



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DEL CIANURO DE SODIO, GOLDMAX Y SANDIOSS EN LA RECUPERACIÓN DE ORO POR LIXIVIACIÓN DE UN MINERAL OXIDADO DE SAYAPULLO, LA LIBERTAD”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach.Cintia Jackeline, Chuquilin Quiliche

Bach.Eduar Dani, Rengifo Martos

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con todo mi amor, cariño y admiración a mis padres Jorge Luis Chuquilín Herrera y María Manuela Quiliche Huaripata, quienes son el pilar fundamental y fortaleza de mi vida; mi hijito Sebastián el mejor regalo de Dios y a mis hermanas Diana y Leyla mis compañeras de aventuras e amigas incondicionales.

Cintia.

Dedico la presente tesis a mis padres Irma Martos Machuca y Orlando Rengifo Barba, por su incondicional apoyo, consejos que me ayudado a seguir adelante y su esfuerzo. A mis hermanos Anderson y Jhosely que cada día me motivan a seguir mis metas.

Eduar .

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por permitirme culminar una meta más en mi vida profesional. Agradezco a mi hijito y a mis padres por todo el apoyo, consejos, amor y fortaleza que me brindan día a día. A mis hermanas, por estar siempre a mi lado, brindándome consejos y soporte para continuar en cada meta trazada. A mi asesor, Ing. Víctor E. Álvarez León y al Ing. Alex Marinovic por el apoyo brindado, por su valiosa orientación y asesoría en mi vida universitaria.

Cintia

En primer lugar agradezco a Dios, por brindarme salud y bienestar, a mis padres por su infinito amor y comprensión; a los docentes, decirles gracias por su paciencia y buen humor, y finalmente agradecer a la Universidad Privada del Norte, por integrarme y permitirme concretar ésta carrera universitaria.

Eduar

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESÚMEN.....	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	8
1.1. Realidad problemática	8
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Objetivos	21
1.4. Hipótesis	22
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	24
2.1. Tipo de investigación.....	24
2.2. Población y muestra.....	24
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	25
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	36
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	47
6.1. Discusión	47
6.2. Conclusiones.....	50
REFERENCIAS	53
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de consumos de Cianuro vs Goldmax en función del tipo de mineral	10
Tabla 2. Parámetros de prueba metalúrgica en botellas.....	12
Tabla 3. Reportes de pruebas de lixiviación en columna circuito abierto.....	15
Tabla 4. Parámetros de prueba 1 y 2 lixiviación en columna.....	16
Tabla 5. Parámetros de prueba 3 y 4 lixiviación en columna.....	17
Tabla 6. Resultados pruebas de lixiviación en columna con Cianuro de Sodio y Goldmax.....	19
Tabla 7. Asociación mineralógica, Composición química y prueba de alcalinidad de la muestra.....	39
Tabla 8. Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con NaCN.....	40
Tabla 9. Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con NaCN.....	41
Tabla 10. Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax.....	42
Tabla 11. Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax.....	43
Tabla 12. Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss.....	44
Tabla 13. Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss.....	45
Tabla 14. Resumen prueba de Lixiviación en columna con NaCN, Goldmax y Sandioss.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Condiciones de prueba y resultados de lixiviación en columna con Sandioss y Cianuro de sodio en el mineral.....	13
Figura 2. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de NaCN en Columna.....	16
Figura 3. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de NaCN en columna.....	17
Figura 4. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de Goldmax en columna.....	18
Figura 5. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de Goldmax en columna.....	18
Figura 6. Homogenizado y cuarteo del mineral.....	28
Figura 7. Circuito cerrado de pruebas de lixiviación en columna.....	32
Figura 8. Diagrama del procedimiento experimental.....	34
Figura 9. Plano Geológico del caserío de Huancajanga, distrito de Sayapullo, La Libertad.....	38

RESUMEN

En el mercado han aparecido muchos productos que sus fabricantes afirman poder remplazar al cianuro en la lixiviación del oro, productos menos tóxicos y nocivos para la salud y el medio ambiente, productos no fiscalizados y que al igual que el cianuro tienen un alto grado de recuperación de metales preciosos en menores tiempos de lixiviación con un menor costo de operación en el proceso. Entre estos productos encontramos a los reactivos Goldmax y Sandioss, del cual en este trabajo de investigación se quiere comprobar la recuperación de oro mediante pruebas experimentales de lixiviación en columna con circuito cerrado a nivel laboratorio y obtener información comparativa en la recuperación de oro mediante lixiviación, manteniendo parámetros de control similares con ambos reactivos lixiviantes. La investigación fue realizada con una muestra representativa de 200 kg de un mineral oxidado del caserío de Huancajanga, Sayapullo, Provincia Gran Chimú - La Libertad. Los resultados mineralógicos de la muestra indicaron asociación mineralógica del oro y la plata en el cuarzo con presencia de areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas con limonita, también se observa pequeñas cantidades de pirita con granulometría muy fina (-200 mallas), asimismo al realizar un tamizado y procesar los datos, se obtuvo que el mineral tiene una granulometría fina, presentando un $p_{80} = 1.2''$. La ley de cabeza en oro es de 7 g/TM y la ley de plata 20 g/TM. El consumo de cal de la prueba de alcalinidad fue 3.0 kg/TM de mineral. Las pruebas se realizaron a una granulometría 100 % -1/4'' con dosificaciones a los tres tipos de lixivante a una concentración de 500 ppm. De los resultados obtenidos se tiene que las recuperaciones promedio durante 7 días de lixiviación con Cianuro de sodio (NaCN), llega a una recuperación de 80.91% frente a la columna con reactivo lixivante Goldmax con 74.29 % y luego el reactivo Sandioss que solo llega a una recuperación del 65.29 %.

Palabras clave: reactivo lixivante, alcalinidad, ppm, lixiviación, tamizado, p_{80} .

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El cianuro de sodio como reactivo es un producto químico industrial muy útil, utilizado por numerosas industrias que consumen más de un millón de toneladas cada año en procesamiento de metales, el cuál ha sido utilizado por la industria minera para separar las partículas de oro y plata por más de 120 años, representando menos del 20% de la demanda global de cianuro industrial. El proceso utilizado para extraer oro usando cianuro se desarrolló en Escocia en 1887, y fué utilizado por primera vez en la minería a gran escala comercial por la Nueva Zelanda Corona Mines Company en Karangahake en 1889. La concentración de cianuro utilizado en este proceso se encuentra normalmente en el intervalo de 0.01% y 0.05% cianuro de sodio (100 a 500 partes por millón). El cianuro es tóxico en grandes dosis y está estrictamente regulado, a pesar de su alta toxicidad, no se han registrado muertes humanas accidentales debido a la intoxicación por cianuro en la industria minera en los últimos 100 años, lo que indica que el riesgo ha sido controlado efectivamente. (Logsdon, Hagelstein, & Mudder, 2001).

En el mercado han aparecido muchos productos que dicen poder remplazar al cianuro en la lixiviación, productos menos tóxicos y nocivos para la salud y el medio ambiente, productos no fiscalizados y que al igual que el cianuro tienen un alto grado recuperación de metales preciosos en menores tiempos de lixiviación; los cuales podrían usarse desde la pequeña minería hasta la gran minería con un menor costo de operación en el proceso. Entre estos productos encontramos a los reactivos Goldmax y Sandioss, del cual en este trabajo de investigación se quiere comprobar la

recuperación de oro mediante pruebas experimentales de lixiviación en columna a nivel laboratorio y obtener información comparativa en la recuperación de oro mediante lixiviación usando Cianuro de sodio, Goldmax y Sandioss; manteniendo parámetros de control similares con ambos reactivos lixiviantes. Con esta esta investigación se ampliará el conocimiento del proceso de lixiviación con los agentes lixiviantes Goldmax y Sandios, para que las empresas mineras puedan evaluar y determinar si es técnicamente rentable o no para su aplicación a nivel industrial para su uso.

Gold MAX® es un producto de la empresa mexicana Royal Chemical, fabricado con materias primas exentas de impurezas y que se utilizan en la manufactura de fertilizantes, siendo por ello un reactivo lixivante ecológico y además de favorable al medio ambiente. Este agente de extracción de oro, puede reemplazar el tradicional uso de cianuro de sodio (NaCN), el cual es altamente tóxico y que por lo general se considera como único lixivante de Au-Ag, lo cual se verá de un enfoque distinto con este nuevo producto. Se puede aplicar desde la molienda, además de la lixiviación en tanque y el proceso de lixiviación del tipo CIP y CIL, sin mayor inconveniente. La Lixiviación con Gold MAX®, se desarrolla en forma eficiente a $\text{pH} = 11-12$, es muy estable y fiable en el rendimiento, con una mayor tasa de lixiviación por unidad de tiempo, lo que proporciona rapidez en el tiempo de extracción (cinética), es decir estable en eficiencia y rendimiento; exhibiendo marcadas ventajas técnico económicas, cuando se le compara con otros productos similares que se ofrecen en el mercado, ya que estos no actúan eficientemente con todo tipo de mineral, muy por el contrario presentan consumos elevadísimos, reportándose en los estudios realizados

hasta 7 a 12 veces consumos más altos, que cuando se usa Gold MAX®. Para efecto de pruebas a escala laboratorio, convendrá el moler la muestra de producto previamente con un mortero o similar, ya que el producto se presenta con aspecto de pequeñas rocas, una vez molido secarlo por unos minutos en plancha esto es importante ya que el producto Gold MAX®, posee alta higroscopia (afinidad por el agua) y luego proceder a pesar en balanza de precisión, la cantidad que se va a usar. Es recomendable ensayar usando diferentes fuerzas de lixiviante como: 0.5%, 0.6%, 0.8%, 1.0% y 1.2%, para determinar cuál reporta mejor efecto, y a la vez que se optimiza la dosis adecuada, para evitar consumo excesivo o lixiviar impurezas, ver tabla 1. Para la titulación se emplea Nitrato de Plata, AgNO₃ (4.33 g/L); como indicador Ioduro de Potasio al 5 % (3 gotas para alícuota de 25 ml), viraje amarillo-lechoso. Es muy importante mantener el pH = 12 en todo el proceso (Royal Chemical, 2015).

