación de oro (por ejemplo, una secuencia de adsorción de oro en carbón activado, desorción de oro en carbón activado y electro recuperación) y la pila. Esto tiene ventajas desde el punto de vista de la cantidad de soluciones que es necesario manejar y del consumo neto de cianuro. La altura que debe tener la pila es un factor de decisión importante y su elección depende de la permeabilidad de la pila, la aireación del sistema y la concentración esperada de la solución. A veces pilas de menor tamaño tienen mayor recuperación, sin embargo, se necesita mayor área de pila, lo cual es importante cuando la disponibilidad de terrenos es limitada. Adicionalmente dependiendo de los equipos utilizados y la estabilidad del talud, se establecen límites a la altura de pila que es posible lograr⁵.

De acuerdo con su modo de operación existen dos tipos de pilas, estáticas y dinámicas:

⁵ OBREGON, C. (2016). Tesis: optimización del blending con aplicaciones de programación lineal para el incremento del valor económico del mineral en la unidad Minera Catalina Huanca S.A.C. Arequipa.

- **Pila Dinámica:** Implica la coexistencia en la pila de materiales que están en distintas etapas del ciclo de tratamiento. Consiste en reutilizar continuamente el mismo pad, el mineral agotado se retira del pad y se acopia en un botadero dejando el lugar para cargar mineral fresco. Con este método se requiere poco terreno, pero el pad debe ser muy resistente, de modo de permitir un movimiento continuo de material en carga o descarga de las distintas zonas.
- **Pila Estática:** Consiste en someter todo el mineral acopiado en el pad a las diversas etapas del ciclo de tratamiento (curado – lixiviación – reposo – lavado) en forma simultánea. La velocidad de producción es variable y para mantener las condiciones de alimentación del proceso de adsorción y desorción de oro en carbón activado se deben combinar diferentes ciclos de lixiviación. Para los modos de operación mencionados, se debe combinar alguno de los métodos de construcción siguientes:
- **Pila Permanente:** En esta configuración, el mineral se deposita en la instalación y una vez terminado el ciclo de tratamiento este permanece, pudiéndose utilizar como base para acopiar otra pila sobre él o simplemente es abandonado.
- **Pila Renovable:** En este caso, se carga el mineral en pila y luego de ser tratado, los ripios son retirados para ser dispuestos en un botadero (escombrera), siendo reemplazados por mineral fresco. Se debe notar que una pila dinámica siempre será renovable. Otros factores que influyen sobre el funcionamiento de la pila, y por ende deben ser eficientemente manejados, son el flujo de irrigación y la composición de las soluciones de lixiviación a utilizar. Esta solución se debe recordar contiene a los agentes lixiviantes

como el cianuro de sodio que atacarán el mineral y en forma posterior actuará como medio de transporte de los productos de la reacción, en particular de la especie metálica de interés como es el caso del oro y la plata⁶.

Factores que influyen en la velocidad de disolución del oro en minerales auríferos en el proceso de lixiviación en pilas:

El proceso de lixiviación en pilas (Heap- Leaching) está gobernado por una serie de factores tanto físicos como químicos, que afectan la eficacia de obtener la mayor extracción posible de metales preciosos, entre ello podemos mencionar:

- **Tamaño de grano del mineral a ser tratado:** En algunos casos tiene que ser triturado hasta un tamaño de grano económicamente factible para aumentar la superficie de contacto entre el cianuro y el mineral, y consecuentemente la velocidad de disolución.

El principio de la cinética de cianuración del oro y la plata está controlado o gobernado por el proceso de difusión de la solución cianurada a través de la porosidad del mineral que permita la extracción de los elementos de oro y plata, con la presencia imprescindible del oxígeno en la solución, puesto que en la pila de mineral hay intersticios, o espacios libres por donde fluyen las soluciones cianuradas, esto se denomina percolación, y esto ayuda a que la soluciones lixiviantes se enriquezca con este vital elemento sin el cual la cianuración del oro no sería posible. Por ello es

⁶ F., M. C. (1994). Metalurgia del Oro. Lima-Perú.

muy importante tener el lecho de mineral conformado predominantemente por mineral de tamaño grueso sobre el material fino que se carga a la pila; efectuando para esta operación el blending del mineral en la zona de descarga de mineral en la pila mediante el empleo de los cargadores frontales.

- **Ausencia de arcillas:** En los procesos de Heap Leaching es muy importante tener un lecho de mineral que permita la percolación de la solución cianurada a través de toda la cama de mineral (porosidad del lecho de mineral) esto por supuesto tiene que estar exento de material arcilloso o finos que impide la percolación natural de la solución, ocasionando en determinados momentos la formación de encharcamiento o anegamientos en la superficie de la pila.
- **El flujo del riego:** Es un factor preponderante en la extracción de valores de oro y plata de la pila de mineral. Actualmente se está considerando las áreas de los lechos de los módulos a lixiviarse para dicho cálculo. Se ha implementado el control de riego llevándose un registro por cada módulo de los caudales, determinándose que los flujos obtenidos están por encima de los 7,6 l/h/m² y en algunos módulos sobrepasa los 10 l/hr/m². Este flujo de operación está limitado por el número de módulos y el área de riego, dependiendo directamente del volumen de bombeo. Cada vez que se incrementa la altura dinámica se está perdiendo capacidad de bombeo. Siendo la operación de carga múltiple, considerado como pilas de acumulación de mineral en que se incrementa las alturas de la pila, cada vez que se conforma un lift de 8 metros de altura, llegando a los lift en número de 8 niveles u pisos; los flujos de lixiviación deberán ir

incrementándose para poder alcanzar una óptima velocidad del flujo de la solución lixivante, que cuando se riega un lift de primer nivel, permitiéndonos acortar los tiempos o periodos de duración de la lixiviación. La velocidad de percolación determinada experimentalmente de la solución en la pila es de 2 m/día con un flujo promedio de 7,8 l/h/m². Un factor adicional a ser considerado es el sistema de riego a emplearse para la mojabilidad del mineral apilado. Teniendo su aplicación los aspersores, goteros, boquillas y wigglers (mangueras quirúrgicas). En nuestro caso los aspersores son ideales al proceso de cianuración puesto que estos, cubren en su totalidad uniformemente un radio de 6 metros, permitiendo la oxigenación de las gotas de solución de cianuro al contacto con el aire del medio ambiente, hasta mojar toda la superficie de la pila, obteniéndose flujos de riego de 7,5 hasta 11,5 l/h/m² de superficie.

- **Alcalinidad de la solución de cianuro:** Siendo un factor importante en los procesos de cianuración por lo que está relacionado directamente con el pH de la solución. Los minerales deben estar libres de compuestos que forman ácido resultante de la descomposición de los diferentes minerales de la mena en las soluciones de cianuro y libre de cianicidas o sustancias que destruyen el cianuro o interfieren con la reacción básica de la cianuración del oro, tales como los sulfuros parcialmente oxidados de fierro (pirrotita), de cobre y arsénico. La cantidad de cal que se añade es para evitar la hidrólisis del cianuro de sodio, llamada alcalinidad protectora, siendo el pH a nivel industrial comprendido en el rango de 10 a 10,65. Un exceso de cal en el proceso incrementa el pH, esto ocasionaría

el retardo o inhibición de la cianuración del oro por la precipitación de la cal como CaO sobre la superficie de los contenidos metálicos.

- **Sustancias nocivas al proceso de cianuración:** Entre ellas sobresalen los materiales carbonáceos que son perjudiciales al proceso de cianuración; porque tienen la propiedad de adsorber el cianuro de oro (efecto del preg-robbing). Las sustancias o materiales conteniendo orgánico disminuyen la velocidad de cianuración del oro en razón de que el complejo oro-cianuro se re adsorbe en el carbón del mineral.
- **La concentración de cianuro de sodio:** En la solución lixivante es medida en ppm y/o % de cianuro libre, esta debe ser la adecuada a emplearse para alcanzar las máximas extracciones del oro a recuperarse con una solución de cianuro en un periodo de tiempo determinado. Se obtiene en las pruebas de laboratorio y a nivel industrial con los resultados obtenidos de las operaciones metalúrgicas.

La concentración de cianuro ideal en las soluciones lixiviantes será tal, que al emplearse un determinado tiempo o ciclo de lixiviación se evitará la disolución de los contenidos de plata que acompañan al mineral, así como los otros compuestos presentes como: los minerales de fierro (carbonatos, ankerita, marcasita, pirrotita, los cuales forman ferrocianuros y tiocianatos, compuestos de arsénico y de zinc. La formación de los iones interferentes Fe^{+2} , Fe^{+3} , Cu^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , As, Sb; consumen oxígeno de la solución y forman complejos con el cianuro de sodio, retardando la cianuración del oro.

Actualmente la concentración de cianuro está en el orden de 200 ppm. La concentración de cianuro de sodio en la solución dependerá también del

contenido de oro generalmente en el mineral aurífero a menores contenido de oro, menor será concentración de cianuro a emplearse, evitándose la disolución de los compuestos de mineral que acompañan a la mena y cuando el proceso de lixiviación toma un tiempo muy prolongado en alcanzar las máximas extracciones.

En este tipo de proceso se debe tener presente que las gradientes de concentración de los contenidos metálicos disueltos en la solución, desde que ingresa al módulo, con respecto al obtenido en la captación de solución pregnant se irá disminuyendo, para con continuar disolviendo el oro, debido a que se estará contaminando la solución por la presencia de los otros iones interferentes, durante el recorrido de la solución lixivante que percola todo el lecho de mineral, por consiguiente no dejando lugar a que se disuelva el oro remanente del mineral.

No se puede comparar exactamente el consumo de cianuro en un mes por el producto de oro obtenido, ya que este proceso es gobernado en el tiempo de lixiviación, pudiendo asumir que en los niveles inferiores 1° y 2° ya se alcanzó los límites mayores de extracción, lo que con lleva a elevar la concentración de cianuro, hará disolver los otros elementos metálicos solubles al cianuro que acompañan al mineral.

- **Recuperación Metalúrgica:** Un factor importante que se considera en los procesos de Heap Leaching, es la calidad del mineral; esto es, ley de oro total y oro soluble en una solución diluida de cianuro de sodio. La composición mineralógica tiene influencia en la recuperación metalúrgica. Los contaminantes que acompañan al mineral: material

carbonáceo, orgánico y arcillas son seleccionadas en los mismos tajos de extracción, su presencia perjudica en la lixiviación en pilas.

En la operación actual de un proceso de lixiviación en pilas de levantamiento múltiple, actualmente se está cargando mineral en los niveles superiores 7° y 8° piso lo que conlleva a una mayor demora en la obtención de la solución rica en la poza de solución pregnant, originando que la velocidad de percolación de la solución en la pila tome mayor tiempo, hasta alcanzar los niveles de las tuberías de drenaje comparados con los módulos cargados en los primeros pisos. En los módulos de primeros pisos disminuye la percolación por contener zonas de baja permeabilidad y canales de drenaje permeables.

Un factor adicional a ser considerado es el % de solubilidad de oro del mineral en una solución de cianuro que es realizado en el laboratorio químico.

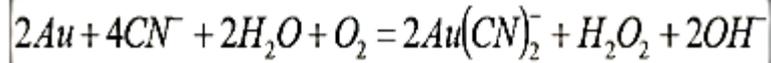
En resumen, la calidad del mineral cargado a las pilas de lixiviación debe estar libre de contaminantes tales como carbonáceo, orgánico y arcilloso.⁷

7 OBREGON, C. (2016). Tesis: optimización del blending con aplicaciones de programación lineal para el incremento del valor económico del mineral en la unidad Minera Catalina Huanca S.A.C. Arequipa.

CIANURACIÓN

Química del proceso de cianuración:

La mayoría de los investigadores proponen que la mayor parte del oro se disuelve de acuerdo a la siguiente reacción⁸:



Y en menor proporción según lo siguiente:

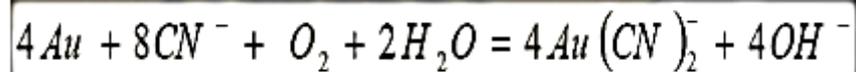
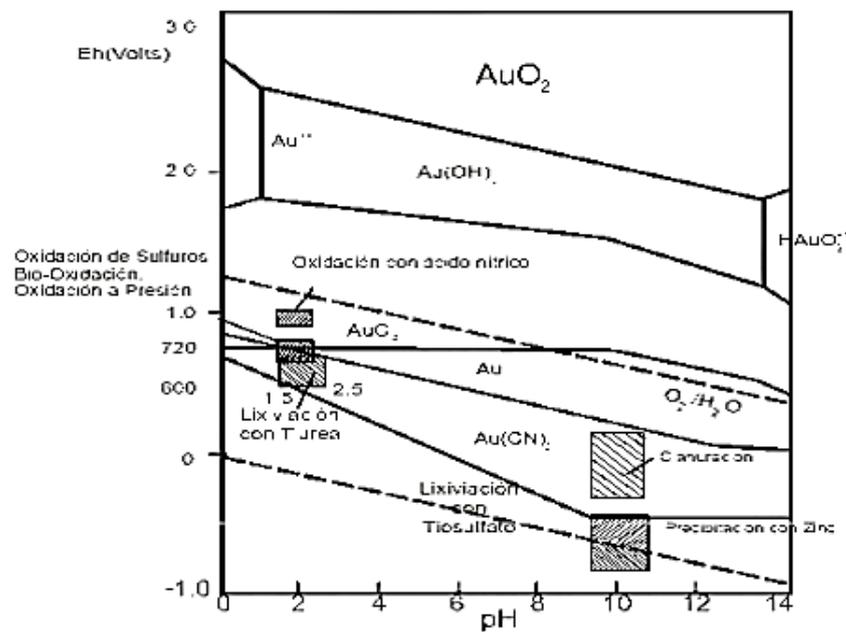
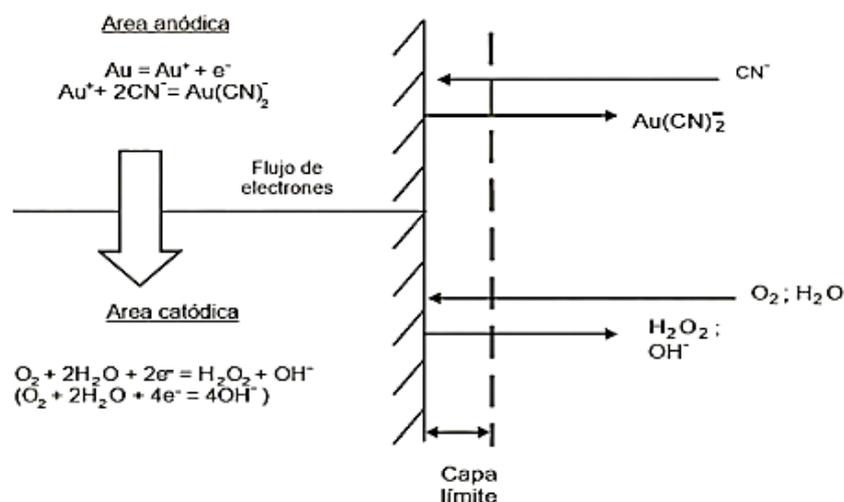


Figura N°02: Condiciones de Cianuración y Cementación



Fuente: <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/unh/2601/tesis-2019-%20ciencias%20ingenier%20c3%8da%20lopez%20valverde.pdf?sequence=1&isallowed=y>

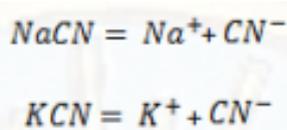
Figura N° 03: Mecanismo del Proceso de Cianuración



Fuente: <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2601/TESIS-2019-%20CIENCIAS%20INGENIER%20-%20LOPEZ%20VALVERDE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

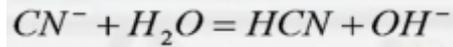
Química de las soluciones de cianuro:

Las sales de cianuro de sodio y cianuro de potasio se disuelven y ionizan en agua, formando su respectivo catión metálico y iones cianuro libres, de acuerdo a las siguientes reacciones:



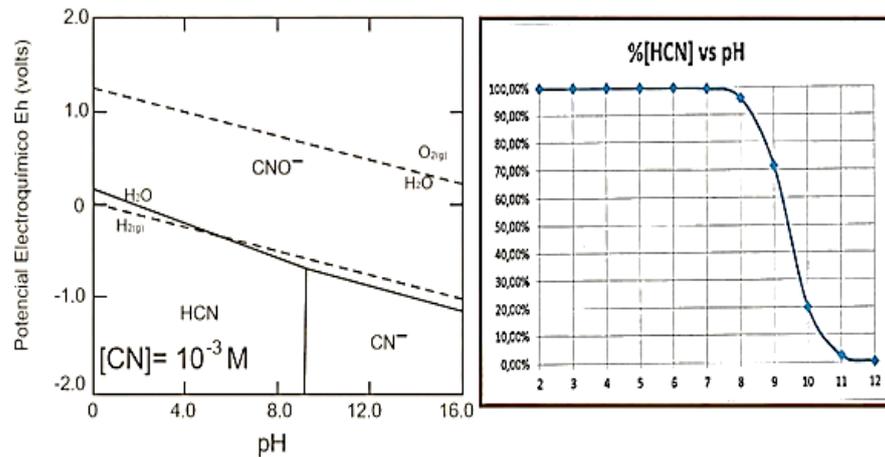
NaCN	53,1 % CN	48 g/100 cc a 25°C
KCN	40,0 % CN	50 g/100 cc a 25°C

Uno de los problemas asociados al proceso de cianuración es la hidrólisis del cianuro en agua para formar ácido cianhídrico con el correspondiente aumento del pH.



El ácido cianhídrico es un ácido débil el cual tiene una incompleta disociación.

Figura N°04: Diagrama Potencial – pH Cianuro H₂O



Fuente: <http://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/unh/2601/tesis-2019-%20ciencias%20ingenier%20c3%8da%20-lopez%20valverde.pdf?sequence=1&isallowed=y>

FACTORES FÍSICO-QUÍMICOS INVOLUCRADOS EN LOS PROCESOS DE LIXIVIACIÓN EN PILAS:

- **Permeabilidad:**

Propiedad importante de la matriz del mineral y definida como la velocidad a la cual las disoluciones pueden percolar a su través cuando se le riega. Esto también determina la velocidad de difusión del oxígeno del aire cuando el mineral no ha sido inundado. Esto es la permeabilidad, es la característica física más importante del mineral que contiene un amplio rango de tamaños de partículas con diferentes grados de porosidad a través de los cuales se pueden mover la disolución de ataque y/o solución lixivante de cianuro. En aquellos casos en que el mineral es muy fino o contiene muchas lamas, la

permeabilidad de la pila puede verse seriamente reducida y/o pueden producirse “canales” por los cuales fluya la solución de cianuro, dejando zonas muertas (no irrigadas por cianuro) y por tanto puede producirse una reducción en la recuperación. En estos casos extremos la pila puede llegar a sellarse totalmente. Cuando el mineral presenta un rango de tamaños de partículas se puede producir la segregación de estos de acuerdo a sus tamaños granulométricos generando zonas de diferente permeabilidad. De esta manera la solución de cianuro percola solamente a través de las zonas de mineral grueso. Para corregir estas deficiencias el mineral debe ser aglomerado con cal, cemento, polímeros orgánicos, y/o realizar un blending apropiado con mineral de características granuladas y con bajo contenido de arcillas.

- **Grado de liberación del mineral atacable:**

La liberación proporciona la accesibilidad de la disolución al mineral, hay que considerar no solo el proceso físico de facturación sino también el proceso paralelo de liberación y exposición de tales minerales a los reactivos químicos de lixiviación por alteración química de la roca encajonante a través de sus grietas y poros⁹.

9 (TREMOLADA, 2011) Tesis Doctoral: Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de Cianuración en Pilas. Oviedo.

- **Tipo de mineralización:**

De Origen Hidrotermal:

Estas sitúan a los minerales sobre las paredes de las grietas y fisuras abiertas en el terreno encajonante, en este caso los minerales no necesitan ser molidos muy finamente antes de su ataque por Lixiviación.

Minerales Diseminados de Adecuada Porosidad:

En estos casos la roca mineralizada posee una cierta porosidad procedente de su meteorización desde el momento en que se ha formado sobre la corteza terrestre. En estos casos el lixiviante cianuro puede atacar totalmente partículas de un tamaño relativamente grande penetrando hasta el corazón del sólido, aunque eso sí con cinéticas muy lentas.

Minerales Porfiríticos: Requieren de un tamaño muy fino de liberación y si se da el caso son inadecuados para la lixiviación por percolación, aunque de forma extrema se podría recurrir a su aglomeración.

- **Reacciones de intercambio iónico:**

Los minerales silicatados que poseen unas estructuras en capas, los óxidos hidratados de hierro y el yeso precipitado pueden ser capaces de provocar reacciones de intercambio iónico con las disoluciones de lixiviación, de tal forma que los metales valiosos sean eliminados de la disolución e incorporados a estos minerales en una proporción variable. Los minerales más importantes de este grupo son: El yeso (sulfato de calcio hidratado), la limonita (óxido férrico hidratado), las cloritas (silicatos de magnesio y aluminio), la serpentina (silicato de magnesio), la moscovita (silicato de

aluminio y potasio), varias micas del tipo de las vermiculitas, el talco (silicato de magnesio hidratado), la caolinita (silicato de aluminio), la montmorillonita (aluminosilicato de magnesio y calcio), etc. La capacidad de intercambio iónico de los diferentes tipos de arcillas que componen un mineral varía con el pH (capacidad de intercambio potencial) por características anfotéricas de ciertos sesquióxidos¹⁰.

- **Precipitación de compuestos insolubles en el medio de lixiviación:**

Las disoluciones cargadas en metales pueden precipitar yeso, alunitas (sulfatos básicos de aluminio y otros cationes) y jarositas (sulfatos básicos de hierro y otro catión) como resultados de pequeños cambios en las condiciones del sistema, esto se debe al pH, temperatura o composición de la disolución. Las disoluciones enriquecidas en calcio podrían precipitar yeso en lugares donde los sulfuros están siendo oxidados a sulfatos. Además, otro feldespato, la ortoclasa que es un silicato de aluminio y potasio, puede generar iones K^+ y Al^{+3} para precipitar una alunita de potasio. Los iones sodio o potasio pueden precipitar también iones Fe^{+3} como jarositas de sodio o potasio respectivamente. Este tipo de precipitaciones se genera principalmente en determinadas zonas de compactación del mineral en la pila de lixiviación cuando se comienza a regar originándose que las arcillas y finos se arrastren hasta las zonas de compactación del mineral provocando taponamiento y canales preferenciales de circulación de los líquidos que dejan zonas muy

10 TREMOLADA, J. (2011). Tesis Doctoral: Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de Cianuración en Pilas. Oviedo.

importantes de mineral sin atacar. Además, debido a la lenta circulación de las disoluciones por estos sectores, se produce con facilidad la precipitación del yeso, alunita y jarositas que se interponen entre el lixivante y el mineral.

Factores tecnológicos que inciden en la disolución y/o recuperación de oro y la plata

Desde el punto de vista tecnológico, cabría destacar los siguientes factores:

- El grado de solubilidad del oro libre y su correspondiente tamaño granulométrico están íntimamente relacionados existiendo una más rápida disolución del oro cuando el oro presenta un tamaño granulométrico más fino y esta granulometría del oro es variable en cada tajo de mineral.
- Las concentraciones de cianuro y oxígeno necesarias para el mineral aurífero de cada tajo y por ende lo adecuado en las pilas industriales de lixiviación.
- La presencia de arcillas es también variable en cada tajo mineralizado y fundamentalmente su atenuación y/o baja incidencia en los pads industriales de lixiviación se consigue mediante técnicas de aglomeración y/o con un blending adecuado con mineral de granulometría granulada más gruesa a fin de conseguir una adecuada permeabilidad en las pilas industriales de cianuración evitando de esta manera un encharcamiento en la parte superior de las pilas de lixiviación y al mismo tiempo evitar la segregación interna del mineral en el interior de las pilas y por ende evitar zonas crudas y/o zonas secas sin lixiviar el oro.

- La presencia de carbón mineral asociado al tajo, la incidencia del carbón mineral ha sido ampliamente verificado por investigaciones metalúrgicas normándose en las operaciones de mina, realizar la limpieza del carbón que contamina al mineral en el mismo tajo, antes de enviar el mineral hacia los pads industriales de lixiviación, por su ya conocido efecto del carbón de reabsorber el oro en el mismo pad de lixiviación.
- La presencia de sulfuros tipo piritita en baja proporción que también encapsula el oro en cierto grado influencia en la disolución global del oro.
- También el oro ocluido y/o íntimamente asociado en el cuarzo generalmente constituye una fracción del oro no recuperable en las pilas de lixiviación.
- Finalmente la necesidad de contar con un adecuado y eficaz planeamiento de carguío de mineral a los módulos y/o celdas industriales de los pads de lixiviación a fin de garantizar la permanencia, constancia y sostenibilidad de la ley de la solución pregnant de oro-plata a fin de mantener un adecuado ritmo de producción de oro, esto es considerando también en el planeamiento de los módulos y/o celdas el tiempo de transito de la solución rica hasta salir del pad y de la misma topografía del terreno en la zona de transporte y almacenamiento de mineral.

Aspectos fundamentales de las arcillas contenidas en un mineral; generalmente las arcillas que acompañan a los minerales contribuyen a disminuir la capacidad de flujo de las soluciones lixiviantes, al mismo tiempo estas arcillas presentan también un efecto nocivo de adsorción de

metales preciosos en solución, actúa como una esponja captando los metales Au–Ag de la solución pregnant que percola la pila.

La mineralogía de una arcilla es importante para determinar la permeabilidad de una arcilla compacta, debido a que arcillas de tipo montmorillonita (de sodio y/o calcio) tienen diferentes grados de permeabilidad con relación a arcillas del tipo kaolinitica, nontronita e illitas.

El control de las arcillas contenidas en el mineral vía su dilución y/o disminución evitará problemas como:

- Formación de pozas y/o lagunas en la superficie de la pila.
- Formación de canales en el interior de la pila con percolación preferencial.
- Formación de segregaciones, esto es cuando la permeabilidad de la pila no es uniforme en relación a la solución percolante, generando que la distribución de la solución lixivante en la superficie de la pila y la velocidad de percolación de esta solución en el interior de la misma tenga un pésimo rendimiento.
- Compactación del mineral.
- Excesivos tiempos de lixiviación: La presencia de un alto contenido de arcillas en el mineral generara un incremento en el ciclo de lixiviación que fundamentalmente será función de la filtrabilidad de la solución lixivante sobre el mineral, mayores tiempos de lixiviación serán necesarios cuanto más alto sea el contenido de arcillas.

- Además, Al final del ciclo de lixiviación en pila es necesario un lavado con agua y/o solución barren con bajo contenido de oro a fin de remover y/o recuperar la solución pregnant de Au-Ag, retenidas por las arcillas, esto implica un incremento de tiempo en el ciclo de lixiviación.
- Reducción de la porosidad: En la mayoría de los casos cuando las arcillas son mojadas, estas se hinchan y/o incrementan su volumen entre un 25% a 30%, este incremento en volumen de los minerales arcillosos es debido a su naturaleza hidrofílica y a su actividad coloidal, esto conduce a una reducción en la porosidad del mineral y a una disminución del volumen de filtración¹¹.

2.3 Definición de Términos Básicos

- 1) Blending: El verbo inglés blend se puede traducir al castellano como mezclar o combinar. En la industria, el blending significa precisamente esto, la combinación de dos tipos de materiales, en principio opuestos, para obtener un producto y mejorar características de calidad especiales. (Herrera, 2006)

¹¹ DOREY, R., VAN Zyl, D., & J., y. K. (1988). Overview of Heap Leaching Technology: Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects.

- 2) Lixiviación: La lixiviación es una técnica ampliamente utilizada en metalurgia extractiva que mediante un solvente (solución cianurada) disuelve metales preciosos (solute) para convertir una solución líquida.
- 3) Cianuración: La cianuración, es una técnica metalúrgica para la extracción de metales preciosos (Au y Ag) básicamente del mineral, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianuro, solubles en una solución de cianuro, mediante un proceso denominado lixiviación.
- 4) Textura: Relación espacial entre dos o más minerales que aparecen de forma conjunta (por ejemplo, en una roca). Se trata de un concepto macroscópico. Las texturas dan información sobre el dominio de formación de los minerales (temperatura, profundidad, espacios abiertos o no, entre otros). La clasificación textural de rocas es un criterio que atiende a la forma, la disposición y el tamaño relativo de los cristales constituyentes de una roca, y pasa por alto las especies minerales involucradas. (Valderrama, 2000).
- 5) Cabeza Mineral: Muestra inicial que va a ingresar a un proceso metalúrgico.
- 6) Concentrado: Es el producto enriquecido de las operaciones de concentración de minerales.
- 7) Factor metalúrgico: Es el valor que indica la mejor recuperación de un mineral con baja ley de cabeza.
- 8) Liberación de mineral: Separación de minerales valiosos de la ganga.

2.4 Formulación de hipótesis.

Mediante la presente tenemos que elaborar la propuesta de solución de los problemas planteados.

2.4.1 Hipótesis general.

Si realizamos el blending del mineral intrusivo, se logrará mejorar el grado de extracción de oro contenido en el mineral del tajo Calaorco unidad Minera Tahoe Perú La Arena S. A.

2.4.2 Hipótesis específica

- ✓ Si logramos identificar los factores que impiden mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de oro.
- ✓ Si logramos identificar los análisis, ensayos, pruebas experimentales que se realizará para mejorar el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de oro.
- ✓ Si logramos determinar el incremento en el grado de extracción del oro contenido en el mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de oro.

2.5 Identificación de variables

Se logra la identificación de las variables para lograr la medición de las propiedades de cada variable.

Variable independiente.

Mineral Intrusivo de oro.

Variable dependiente.

Grado de extracción del oro.

Variables intervinientes

- Minerales presentes en la mena
- Ley del mineral
- Calidad del agua,

2.6 Definición Operacional de variables e indicadores

OBJETIVO	VARIABLE	INDICADORES	INDICES
<p align="center"> “MEJORAR EL GRADO DE EXTRACCIÓN DE ORO CONTENIDO EN EL MINERAL DEL TAJO CALAORCO UNIDAD MINERA TAHOE PERÚ LA ARENA S. A.” </p>	<p align="center"> VARIABLE INDEPENDIENTE: Mineral Intrusivo de oro </p>	<p align="center">Métodos de extracción</p>	<p align="center"> - Granulometría - ppm de CN - Flujo de riego </p>
	<p align="center"> VARIABLE DEPENDIENTE Grado de extracción del oro </p>	<p align="center">- % de recuperación</p>	<p align="center">- 0 – 100%</p>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter explicativo (causa – efecto) y experimental, conforme a los propósitos y naturaleza de la investigación; el estudio se realizó en los laboratorios de la empresa, así como en las columnas de lixiviación y pads de lixiviación.

3.2 Métodos de Investigación

El método de investigación usado es el científico y experimental para el cual realizaremos pruebas en condiciones iniciales sin manipulación de variables para luego intervenir manipulando los minerales intrusivos mediante la manipulación de diferentes opciones, para luego realizar una prueba posterior después de la manipulación de variables

3.3 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental y por lo tanto el diseño es el siguiente:

O1 = PRUEBA PRE TEST
X = MANIPULACION DE LA VARIABLE
O2 = PRUEBA POST TEST.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población.

La población para la investigación será el mineral intrusivo del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. región la Libertad, 2019.

3.4.2 Muestra.

El mineral fue traído del lugar de muestreo (del tajo Calaorco) en sacos dentro de un camión y fue recibida en la plataforma del laboratorio metalúrgico de Minera La Arena S.A.

La muestra por separado, se reduce de tamaño a 100% -1”, luego se pesa la cantidad necesaria para formar el blending a la proporción de 1:2 = Intrusivo: Arenisca. Para la muestra de cabeza, se homogeniza y se cuartea para tomar una muestra de 4 Kg aproximadamente. Esta muestra se reduce a 100% - 10 mallas, se homogeniza y se toma dos muestras finales de 1 Kg cada una, una de estas muestras se envía a laboratorio químico para su análisis (será la cabeza general de dicha columna) y la otra muestra queda en el laboratorio metalúrgico en calidad de contramuestra.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las muestras de mineral **INTRUSIVO** (de los tajos Calaorco y Ethel) y **ARENISCA** (del tajo Calaorco) fue enviada a laboratorio metalúrgico, la cantidad de muestra recepcionada fue aproximadamente de 240 Kg (12 sacos) de INTRUSIVO (tajo Calaorco) y 240 Kg de INTRUSIVO (tajo Ethel) y 600 Kg de ARENISCA (Tajo Calaorco).

El mineral fue traído del lugar de muestreo (tajos Calaorco y Ethel) en sacos dentro de un camión y fue recibida en la plataforma de laboratorio metalúrgico de Minera La Arena S.A.

Para la muestra de cabeza de cada tipo de mineral se tomó 50 Kg aproximadamente, se somete a un chancado a 100% -1/2", luego se homogeniza y se cuartea para tomar una muestra de 4 Kg aproximadamente. Esta muestra se reduce a 100% - 10 mallas, se homogeniza y se toma dos muestras finales de 1 Kg cada una, una de estas muestras se envía a laboratorio químico para su análisis (será la cabeza general de dichas columnas) y la otra muestra queda en laboratorio metalúrgico en calidad de contramuestra.

FOTO N°01.- Homogenizando del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco) chancado.



Referencia: elaboración propia

FOTO N°02.- Después de tomar la muestra de los 3 tipos de mineral.



Referencia: elaboración propia.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Análisis Químico del mineral en estudio

Es muy importante contar con leyes referenciales de cabeza significativamente confiable desde el inicio del programa experimental, de manera que los reajustes de las extracciones calculadas durante la prueba de lixiviación (con la ley de cabeza y las soluciones cianuradas) serán mínimas.

A continuación, se presenta la tabla N° 01, donde se aprecia la ley de cabeza analizada de los tres tipos de mineral en estudio.

Tabla N°01.- Análisis Químico del mineral en estudio

TIPO DE MINERAL	LEY CABEZA ANALIZADA (gr/tn)			Cu soluble en NaCN	
	Au	Ag	Cu	(gr/tn)	(%)
INTRUSIVO (Tajo Calaorco)	0,741	0,5	1227	224	18
INTRUSIVO (Tajo Ethel)	0,671	0,5	673	76	11
ARENISCA (Tajo Calaorco)	0,094	0,5	54	6	11
* La ley de cabeza analizada es REFERENCIAL					

Fuente: Minera La Arena S.A.

Pruebas preliminares:

Prueba de alcalinidad:

La prueba de alcalinidad consistió en determinar el pH natural del mineral y el consumo de cal para llegar a un pH mínimo de 10; estando a estas condiciones, no se tendrá pérdidas de cianuro en forma de gas cianhídrico, el cual sería muy dañino para la salud y también distorsionaría el balance del consumo de este reactivo.

La prueba se realizó en bidones de plástico de 20 l de capacidad, con 2 Kg de mineral y 4 l de agua, se agitó durante 24 hr. Al inicio se dejó agitando las botellas durante 6 horas para determinar el pH natural del mineral; los controles

de pH y consumo de cal se realizaron a las 2, 6, 12, 18 y 24 hr, en estos controles se adicionaba cal para mantener un pH mínimo de 10.

Esta prueba sólo se realizó con el mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco), los resultados se presentan en la tabla N° 2. La cal usada en esta prueba y también en el proceso, fue de 84 % CaO; sólo se realizó la prueba de alcalinidad a los compositos 1 y 2 y al compósito 4, al compósito 3 se realizó directo la prueba de cianuración por percolación en columnas.

Tabla N°02.- Resultado de prueba de alcalinidad del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco).

TIPO DE MINERAL	pH NATURAL	CONSUMO CAL (Kg/tn)
INTRUSIVO (Tajo Calaorco)	7,0	1,5

Referencia: Sociedad Minera La Arena S.A.

Pruebas de cianuración por agitación en botellas:

Sólo se realizó esta prueba al mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco), la prueba se realizó en bidón de plástico de 20 l de capacidad, con 2 kg de mineral y 4 l de agua y se agitó durante 48 horas. Estabilizando el pH constantemente; se inició la prueba con la adición de cianuro de sodio, luego los controles se realizaron a las 2, 6, 18, 24 y 48 horas, en estos controles se tomó 20 ml de alícuota para analizar el CN⁻, pH y análisis químico por Au, Ag y Cu.

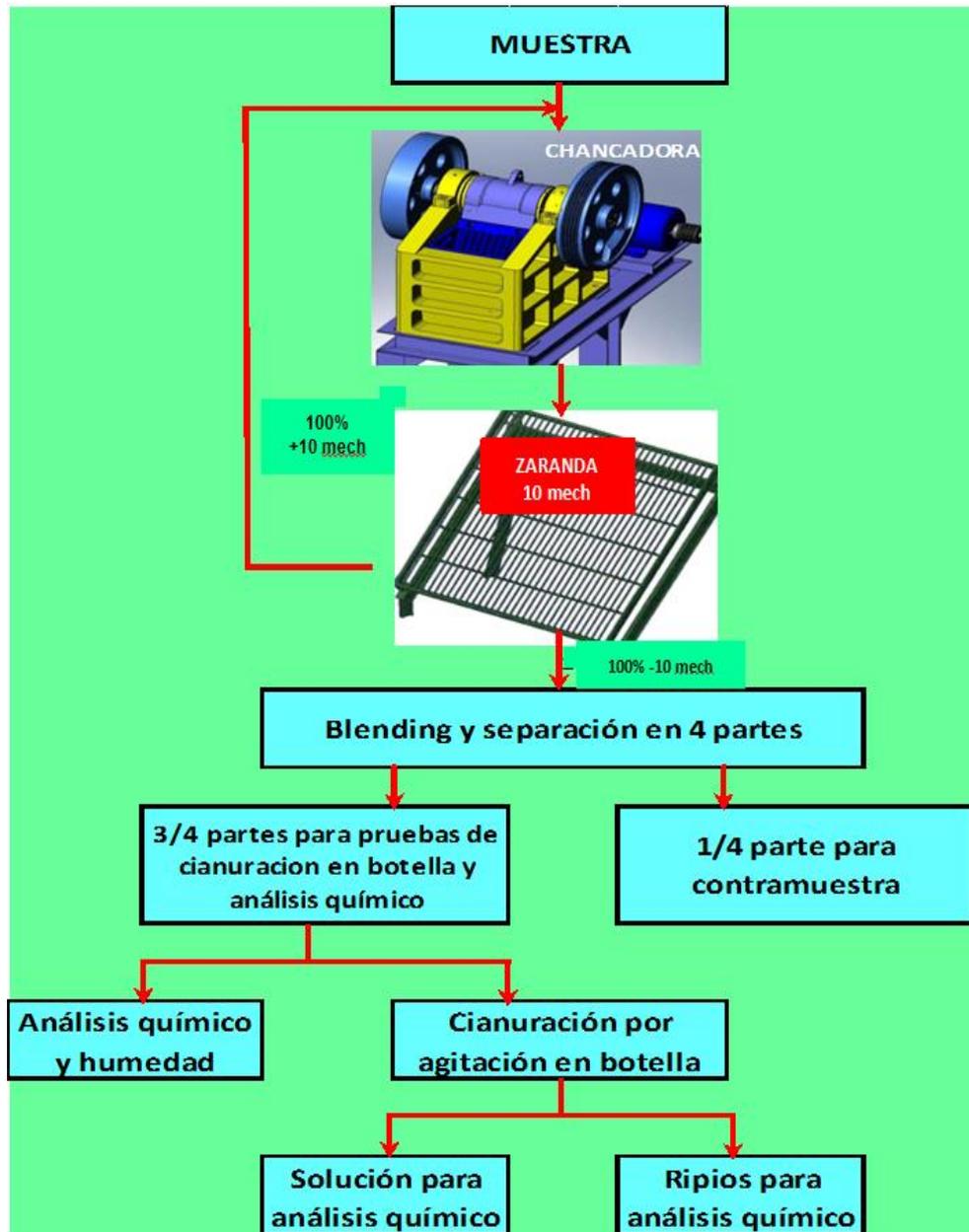
Terminada la prueba, se realizó un lavado a los ripios antes de ser analizados (para eliminar los metales disueltos acomplejados con cianuro que están presentes en la solución en forma iónica). Los resultados promedios se presentan en la tabla N° 03.

Foto N°03.-Equipo para pruebas de cianuración por agitación en botella



Referencia: Minera La Arena S.A.

Figura N°05.-Esquema del procedimiento de cianuración por agitación en botella.