Tabla 1

Cuadro comparativo de consumos de Cianuro vs Goldmax en función del tipo de mineral

Tipo de mineral	Consumo de reactivos	
	Goldmax	Cianuro de sodio (NaCN)
Oxidos	1 a 3 kg/TM	1 a 3 kg/TM
Sulfuro	3 a 6 kg/TM	3 a 6 kg/TM
Mixtos	3 a 6 kg/TM	3 a 6 kg/TM
Relaves de amalgamación	6 a 7 kg/TM (*)	7 a 15 kg/TM a más (**)

(*) Con buenas recuperaciones

(**) Recuperaciones deficientes

Fuente. Aramburu, 2015

El insumo químico llamado Sandioss, es un reactivo desarrollado en China, y que se viene haciendo publicidad en nuestro país desde el año 2012 y en el mundo como un

producto amigable con el medio ambiente y como alternativa al cianuro de sodio para la recuperación de oro mediante lixiviación, así como minimizar los gastos en el tratamiento de efluentes producto de la lixiviación, tiene permiso de la SUNAT (ver anexo n° 4: informe N° 156-2015SUNAT/6C2000) como producto no fiscalizado.

Sandioss es un polvo blanco o gris de fácil disolución en agua. De acuerdo con el tipo de mineral, sus soluciones acuosas se vuelven alcalinas, ácidas o neutras. El producto Sandioss según su hoja técnica indica que se puede aplicar en todo tipo de mineral donde se pueda utilizar Cianuro de Sodio como reactivo lixivante (Sandioss, 2015).

En la investigación de Padierna León y Zegarra Esquivel, se hizo un trabajo comparativo para la extracción de oro con pruebas de lixiviación en botella, usando el reactivo Sandioss versus el cianuro de sodio para tres tipos de minerales siendo estos: sulfuros, óxidos y carbonáceos; a similares condiciones operativas como granulometría 80% -m200, 33% de sólidos, 500 ppm de concentración de reactivo lixivante, pH 11, cal como regulador de pH, con tiempo de agitación 72 horas y a condiciones normales de temperatura y presión. De los resultados obtenidos con el reactivo lixivante Sandioss y el Cianuro de Sodio a 72 horas de lixiviación, se obtuvo para el mineral sulfuro 83.36% y 85.91% respectivamente, para el mineral tipo óxidos se obtuvo 93.46% y 95.01% respectivamente y para el mineral carbonáceo se obtuvo 40.86% y 38.01% respectivamente. Se concluye que la recuperación de oro utilizando Sandioss es similar al obtenido con Cianuro de Sodio y se presenta como una alternativa en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido, sulfuro y carbonáceo. A un 95% de significancia existe evidencia empírica suficiente para concluir que la recuperación de oro con los reactivos es similar, siendo los tipos de minerales los

que presentan mayor influencia en la recuperación de oro. (Padierna León & Zegarra Esquivel, 2016).

En Agosto del 2015, el Ing Juan Vega González desarrolló una prueba que había solicitado la empresa SMRL Puebla de los Infantes - Lluema - La Libertad que consistía en una prueba metalúrgica en botellas – 300 ppm Sandioss, donde nos dice que se ha desarrollado la pruebas en botella testigo y botella sacrificio. La ley de Au en cabeza del mineral fue de 10.2 g/TM, el consumo de cal 5.80 kg/TM. Los parámetros de prueba se muestran en la tabla 2 (Vega González, 2015).

Tabla 2

Parámetros de prueba metalúrgica en botellas

Parámetros de prueba	
Mineral:	Cuarcita - arenisca
Granulometría:	80% -200 #
Acidez del mineral:	7
Dilución:	2 a 1
Peso mineral (kg):	0.5
Agua (litros):	1
Fuerza Sandioss (ppm):	300
pH:	11
Cal (gramos):	2.89
Tiempo de agitación (horas):	48

Fuente: SMRL Puebla de los Infantes, Lluema, La Libertad.

Los resultados de esta prueba metalúrgica en botellas, indican que se tuvo un consumo de Sandioss de 4.21 kg/TM, la recuperación ensayada y calculada de Au en 85.78% y 85.57% respectivamente.

También se hicieron pruebas comparativas en lixiviación por percolación con los reactivos Sandioss Vs NaCN, obteniendo resultados muy similares en la recuperación de oro. La prueba en columna con 25 kg de mineral de la Concesión Minera Puebla de

Los Infantes, se lixivió con una fuerza de cianuro de 300 ppm para los dos reactivos. El % de extracción de oro con Sandioss es de 83.73% y de cianuro de sodio del 82.00% es decir, con el Sandioss se tiene mayor % de recuperación de oro. Utilizando Sandioss el tiempo de lixiviación (30 días) es menor que con cianuro (32.62 días). La velocidad de lixiviación con Sandioss es casi constante y la del cianuro es al inicio rápida y luego lenta. El consumo de Sandioss es de 1.039 kg/TM y del cianuro de 1.197 kg/TM, es decir el consumo de Sandioss es menor que del cianuro de sodio. Por lo tanto en la investigación se concluye que utilizando Sandioss se obtiene mayor recuperación de oro, menor consumo de reactivo y menor tiempo de lixiviación, en comparación con el Cianuro de sodio; Ver figura 1.

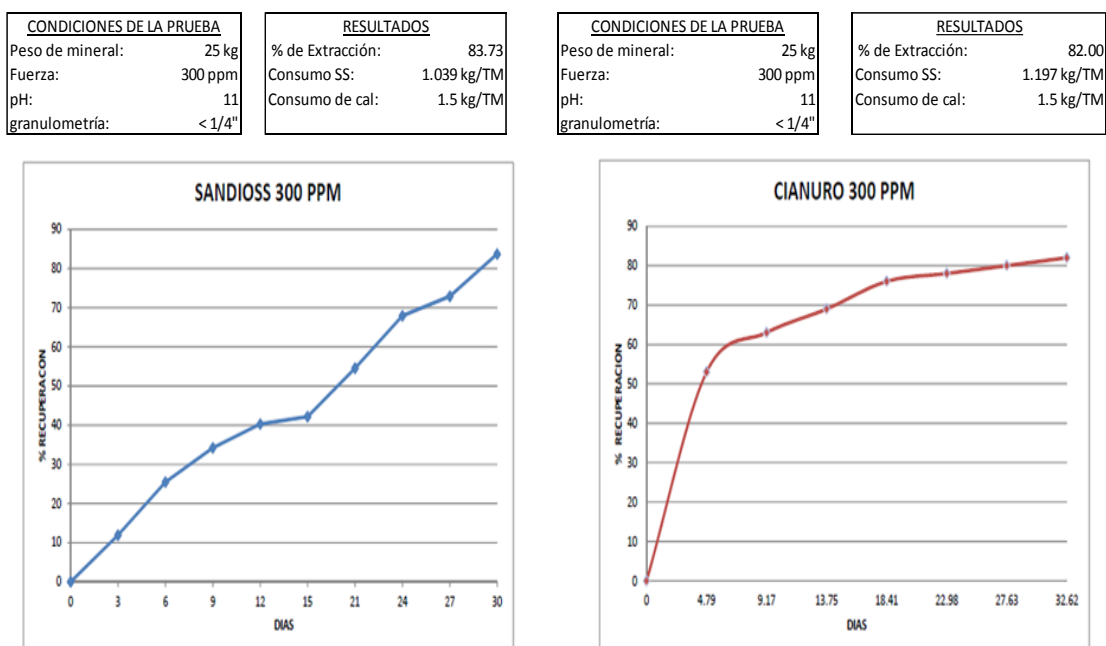


Figura 1. Condiciones de prueba y resultados de lixiviación en columna con Sandioss y Cianuro de sodio en el mineral.

Fuente: Concesión Minera Puebla de Los Infantes.

(Alaya, 2017) en la UPN sede Cajamarca, realizó una investigación cuyo objetivo general fue determinar el porcentaje de extracción de oro mediante lixiviación en columna utilizando dos tipos de lixivante Sandioss y Cianuro de sodio, variando las concentraciones de las mismas y el tamaño de partícula de un mineral oxidado. Se realizaron las pruebas con mineral oxidado de Sayapullo en 8 columnas: 2 columnas con Cianuro de Sodio a concentraciones de 500 ppm y 700 ppm cada una a una granulometría malla +#5, otras 2 columnas con Cianuro de Sodio a concentraciones de 500 ppm y 700 ppm cada una a una granulometría malla -#5; otras 2 columnas con Sandioss a concentraciones de 500 ppm y 700 ppm cada una a una granulometría malla +#5, otras 2 columnas con Sandioss a concentraciones de 500 ppm y 700 ppm cada una a una granulometría malla -#5. Los resultados obtenidos muestran que la extracción de oro fue de 95.620% a una granulometría malla +#5 y a una concentración de 700 ppm del lixivante cianuro de sodio, y la extracción más baja de oro a fue 88.117% a una granulometría malla -#5 y a una concentración de 700ppm del tipo lixivante Sandioss, ver tabla 3. Los resultados obtenidos muestran la influencia que a mayor concentración de lixivante el porcentaje de extracción es mayor para ambos tipos de lixivante y que con el lixivante NaCN la extracción de oro es mayor que con el lixivante Sandioss. Asimismo se tiene que la granulometría influye en la extracción de oro, es decir a granulometría mayor la extracción de Au es más favorable para ambos tipos de lixivante y que con el tipo lixivante NaCN la extracción es mayor para ambas granulometrías. Por otro lado el consumo de reactivo es mayor en comparación con el NaCN.