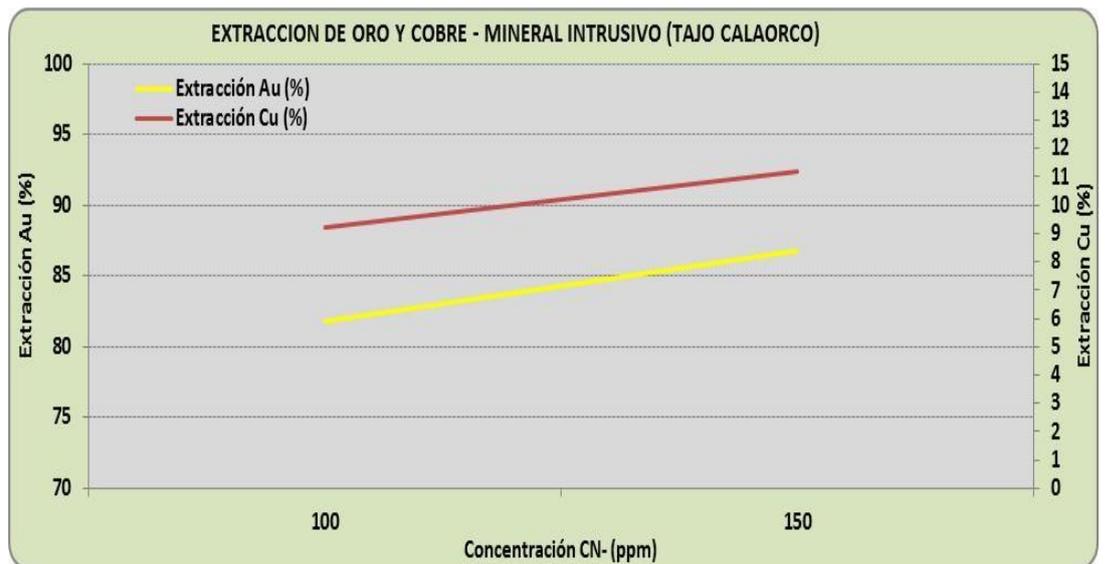
Fuente: Sociedad Minera La Arena S.A.

Tabla N°03.- Resultados de las pruebas de cianuración por agitación en botella del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco)

MINERAL	PROCEDENCIA	GRANULOMETRIA	CABEZA CALCULADA (gr/tn)			CONCENTRACION CN' EN LIX. (ppm)	pH		EXTRACCION (%)			CONSUMO REACTIVOS (kg/tn)	
			Au	Ag	Cu		NATURAL	TRABAJO	Au	Ag	Cu	NaCN	Cal
			Intrusivo	Tajo Calaorco	100% - 10 mech	0,352	3,19	641	100	7,0	9,6	81,8	65
			0,341	3,01	604	150		9,7	86,8	73	11,2	0,42	1,5

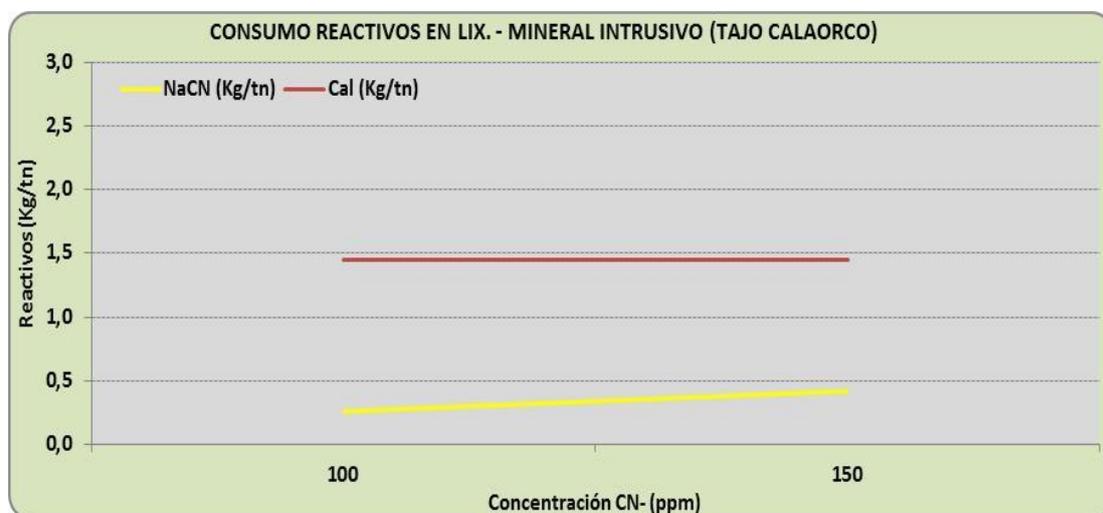
Fuente: Elaboración propia

Figura N°06.- Extracción de oro y cobre en la cianuración por agitación en botellas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco)



Fuente: Elaboración propia

Figura N°07.- Consumo de reactivos en la lixiviación por agitación en botellas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco)



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° 3, se muestra la cabeza calculada del mineral Intrusivo (tajo Calaorco) para la prueba de cianuración por agitación en botella, la cual tiene como promedio 0,3465 g Au/TM y 622,5 g Cu/TM. Este mineral es sometido a una lixiviación con 100 y 150 ppm de CN⁻. Para incrementar el pH natural del mineral de 7,0 a un pH de trabajo de 9,7, se usó 1,5 Kg de CaO/TM.

Al término de 48 hr de agitación, al lixiviar a una concentración de CN⁻ con 100 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,26 Kg NaCN/TM logrando extraer el 82% del Au y el 9,2% de Cu. Al lixiviar a una concentración de CN⁻ de 150 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,42 Kg NaCN/TM logrando extraer el 87% del Au y el 11,2% de Cu.

Prueba de cianuración por percolación en columnas:

Carguío de Columnas:

Se identificó las columnas a cargar, identificando tipo de mineral, granulometría, taza de riego, fuerza de cianuro, etc. Se midió la altura útil de las columnas para determinar la capacidad que se va a llenar con mineral.

Se procedió a pesar la cantidad de mineral calculado que va ingresar a dichas columnas, se adicionó cal en una dosis determinada en la prueba de alcalinidad.

Se empezó el llenado de las columnas paralelo a la dosificación de cal y a la toma de muestra para ensaye por humedad y análisis químico. Una vez terminado el llenado de las columnas, se niveló la parte superior del mineral, se colocó una referencial plana que sirvió para medir el asentamiento del mineral.

Operación de lixiviación en columnas:

Se realiza con frecuencia el estado de las venoclisis, equipos de pesado e instrumentos de medición que se encuentren en perfectas condiciones, debidamente calibrados. Después de llenar la columna, se realizó los siguientes procedimientos:

Referencia Tabla N° 5, Se preparo una muestra directo de la mina ROM (run of mine) del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 6 l/hr- m^2 se tuvo el peso de la muestra 90,15 Kg.

Referencia Tabla N° 6, Se preparo una muestra preparada con una granulometría de 100% - 6" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 6 l/hr- m^2 se tuvo el peso de la muestra 39,50 Kg.

Referencia Tabla N° 7, Muestra preparada con una granulometría de 100% - 3" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 6 l/hr- m^2 se tuvo el peso de la muestra 75 Kg.

Referencia Tabla N° 8, Muestra preparada con una granulometría de 100% - 3" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 8 l/hr-m^2 se tuvo el peso de la muestra 72 Kg.

Referencia Tabla N° 9, Muestra preparada con una granulometría de 100% - 3" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 10 l/hr-m^2 se tuvo el peso de la muestra 76 Kg.

Referencia Tabla N° 10, Muestra preparada con una granulometría de 100% - 3" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 12 l/hr-m^2 se tuvo el peso de la muestra 75 Kg.

Referencia Tabla N° 11, Muestra preparada con una granulometría de 100% - 3" del tajo Calaorco y se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm con un flow rate de 14 l/hr-m^2 se tuvo el peso de la muestra 71 Kg.

Se tomó el tiempo de inicio del riego hasta que la solución cayera por primera vez del fondo de la columna; este dato nos permite calcular la velocidad de percolación de la solución lixivante. Se pesó el volumen de solución colectada durante 24 horas y se determinó su densidad. A la hora del control de la columna, se tomaron los siguientes parámetros: peso de la solución pregnant y lixiviación, altura vacía de columna, toma de muestras líquidas para análisis químico, CN^- , pH.

La solución pregnant se descartó y se preparó solución de lixiviación nueva; de esta manera se afirma que el circuito fue abierto (y no cerrado como en la escala industrial). Se hizo un control diario de análisis químico de soluciones, control minucioso de los flujos de riego y caída de solución pregnant.

Terminado el riego del mineral, se dejó escurrir por un tiempo aproximado de 1 día. Durante el escurrimiento, también se pesó la solución, se tomó muestra y se hicieron todos los controles (pH, CN^- y análisis químico por Au, Ag y Cu).

Foto N° 04.- (a) Vista de solución de lixiviación, (b) Riego del mineral en columnas.



Fuente: Elaboración propia

3.7 Tratamiento Estadístico

Resultados de la prueba de cianuración por percolación en columnas:

La tabla N° 04 presenta un resumen de la extracción de oro y cobre del mineral INTRUSIVO (tajos Calaorco).

El mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco), se observa que al lixiviar a 100 ppm de CN^- , no tiene influencia en la extracción de oro (NO SE TIENE RESULTADOS DE PERCOLACION.) cuando se trabaja con granulometría ROM (mineral directo de mina) y mineral 100% - 6" y las recuperaciones altas son de 49,9% Au 0,9% Ag y 0,2% Cu para el mineral de 100% - 3" con un flujo de riego de 14 l/hr-m²; el asentamiento del mineral se tiene valores de 8,8% a 24,5% se compacta el mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco).

Tabla N° 04.- Resultados de las pruebas de cianuración por percolación en columnas con mineral INTRUSIVO

PRUEBAS DE CIANURACION POR AGITACION EN COLUMNAS - (INTRUSIVO CALAORCO)

MUESTRA	MUESTRA	LEY DE CABEZA CALCULADA (g/TM)			CONC. CN ⁻ (ppm)	EXTRACCION (%)			TIEMPO AGITACION (dias)	CONS. REACTIVOS (Kg/TM)	
		Au	Ag	Cu		Au	Ag	Cu		NaCN	CaO
1	100% Intrus. Calaor. Mineral ROM directo de mina flujo solución 6 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000	100	0,0	0,0	0,0	10	0,01	1,02
2	100% Intrus. Calaor. 100% 6" flujo solución 6 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		0,0	0,0	0,0	9	0,00	0,96
3	100% Intrus. Calaor. 100% 3" flujo solución 6 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		34,8	1,5	0,1	12	0,05	1,38
4	100% Intrus. Calaor. 100% 3" flujo solución 8 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		28,7	0,4	0,0	12	0,02	1,42
5	100% Intrus. Calaor. 100% 3" flujo solución 10 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		41,4	1,2	0,0	12	0,04	1,36
6	100% Intrus. Calaor. 100% 3" flujo solución 12 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		45,6	0,8	0,1	12	0,05	1,38
7	100% Intrus. Calaor. 100% 3" flujo solución 14 l/hr-m ²	0,658	0,500	538,000		49,9	0,9	0,2	12	0,06	1,46

Fuente: Elaboración propia

Descarga de Columnas:

Procedimiento:

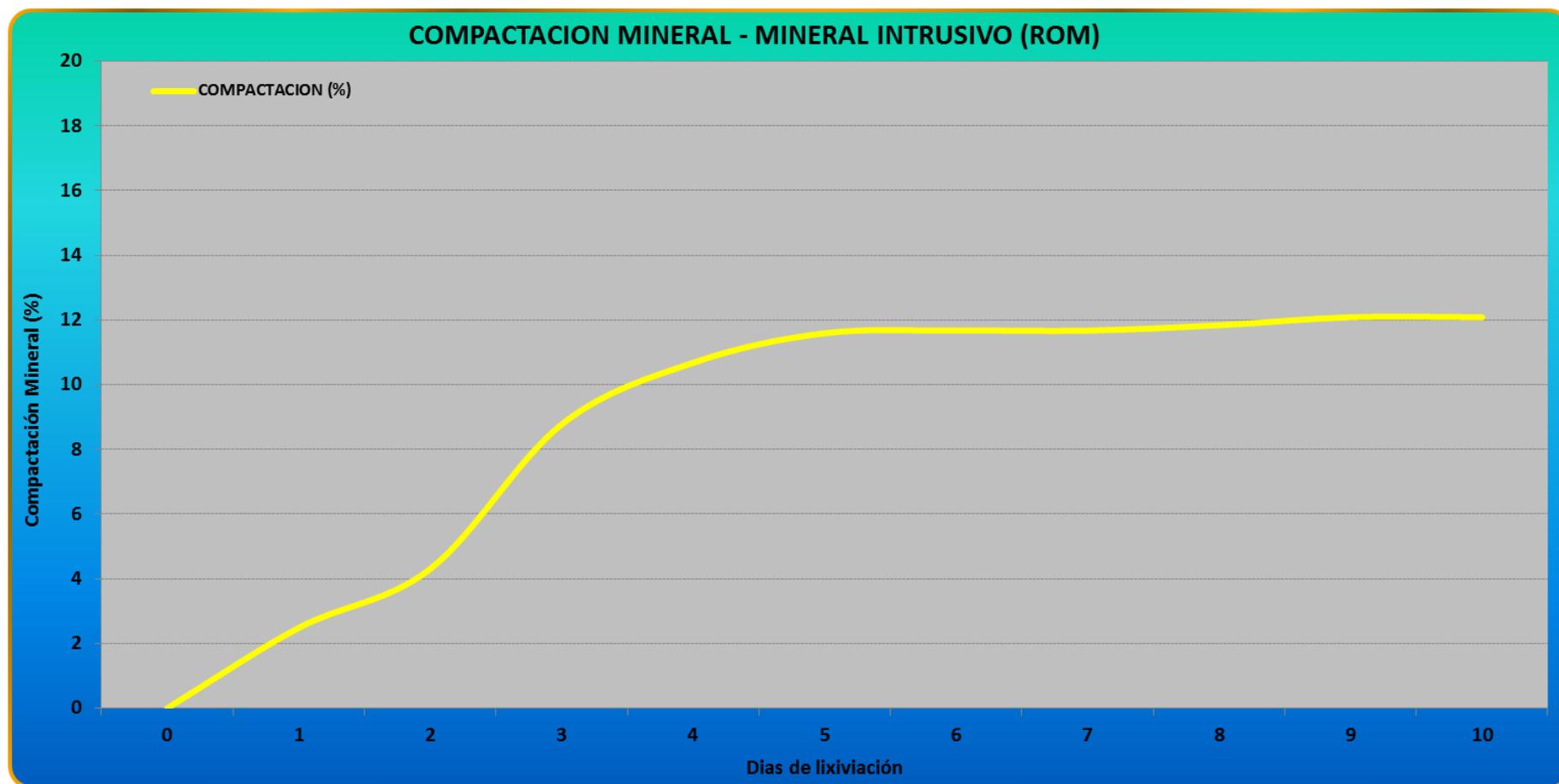
Después de terminado el proceso de lixiviación, se procedió a descargar los ripios de las columnas de PVC en la plataforma de Laboratorio Metalúrgico, luego se extiende y se muestrea independientemente cada columna de varios puntos para determinar la humedad de los ripios y su análisis químico, la humedad de los ripios en estos casos fue muy alta debido a que estaba inundado en solución, ya que la percolación era mínima.

Tabla N° 05.- Prueba de cianuración por percolación en columna con mineral INTRUSIVO (granulometría ROM)

PRUEBA DE CIANURACION POR PERCOLACION EN COLUMNA GRANDE - (MINERAL INTRUSIVO) - ROM																																		
		Inicio de riego		12/08/19 a las 15:00				Altura de mineral antes de lix. (cm)		604		Cabeza calculada Au (g/TM)		#REF!																				
Peso seco de Muestra (kg)		9015		Caida de la Primera Gota		NO SALIO				Altura de mineral despues de lix. (cm)		531		Cabeza calculada Ag (g/TM)		#REF!																		
Adicion de cal (kg/TM)		1.01		Cabeza enzayada Au (g/TM)		0.658				Densidad aparente antes de lix. (TM/m ³)		1.44		Cabeza calculada Cu (g/TM)		#REF!																		
Granulometria		ROM		Cabeza enzayada Ag (g/TM)		0.5				Densidad aparente despues de lix. (TM/m ³)		1.63																						
Altura de Columna (cm)		609		Cabeza enzayada Cu (g/TM)		538				Humedad de ripios (%)																								
Diametro de Columna (cm)		115		Ripios Au (g/TM)						Velocidad percolacion (m/dia)																								
Area de Columna (m ²)		1.04		Ripios Ag (g/TM)						Finos en columna Cu (mg)		4849988																						
Volumen Util de Columna (m ³)		6.3		Ripios Cu (g/TM)						Peso de Carbon Activado Humedo (Kg)																								
Fuerza de Cianuro de Sol. Lix. (ppm)		100		Recuperación Au (%)		0.0				Humedad del Carbon Activado (%)																								
Flow - rate (Lt-h/m ²)		6		Recuperación Ag (%)		0.0				Peso de Carbon Activado Seco (Kg)																								
Flujo de riego (ml/min)		104		Recuperación Cu (%)		0.0				Au en Carbon Activado (g/Kg)																								
Finos en columna Au (mg)		5932		Finos en columna Ag (mg)		4507																												
FECHA	DIAS DE LIXIVIACION	SOLUCION LIXIVIACION				SOLUCION PREGNANT					SOLUCION BARREN					FLOW RATE (lt-h/m ²)	FINOS EN CARBON			FINOS ACUMULADOS (mg)			RECUPERACION			ADICION DE REACTIVOS : gr					CONSUMO REACTIVOS ACUM.		ALTURA VACIA (cm)	COMPACTACION (%)
		Peso (kg)	Agua Adic. (Kg)	pH	CN' (ppm)	Peso (kg)	pH	CN' (ppm)	Au (g/m ³)	Ag (g/m ³)	Cu (g/m ³)	Peso (kg)	pH	CN' (ppm)	Au (g/m ³)		Ag (g/m ³)	Cu (g/m ³)	Au (mg)	Ag (mg)	Cu (mg)	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Cal	Cal Ac.	NaCN	NaCN RESIDUAL (gr)	NaCN Ac.	Cal (Kg/TM)	NaCN (Kg/TM)			
12/8/19	0	149.5	149.5	10.5	101																		15.0	15.0	15.3	0.0	15.3	1.01	0.00	5.0	0.0			
13/8/19	1	149.5	149.5	10.5	101																		15.0	29.9	15.3	0.0	30.5	1.01	0.00	20.0	2.5			
14/8/19	2	74.8	74.8	10.6	102																		7.5	37.4	7.6	0.0	38.1	1.01	0.00	31.0	4.3			
15/8/19	3	137.0	137.0	10.6	100																		13.7	51.1	14.0	0.0	52.1	1.02	0.01	58.0	8.8			
16/8/19	4	LA COLUMNA SE ENCHARCO																						51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	69.5	10.7		
17/8/19	5																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	75.0	11.6		
18/8/19	6																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	75.5	11.7		
19/8/19	7																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	75.5	11.7		
20/8/19	8																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	76.5	11.8		
21/8/19	9																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	78.0	12.1		
22/8/19	10																							51.1			0.0	52.1	1.02	0.01	78.0	12.1		
6/4/13 DESCARGA DE MINERAL																																		

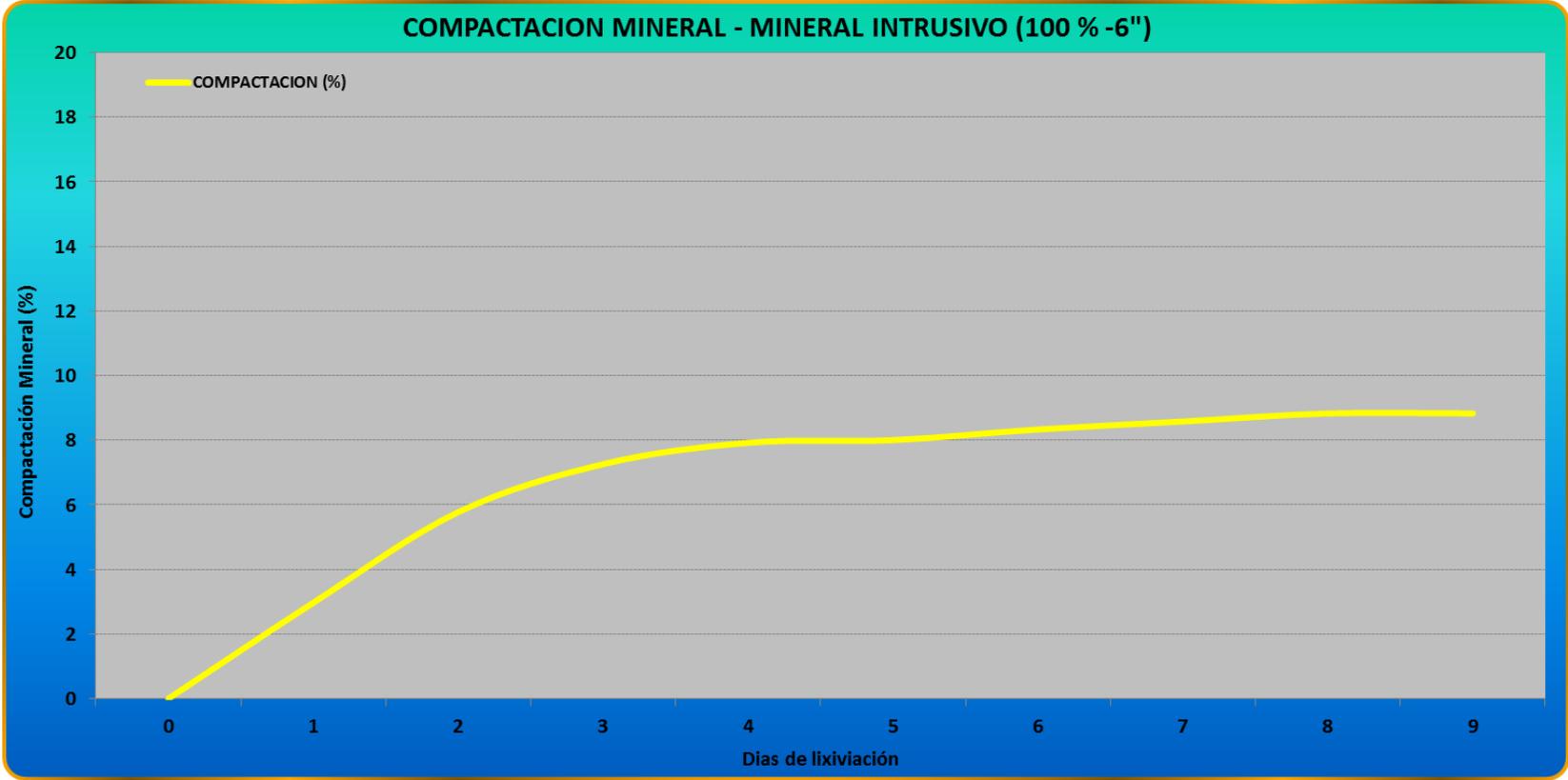
Fuente: Elaboración propia.