Tabla 3

Reportes de pruebas de lixiviación en columna circuito abierto

N° de prueba	tipo lixivante	concentración	granulometría (N° malla)	% de extracción Au	consumo de reactivo lixivante (kg/TM)	consumo de cal (kg/TM)
1	NaCN	500	(+#5)	94.986	0.52	0.41
2	NaCN	700	(+#5)	95.620	0.71	0.41
3	Sandioss	500	(+#5)	90.566	0.60	0.71
4	Sandioss	700	(+#5)	92.775	0.84	0.71
5	NaCN	500	(-#5)	92.579	0.52	0.41
6	NaCN	700	(-#5)	91.993	0.71	0.41
7	Sandioss	500	(-#5)	90.000	0.60	0.71
8	Sandioss	700	(-#5)	88.117	0.84	0.71

Fuente: Alaya, 2015

En Noviembre del 2015, el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de Royal Chemical del Perú S.A.C. realizó una prueba comparativa de lixiviación en columnas utilizando como lixiviantes Cianuro de Sodio vs Goldmax con mineral de la Cia Minera Aurífera Santo Domingo (subsidiaria de Gold Mountain Dore Mining), cuya concesión minera se localiza en Barranca, Supe. En el informe detalla 4 pruebas de lixiviación en columna (2 con el cianuro de sodio y 2 con el nuevo lixivante ecológico Goldmax), las cuales fueron realizadas con el objetivo de comprobar que el lixivante Goldmax logra obtener mejores recuperaciones en tiempos menores, en comparación a la pruebas realizadas con el cianuro de sodio NaCN, bajo las mismas condiciones de trabajo. Las condiciones de trabajo bajo las cuáles se llevaron a cabo las pruebas 1 y 2 con cianuro de sodio se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Parámetros de prueba 1 y 2 lixiviación en columna

Párametros de prueba 1 y 2	
Tipo de prueba:	Columnas
Cantidad de pruebas:	2
Peso de mineral (kg):	25
Ley de Au (g/TM):	2.5
Fuerza de NaCN (ppm):	300
pH:	12
Granulometría:	< 1/4 "
Consumo de NaCN (kg/TM):	1.046
Consumo de Cal (kg/TM):	1.7
Tiempo de lixiviación(días):	33

Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Los resultados de la prueba N° 1 con reactivo lixiviante NaCN, muestran una recuperación en Au del 81.75% empleando un tiempo de lixiviación de 33 días, tal como muestra la figura 2.

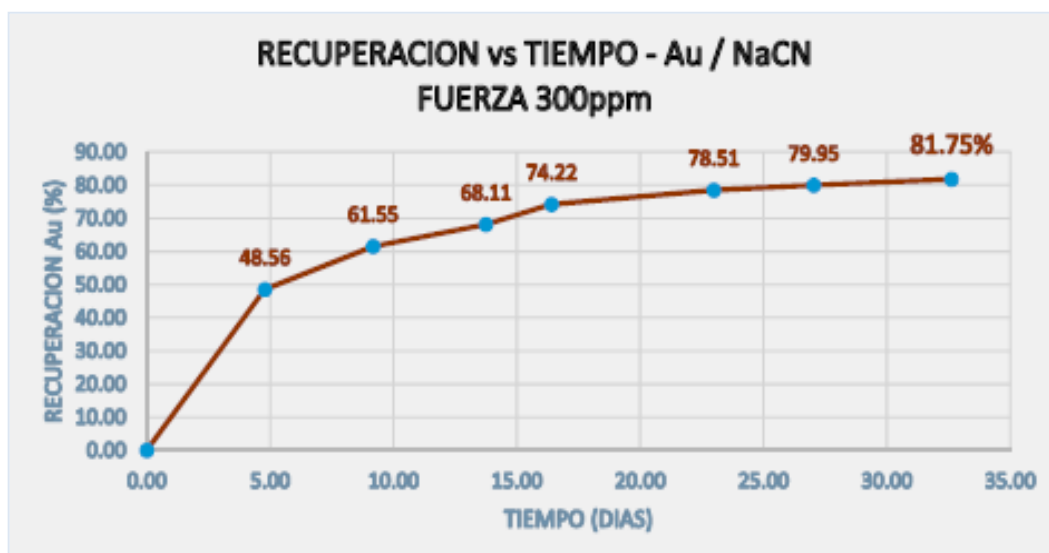


Figura 2. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de NaCN en columna.

Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Los resultados de la prueba N° 2 con reactivo lixiviante NaCN, muestran una recuperación en Au del 82 % empleando un tiempo de lixiviación de 33 días, tal como muestra la figura 3.

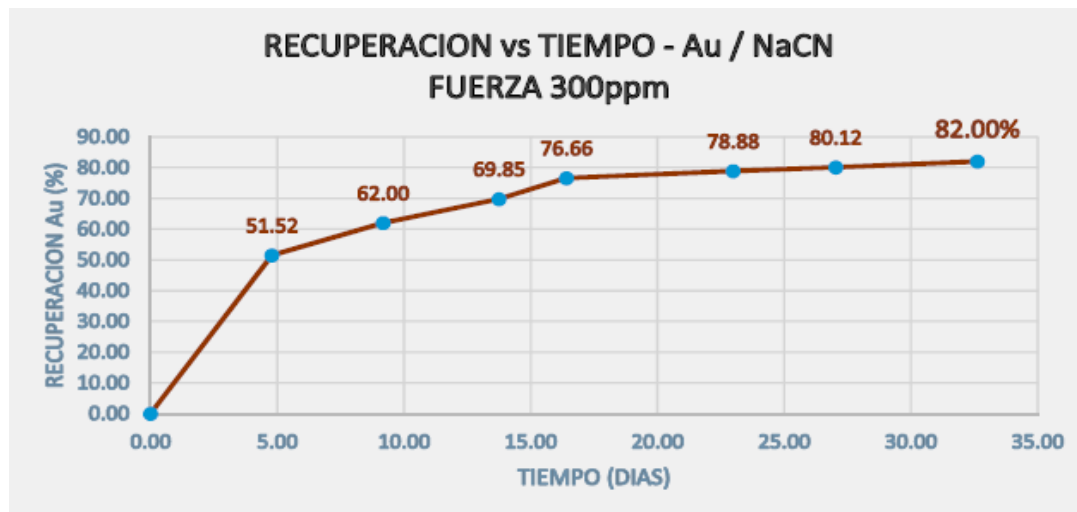


Figura 3. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de NaCN en columna.

Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Las condiciones de trabajo bajo las cuáles se llevaron a cabo las pruebas 3 y 4 con Goldmax se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Parámetros de prueba 3 y 4 lixiviación en columna

Parámetros de prueba 3 y 4	
Tipo de prueba:	Columnas
Cantidad de pruebas:	2
Peso de mineral (kg):	25
Ley de Au (g/TM):	2.5
Fuerza de Goldmax (ppm):	300
pH:	12
Granulometría:	< 1/4 "
Consumo de Goldmax (kg/TM):	1.059
Consumo de Cal (kg/TM):	1.7
Tiempo de lixiviación(días):	30

Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Los resultados de la prueba N° 3 con reactivo lixiviante Goldmax, muestran una recuperación en Au del 83.42 % empleando un tiempo de lixiviación de 30 días, tal como muestra la figura 4.

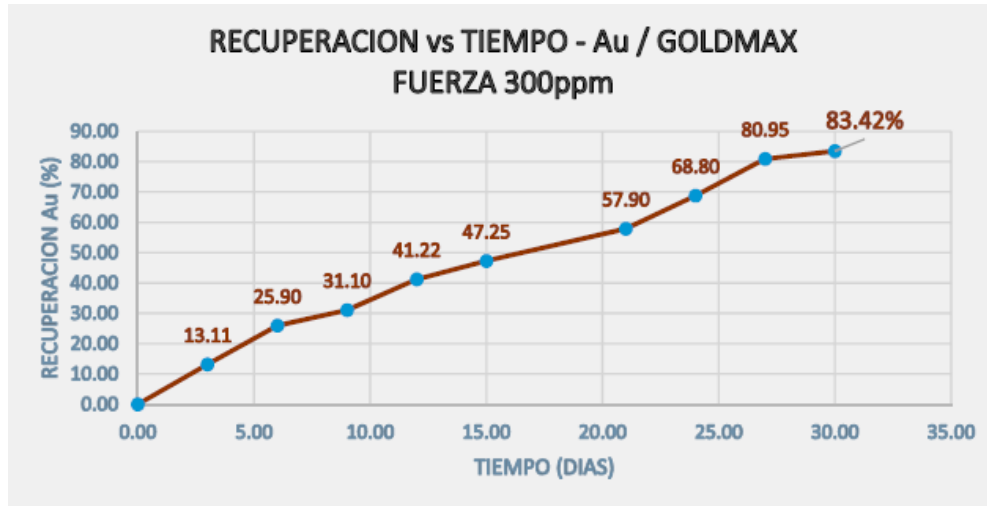


Figura 4. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de Goldmax en columna.
Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Los resultados de la prueba N° 4 con reactivo lixiviante Goldmax, muestran una recuperación en Au del 84 % empleando un tiempo de lixiviación de 30 días, tal como muestra la figura 5.

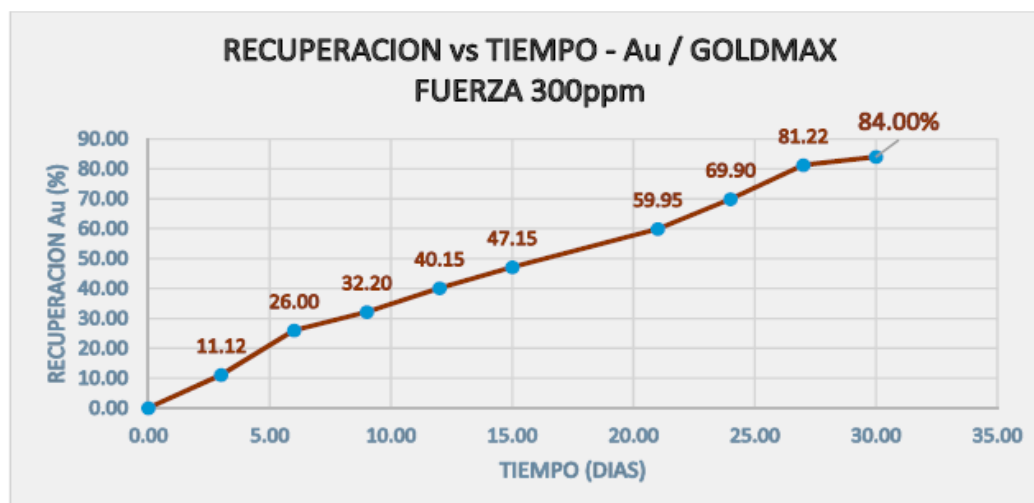


Figura 5. Recuperación de Au vs tiempo utilizando 300 ppm de Goldmax en columna.
Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Tal como se aprecia en la tabla 6, en la investigación se comprueba que el nuevo lixivante Goldmax logra recuperaciones mayores de Au, en tiempos menores satisfactoriamente.

Tabla 6

Resultados pruebas de lixiviación en columna con Cianuro de Sodio y Goldmax.

N° Prueba	Lixivante	Recuperación de Au (%)	Tiempo de lixiviación (días)
1	Cianuro de Sodio	81.75	33
2	Cianuro de Sodio	82.00	33
3	Goldmax	83.42	30
4	Goldmax	84.00	30

Fuente: Royal Chemical del Perú S.A.C

Los métodos de cianuración, utilizados para recuperar oro y plata, se seleccionan de acuerdo a características físicas y mineralógicas de las menas a tratar, ocurrencia de los metales preciosos y su ley, como también la magnitud del tonelaje a tratar. Se utilizan los métodos de lixiviación por agitación, en pilas y en botaderos. La mayoría de las menas de oro y plata requieren preparación para ser irrigadas. En la lixiviación en pilas algunas menas son naturalmente porosas, lo que facilita el ataque de la solución cianurada. Las menas más dificultosas para tratar en pilas son aquellas que contienen apreciables cantidades de arcillas o finos. Estos constituyentes podrían impedir la percolación de la solución, causar canalizaciones o producir zonas de la pila sin irrigación. Todos estos efectos producen bajas extracciones o recuperaciones de oro. Cuando el contenido de partículas finas o arcillas supera valores de 6 a 7% en la alimentación, es recomendable realizar una etapa de aglomeración previa a la cianuración en pilas. El proceso de aglomeración se debe realizar en tambores cilíndricos llamados tambores aglomeradores (Navarro, 2015).

El pre-tratamiento por “curado” de un mineral a ser lixiviado en pila tiene como objetivo obtener una cinética de extracción mucho mayor, acortando el tiempo de lixiviación. Existen diversas formas y equipos para efectuar la aglomeración y curado, dentro de los más utilizados podemos mencionar: tambor aglomerador y correa transportadora. Con respecto al tambor aglomerador podemos decir que se usa para aglomerar de manera muy eficiente al operar con una inclinación adecuada en el sentido del flujo de sólidos. La humedad total luego de agregar el agua y el lixivante debe ser del orden de 10 a 12% en peso, para alcanzar una consistencia adecuada de los aglomerados. La cal debe ser agregada durante el chancado; para homogenizar la mezcla con el propósito de neutralizar la acidez del mineral. Por lo general se requieren entre 2 a 5 kg cal/TM. Las tasas de riego varían entre 5 y 30 l/h/m², dependiendo del tamaño de partícula y altura de la pila. Generalmente se optimiza la combinación flujo específico altura de pila, de forma de no diluir demasiado las soluciones ricas que van a recuperación. Las menas que contienen oro con ley de cabeza promedio 0.5 a 2.0 g/TM, pueden ser tratadas por lixiviación en pilas con recuperaciones entre 70 a 80% y costos de operación de 300 a 400 US\$/onza de oro recuperado (Navarro, 2015).

El oro y/o plata que ha sido solubilizado con cianuro se puede recuperar por el sistema de adsorción en carbón activado o por el sistema Merrill-Crowe, el sistema de adsorción en carbón activado no requiere energía eléctrica o adiciones de zinc, y es el método preferido para capturar el oro, esta captura no es una reacción química, sino un enlace físico relacionado con los micro poros en el carbón, este enlace es débil con alcalinidad alta y si la solución preñada se mantiene a pH muy alto, el carbón no

captura tanto oro como a un pH más bajo, este enlace se usa para despojar el oro del carbón en el sistema de recuperación (Vesga Rueda, 2010).

1.2. Formulación del problema

En base a la problemática descrita se presenta la pregunta de investigación que nos guió en el desarrollo del estudio:

¿Cuál es la influencia del Goldmax y Sandioss en la recuperación de oro como alternativa al Cianuro de Sodio en la lixiviación con el mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la recuperación de oro y tiempo de lixiviación con Goldmax, Sandioss y comparar los resultados con el Cianuro de Sodio en la lixiviación en columna con el mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la asociación mineralógica, composición química y prueba de alcalinidad de la muestra de mineral de Sayapullo.
- Evaluar los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo lixivante Cianuro de Sodio
- Evaluar los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo lixivante Goldmax.

- Evaluar los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo lixivante Sandioss.
- Comparar los resultados de recuperación de oro, tiempo de lixiviación y consumo de reactivos en la lixiviación en columnas para el mineral oxidado con los tres reactivos lixiviantes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Al utilizar Goldmax y Sandioss en la lixiviación en columnas, se obtiene baja recuperación de oro y mayor tiempo de lixiviación y consumo de reactivos, para utilizarlo como alternativa del Cianuro de Sodio en el mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad, conservando los mismos parámetros de operación para ambos agentes lixiviantes.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Realizando los análisis de asociación mineralógica, composición química y las pruebas preliminares de alcalinidad, permitirán establecer los parámetros de operación en la lixiviación en columnas del mineral oxidado de Sayapullo.
- Realizando la prueba de lixiviación en columna con mineral oxidado utilizando 500 ppm de concentración de NaCN, se evaluará los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro para determinar el mayor porcentaje de recuperación de oro y menor tiempo de lixiviación.

- Realizando la prueba de lixiviación en columna con mineral oxidado utilizando 500 ppm de concentración de Goldmax, se evaluará los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro para determinar el mayor porcentaje de recuperación de oro y menor tiempo de lixiviación.
- Realizando la prueba de lixiviación en columna con mineral oxidado utilizando 500 ppm de concentración de Sandioss, se evaluará los parámetros de operación y el balance metalúrgico de oro para determinar el mayor porcentaje de recuperación de oro y menor tiempo de lixiviación.
- Analizando los resultados para los tres reactivos lixiviantes, se determinará que utilizando Cianuro de Sodio se obtiene mayor recuperación de oro, menor tiempo de lixiviación y menor consumo de reactivo para el mineral oxidado de Sayapullo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Sampieri (2010), menciona que “la investigación puede cumplir dos propósitos fundamentales: a) producir conocimiento y teorías (investigación básica) y b) resolver problemas prácticos (investigación aplicada). Por lo tanto el tipo de investigación es Aplicada.

El tipo de investigación es Experimental, debido a que es una situación de control en la cual se manipula de manera intencional la variable independiente de trabajo para evaluar las consecuencias sobre la variable dependiente (Rubio, 2014).

De acuerdo a lo antes mencionado, la evaluación del porcentaje de recuperación de oro en la lixiviación en columnas con Goldmax, Sandioss y Cianuro de Sodio, demandará una investigación de tipo Aplicada, Experimental a nivel de laboratorio. Las pruebas de lixiviación en columna son usadas para determinar los parámetros de trabajo, factibilidad técnica y económica de los diferentes minerales, orientadas a la optimización y al mejoramiento del proceso de lixiviación y por consiguiente de la producción, que serán confirmados en la lixiviación a nivel piloto y finalmente ponerlas en práctica a escala industrial.

2.2. Población y muestra

2.2.1 Población:

Mineral oxidado de Huancajanga, Sayapullo, Provincia Gran Chimú - La Libertad.

2.2.2 Muestra:

Una muestra de 200 kg fue tomada de una ruma de 50 TM de la cancha de almacenamiento de mineral a una granulometría $\leq 2''$ de mineral tipo óxido, aplicando la técnica del muestreo aleatorio simple (MAS) para tener muestras representativas de minerales de oro y plata.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Para recolectar datos

Las técnicas utilizadas fueron la observación, la experimentación y el análisis documental.

- Con la observación se pudo visualizar el tipo de mineral, los reactivos a utilizar y los fenómenos de la prueba de lixiviación.
- Con la experimentación se pudo recolectar datos del análisis granulométrico, la prueba de alcalinidad, el monitoreo de la prueba de lixiviación en columnas medianas y parámetros de operación. Los instrumentos utilizados fueron el formato de asociación mineralógica y composición química del mineral, formato de análisis granulométrico, formato de prueba de alcalinidad y formato de parámetros de operación. Ver anexo 1.
- Se utilizó la técnica del análisis documental para la obtención de resultados del análisis de Au en el mineral y carbón activado (técnica de ensayo al fuego), para el análisis de oro en soluciones (técnica de adsorción atómica). El instrumento utilizado fue la ficha de resultados de experimentación.

Para la realización de las pruebas metalúrgicas y su respectivo control se utilizaron los siguientes equipos, instrumentos y materiales:

a) Equipos

Chancadora de mandíbulas de 5" x 6"

Columna de HDP de 10" x 2.20 m

Rodillo para agitación de botella 40 rpm

Estufa de secado.

Balanza para pesado de muestras, capacidad 100 kg

Calculadora

b) Instrumentos

pH metro digital

c) Materiales

Como reactivos se utilizó el cianuro de sodio NaCN al 96 % de pureza, Goldmax (versión 2) y Sandioss; cal (CaO al 72%), nitrato de plata, ioduro de potasio, Carbón Activado 6 x12 marca Calgon, agua destilada, agua doméstica.

Como accesorios se utilizó vasos pírrex de 400 ml, papel filtro rápido, probeta graduada de 25 ml, Bureta ámbar de 25 ml, matraz Erlenmeyer 250 ml, embudo de vidrio, pizeta, cucharas de plástico, jeringas, bandejas de metal, bolsas plásticas y accesorios de limpieza

2.3.2 Para analizar datos

La técnica consistió en realizar un balance metalúrgico para determinar la recuperación del oro producto de la lixiviación de cada reactivo, debido a que

la recuperación de oro es medida de forma porcentual a través de la relación entre concentración de oro inmerso en la solución acuosa con respecto al total (% de recuperación de oro calculado), y el contenido de oro inicial en la cabeza de mineral con el contenido de oro final en el relave (recuperación ensayada).

El balance metalúrgico proporciona un conjunto de datos técnicos que dan cuenta de la prueba de lixiviación y de cada una de las variables del proceso que la constituyen. A través del análisis crítico del balance, se puede disponer de una señal de alarma, que funciona cuando una unidad no opera eficientemente o cuando el control no es adecuado.

2.4. Procedimiento Experimental

Se recibió los 200 kg de mineral y se observó que la granulometría era variada encontrándose en diversos tamaños hasta 4% por lo que se realizó una preparación mecánica antes de cargar las columnas.

a) Preparación mecánica del mineral

- **Chancado**

Todo el mineral se recibió y en forma aleatoria con un cucharón se tomó muestras de mineral en una bandeja, aproximadamente 5 kg para determinación de la humedad. El resto de mineral se secó en la estufa a 80°C durante 12 horas y cuando éste ya estuvo frío, se pesó y realizó la reducción de tamaño en la chancadora de mandíbulas a ¼”.