Figura N°07.- Compactación mineral INTRUSIVO (ROM)



Fuente: Elaboración propia.

Figura N°08.- Compactación mineral INTRUSIVO (granulometría 100%-6")



Fuente: Elaboración propia.

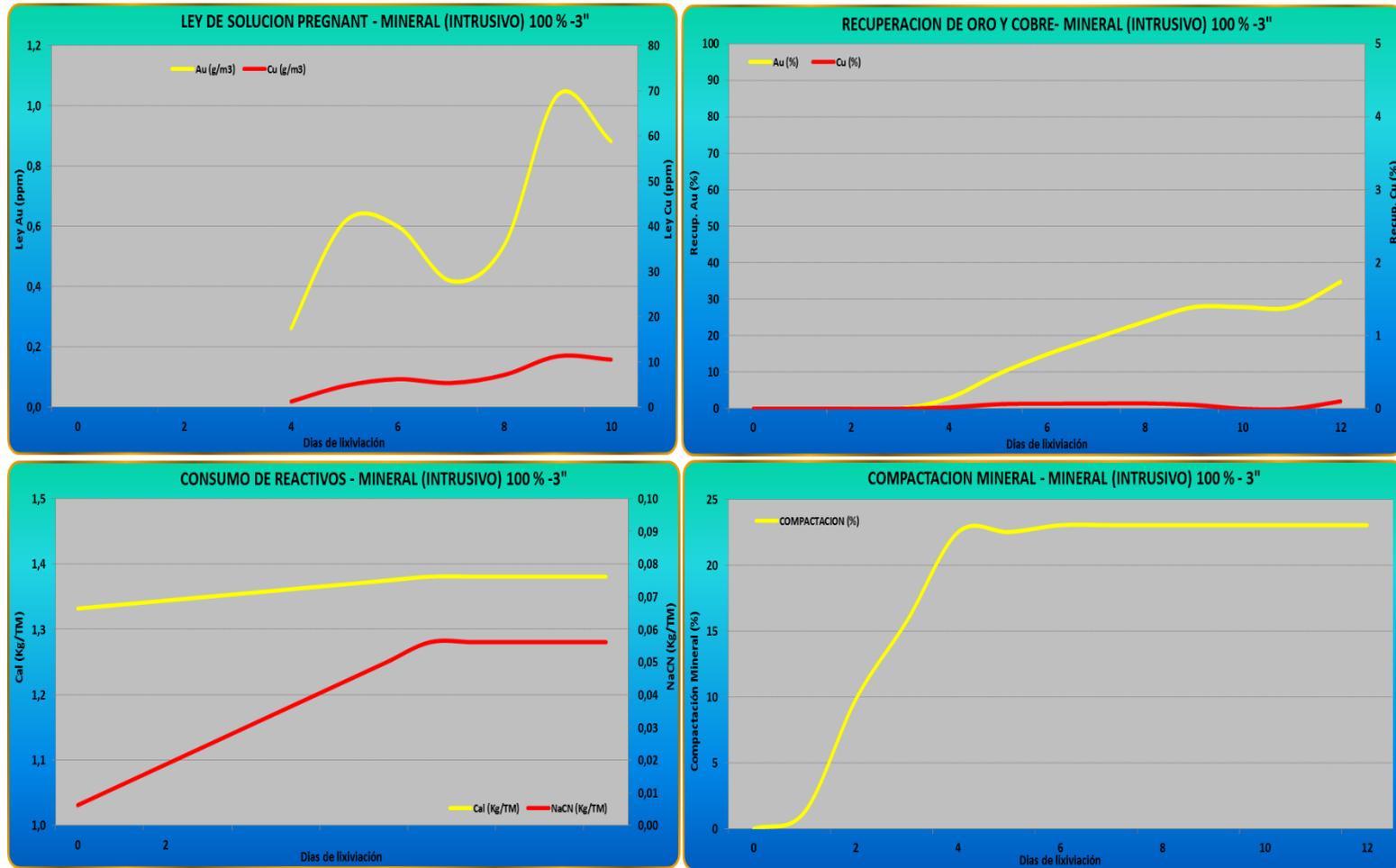
Tabla N° 07.- Prueba de cianuración por percolación en columna con mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3") – Flow Rate

6 l-hr/m²

PRUEBA DE CIANURACION POR PERCOLACION EN COLUMNA CHICAS - (MINERAL INTRUSIVO) - 100 % - 3"																												
Peso seco de Muestra (kg)		75		Inicio de riego		15/08/19 a las 11:00		Altura de mineral antes de lix. (cm)		193		Cabeza calculada Au (g/TM)		#REF!														
Adición de cal (kg/TM)		1.33		Caída de la Primera Gota		19/08/19 a las 10:00		Altura de mineral despues de lix. (cm)		149		Cabeza calculada Ag (g/TM)		#REF!														
Granulometria		100 % - 3"		Cabeza enzayada Au (g/TM)		0.658		Densidad aparente antes de lix. (TM/m ³)		1.21		Cabeza calculada Cu (g/TM)		#REF!														
Altura de Columna (cm)		198		Cabeza enzayada Ag (g/TM)		0.5		Densidad aparente despues de lix. (TM/m ³)		1.57																		
Diametro de Columna (cm)		20		Cabeza enzayada Cu (g/TM)		538		Humedad de rípios (%)																				
Area de Columna (m ²)		0.03		Ripios Au (g/TM)				Velocidad percolacion (m/día)																				
Volumen Util de Columna (m ³)		0.06		Ripios Ag (g/TM)				Finos en columna Cu (mg)		40581																		
Fuerza de Cianuro de Sol. Lix. (ppm)		100		Ripios Cu (g/TM)				Peso de Carbon Activado Humedo (Kg)																				
Flow - rate (lt-h/m ²)		6		Recuperación Au (%)		34.8		Humedad del Carbon Activado (%)																				
Flujo de riego (ml/min)		3		Recuperación Ag (%)		1.5		Peso de Carbon Activado Seco (Kg)																				
Finos en columna Au (mg)		50		Recuperación Cu (%)		0.1		Au en Carbon Activado (g/Kg)																				
				Finos en columna Ag (mg)		38																						
FECHA	DIAS DE LIXIVIACION	SOLUCION LIXIVIACION				SOLUCION PREGNANT						FLOW RATE (lt-h/m ²)	FINOS ACUMULADOS (mg)			RECUPERACION			ADICION DE REACTIVOS : gr					CONSUMO REACTIVOS ACUM		ALTURA VACIA (cm)	COMPACTACION (%)	
		Peso (kg)	Agua Adic. (Kg)	pH	CN ⁻ (ppm)	Peso (kg)	pH	CN ⁻ (ppm)	Au (g/m ³)	Ag (g/m ³)	Cu (g/m ³)		Au	Ag	Cu	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Cal	Cal Ac.	NaCN	NaCN RESIDUAL (gr)	NaCN Ac.	Cal (Kg/TM)	NaCN (Kg/TM)			
15/8/19	0	4.7	4.7	10.6	101												0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	1.33	0.01	4.5	0.0
16/8/19	1	4.7	4.7	10.5	100												0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	0.5	0.0	0.9	1.34	0.01	7.0	1.3
17/8/19	2	4.7	4.7	10.6	101												0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	0.5	0.0	1.4	1.34	0.02	23.5	9.8
18/8/19	3	4.7	4.7	10.6	102												0.0	0.0	0.0	0.5	1.8	0.5	0.0	1.9	1.35	0.02	35.0	15.8
19/8/19	4	4.7	4.7	10.5	101	5.50	11.5	5.00	0.26	0.01	1.28	6.1	1.44	0.06	7.06		2.9	0.2	0.0	0.5	2.3	0.5	0.1	2.3	1.36	0.03	48.0	22.5
20/8/19	5	4.7	4.7	10.5	104	5.30	10.9	5.00	0.62	0.01	4.73	6.1	4.70	0.12	25.06		9.5	0.3	0.1	0.5	2.8	0.5	0.1	2.7	1.36	0.04	48.0	22.5
21/8/19	6	4.7	4.7	10.5	102	4.50	8.7	5	0.60	0.01	6.22	6.1	7.40	0.17	27.99		14.9	0.4	0.1	0.5	3.2	0.5	0.0	3.1	1.37	0.04	49.0	23.1
22/8/19	7	4.7	4.7	10.5	104	5.4	9.8	6	0.42	0.05	5.38	6.1	9.64	0.45	28.77		19.4	1.2	0.1	0.5	3.7	0.5	0.1	3.6	1.37	0.05	49.0	23.1
23/8/19	8	4.7	4.7	10.6	102	4.1	9.9	6	0.54	0.01	7.18	6.1	11.85	0.50	29.42		23.9	1.3	0.1	0.5	4.1	0.5	0.0	4.0	1.38	0.05	49.0	23.1
24/8/19	9	LA COLUMNA SE ENCHARCO				1.9	10.4	5	1.04	0.01	11.30	0.0	13.82	0.52	21.47		27.8	1.4	0.1		4.1		0.0	4.0	1.38	0.05	49.0	23.1
25/8/19	10										0.0	13.82	0.52	0.00		27.8	1.4	0.0		4.1		0.0	4.0	1.38	0.05	49.0	23.1	
26/8/19	11										0.0	13.82	0.52	0.00		27.8	1.4	0.0		4.1		0.0	4.0	1.38	0.05	49.0	23.1	
27/8/19	12					3.9	10.3	8	0.88	0.01	10.55	0.0	17.26	0.56	41.15		34.8	1.5	0.1		4.1		0.1	3.9	1.38	0.05	49.0	23.1
2/4/13	DESCARGA DE MINERAL																											

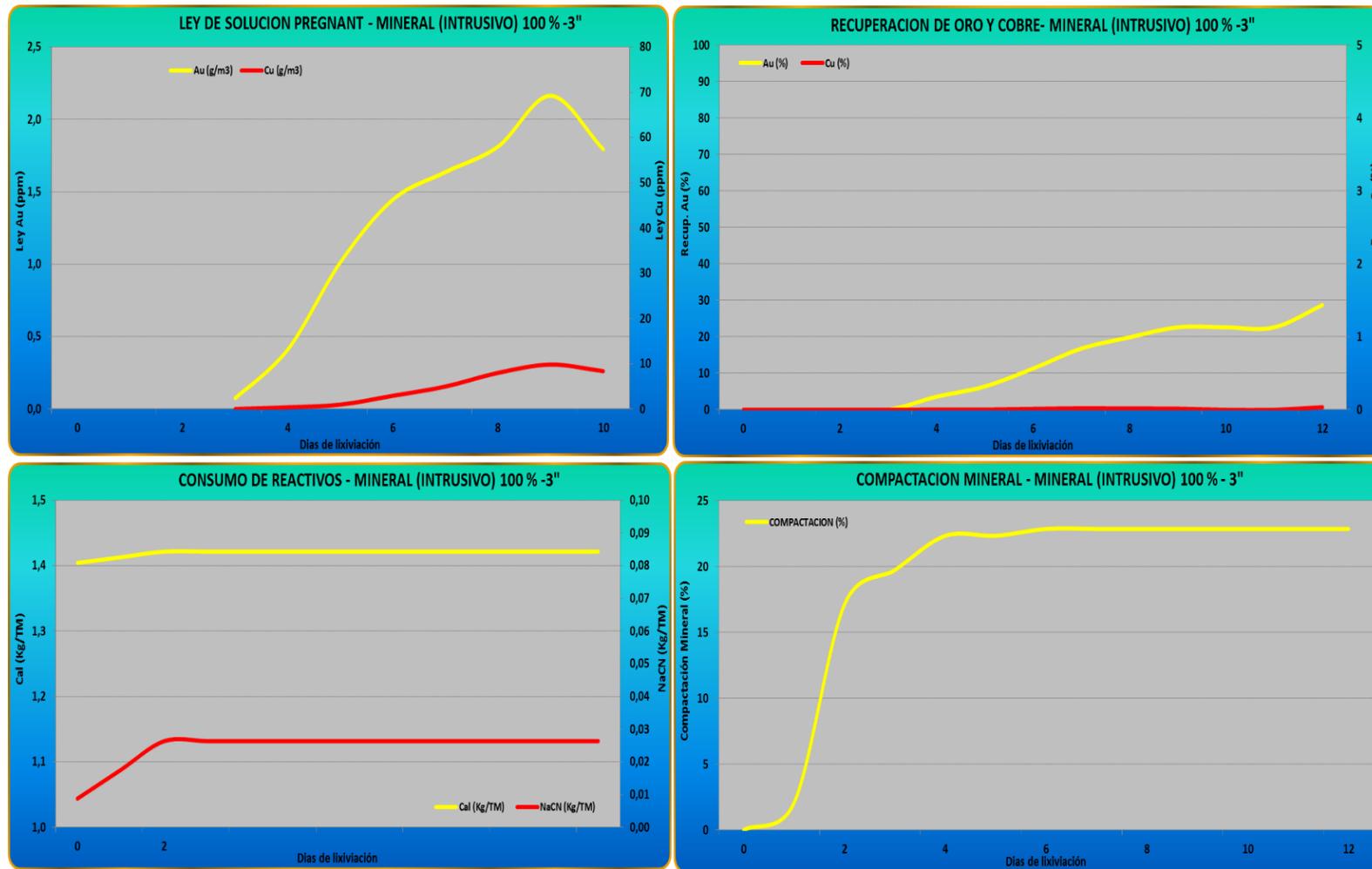
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 09 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3'') – Flow Rate 6 l-hr/m²



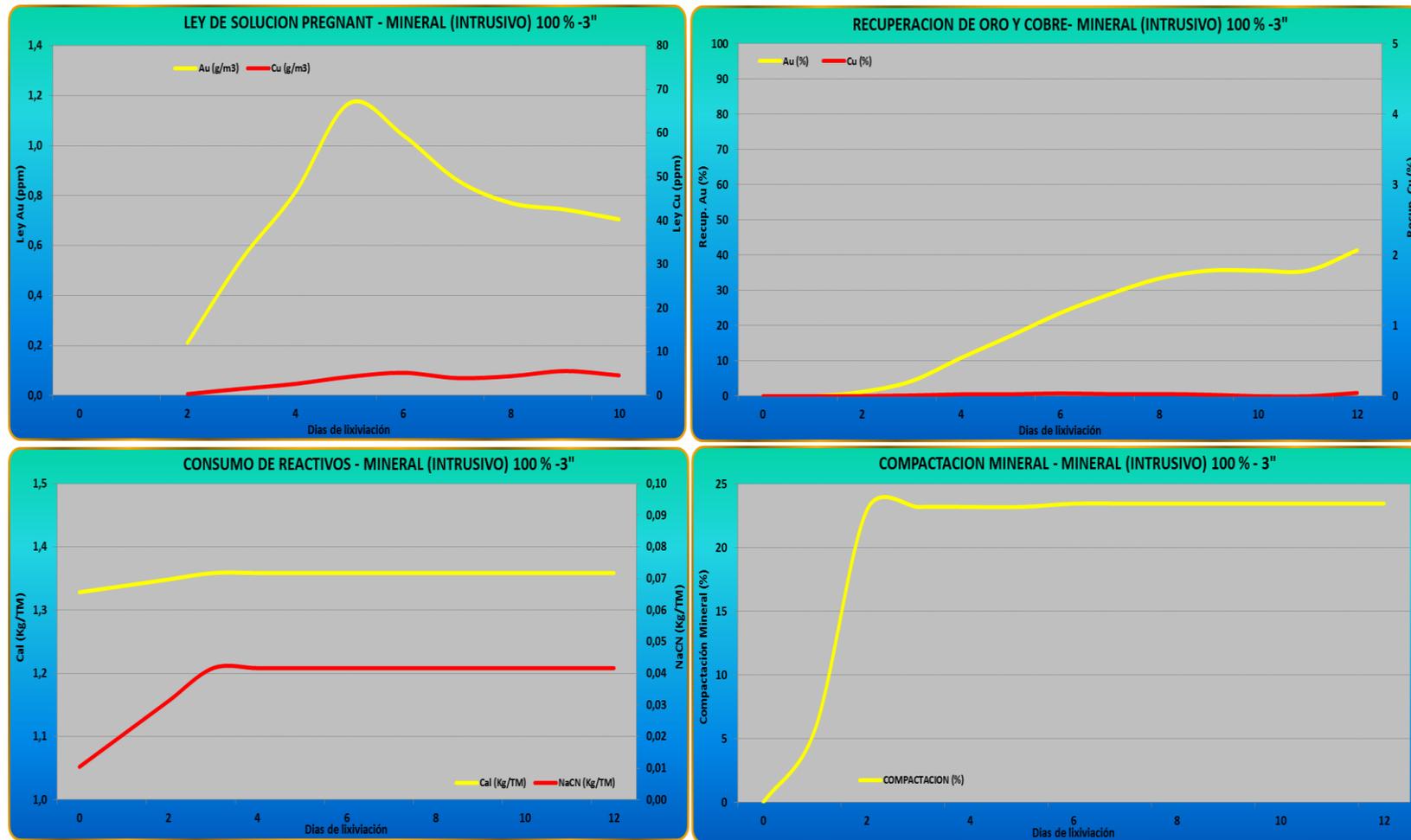
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 10.- Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3'') – Flow Rate 8 l-hr/m²



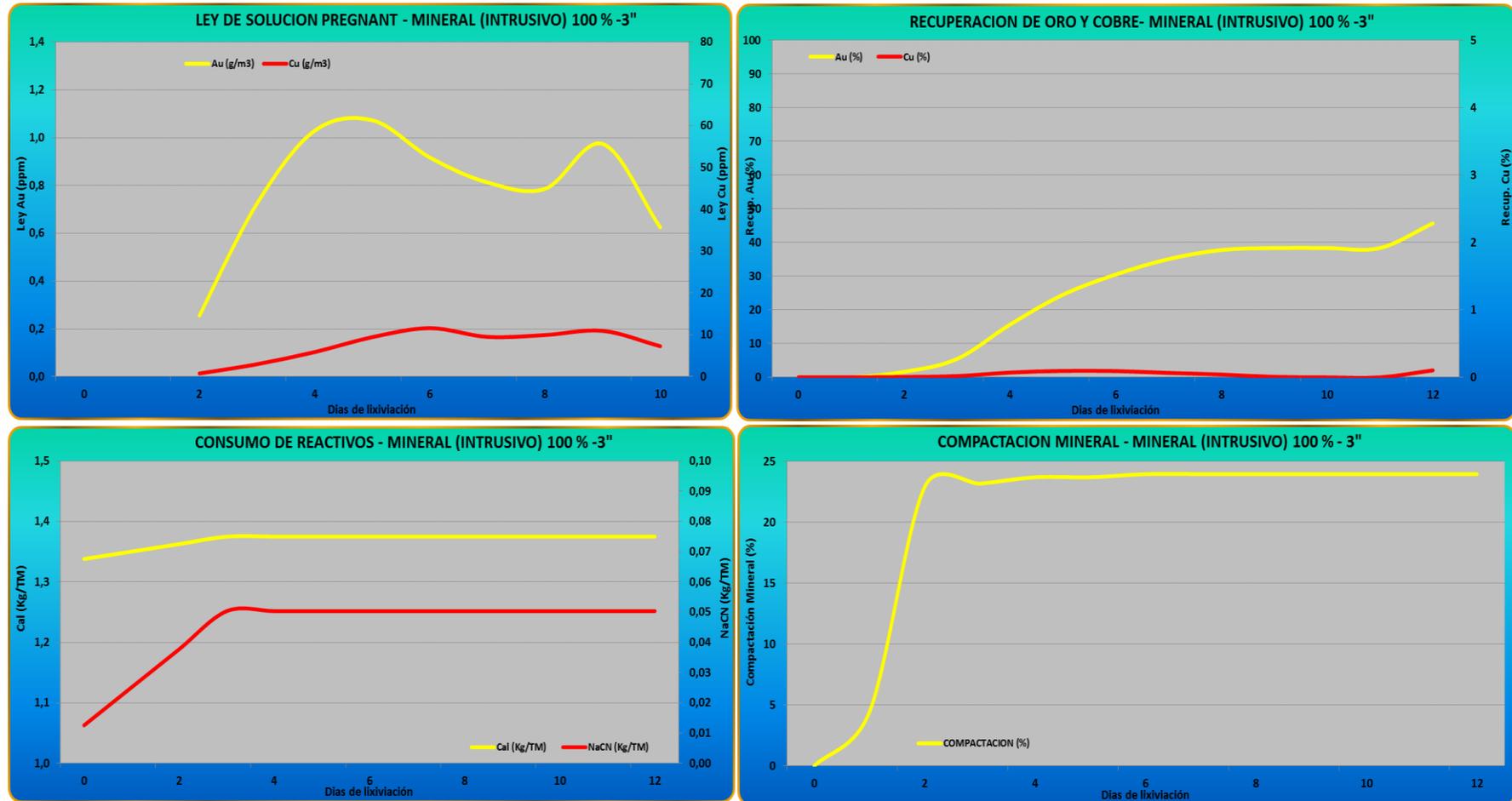
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 11.- Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3") – Flow Rate 10 l-hr/m²