- **Tamizado**

En el tamiz de $\frac{1}{4}$ " se realizó el tamizado de toda la muestra, así el mineral $+1/4$ " nuevamente se le chancó hasta obtener todo el producto a $-1/4$ ".

- **Homogenizado y cuarteo**

El mineral se homogenizó 5 veces con la técnica del cono en una geomembrana formando un cono con la ayuda de palas, luego se dividió la muestra en cuatro, y se empezó a formar otro cono al lado iniciando siempre con los lados opuestos de las porciones divididas, colectando finos y gruesos, hasta que se obtuvo pesos estipulados de 50 kg en cada uno.



Figura 6. Homogenizado y cuarteo del mineral

Fuente: Navarro, 2015

Tres montones de 50 kg cada uno sirvieron para el cargado de las tres columnas y la otra porción de 50 kg se homogenizó nuevamente 5 veces. Después de la quinta homogenizada, se cuarteó la muestra en 12 partes

aproximadamente, obteniéndose pesos de 4.16 kg. Una porción fué para análisis de la ley de cabeza, la otra para caracterización mineralógica y una tercera para la prueba de alcalinidad, de tal manera que se tuvo 09 porciones restantes de contra muestras.

- **Prueba de alcalinidad**

Condiciones de Operación:

- ✓ Mineral homogenizado y cuarteado
- ✓ Granulometría: 100% -1/4"
- ✓ Dilución (L/S) = 1
- ✓ Peso muestra = 2 kilos
- ✓ Volumen de agua industrial = 2 litros
- ✓ pH Agua = 7.0
- ✓ Tiempo = 24 h

Procedimiento:

- Homogenizar y cuartear toda la muestra hasta obtener 2 Kg.
- Lavar bien la botella para realizar la prueba.
- Agregar a la botella la muestra de 2 Kg., luego agregar 2 L de agua a pH 7 (Relación S/L 1: 1).
- El tiempo de la prueba es de 24 horas continuos desde el inicio hasta el final de la prueba.
- Colocar la botella en el rodillo y dejar agitar por espacio de aproximadamente una hora.

- Luego del tiempo transcurrido, dejar sedimentar los sólidos hasta que la solución sea clarificada.
- Medir el pH de la solución clarificada y anotar dato. Esta primera medida es el pH natural del mineral.
- Pesar una cierta cantidad de cal en la balanza analítica y anotar dato.
- Agregar la cal a la botella y dejar agitando en el rodillo por un tiempo aproximado de 2 horas. Transcurrido este tiempo, dejar sedimentar los sólidos hasta que la solución sea clarificada y medir el pH de la solución clarificada.
- Seguir con esta secuencia hasta llegar a un $\text{pH} \leq 11$
- Finalizada la prueba, desechar la pulpa.
- Determinar ratio de cal de acuerdo al siguiente calculo:

Muestra	pH	Total cal	Ratio (Kg/TM mineral)
1	10.61	6	$6.00/2.00 = 3.00$

Ratio de cal = 3.00 Kg. cal/TM de mineral

El monitoreo de la prueba de alcalinidad se localiza en el ANEXO n.º 1

b) Acondicionamiento del mineral

Para cada columna de lixiviación se utilizó 50 kg de mineral y se le adicionó previamente una determinada cantidad de cal (calculada en las pruebas de alcalinidad) para elevar a un pH óptimo de 10.5 para evitar la pérdida de cianuro como gas cianhídrico (HCN) durante el riego por efecto de un pH inferior al requerido.

Luego el mineral fue aglomerado con una dosis de cemento con un ratio de 30 kg de cemento/TM mineral con reposición de agua a su humedad original. En el agua

se le agregó reactivo lixivante a una concentración de 150 ppm y se le dejó en reposo (tiempo de curado) durante 24 horas.

c) Saturación del carbón con reactivo lixivante

El objetivo de saturar el carbón, es el de evitar que el carbón activado consuma reactivo lixivante de la solución de riego. Para saturar el carbón, éste se lava a malla 20M y se desechan los finos. Luego se prepara una solución al 0.1% de reactivo lixivante, el volumen a preparar estará en función de la cantidad de carbón requerido (la relación recomendada es de 0.8 Kg de carbón por litro de solución de saturación). Enseguida se deja reposar la solución por espacio de 12 horas, después de esto el carbón es escurrido y cargado a la columna de carbón activado. Este proceso se realiza únicamente en el proceso de lixiviación en columnas en circuito cerrado.

d) Cargado de la columna mediana

Como parámetro de riego se utilizan valores del orden de 5-10 l/h.m² (caudal de riego) en nuestro caso es: 8 l/h.m². La solución lixivante percola a través del mineral y es colectada diariamente en un recipiente en la parte inferior de la columna, donde la solución rica que se recoge diariamente son medidas y analizadas por su contenido de metales preciosos (Au y Ag). La solución rica (pregnant), es conducida a través de un circuito de dos columnas pequeñas de carbón activado para posibilitar la adsorción de los metales disueltos en la solución. Luego la solución barren (solución pobre) que sale de las columnas de

carbón, es recirculada después de haberle repuesto la fuerza necesaria de cianuro y alcalinidad, al riego de mineral.

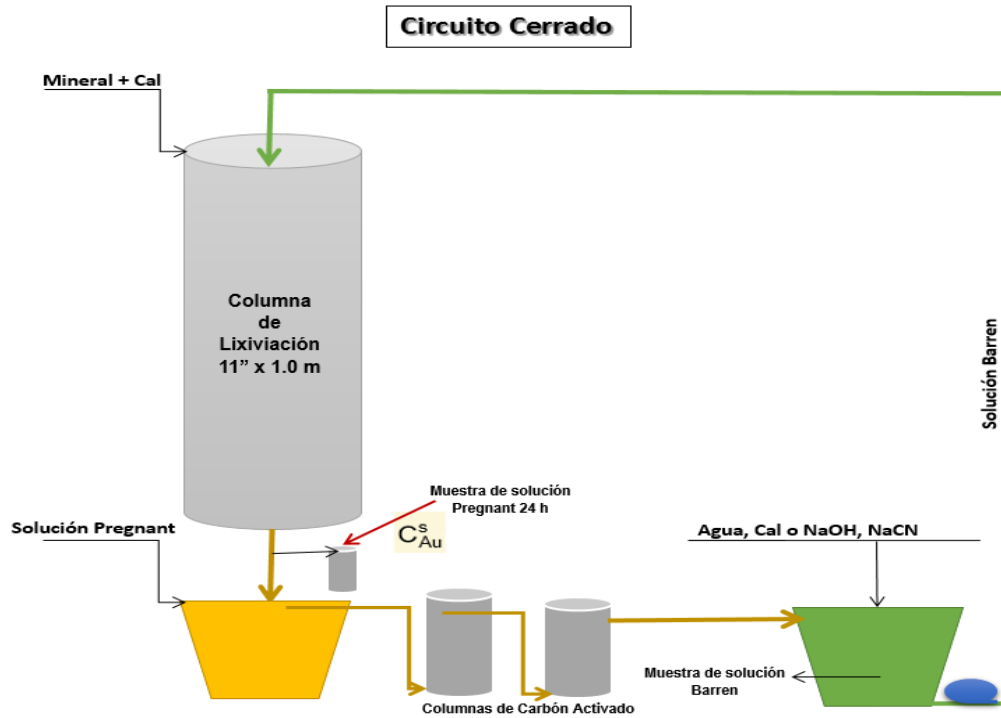


Figura 7. Circuito cerrado de pruebas de lixiviación en columna.

Fuente: López, 2018

Procedimiento:

- Preparar los recipientes utilizados para solución barren, riego y pregnant.
- Instalar la columna de carbón en la descarga de la columna de lixiviación, y a la vez instalar un muestreador de solución pregnant antes de que la solución rica ingrese a la columna de carbón.
- Medir la cantidad necesaria de agua en el recipiente destinado para la solución de riego. La solución de riego se calcula según el diámetro de la columna y el ratio de riego para un tiempo de 24 horas.

- Agregar según los parámetros indicados para la prueba, la fuerza de cianuro de sodio a un pH de 11 la solución de riego.
- Regular el flujo de solución de riego que ingresa a la columna de acuerdo al ratio de riego establecido para la prueba.
- Anotar el tiempo en el cual se inició el riego.
- Anotar el tiempo de drenado de la primera gota de la solución y determinar la velocidad de percolación del mineral.
- Al completarse 24 horas de riego proceder a medir el volumen de solución barren percolado, si la solución barren es menor al volumen de inicio de riego, hacer ajuste la solución de riego, de la misma manera hacer ajuste del pH y la fuerza de NaCN a las condiciones iniciales de la prueba.
- Tomar una muestra de solución pregnant y barren y enviar a analizar al Laboratorio Químico por Au, Ag, pH.
- Iniciar el riego nuevamente la columna y seguir con el procedimiento todos los días.
- El ciclo de lixiviación culmina cuando los valores de Au y Ag en la solución Pregnant son menores a 0.010 ppm y se repite por lo menos 5 días. Luego proceder el lavado a la columna, solamente con agua y tomando siempre muestras de solución pregnant y barren hasta que la fuerza de NaCN en pregnant sean menores a 10 ppm. Las soluciones barren se desecha todos los días.
- Luego de ello proceder a drenar la solución de la columna, retirando las columnas de carbón y dejando drenar la solución libremente hasta que no haya drenado.

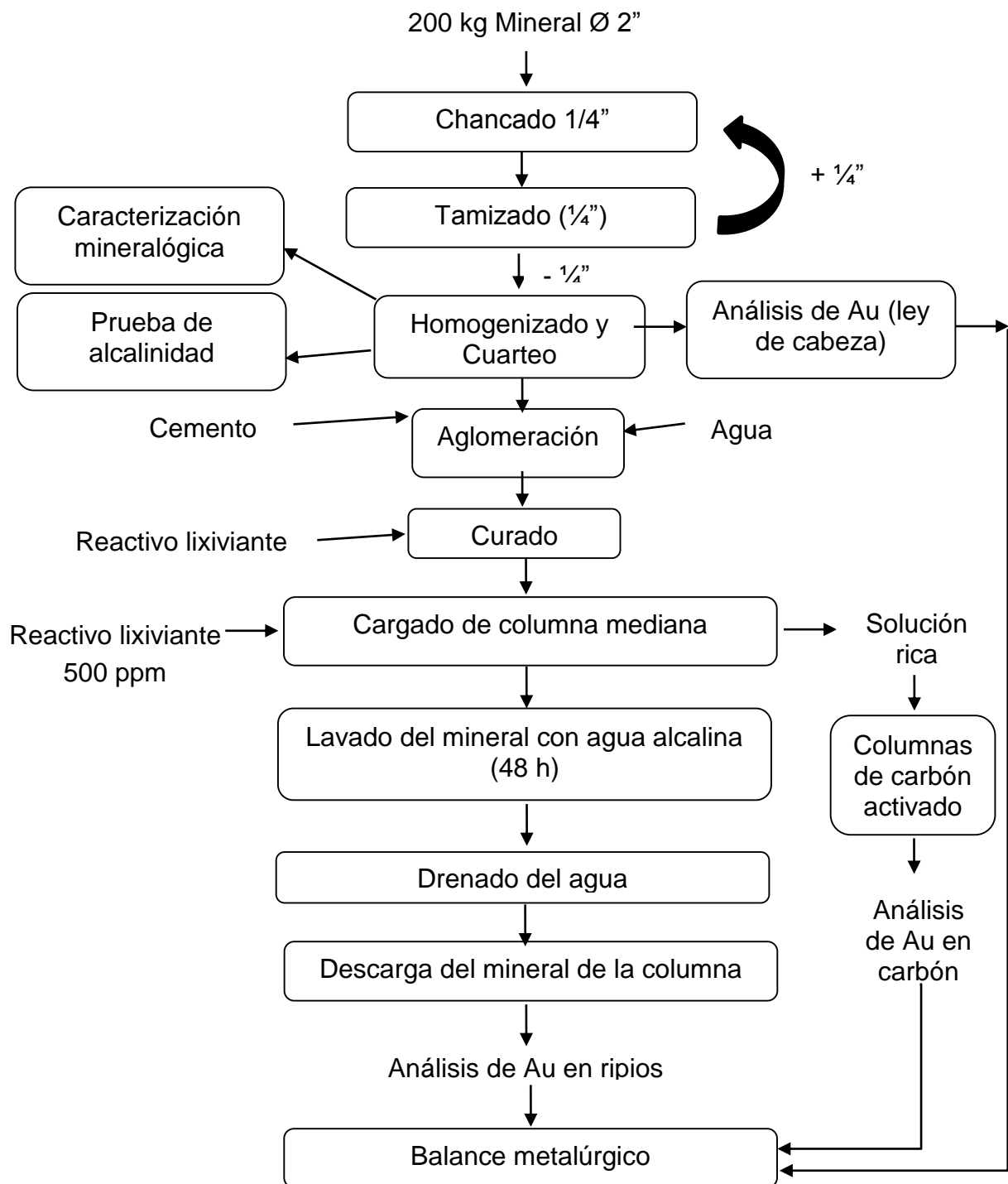


Figura 8. Diagrama del procedimiento experimental.

Fuente: Elaboración propia

e) Descarga de la columna y muestreo de residuos

Una vez drenada la columna, se procede a descargar la columna para su procesamiento de ripios, que son enviados al laboratorio químico para determinar el contenido de oro y plata. Se tuvo en cuenta el siguiente procedimiento:

- Medir la altura final de mineral en la columna.
- Voltear la columna, retirar la base de la columna y vaciar todo el mineral a las bandejas para el análisis de colas.
- Secar la muestra y después chancarla hasta -10M, cuartearlos hasta 500 g. cada uno, luego pulverizarlos hasta -200M y finalmente enviar a laboratorio químico para ser analizadas por Au, Ag.
- Obtenido los resultados de análisis químico, se procede a los cálculos tales como el porcentaje de recuperación, consumo de reactivo lixivante, cal y su posterior balance metalúrgico para interpretación de resultados.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

El mineral de estudio corresponde al sector Huancajanga, localizado en Sayapullo, Provincia Gran Chimú - La Libertad.

GEOLOGÍA LOCAL

Formación Carhuaz

Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (Características principales para diferenciarlas en campo. Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa en infrayace concordantemente a la formación Farrat.

Formación Farrat

Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500m en algunos lugares se observa la estratificación cruzada y marcas de oleaje.

Formación Inca

En varios lugares se han observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento. Su grosor no pasa los 100 m

Formación Chulec

Suprayace concordantemente a la formación Inca e infrayace con la misma relación a la formación Pariatambo.

Litológicamente consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento, su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en Campo y sus grosores varían de 200 a 250 m.

Formación Pariatambo

Consiste de una alternancia de lutitas con lechos delgados de calizas bituminosas negruzcas, estratos calcáreos con nódulos silíceos (Chert) y dolomíticos, con un característico olor fétido al fracturarlas. Generalmente, su espesor oscila entre los 150 a 200 m.

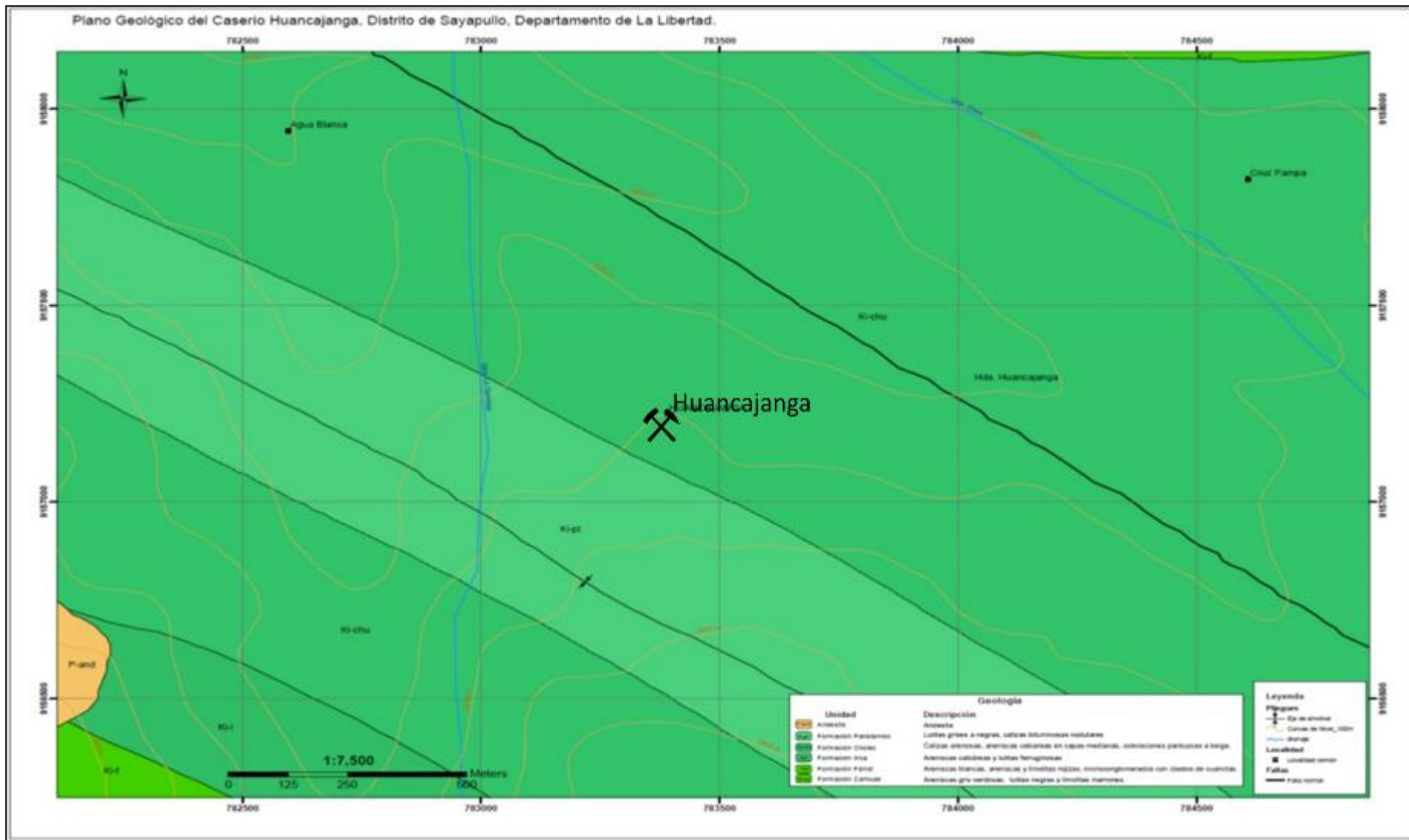


Figura 9. Plano Geológico del caserío de Huancajanga, distrito de Sayapullo, La Libertad.

3.1 Determinación de la asociación mineralógica, composición química y prueba de alcalinidad de la muestra

Tabla 7

Asociación mineralógica, Composición química y prueba de alcalinidad de la muestra.

ASOCIACIÓN MINERALOGICA	COMPOSICIÓN QUIMICA	PRUEBA DE ALCALINIDAD
La muestra presenta una asociación mineralógica del oro y la plata en el cuarzo con presencia de areniscas calcareas y lutitas ferruginosas con limonita, también se observa pequeñas cantidades de pirita con granulometría muy fina (-200 mallas)	Au = 7 g/TM Ag = 20 g/TM	Ratio de cal = 3 kg/TM

Fuente. Laboratorio Metalúrgico Ing. José Alfaro Rivas.

Para el análisis químico de Au y Ag, se usó el método analítico ensayo al fuego, el cual fue realizado por el LABORATORIO QUÍMICO POLIMETALS LAB EIRL de la ciudad de Trujillo. El análisis químico de la muestra de mineral nos reportó una ley de cabeza de Au = 7 g/TM, Ag = 20 g/TM. Asimismo el mineral tiene un pH natural de 6.50 y una granulometría fina con un $P_{80}=1.2''$ (Ver anexo 2 y fotos del anexo 9).

3.2 Parámetros de operación y balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo lixivante cianuro de sodio

Tabla 8

Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con NaCN

Parámetros de Operación	
Peso de mineral seco (kg)	50
Granulometría	100 % (-malla 1/4")
Aglomeración	30 kg de cemento/TM mineral
% de humedad del aglomerado	12.5
pH de trabajo	11
Fuerza de solución de NaCN en el curado (ppm)	150
Tiempo de curado (horas)	24
Fuerza de NaCN en la lixiviación (ppm)	500
Caudal de riego en la columna (L/m ² *h.)	8
Tiempo de lixiviación (días)	7
Tiempo de lavado (días)	1
Consumo de NaCN (kg/TM)	0.920
Peso de carbón activado (gramos)	Código C-1 : 350 gramos Código C-2 : 350 gramos

Fuente. Laboratorio Metalúrgico Ing. José Alfaro Rivas.