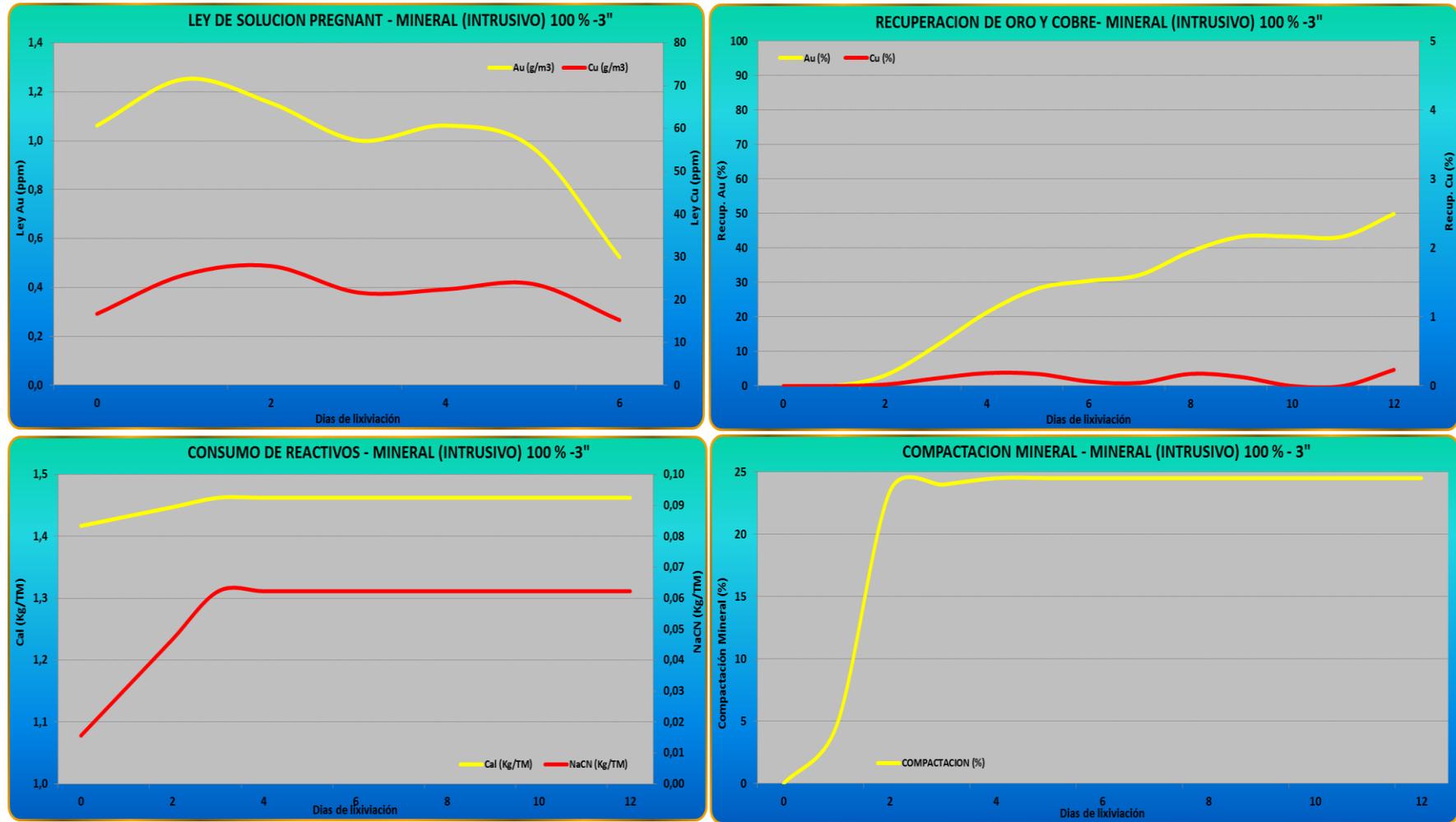
Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 12 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3'') – Flow Rate 12 l-hr/m²



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 13 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral **INTRUSIVO** (granulometría 100%-3'') – Flow Rate 14 l-hr/m²



Fuente: Elaboración propia

3.8 Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Los instrumentos de investigación han sido diseñados por reconocidos ingenieros que han perfeccionado con el transcurso de los años a fin de tener una mayor caracterización de los procesos y operaciones que se están investigando.

Las confiabilidades de los instrumentos han sido validados durante el transcurso de los años en el Laboratorio Metalúrgico.

3.9 Orientación ética

La presente investigación tiene una orientación práctica para el cual se han trabajado con los datos proporcionados con el Laboratorio Metalúrgico, los datos cuentan con la veracidad y confiabilidad proporcionado por Laboratorio metalúrgico que a la vez estos datos han sido validados por los laboratorios que sirven de control de calidad en los ensayos de las diferentes pruebas realizadas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Descripción del trabajo de campo.

4.1.1 Preparación de las Muestras y Blending:

4.1.1.1 Chancado a 100% - 1”:

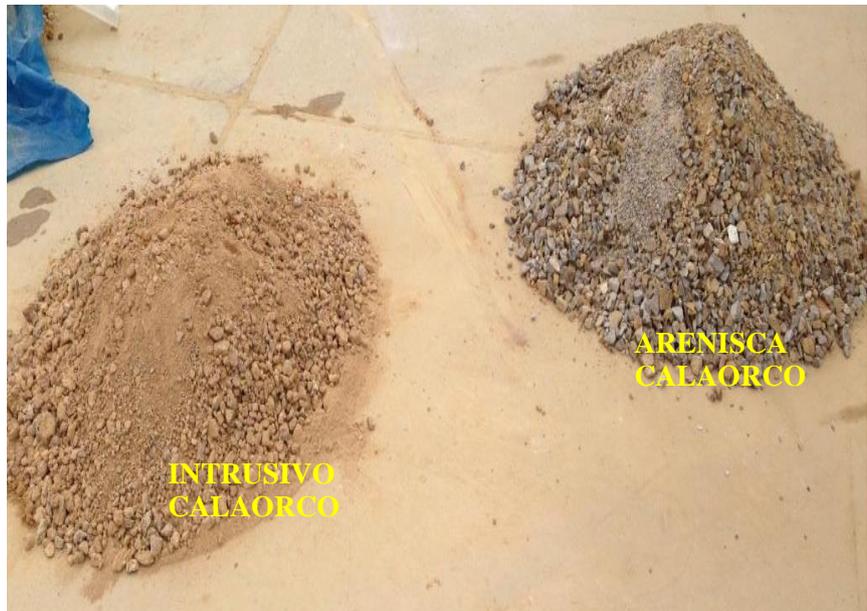
Las muestras de mineral: Intrusivo Calaorco y arenisca Calaorco, fueron chancadas en la trituradora primaria de laboratorio metalúrgico, en forma independiente (ver foto 5).

Foto N°05: Muestras de mineral intrusivo Calaorco y arenisca Calaorco



Fuente: Elaboración propia

Foto N°06: Muestras de mineral Intrusivo Calaorco y Arenisca Calaorco



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.2 Tamizado en malla de 1”:

Las muestras una vez chancado, se procedió a pasar por una malla metálica de 1” de abertura, esto con la finalidad de asegurar que la granulometría del mineral sea 100% - 1” (ver foto 07).

Foto N°07: Tamizado del mineral chancado en malla metálica de 1”



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3 Homogenización de la muestra

Después de ser chancado el mineral y tamizado en malla 1", se procede a homogenizar en forma independiente para poder sacar las partes para conformar el blending (ver foto 8).

Foto N° 08: Homogenización de la muestra de mineral Intrusivo Calaorco y Arenisca Calaorco



Fuente: Elaboración propia

4.1.1.4 Conformado del blending:

Del mineral arenisca Calaorco se toma 300 Kg y del mineral Intrusivo Calaorco se toma 150 Kg, ambas se juntan y se homogeniza. Luego se toma la muestra para Lima 200 Kg y el restante queda en el laboratorio metalúrgico para la realización de las pruebas metalúrgicas (ver foto 9).

Foto N°09: Homogenización de la muestra de mineral Intrusivo Calaorco y Arenisca Calaorco



Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Proceso de lixiviación en columnas:

Se verificó las venoclisis, equipos de pesado e instrumentos de medición que se encuentren en perfectas condiciones, debidamente calibrados. Después de llenar la columna, se regó con solución cianurada a una concentración de CN^- de 100 ppm a las columnas (que contenían mineral blendeado al ratio de INTRUSIVO de tajo Calaorco / ARENISCA: 20/80, 30/70 y 40/60 respectivamente) y con un flow rate de 8 l/hr-m². Para las columnas (que contenían mineral blendeado al ratio de INTRUSIVO de tajo Ethel / ARENISCA: 30/70 y 40/60 respectivamente) se regó con solución lixivante de 150 ppm de CN^- ; estas también se regaron a un flow rate de 8 l/hr-m².

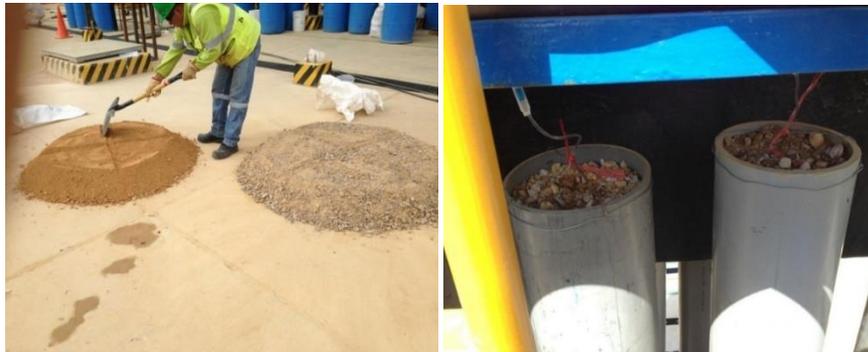
Se tomó el tiempo de inicio del riego hasta que la solución cayera por primera vez del fondo de la columna; este dato nos permite calcular la velocidad de percolación de la solución lixivante. Se pesó el volumen de solución colectada durante 24 horas y se determinó su densidad. A la hora del control de la columna, se tomaron los siguientes parámetros: peso de la

solución pregnant y lixiviación, altura vacía de columna, toma de muestras líquidas para análisis químico, CN^- , pH.

La solución pregnant se descartó y se preparó solución de lixiviación nueva; de esta manera se afirma que el circuito fue abierto (y no cerrado como en la escala industrial). Se hizo un control diario de análisis químico de soluciones, control minucioso de los flujos de riego y caída de solución pregnant.

Terminado el riego del mineral, se dejó escurrir por un tiempo aproximado de 1 día. Durante el escurrimiento, también se pesó la solución, se tomó muestra y se hicieron todos los controles (pH, CN^- y análisis químico por Au, Ag y Cu).

Foto N°10.- (a) Vista de solución de lixiviación, (b) Riego del mineral en columnas



Fuente: Elaboración propia

4.2 Presentación, análisis e interpretación resultados:

4.2.1 Resultados de la prueba de cianuración por percolación en columnas:

La tabla N° 12 presenta un resumen de la extracción de oro y cobre del mineral INTRUSIVO (Tajos Calaorco y Ethel) que fue blendeado con ARENISCA.

Al blendear el mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco) con mineral ARENISCA, se observa que al lixiviar a 100 ppm de CN^- , no tiene influencia en la extracción de oro (88% de extracción promedio); sin embargo se aprecia que disminuye la extracción de cobre conforme aumenta la proporción del mineral ARENISCA (8% de extracción de Cu para 80% mineral ARENISCA y 5% de extracción de Cu para 60% de mineral ARENISCA), este efecto es consecuencia a que la presencia de cobre en la cabeza de mineral se triplica y por ende la fracción de cobre disuelto por el cianuro de sodio es menor. Para este tipo de blending, se tiene un consumo de 0,14 Kg NaCN/TM de mineral y un ratio de consumo de cal equivalente a 1,9 Kg/TM de mineral.

Similar comportamiento se tiene para el blending del mineral de INTRUSIVO (tajo Ethel) con mineral ARENISCA, solo que el efecto al lixiviar a 150 ppm de CN^- no es muy notorio, obteniendo una extracción de oro de 90% y 6% en cobre. Se tiene un consumo de 0,19 Kg NaCN/TM de mineral y 2 Kg CaO/TM de mineral.

Con respecto al asentamiento del mineral, se tiene que un 2,5% se compacta el mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco) y mineral ARENISCA; mientras

que el mineral INTRUSIVO (tajo Ethel) y mineral ARENISCA solo se compacta el 1,2%.

Tabla N° 12.- Resultados de las pruebas de cianuración por percolación en columnas con mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel) blendeado con ARENISCA

COLUMNA	MINERAL	GRANULO METRIA	CN EN LIXIVIACION (ppm)	DIAS DE LIXIVIACION	LEY CABEZA PONDERADA (gr/tn)			EXTRACCION (%)			CONS. REACTIVOS (Kg/tn)		pH TRABAJO	ASENTAMIENTO MINERAL (%)	
					Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu	NaCN	Cal			
8	20%INTRUSIVO CALAORCO + 80% ARENISCA	100% - 1"	100	19	0,237	0,67	182	88,2	25,1	8,1	0,12	1,6	11,5	2,7	
9	30%INTRUSIVO CALAORCO + 70% ARENISCA				0,280	0,60	319	88,2	16,3	6,8	0,13	1,9	11,5	2,4	
10	40%INTRUSIVO CALAORCO + 60% ARENISCA				0,326	0,57	620	87,4	12,7	5,0	0,16	2,2	11,5	2,3	
11	30%INTRUSIVO ETHEL + 70% ARENISCA		150		150	0,272	0,55	279	91,2	9,0	6,2	0,19	1,9	11,6	1,4
12	40%INTRUSIVO ETHEL + 60% ARENISCA					0,333	0,57	325	90,4	12,3	6,0	0,18	2,1	11,5	0,9

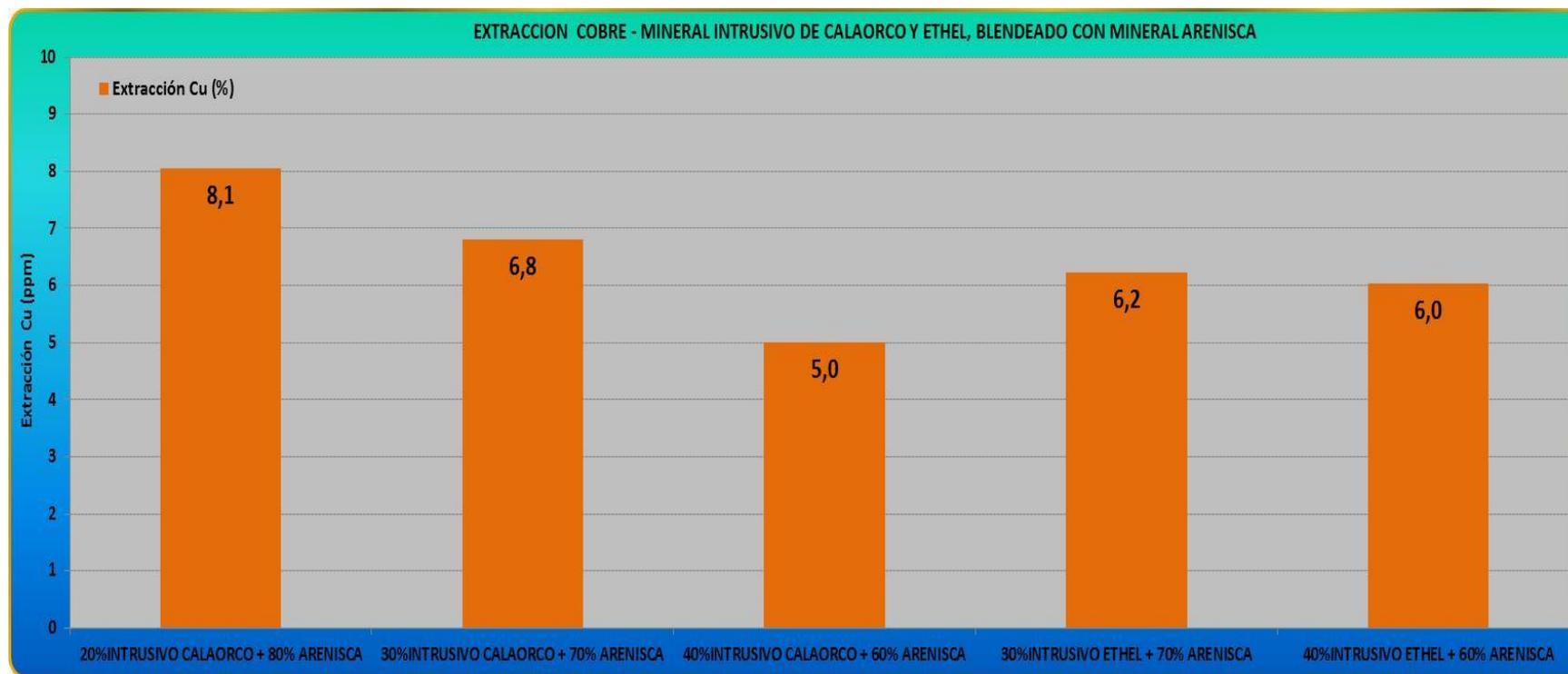
Fuente: Elaboración propia

Figura N°14.- Extracción de oro en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel) blendeado con ARENISCA



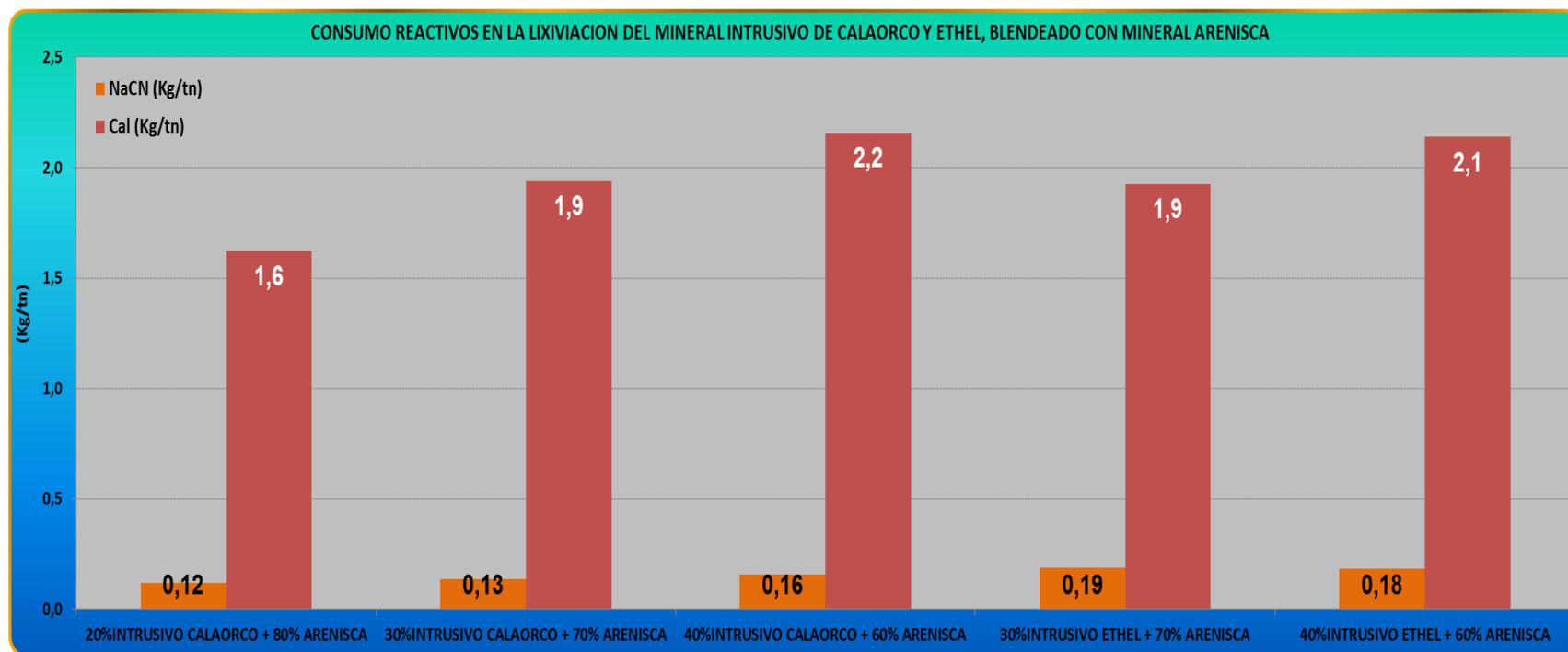
Fuente: Elaboración propia

Figura N°15.- Extracción de cobre en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel) blendado con ARENISCA