La tabla 8 muestra parámetros de operación de la columna de lixiviación con NaCN, donde el mineral ya se le ha adicionado su humedad de 12.5 % para aglomerarlo, el pH de trabajo 11 y el consumo de cianuro de 0.920 Kg/TM mineral tratado.

Tabla 9

Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con NaCN

Balance Metalúrgico de Oro	
Cabeza Ensayada (ppm)	7.00
Cola Ensayada (ppm)	1.40
Recuperación Ensayada (%)	80.00
Cabeza Calculada (ppm)	7.70
Recuperación Calculada (%)	81.82
Análisis químico del carbón activado	
C-1 Oro gr/kg	0.55
C-2 Oro gr/kg	0.35
Metal En Carbón Activado	
*Columna (C-1), (mgr)	192.50
*Columna (C-2), (mgr)	122.50
Au en solución barren (ppm)	0.15
Metal en solución barren (mg)	0.60
Metal En Cola (mgr)	69.30
Metal Total (mgr)	384.90

Fuente. Data prueba de Lixiviación en columna con NaCN.

La tabla 9 muestra el balance metalúrgico obtenido con cabeza ensayada y cabeza calculada. Para la prueba de Lixiviación en columna con NaCN se alcanzó 80.00% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 81.82% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de NaCN, cuya alimentación fue un tamaño de partícula 100% - 1/4".

3.3 Parámetros de operación y balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo lixivante Goldmax

Tabla 10

Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax

Parámetros de Operación	
Peso de mineral seco (kg)	50
Granulometría	100 % (-malla 1/4")
Aglomeración	30 kg de cemento/TM mineral
% de humedad del aglomerado	12.5
pH de trabajo	12
Fuerza de solución de Goldmax en el curado (ppm)	150
Tiempo de curado (horas)	24
Fuerza de reactivo Goldmax en la lixiviación (ppm)	500
Caudal de riego en la columna (L/m ² *h.)	8
Tiempo de lixiviación (días)	7
Tiempo de lavado (días)	1
Consumo de Goldmax (kg/TM)	2.900
Peso de carbón activado (gramos)	Código G-1 : 300 gramos Código G-2 : 220 gramos

Fuente. Laboratorio Metalúrgico Ing. José Alfaro Rivas.

La tabla 10 muestra parámetros de operación de la columna de lixiviación con Goldmax, donde el mineral ya se le ha adicionado su humedad de 12.5 % para aglomerarlo, el pH de trabajo 12 y el consumo de Goldmax de 2.900 Kg/TM mineral tratado.

Tabla 11

Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax

Balance Metalúrgico de Oro	
Cabeza Ensayada (ppm)	7.00
Cola Ensayada (ppm)	1.80
Recuperación Ensayada (%)	74.29
Cabeza Calculada (ppm)	8.06
Recuperación Calculada (%)	77.67
Análisis químico del carbón activado	
G-1 Oro gr/kg	0.75
G-2 Oro gr/kg	0.40
Metal En Carbón Activado	
*Columna (C-1), (mgr)	225.00
*Columna (C-2), (mgr)	88.00
Au en solución barren (ppm)	0.80
Metal En Cola (mgr)	89.10
Metal Total (mgr)	402.90

Fuente. Data prueba de Lixiviación en columna con Goldmax.

La tabla 11 muestra el balance obtenido con cabeza ensayada y cabeza calculada. Para la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax se alcanzó 74.29% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 77.67% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y rípios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de Goldmax, cuya alimentación fue un tamaño de partícula 100% - 1/4”.

3.4 Parámetros de operación y balance metalúrgico de oro en la prueba de lixiviación en columna con reactivo Sandioss

Tabla 12

Parámetros de Operación de la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss

Parámetros de Operación	
Peso de mineral seco (kg)	50
Granulometría	100 % (-malla 1/4")
Aglomeración	30 kg de cemento/TM mineral
% de humedad del aglomerado	12.5
pH de trabajo	12
Fuerza de solución de Sandioss en el curado (ppm)	150
Tiempo de curado (horas)	24
Fuerza de reactivo Sandioss en la lixiviación (ppm)	500
Caudal de riego en la columna (L/m ² *h.)	8
Tiempo de lixiviación (días)	7
Tiempo de lavado (días)	1
Consumo de Sandioss (kg/TM)	3.800
Peso de carbón activado (gramos)	Código S-1 : 350 gramos Código S-2 : 350 gramos

Fuente. Laboratorio Metalúrgico Ing. José Alfaro Rivas.

La tabla 12 muestra parámetros de operación de la columna de lixiviación con Sandioss, donde el mineral ya se le ha adicionado su humedad de 12.5 % para aglomerarlo, el pH de trabajo 12 y el consumo de Sandioss de 3.800 Kg/TM mineral tratado.

Tabla 13

Balance metalúrgico de oro en la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss

Balance Metalúrgico de Oro	
Cabeza Ensayada (ppm)	7.00
Cola Ensayada (ppm)	2.68
Recuperación Ensayada (%)	61.71
Cabeza Calculada (ppm)	8.56
Recuperación Calculada (%)	68.69
Análisis químico del carbón activado	
S-1 Oro gr/kg	0.45
S-2 Oro gr/kg	0.039
Metal En Carbón Activado	
*Columna (C-1), (mgr)	157.50
*Columna (C-2), (mgr)	13.65
Au en solución barren (ppm)	0.80
Metal En Cola (mgr)	132.66
Metal Total (mgr)	304.61

Fuente. Data prueba de Lixiviación en columna con Sandioss

La tabla 13 muestra el balance obtenido con cabeza ensayada y cabeza calculada. Para la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss se alcanzó 61.71% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 68.69% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de Sandioss, cuya alimentación fue un tamaño de partícula 100% - 1/4”.

Tabla 14

Resúmen prueba de Lixiviación en columna con NaCN, Goldmax y Sandioss

N° de prueba	Tipo lixivante	Concentración (ppm)	Granulometría	Recuperación Au (%)			Tiempo de lixiviación (días)	Consumo de reactivo lixivante (kg/TM)	Consumo de cal (kg/TM)
				Ensayada	Calculada	Promedio			
1	NaCN	500	100 % (-malla 1/4")	80.00	81.82	80.91	7	0.920	3.00
2	Goldmax	500	100 % (-malla 1/4")	74.29	77.67	75.98	7	2.900	3.00
3	Sandioss	500	100 % (-malla 1/4")	61.71	68.69	65.20	7	3.800	3.00

Fuente. Data pruebas de Lixiviación

La tabla 14 muestra un resumen de los parámetros estudiados en las pruebas de lixiviación en columnas medianas. En 7 días de lixiviación a una concentración de 500 ppm de reactivo lixivante, las recuperaciones promedio obtenidas en cuanto al oro, se tiene que la mejor fue de la columna 1 con Cianuro de sodio (NaCN), que llega a una recuperación de 80.91% frente a la columna 2 con reactivo lixivante Goldmax que solo llega a 74.29 y luego el reactivo Sandioss en la columna 3 con una recuperación de 65.29 %.

En cuanto al consumo de reactivos, la columna 1 tiene el más bajo valor con un consumo de cianuro de 0.920 Kg/TM y 3.00 Kg/TM de cal. La columna 2 presenta un consumo de reactivo lixivante Goldmax de 2.90 Kg/TM y 3.00 Kg/TM de cal. La columna 3 presenta el más alto valor de consumo de reactivo lixivante Sandioss con 3.80 Kg/TM y 3.00 Kg/TM de cal.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

(Vega González, 2015) en su investigación con un mineral de la empresa SMRL Puebla de los Infantes - Lluçma - La Libertad, que consistió en una prueba metalúrgica en botellas a 300 ppm para comparar resultados técnicos del Cianuro de sodio vs Sandioss, nos dice que el mineral estuvo constituido por cuarcita – arenisca, pH natural de 7, llegando a tener un consumo de cal de 5.80 kg/TM y la ley de Au en cabeza del mineral fue de 10.2 g/TM. Posteriormente se realizan pruebas con el mismo mineral para pruebas en columna con 25 kg de muestra y se lixivió con una fuerza de cianuro de 300 ppm para los dos reactivos, se decide tener como parámetro de operación para la prueba, la granulometría a un tamaño 100 % -1/4”

(Alaya, 2017) en su investigación utiliza un mineral oxidado de Sayapullo, pero no lo caracteriza al mineral, trabajando en 8 columnas variando la granulometría a malla +#5 y -#5 con dosificaciones de los dos tipos de lixivante Sandioss y Cianuro de sodio con fuerzas de 500 ppm y 700 ppm cada una.

De la tabla 7 se puede apreciar en esta investigación, que la muestra de mineral en estudio, presenta una asociación mineralógica del oro y la plata en el cuarzo con presencia de areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas con limonita, también se observa pequeñas cantidades de pirita con granulometría muy fina (-200 mallas), por tal motivo su pH natural es de 6.5; asimismo al realizar un tamizado y procesar los datos, se obtuvo que el mineral tiene una granulometría fina, presentando un $p_{80} = 1.2''$. Del reporte de análisis químico, la ley de Au = 7 g/TM y la ley de Ag = 20 g/TM. Asimismo el consumo de cal de la prueba de alcalinidad fue 3.0 kg/TM de mineral. Con esta información se establece que en los parámetros de operación para

la lixiviación, este mineral debe aglomerarse y realizar un curado previo para poder obtener óptimas recuperaciones y realizar pruebas de lixiviación en columna con una granulometría 100 % -1/4” con dosificaciones de los tres tipos de lixivante Cianuro de Sodio, Goldmax y Sandioss con una concentración de 500 ppm.

En la investigación de Padierna León y Zegarra Esquivel (2016), con pruebas de lixiviación en botella, usando el reactivo Sandioss versus el cianuro de sodio a similares condiciones operativas como granulometría 80% -m200, 33% de sólidos, 500 ppm de concentración de reactivo lixivante, pH 11, cal como regulador de pH, con tiempo de agitación 72 horas y a condiciones normales de temperatura y presión. De los resultados obtenidos con el reactivo lixivante Sandioss y el Cianuro de Sodio a 72 horas de lixiviación, para el mineral tipo óxidos se obtuvo 93.46% y 95.01% respectivamente.