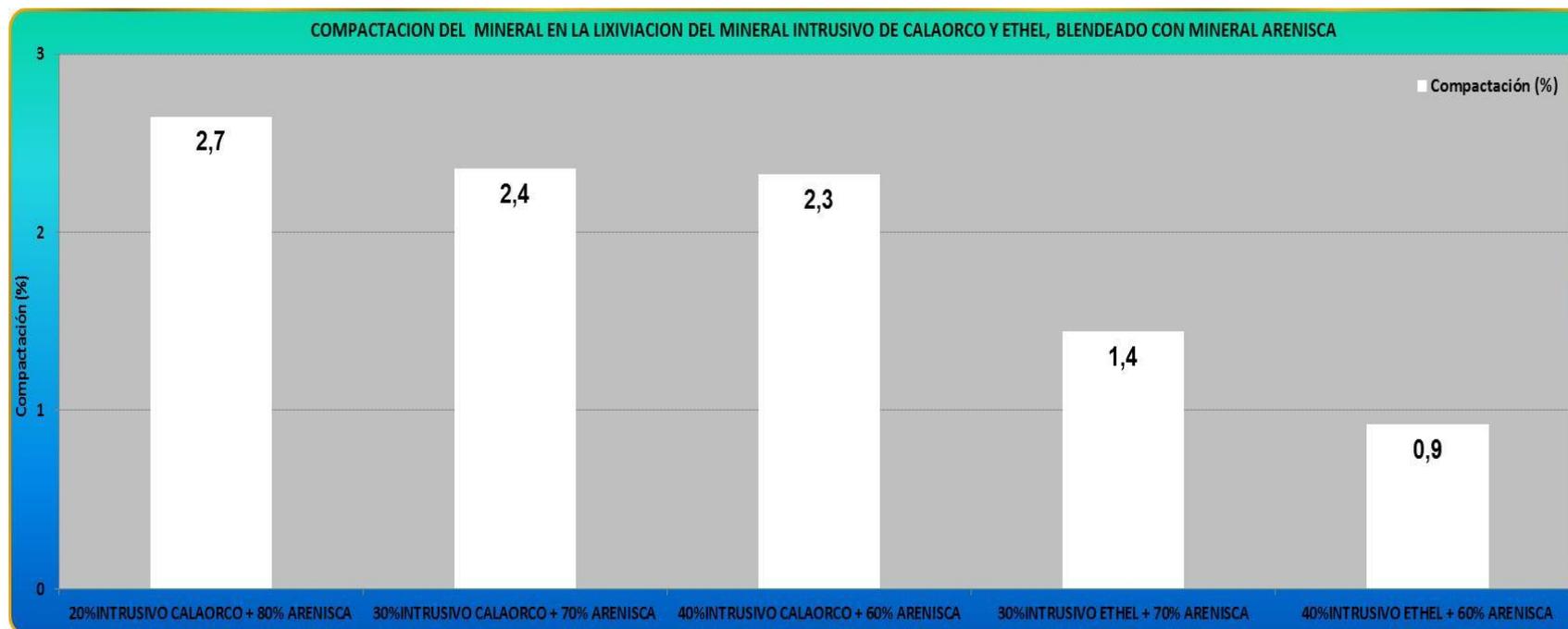
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 16.- Consumo de reactivos en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel) blendado con ARENISCA



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 17.- Asentamiento del mineral en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel) blendeado con ARENISCA



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°13.- Extracción diaria de oro en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel)

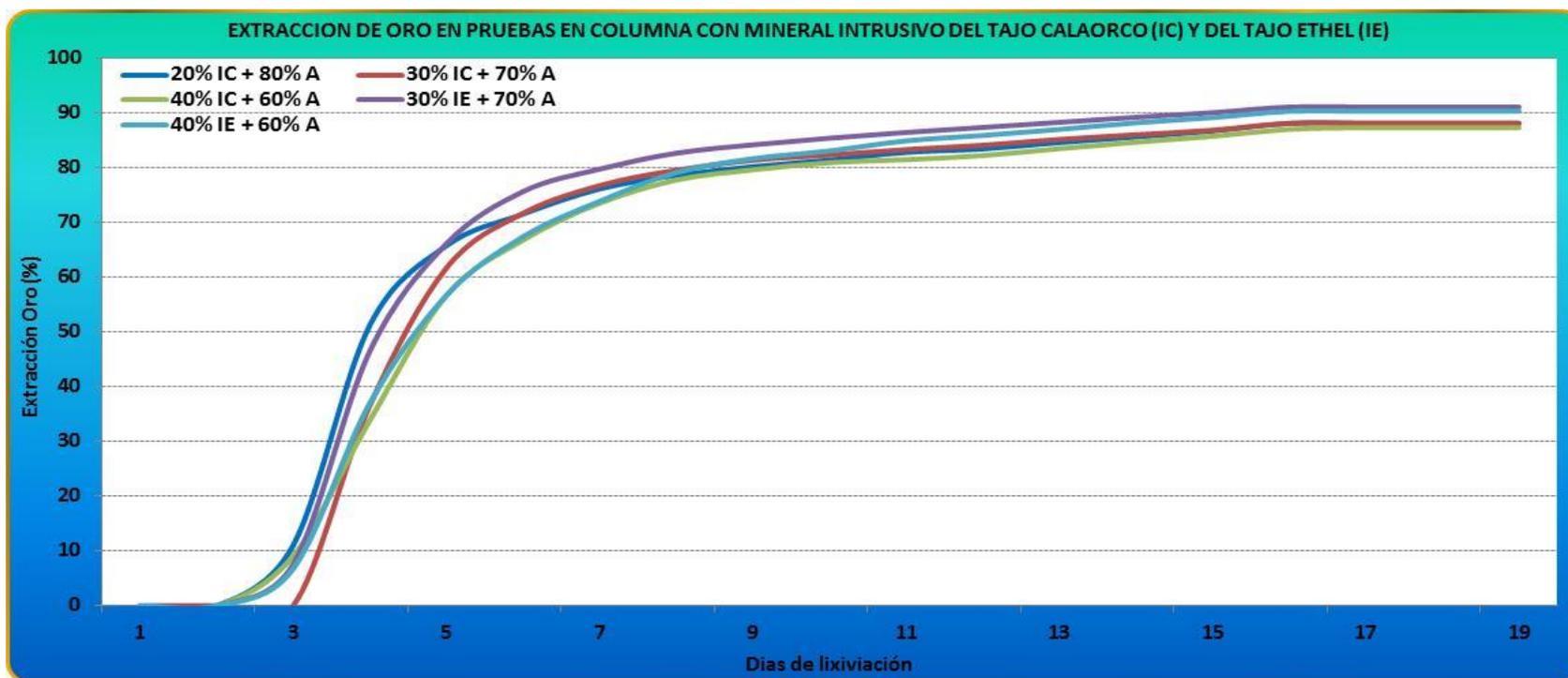
blendeado con ARENISCA

DIAS DE LIXIVIACION	EXTRACCION ORO (%)				
	100 ppm CN ⁻	100 ppm CN ⁻	100 ppm CN ⁻	150 ppm CN ⁻	150 ppm CN ⁻
	20% IC + 80% A	30% IC + 70% A	40% IC + 60% A	30% IE + 70% A	40% IE + 60% A
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	11,0	0,0	9,1	7,5	6,7
4	51,3	36,6	33,9	46,5	37,0
5	65,8	61,8	56,7	66,2	56,7
6	71,6	71,7	66,8	75,7	67,5
7	76,2	76,8	73,6	79,8	73,9
8	78,7	79,6	77,8	82,8	79,2
9	80,3	81,4	79,7	84,3	81,7
10	81,5	82,4	81,0	85,5	83,2
11	82,9	83,4	81,6	86,5	85,0
12	83,5	84,2	82,3	87,5	86,0
13	84,7	85,3	83,6	88,4	87,1
14	85,7	86,1	84,8	89,3	88,3
15	86,8	86,9	85,8	90,2	89,3
16	88,2	88,2	87,1	91,2	90,4
17	88,2	88,2	87,4	91,2	90,4
18	88,2	88,2	87,4	91,2	90,4
19	88,2	88,2	87,4	91,2	90,4

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 18.- Extracción diaria de oro en la cianuración por percolación en columnas del mineral INTRUSIVO (Tajo Calaorco y Ethel)

Blendeado con ARENISCA



Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Descarga de columnas:

Procedimiento

Después de terminado el proceso de lixiviación, se procedió a descargar los rípios de las columnas de PVC en la plataforma del laboratorio metalúrgico, luego se extiende y se muestrea independientemente cada columna de varios puntos para determinar la humedad de los rípios y su análisis químico, la humedad de los rípios se muestra en la tabla N°14.

Tabla N° 14.- Humedad de rípios del mineral cianurado

COLUMNA	MINERAL	HUMEDAD RIPIOS (%)
8	20%INTRUSIVO CALAORCO + 80% ARENISCA	16,5
9	30%INTRUSIVO CALAORCO + 70% ARENISCA	16,2
10	40%INTRUSIVO CALAORCO + 60% ARENISCA	15,5
11	30%INTRUSIVO ETHEL + 70% ARENISCA	16,1
12	40%INTRUSIVO ETHEL + 60% ARENISCA	16,0

Fuente: Elaboración propia

4.3 Prueba de hipótesis

La extracción de oro de mineral intrusivo a través del blending, se logró mejorar el grado la extracción del oro contenido en el mineral del tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena, así tenemos que las mejores recuperaciones son 30% intrusivo Calaorco y 70% Arenisca con extracciones de 88,2% Au.

Prueba de Hipótesis Especifica

- 1) Los factores que impiden mejorar el grado de extracción de Au de mineral intrusivo son la poca porosidad que ofrece el mineral intrusivo, para mejorar el grado de extracción de Au es necesario el blending en un porcentaje de 30% arenisca y 70 % mineral del Tajo Calaorco
- 2) Los análisis, ensayos, pruebas experimentales nos muestran que el mineral intrusivo al 100% la recuperación es 0% a bajos flujos de percolación de 6 l-hr/m²
- 3) La máxima recuperación que se tiene con mineral intrusivo 100% es de 49,9% con un flujo de 14 l-hr/m² pero cuando realizamos el blending se tiene recuperaciones de 88,2% teniendo un incremento de 38,3% de recuperación de Au.

4.4 Discusión de resultados.

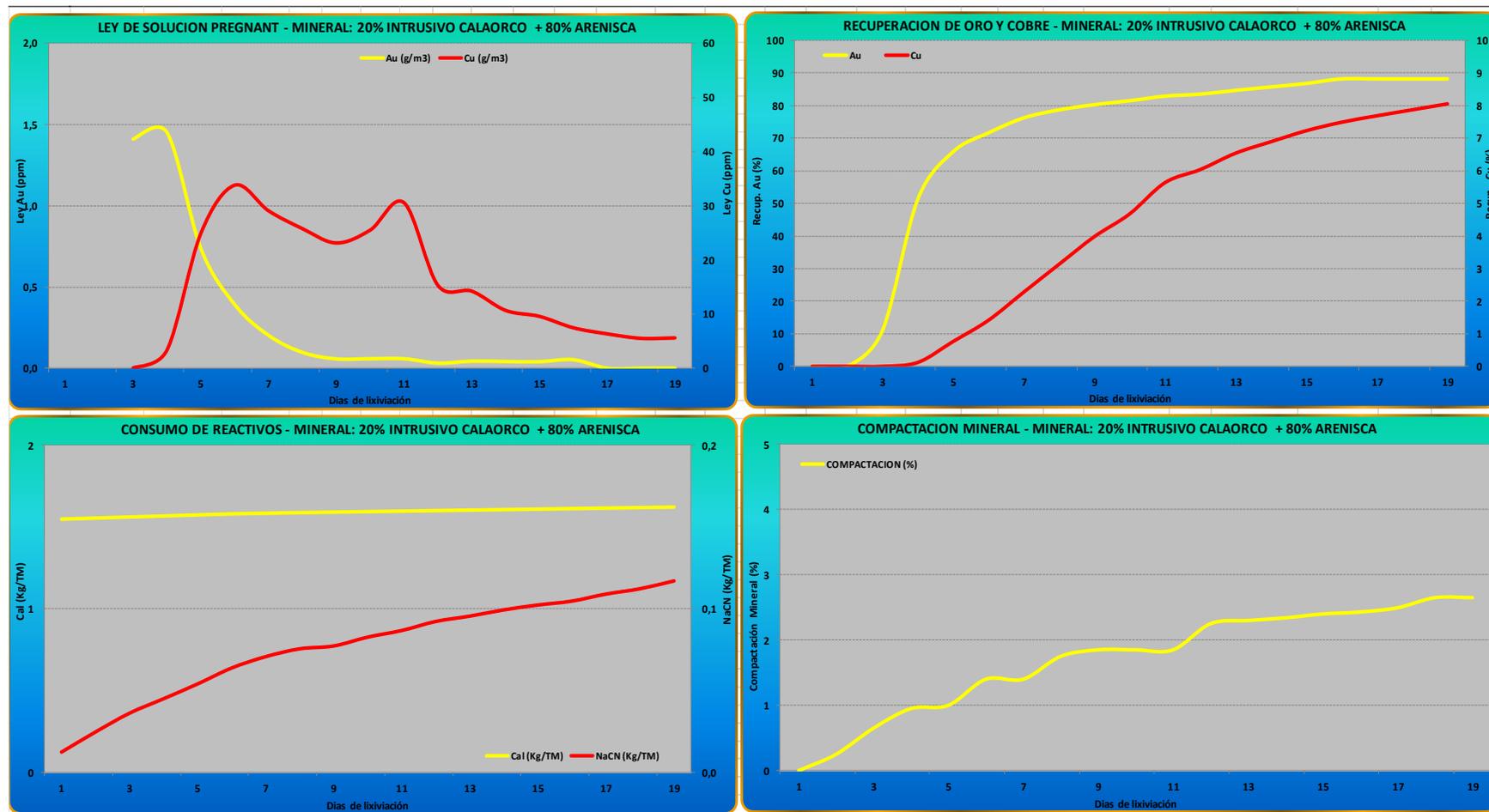
En coordinación con el área de Geología Ore Control, se decide hacer pruebas de cianuración por percolación en columnas utilizando una muestra representativa del tajo Calaorco, identificada como **INTRUSIVO**. Esta muestra presenta una ley en oro que tiene como promedio 0,3465 g Au/TM, 3,1 g Ag/TM y 622,5 g Cu/TM.

Se realizaron pruebas preliminares de lixiviación por agitación en botellas Al término de 48 hr de agitación, al lixiviar a una concentración de CN⁻ con 100 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,26 Kg NaCN/TM logrando extraer el 82% del Au y el 9,2% de Cu. Al lixiviar a una concentración de CN⁻ de 150 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,42 Kg NaCN/TM logrando extraer el 87% del Au y el 11,2% de Cu.

Para las pruebas en columna del mineral **INTRUSIVO** (tajo Calaorco), se observa que al lixiviar a 100 ppm de CN⁻, no tiene influencia en la extracción de oro (**NO SE TIENE RESULTADOS DE PERCOLACION.**) cuando se trabaja con granulometría ROM (mineral directo de mina) y mineral 100% - 6” pero las recuperaciones altas son de 49,9% de Au, 0,9% de Ag y 0,2% de Cu para el mineral de 100% - 3” con un flujo de riego de 14 l/hr-m².

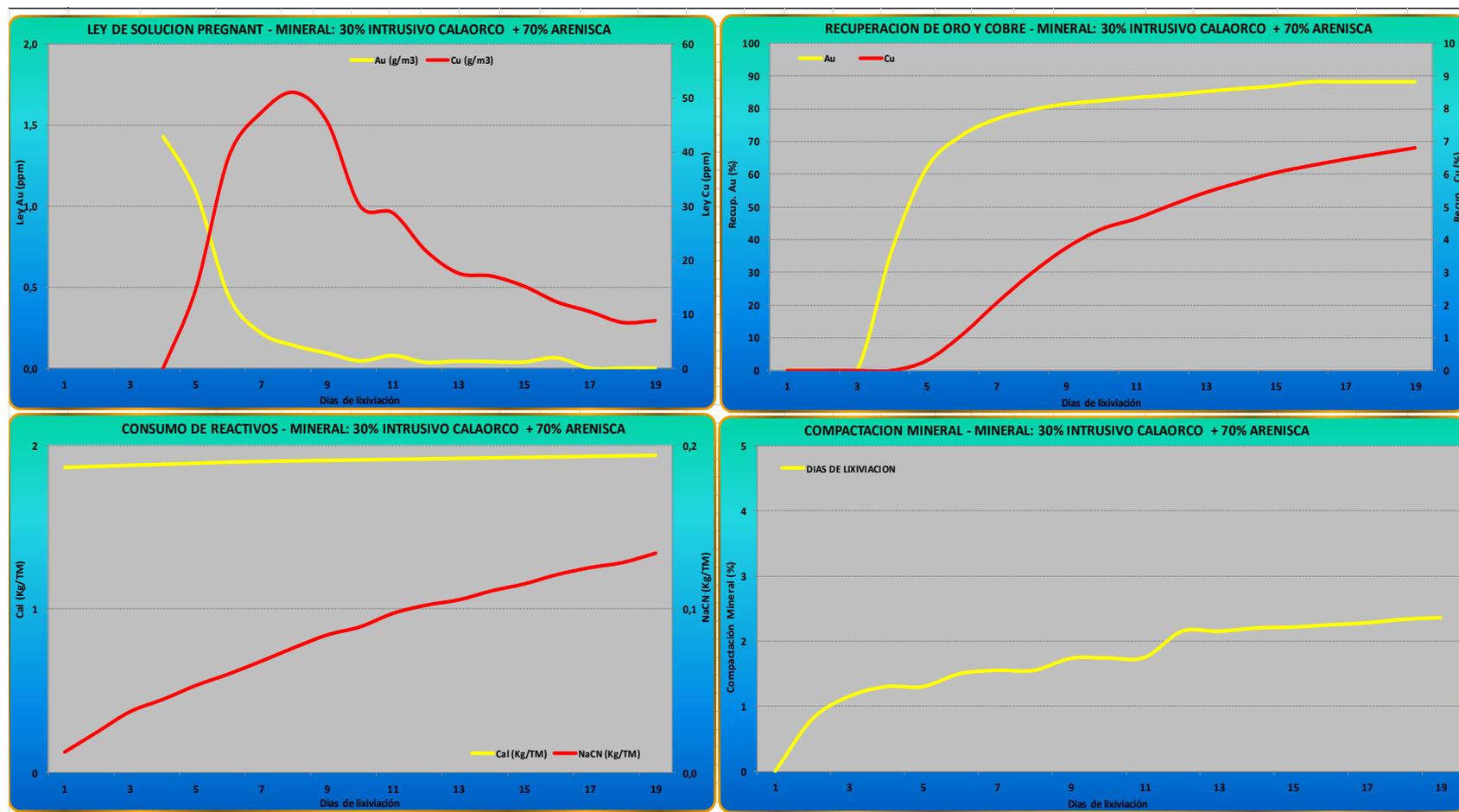
En vista que **el mineral INTRUSIVO por sí solo no percola**, es necesario realizar el blending con **ARENISCA**, así tenemos que las mejores recuperaciones son 30% con intrusivo del tajo Calaorco y 70% Arenisca con extracciones de 88,2% de oro..

Figura N° 19 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (20% INTRUSIVO Calaoorco + 80% ARENISCA -100 ppm CN⁻)



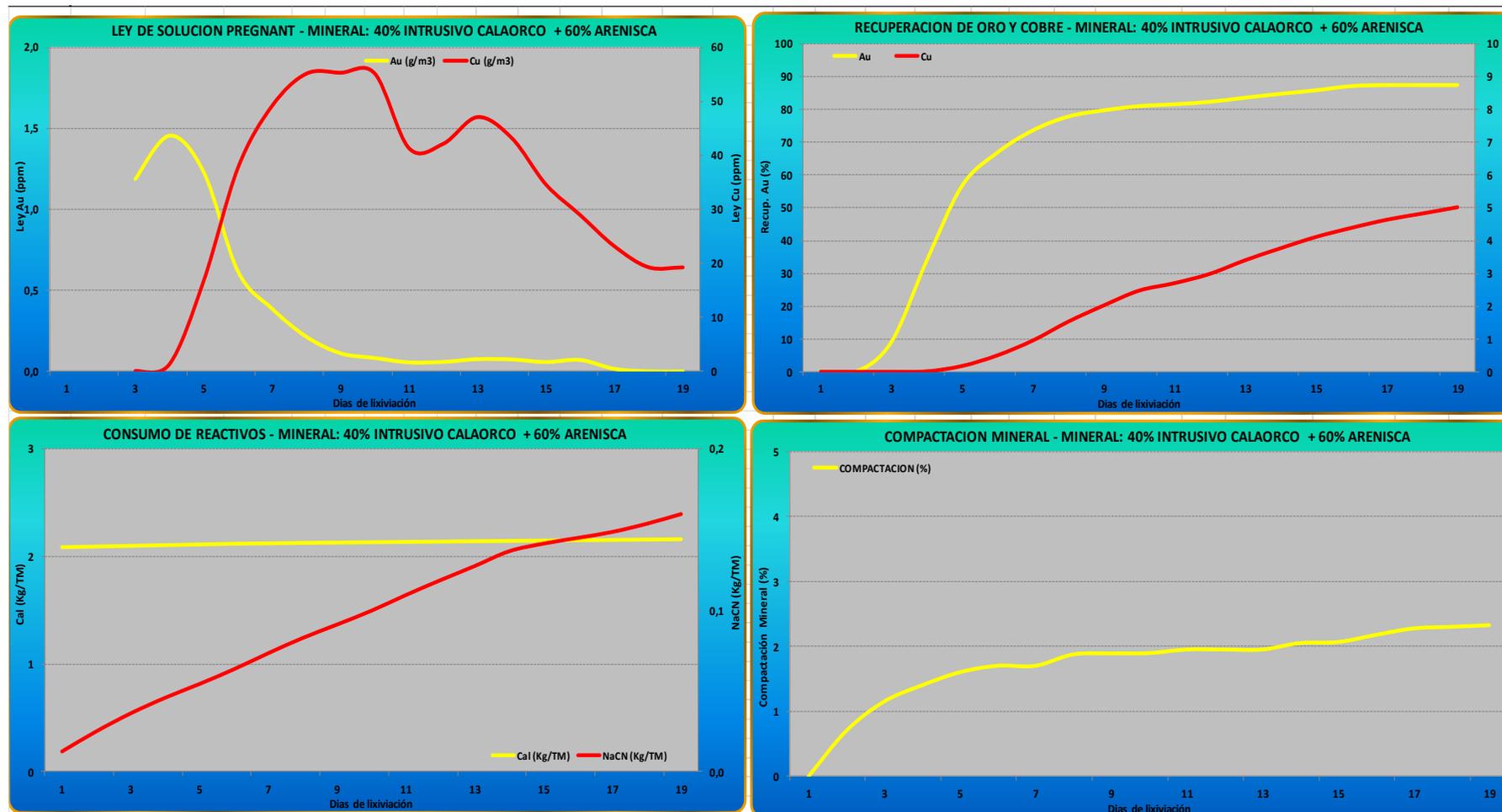
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 20 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (30% INTRUSIVO Calaoorco + 70% ARENISCA –100 ppm CN-



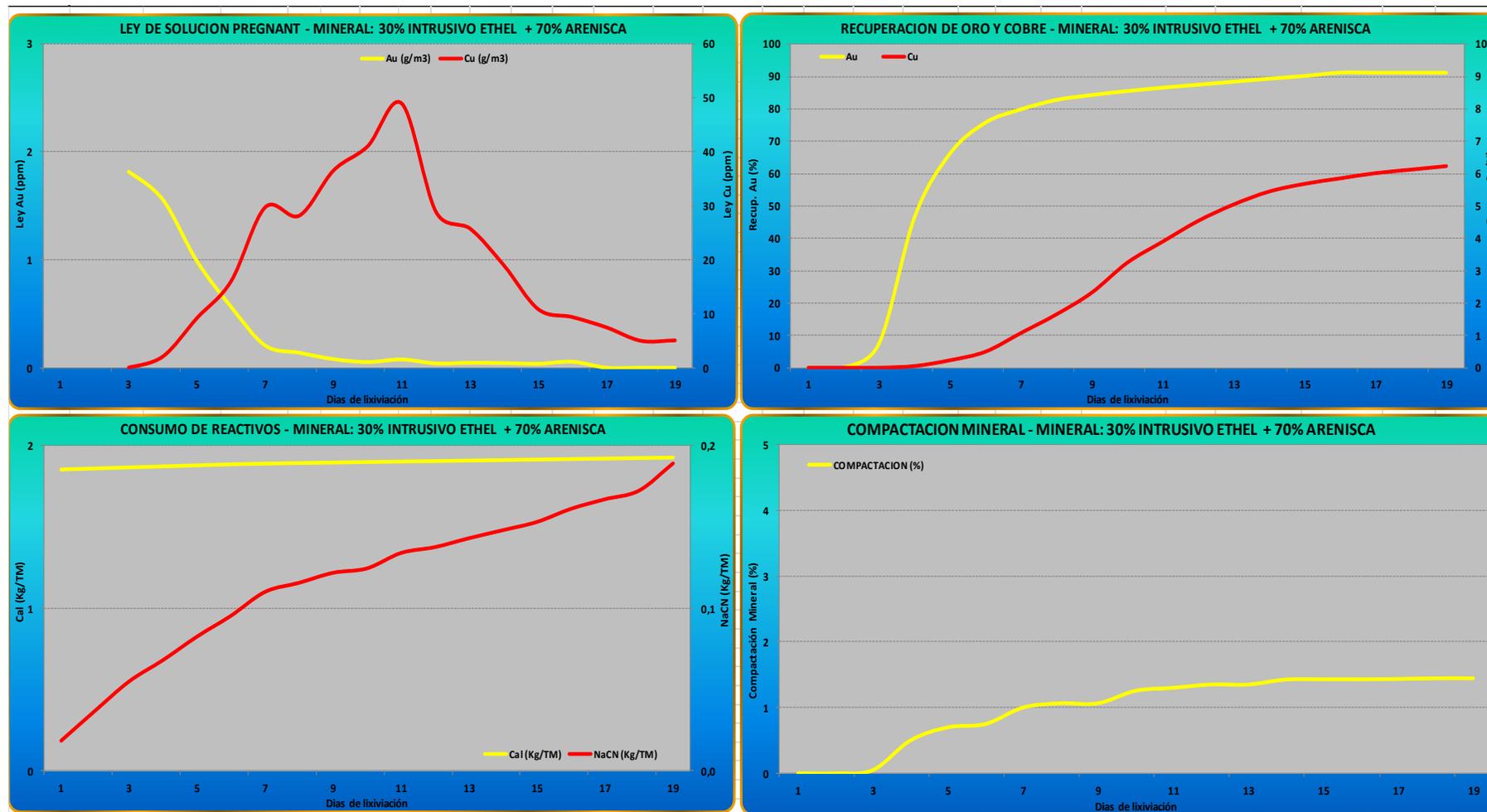
Fuente: Elaboración propia

Figura N° 21 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (40% INTRUSIVO Calaoorco + 60% ARENISCA –100 ppm CN-



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 22 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (30% INTRUSIVO Ethel + 70% ARENISCA – 150 ppm CN-)

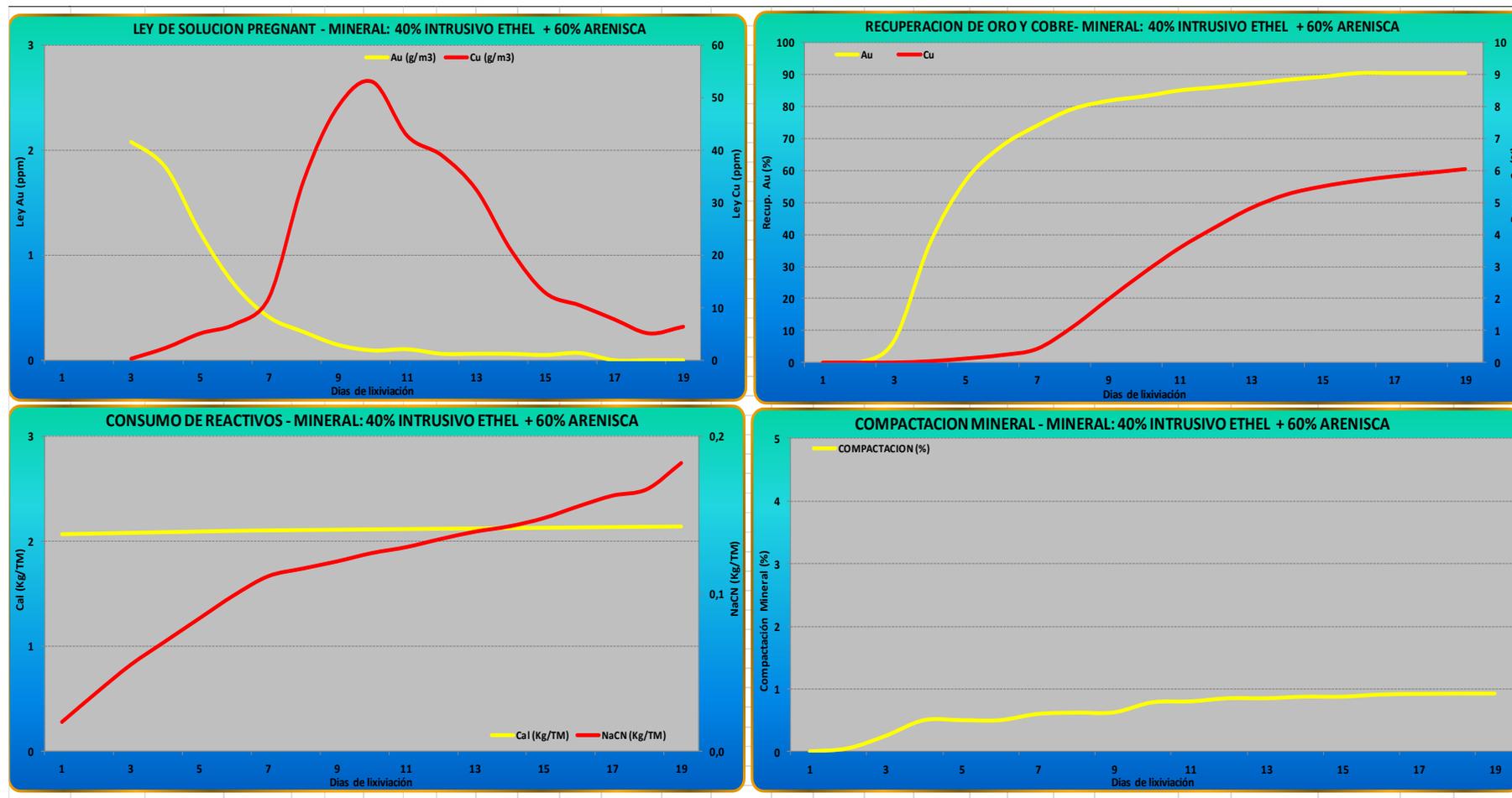


Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19.- Prueba de cianuración por percolación en columnas (40% INTRUSIVO Ethel + 60% ARENISCA – 150 ppm CN-)

PRUEBA DE CIANURACION POR PERCOLACION EN COLUMNAS CHICAS - MINERAL "INTRUSIVO ETHEL 40% + ARENISCA 60% " (GRANULOMETRIA 100 %-1") - 150 ppm CN'																												

Figura N° 23 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (40% INTRUSIVO ETHEL + 60% ARENISCA – 150 ppm CN-)

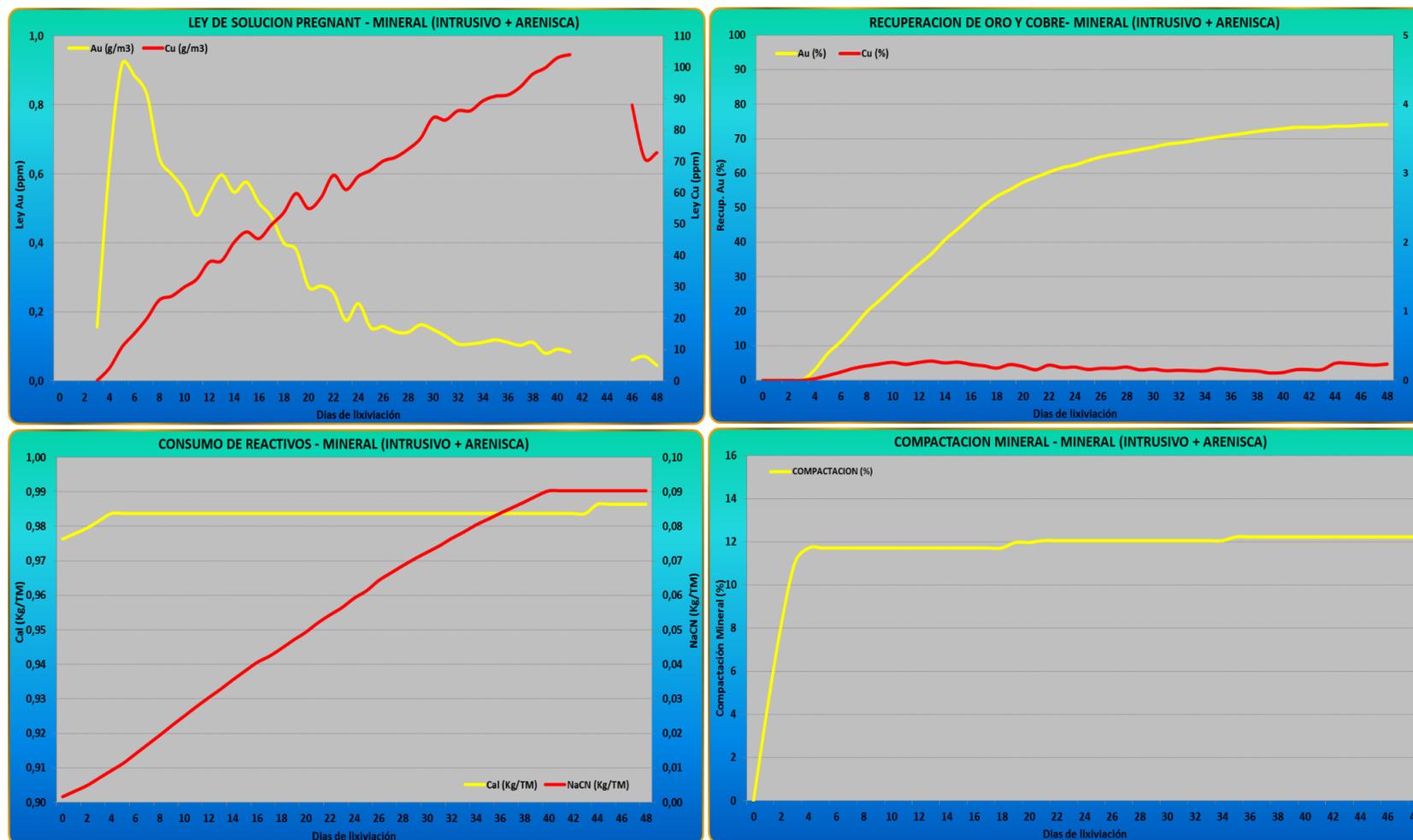


Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20.- Prueba de cianuración por percolación en columna con mineral (51 % INTRUSIVO y 49% ARENISCA) – 100% -6”

PRUEBA DE CIANURACION POR PERCOLACION EN COLUMNAS MEDIANA - MINERAL (INTRUSIVO + ARENISCA) - 100 % -6"																																			
Peso seco de Muestra (kg) 4104										Inicio de riego 19/09/19 a las 16:00										Atura de mineral antes de lix. (cm) 585				Cabeza calculada Au (g/TM) 0.387											
Adición de cal (kg/TM) 0.97										Caida de la Primera Gota 22/09/19 a las 14:15										Atura de mineral despues de lix. (cm) 513				Cabeza calculada Ag (g/TM) 0.907											
Granulometría 100 % -6"										Cabeza enayada Au (g/TM) 0.358										Densidad aparente antes de lix. (TM/m ³) 1.55				Cabeza calculada Cu (g/TM) 309											
Altura de Columna (cm) 609										Cabeza enayada Ag (g/TM) 0.5										Densidad aparente despues de lix. (TM/m ³) 1.76															
Densidad SOLUCION 0.998										Cabeza enayada Cu (g/TM) 289										Humedad de rípios (%) 14.3															
Diametro de Columna (cm) 76										Rípios Au (g/TM) 0.1										Velocidad percolacion (m/día) 2.0															
Área de Columna (m ²) 0.45										Rípios Ag (g/TM) 0.9										Finos en columna Cu (mg) 1266969															
Volumen Útil de Columna (m ³) 2.8										Rípios Cu (g/TM) 308										Peso de Carbono Activado Humedo (Kg) 1.0															
Fuerte de Cianuro de Sol. Lix. (ppm) 100										Recuperación Au (%) 74.1										Humedad del Carbono Activado (%) 8.6															
Flow - rate (Lt.h/m ²) 10										Recuperación Ag (%) 0.8										Peso de Carbono Activado Seco (kg) 0.9															
Flujo de riego (ml/min) 76										Recuperación Cu (%) 0.2										Au en Carbono Activado (g/m) 1287															
Finos en columna Au (mg) 1587										Finos en columna Ag (mg) 3723																									
FECHA	DIAS DE LIXIVIACION	SOLUCION LIXIVIACION				SOLUCION PREGNANT					SOLUCION BARREN					FLOW RATE (lt-h/m ²)	FINOS EN CARBON			FINOS ACUMULADOS (mg)			RECUPERACION			ADICION DE REACTIVOS - gr		CONSUMO REACTIVOS ACUM.		ALTURA VACIA (cm)	COMPACTACION (%)				
		Peso (kg)	Agua Adic. (kg)	pH	CN (ppm)	Peso (kg)	pH	CN (ppm)	Au (g/m ²)	Ag (g/m ²)	Cu (g/m ²)	Peso (kg)	pH	CN (ppm)	Au (g/m ²)		Ag (g/m ²)	Cu (g/m ²)	Au (mg)	Ag (mg)	Cu (mg)	Au (Au %)	Ag (Ag %)	Cu (Cu %)	Cal	Cal Ac.	NaCN	NaCN Ac.	Cal (Kg/TM)			NaCN (Kg/TM)			
19/09/19	0	65.3	65.3	10.5	100																0.0	0.0	0.0	6.5	6.5	6.7	6.7	0.98	0.00	24.5	0.0				
20/09/19	1	65.3	65.3	10.5	100																0.0	0.0	0.0	6.5	13.1	6.7	13.3	0.98	0.00	49.5	4.3				
21/09/19	2	65.3	65.3	10.5	104																0.0	0.0	0.0	6.5	19.6	6.7	20.0	0.98	0.00	72.0	8.1				
22/09/19	3	87.1	87.1	10.6	104	1.4	10.2	<5	0.156	0.01	0.1	1.4	9.9	<5	0.013	0.01	0.2	1.7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	89.0	11.0				
23/09/19	4	87.7	86.3	10.6	101	80.3	10.7	<5	0.630	0.01	4.1	80.3	9.9	<5	0.013	0.01	0.2	7.4	50	0	319	50	0	319	3.1	0.0	0.0	0.7	0.98	0.01	93.0	11.7			
24/09/19	5	87.1	6.8	9.9	104	82.2	10.7	<5	0.919	0.01	10.8	82.2	10.0	5	0.011	0.01	4.0	4.0	7.5	75	0	564	124	0	889	7.8	0.0	0.1	0.0	0.70	0.98	0.01	93.0	11.7	
25/09/19	6	108.9	26.8	10.0	102	62.5	10.6	5	0.884	0.01	15.1	62.5	9.9	<5	0.013	0.01	5.1	5.7	54	0	629	179	0	1512	11.3	0.0	0.1	0.0	0.70	0.98	0.01	93.0	11.7		
26/09/19	7	108.9	46.4	10.0	105	84.4	10.3	5	0.830	0.01	19.9	84.4	10.0	<5	0.039	0.01	11.5	7.8	67	0	711	246	0	2223	15.5	0.0	0.2	0.0	0.70	0.98	0.02	93.0	11.7		
27/09/19	8	108.9	24.5	10.0	102	113.8	10.7	6	0.645	0.01	25.8	113.8	10.3	<5	0.030	0.01	22.0	10.5	70	0	434	315	0	2657	19.9	0.0	0.2	0.0	0.70	0.98	0.02	93.0	11.7		
28/09/19	9	113.8	0.0	10.3	102	92.3	10.7	5	0.599	0.01	27.0	92.3	10.2	5	0.018	0.01	23.2	8.5	54	0	351	369	0	3008	23.3	0.0	0.2	0.0	0.70	0.98	0.02	93.0	11.7		
29/09/19	10	108.9	16.7	10.1	103	107.4	10.5	6	0.554	0.01	29.9	107.4	10.2	6	0.037	0.01	27.0	9.9	56	0	308	425	0	3317	26.8	0.0	0.3	0.0	0.70	0.98	0.03	93.0	11.7		
30/09/19	11	108.9	1.5	10.2	102	122.5	10.8	13	0.480	0.02	32.4	122.5	10.3	9	0.022	0.01	35.5	11.3	56	1	-380	481	1	2937	39.3	0.0	0.2	0.0	0.70	0.98	0.03	93.0	11.7		
1/10/19	12	122.5	0.0	10.3	104	98.5	10.6	8	0.543	0.02	37.9	98.5	10.2	6	0.013	0.01	34.2	9.0	52	1	-366	533	2	3303	35.6	0.0	0.3	0.0	0.70	0.98	0.03	93.0	11.7		
2/10/19	13	108.9	10.4	10.2	101	88.6	10.6	5	0.597	0.01	38.3	88.6	10.1	8	0.025	0.01	35.7	8.1	51	0	228	584	2	3531	36.6	0.0	0.3	0.0	0.70	0.98	0.03	93.0	11.7		
3/10/19	14	108.9	20.4	10.0	102	125.4	10.7	15	0.547	0.02	44.1	125.4	10.3	6	0.047	0.01	46.8	11.5	63	1	-336	646	3	3195	40.7	0.1	0.3	0.0	0.70	0.98	0.04	93.0	11.7		
4/10/19	15	125.4	0.0	10.3	100	93.1	10.6	8	0.576	0.02	47.5	93.1	10.3	10	0.027	0.01	45.8	8.5	51	1	-158	697	4	3353	43.9	0.1	0.2	0.0	0.70	0.98	0.04	93.0	11.7		
5/10/19	16	108.9	15.9	10.1	101	112.3	10.7	15	0.516	0.02	45.4	112.3	10.3	12	0.041	0.01	49.1	10.3	53	1	-423	751	5	2930	47.3	0.1	0.2	0.0	0.70	0.98	0.04	93.0	11.7		
6/10/19	17	112.3	0.0	10.3	100	120.0	10.7	17	0.476	0.02	49.7	120.0	10.1	6	0.026	0.01	51.9	11.0	54	1	-265	805	5	2665	50.7	0.1	0.2	0.0	0.70	0.98	0.04	93.0	11.7		
7/10/19	18	120.0	0.0	10.1	102	116.2	10.6	12	0.400	0.02	53.7	116.2	10.3	17	0.038	0.01	57.2	10.7	42	2	-412	847	7	2252	53.4	0.2	0.2	0.0	0.70	0.98	0.04	93.0	11.7		
8/10/19	19	116.2	0.0	10.3	102	84.2	10.5	18	0.380	0.02	59.7	84.2	10.1	14	0.023	0.01	52.0	7.7	30	1	650	877	8	2902	55.3	0.2	0.2	0.0	0.70	0.98	0.05	94.5	12.0		
9/10/19	20	108.9	24.8	9.7	102	135.4	10.7	19	0.272	0.02	54.9	135.4	10.3	15	0.023	0.01	57.6	12.4	34	1	-360	910	9	2542	57.4	0.2	0.2	0.0	0.70	0.98	0.05	94.5	12.0		
10/10/19	21	135.4	0.0	10.3	104	108.9	10.6	15	0.275	0.02	58.4	108.9	10.3	14	0.054	0.01	63.8	10.0	24	1	-589	935	10	1953	58.9	0.3	0.2	0.0	0.70	0.98	0.05	95.0	12.1		
11/10/19	22	108.9	0.0	10.6	102	108.9	10.5	21	0.255	0.02	65.6	108.9	10.2	13	0.042	0.01	57.8	10.0	23	1	844	958	12	2797	60.4	0.3	0.2	0.0	0.70	0.98	0.05	95.0	12.1		
12/10/19	23	108.9	0.0	10.2	103	141.5	10.8	23	0.175	0.02	61.0	141.5	10.5	25	0.032	0.01	64.2	13.0	20	1	-454	978	12	2342	61.6	0.3	0.2	0.0	0.70	0.98	0.06	95.0	12.1		
13/10/19	24	141.5	0.0	10.5	104	95.2	10.6	23	0.224	0.01	65.3	95.2	10.2	18	0.090	0.01	64.2	8.7	13	0	97	991	12	2440	62.4	0.3	0.2	0.0	0.70	0.98	0.06	95.0	12.1		
14/10/19	25	108.9	13.7	10.5	102	174.9	10.7	32	0.154	0.02	67.2	174.9	10.5	30	0.040	0.01	69.7	16.1	20	1	-446	1011	13	1994	63.7	0.4	0.2	0.0	0.70	0.98	0.06	95.0	12.1		
15/10/19	26	174.9	0.0	10.6	104	126.7	10.5	31	0.158	0.01	70.1	126.7	10.5	25	0.023	0.01	68.4	11.6	17	0	218	1028	13	2212	64.8	0.4	0.2	0.0	0.70	0.98	0.06	95.0	12.1		
16/10/19	27	126.7	0.0	10.6	101	130.2	10.9	34	0.142	0.01	71.3	130.2	10.7	27	0.047	0.01	71.3	12.0	12	0	5	1040	13	2217	65.5	0.4	0.2	0.0	0.70	0.98	0.07	95.0	12.1		
17/10/19	28	130.2	0.0	10.5	104	110.9	10.6	27	0.141	0.04	73.9	110.9	10.5	38	0.051	0.01	71.8	10.2	10	3	228	1050	17	2445	66.2	0.4	0.2	0.0	0.70	0.98	0.07	95.0	12.1		
18/10/19	29	110.9	0.0	10.6	101	118.7	10.7	38	0.163	0.02	77.3	118.7	10.2	32	0.062	0.02	81.8	10.9	12	1	-534	1062	17	1911	66.9	0.5	0.2	0.0	0.70	0.98	0.07	95.0	12.1		
19/10/19	30	118.7	0.0	10.5	103	107.6	10.5	35	0.149	0.06	83.9	107.6	10.2	33	0.054	0.02	82.4	9.9	10	5	155	1072	22	2066	67.6	0.6	0.2	0.0	0.70	0.98	0.07	95.0	12.1		
20/10/19	31	108.9	1.3	10.4	104	146.0	10.6	41	0.130	0.03	83.2	146.0	10.3	40	0.036	0.04	85.1	13.4	14	-2	-288	1086	20	1779	68.4	0.5	0.1	0.0	0.70	0.98	0.07	95.0	12.1		
21/10/19	32	146.0	0.0	10.5	102	86.4	10.4	34	0.107	0.05	86.1	86.4	10.1	33	0.036	0.04	85.1	7.9	6	0	86	1092	21	1864	68.8	0.6	0.1	0.0	0.70	0.98	0.08	95.0	12.1		
22/10/19	33	108.9	22.5	10.3	104	117.7	10.5	36	0.107	0.05	86.1	117.7	10.3	30	0.030	0.01	87.0	10.8	9	4	-101	1101	25	1763	69.4	0.7	0.2	0.0	0.70	0.98	0.08	95.0	12.1		
23/10/19	34	117.7	0.0	10.3	106	114.3	10.5	35	0.112	0.02	89.3	114.3	10.3	42	0.031	0.01	89.5	10.5	9	0	-29	1110	25	1734	70.0	0.7	0.1	0.0	0.70	0.98	0.08	95.0	12.1		
24/10/19	35	114.3	0.0	10.6	104	106.0	10.5	45	0.119	0.02	90.8	106.0	10.1	37	0.034	0.01	86.7	9.7	9	1	427	1119	26	2162	70.5	0.7	0.2	0.0	0.70	0.98	0.08	96.0	12.2		
25/10/19	36	106.0	0.0	10.3	102	110.2	10.5	43	0.112	0.02	91.2	110.2	10.2	41	0.034	0																			

Figura N° 24 Ley de solución Pregnant y Recuperación de Au en mineral (51 % INTRUSIVO y 49% ARENISCA) – 100% -6''



Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. El factor que impide mejorar el grado de extracción del mineral INTRUSIVO es la PERCOLACION, que no se puede lixiviar por sí solo, por lo que se tiene que hacer un BLENDING con un mineral de ARENISCA obteniendo mejores resultados.
2. Los tipos de análisis que se realizaron son:
 - ✓ Pruebas preliminares de lixiviación por agitación en botellas, que al término de 48 hr de agitación, al lixiviar a una concentración de CN⁻ con 100 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,26 Kg NaCN/TM logrando extraer el 82% del Au y el 9,2% de Cu. Al lixiviar a una concentración de CN⁻ de 150 ppm, el mineral tuvo un consumo de 0,42 Kg NaCN/TM logrando extraer el 87% del Au y el 11,2% de Cu.
 - ✓ Pruebas en columna del mineral INTRUSIVO (tajo Calaorco), se observa que al lixiviar a 100 ppm de CN⁻, no tiene influencia en la extracción de oro (NO SE TIENE RESULTADOS DE PERCOLACION.)
 - ✓ Pruebas en columna cuando se trabaja con granulometría ROM (mineral directo de mina), mineral 100% - 3" y con un flujo de riego de 14 l/hr-m², las recuperaciones más altas son de 49,9% Au, 0,9% Ag y 0,2% Cu.
 - ✓ Pruebas en columna cuando se realiza el BLENDING del MINERAL INTRUSIVO y MINERAL ARENISCA, con una proporción de 30% y 70% respectivamente, granulometría 100% - 1" y a 100 ppm de CN, se obtienen las recuperaciones más altas de 88,2% de Au, 16,3% de Ag y 6,8% de Cu.
3. El incremento del grado de extracción en las pruebas de columna del MINERAL INTRUSIVO y el BLENDING con el mineral ARENISCA es de un 38.3% de Au.

RECOMENDACIONES

1. Con la finalidad de asegurar una buena percolación, sería conveniente realizar pruebas de cianuración por percolación en columnas grandes usando mineral blendeado de INTRUSIVO y mineral del tipo ARENISCA.
2. Se recomienda realizar pruebas realizando el aglomerado del mineral previo a la lixiviación, para mejorar la recuperación de oro.
3. Se recomienda realizar los ensayos a los rípios a cierta altura en los pads de lixiviación a fin de poder saber cual es el recorrido de la solución lixivante.
4. Se recomienda realizar la lixiviación previa aglomeración con cemento a fin de poder tener aglomerados resistentes a los trabajos de colocado de mineral en el pad.

BIBLIOGRAFIA

- 1) Aguilar Revoredo, J.F. “Preparación Mecánica de Minerales”. Lima: UNI.1985.
- 2) Sutulov, Alexander. “Flotación de Minerales” Concepción, Chile: Instituto de Investigación Tecnológicas. 1973.
- 3) IVESK. Ed.: The Scientific Basic of Flotation, NATO Advanced Study Institute Series, Martinus Nijhoff Publisher, La Hague, 1981. (Distribuido por Kluwer Pub.P.O.Box 322, 3300 AHDordrech, Holanda)
- 4) Rizo Patrón Peter, 1986 UNI Escuela de Post grado Curso Diseño Experimental aplicado a Metalurgia.
- 5) Arica, K. Y. (2009). RECUPERACIÓN DE ORO DESDE SOLUCIONES CIANURADAS POR INTERCAMBIO IONICO EN LA COMPAÑÍA MINERA AUÍFERA SANTA ROSA S.A. LIMA.
- 6) Dorey, R., VAN Z y l, D., & J., y. K. (1988). Overview of Heap Leaching Technology:Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects.
- 7) F., M. C. (1994). Metalurgia del Oro. Lima-Perú.
- 8) Manuel Jesús Marcapura Vargas, Luis Fernando Chávez Ponciano. (2017). Influencia de nuevos procesos de lixiviación en la recuperación de Au en material fino extraído del tajo cerro negro – MINERA YANACOCKA SRL - 2017. Cajamarca.
- 9) Navarro, D. P. (2015). Cianuración de Minerales de Oro y Plata. Lima: Camiper.
- 10) Obregon, C. (2016). Tesis: optimización del blending con aplicaciones de programación lineal para el incremento del valor económico del mineral en la unidad Minera Catalina Huanca S.A.C. Arequipa.

- 11) Pardavé, A. R. (2009). Estudio de parámetros en la lixiviación en pilas para optimizar la extracción de oro. Huancayo.
- 12) Tremolada, j. (2011). Tesis Doctoral: Caracterización, influencia y tratamiento de arcillas en procesos de Cianuración en Pilas. Oviedo.
- 13) Valverde, F. D. (2019). Influencia del blending del mineral, alteración de mineral y concentración de cianuro de sodio, en la velocidad de percolación y porcentaje de extracción de oro del mineral aurífero del Proyecto Ayahuanca, tratado por lixiviación en pilas. Huancavelica.

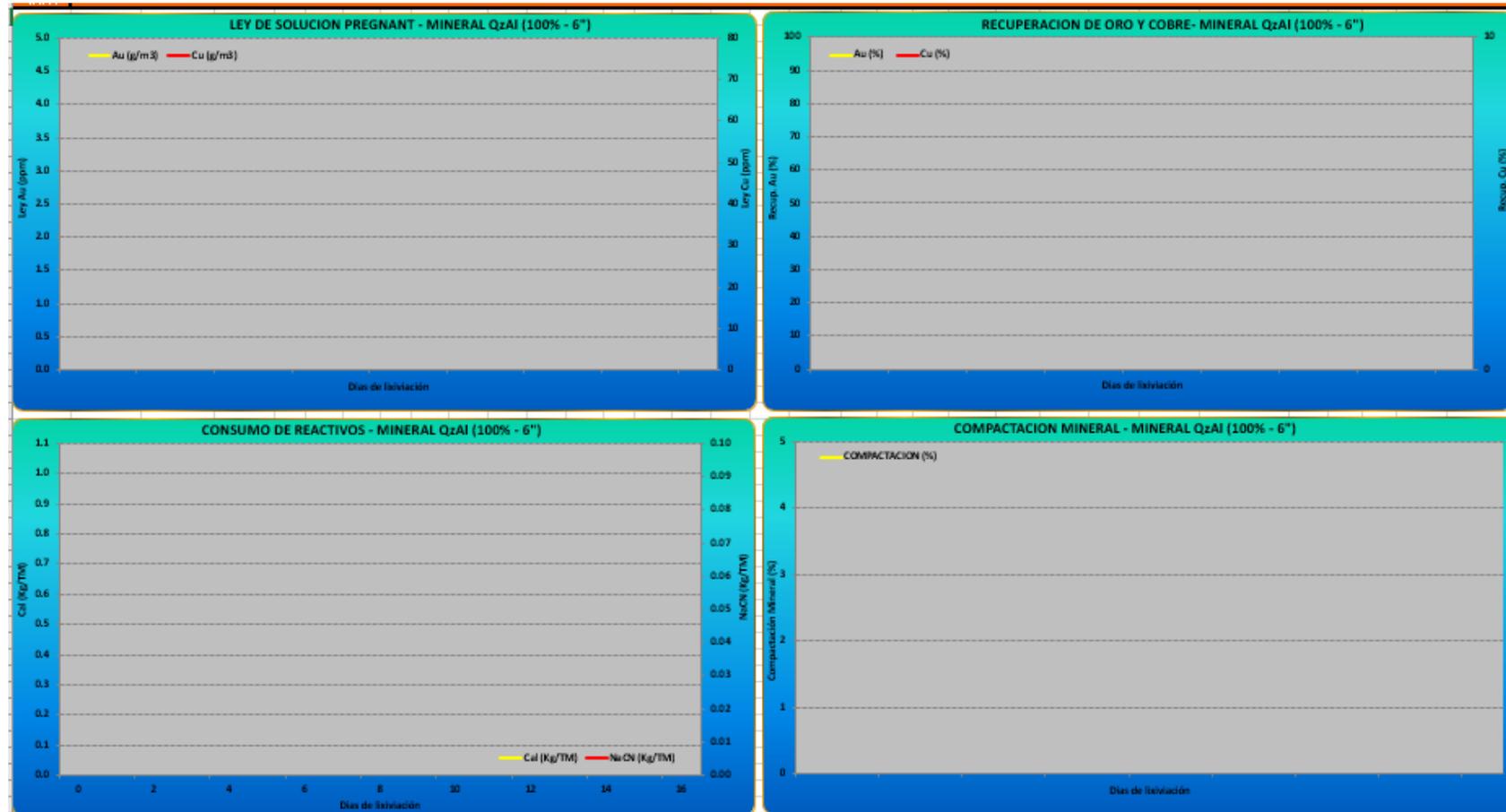
ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

Instrumento para pruebas de percolación

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	

Instrumento para el grafico de percolación



MATRIZ DE CONSISTENCIA

“MEJORA DEL GRADO DE EXTRACCIÓN DE AU DE MINERAL INTRUSIVO A TRAVÉS DEL BLENDING DEL TAJO CALAORCO UNIDAD MINERA TAHOE PERÚ LA ARENA S.A. REGIÓN LA LIBERTAD, 2019”

FORMULACIÓN DEL PROBLEMAS	OBJETIVO	HIPOTESIS
<p><u>PROBLEMA GENERAL</u></p> <p>¿Cómo mejora el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019?</p> <p><u>PROBLEMAS ESPECIFICOS</u></p> <p>✓ ¿Cuáles son los factores que impiden mejora el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019?</p> <p>✓ ¿Qué tipos de análisis, ensayos, pruebas experimentales se realizará para mejorar el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019?</p> <p>✓ ¿Cuál es el incremento en el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u></p> <p>“Mejorar el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019”</p> <p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar los factores que impiden mejora el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019. • Identificar los análisis, ensayos, pruebas experimentales que se realizará para mejorar el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019 • Determinar el incremento en el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019. 	<p><u>HIPÓTESIS GENERAL:</u></p> <p>Si realizamos la extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending, se logrará mejorar el grado de extracción de Au del Tajo Calaorco unidad Minera Tahoe Perú la arena.</p> <p><u>HIPÓTESIS ESPECÍFICA:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Si logramos Identificar los factores que impiden mejora el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de Au. • Si logramos Identificar los análisis, ensayos, pruebas experimentales que se realizará para mejorar el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de Au. • Si logramos determinar el incremento en el grado de extracción de Au de mineral intrusivo a través del blending, mejoraremos el grado de extracción de Au.

ORGANIZACIÓN DE LAS VARIABLES			METODOLOGÍA
VARIABLE	INDICADORES	ÍNDICES	
<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Grado de extracción de Au.</p>	<p><u>Indicadores:</u></p> <p>Porcentaje de recuperación</p>	<p>✓ 0-50 malo</p> <p>✓ 50-70 regular</p> <p>✓ 80-100 bueno</p>	<p><u>MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN</u></p> <p>El método de investigación usado es el experimental para el cual realizaremos pruebas en condiciones iniciales sin manipulación de variables para luego intervenir manipulando los minerales intrusivos mediante la manipulación de diferentes opciones, para luego realizar una prueba posterior después de la manipulación de variables</p> <p><u>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></p> <p>El diseño de la investigación es experimental y por lo tanto el diseño es el siguiente:</p> <p>O1 = PRUEBA PRE TEST X = MANIPULACION DE LA VARIABLE O2 = PRUEBA POST TEST</p> <p><u>POBLACIÓN Y MUESTRA</u></p> <p><u>POBLACIÓN</u></p> <p>La población para la investigación será el mineral intrusivo del Tajo Calaorco Unidad Minera Tahoe Perú La Arena S.A. Región la Libertad, 2019.</p> <p><u>MUESTRA</u></p> <p>El mineral fue traído del lugar de muestreo (del tajo Calaorco) en sacos dentro de un camión y fue recibida en la plataforma de Laboratorio Metalúrgico de Minera La Arena S.A.</p> <p>La muestra por separado, se reduce de tamaño a 100% -1", luego se pesa la cantidad necesaria para formar el blending a la proporción de 1:2 = Intrusivo: Arenisca. Para la muestra de cabeza, se homogeniza y se cuartea para tomar una muestra de 4 Kg aproximadamente. Esta muestra se reduce a 100% - 10 mesh, se homogeniza y se toma dos muestras finales de 1 Kg cada una, una de estas muestras se envía a laboratorio químico para su análisis (será la cabeza general de dicha columna) y la otra muestra queda en Laboratorio Metalúrgico en calidad de contramuestra.</p>