(Vega González, 2015) en su investigación menciona que el % de extracción de oro con Sandioss es de 83.73% empleando un tiempo de lixiviación de 30 días y el cianuro de sodio recupera 82.00% con un tiempo de 32.62 días; es decir con el Sandioss se tiene mayor % de recuperación de oro y menor tiempo de lixiviación. Asimismo el consumo de Sandioss es de 1.039 kg/TM y del cianuro de 1.197 kg/TM, es decir el consumo de Sandioss es menor que del cianuro de sodio.

(Alaya, 2017) en sus pruebas de lixiviación en columna con mineral oxidado de Sayapullo menciona que, los resultados obtenidos muestran que la mayor extracción de oro fue de 95.620% a una granulometría malla + #5 y a una concentración de 700 ppm del lixivante cianuro de sodio, y la extracción más baja de oro a fue 88.117% a una granulometría malla - #5 y a una concentración de 700ppm del tipo lixivante

Sandioss; de tal manera que los resultados obtenidos muestran la influencia que a mayor concentración de lixivante el porcentaje de extracción es mayor para ambos tipos de lixivante y que con el lixivante NaCN la extracción de oro es mayor que con el lixivante Sandioss.

Estos resultados confirman lo encontrado en nuestra investigación. De la tabla 9 se puede apreciar que para la prueba de Lixiviación en columna con NaCN se alcanzó 80.00% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 81.82% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y rípios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de NaCN. En cuanto al consumo de reactivos se tiene para esta columna un consumo de 0.920 Kg NaCN/TM mineral y 3.00 Kg Cal/TM mineral. Asimismo se utilizó en la aglomeración 30 Kg cemento/TM mineral para un 12.5% de humedad en el aglomerado.

De la tabla 13 se puede apreciar para la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss se alcanzó 61.71% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 68.69% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y rípios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de Sandioss.

De las pruebas realizadas en Noviembre del 2015 llevadas a cabo en el Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas de Royal Chemical del Perú S.A.C. en la cual realizó una prueba comparativa de lixiviación en columnas utilizando como lixivantes Cianuro de Sodio vs Goldmax con mineral de la Cia Minera Aurífera Santo Domingo; el lixivante Goldmax logra recuperaciones entre 83.42% y 84% en 30 días de lixiviación, en comparación con el Cianuro de sodio que alcanza recuperaciones entre 81.75% y 82% en 33 días de lixiviación.

Estos resultados contradicen a los ejecutados en esta investigación. De la tabla 11 se puede apreciar que para la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax se alcanzó 74.29% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 77.67% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de Goldmax. La columna 1 con Cianuro de sodio (NaCN), llega a una recuperación de oro promedio de 80.91% frente a la columna 2 con reactivo lixivante Goldmax que solo llega a una recuperación promedio de 74.29%.

En cuanto al consumo de reactivos se tiene para esta columna un consumo de 2.900 Kg Goldmax/TM mineral y 3.00 Kg Cal/TM mineral. Asimismo se utilizó en la aglomeración 30 Kg cemento/TM mineral para un 12.5% de humedad en el aglomerado.

4.2 Conclusiones

Las recuperaciones promedio obtenidas en cuanto al oro con el mineral oxidado de Sayapullo, La Libertad, durante 7 días de lixiviación, se tiene que la mejor fue de la columna 1 con Cianuro de sodio (NaCN), que llega a una recuperación de 80.91% frente a la columna 2 con reactivo lixivante Goldmax con 74.29 % y luego el reactivo Sandioss en la columna 3 que solo llega a una recuperación del 65.29 %.

Los resultados mineralógicos de la muestra del mineral estudiado, indicaron asociación mineralógica del oro y la plata en el cuarzo con presencia de areniscas calcáreas y lutitas ferruginosas con limonita, también se observa pequeñas cantidades de pirita con granulometría muy fina (-200 mallas), asimismo al realizar un tamizado

y procesar los datos, se obtuvo que el mineral tiene una granulometría fina, presentando un $p_{80} = 1.2''$. Del reporte de análisis químico, se tiene que la de cabeza en oro es de 7 g/TM y la ley de plata 20 g/TM. El consumo de cal de la prueba de alcalinidad fue 3.0 kg/TM de mineral.

Para la prueba de Lixiviación en columna con NaCN se alcanzó 80.00% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 81.82% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de NaCN. Se concluye que la lixiviación para este tipo de mineral llega a una recuperación promedio de 80.91% con un consumo de 0.920 Kg NaCN/TM mineral y 3.00 Kg Cal/TM mineral. Asimismo se utilizó en la aglomeración 30 Kg cemento/TM mineral para un 12.5% de humedad en el aglomerado.

Para la prueba de Lixiviación en columna con Goldmax se alcanzó 74.29% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 77.67% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de riego a 500 ppm de Goldmax. Se concluye que la lixiviación para este tipo de mineral llega a una recuperación promedio de 75.98% con un consumo de 2.90 Kg Goldmax/TM mineral y 3.00 Kg Cal/TM mineral. Asimismo se utilizó en la aglomeración 30 Kg cemento/TM mineral para un 12.5% de humedad en el aglomerado.

Para la prueba de Lixiviación en columna con Sandioss se alcanzó 61.71% recuperación de Au con cabeza ensayada (sólidos), 68.69% recuperación de Au con cabeza calculada (soluciones y ripios) en 7 días de lixiviación con una solución de

riego a 500 ppm de Sandioss. Se concluye que la lixiviación para este tipo de mineral llega a una recuperación promedio de 65.20% con un consumo de 3.80 Kg Sandioss/TM mineral y 3.00 Kg Cal/TM mineral. Asimismo se utilizó en la aglomeración 30 Kg cemento/TM mineral para un 12.5% de humedad en el aglomerado.

REFERENCIAS

- Alaya Misahuamán, Jeanpierre Jhanmarco (2017). *Influencia del tamaño de partícula de mineral y concentración del lixivante en la extracción de oro mediante lixiviación en columna, Sayapullo - La Libertad*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Universidad Privada del Norte. Cajamarca-Perú.
- Aramburú R. Vidal Sixto (2015). *Proceso innovador para mejorar la recuperación de oro y reducir la contaminación ambiental en la minería artesanal*. Tesis (Doctor en Gestión de Empresas). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. pp. 6-7
- Christen, Hans Rudolf (1977). *Fundamentos de la química general e inorgánica*. Editorial Reverté. Barcelona, España.
- Logsdon, M. J., Hagelstein, K., & Mudder, T. I. (2001). *El manejo del cianuro en la extracción de oro*. Concejo Internacional de Metales y Medio Ambiente.
- López Fernando (2018). “*Proceso Metalúrgico de la Empresa Apumayo SAC*”, Diplomado en Lixiviación de Minerales. Trujillo, La Libertad.
- Navarro Donoso, Patricio (2015). *Optimización y técnicas modernas en hidrometalurgia de oro y plata*. Intercade Consultancy & Training.
- Padierna León, J. C., & Zegarra Esquivel, Y. A. (2016). *Recuperación de oro utilizando Sandioss como alternativa al cianuro de sodio en la lixiviación alcalina por agitación de minerales tipo óxido, sulfuro y carbonáceo*. Trujillo, Perú.
- Royal Chemical del Perú S.A.C (2015). *Prueba comparativa de lixiviación en columnas*

Cianuro vs Goldmax. Laboratorio de Investigaciones Metalúrgicas. Lima Norte, Perú.

Royal Chemical del Perú S.A.C (2015). *Ficha Técnica del reactivo Goldmax*.

Sandioss. Buscado en: <http://www.lemcorp.com.pe> (Fecha de visto 28/05/2015)

<http://bioper.com.pe/#caracteristicas> (Fecha de visto 23/07/2015)

Vega González, J. A. (2015). *Reporte de prueba metalurgica lixiviacion en botellas - 300 ppm Sandioss*. Trujillo, Perú.

Vesga Rueda, Diego Armando (2010). *Evaluación de la disolución de oro del mineral de la Mina San Pablo, ubicada en el Municipio de Remedios Antioquia, Mediante cianuración con agitación mecánica*. Bucaramanga, Colombia: Universidad Industrial de Santander. 77 p.

ANEXOS

ANEXO n.º 1

Instrumentos utilizados en la prueba metalúrgica

Formato de asociación mineralógica y composición química del mineral

ASOCIACIÓN MINERALOGICA	COMPOSICIÓN QUIMICA	PRUEBA DE ALCALINIDAD

Formato prueba de alcalinidad

PRUEBA DE ALCALINIDAD		
Tiempo control	Cal (gr)	pH
Total Cal (gr)	0.00	
Ratio Cal (kg/TM)	0.00	

Formato parámetros de operación

Parámetros de Operación

Peso de mineral seco (kg)
Granulometría
Aglomeración
% de humedad del aglomerado
pH de trabajo
Fuerza de solución de NaCN en el curado (ppm)
Tiempo de curado (horas)
Fuerza de NaCN en la lixiviación (ppm)
Caudal de riego en la columna (L/m²*h.)
Tiempo de lixiviación (días)
Tiempo de lavado (días)
Consumo de NaCN (kg/TM)
Peso de carbón activado (gramos)

ANEXO n.º 2

Prueba de Análisis granulométrico

ANALISIS GRANULOMETRICO				
Malla	Abertura (mm)	% Peso Retenido	% Acum Retenido	% Acum Pasante
+6"	152.40	2.65	2.65	97.35
-6" + 4"	101.60	2.73	5.37	94.63
-4" + 2"	50.80	7.86	13.24	86.76
-2" + 1 1/2"	38.10	4.48	17.71	82.29
- 1 1/2"		82.29	100.00	0.00

P80	32	mm
P80	1.2	pulg

Fuente: Elaboración propia

Monitoreo prueba de alcalinidad

PRUEBA DE ALCALINIDAD		
Tiempo control	Cal (gr)	pH
10:00:00 a.m.	0.00	6.50
11:00:00 a.m.	4.97	7.50
01:00:00 p.m.	4.80	7.98
03:00:00 p.m.	2.48	9.00
05:00:00 p.m.	2.25	9.80
07:00:00 p.m.	0.50	10.68
10:00:00 a.m.	0.00	10.61
Total Cal (gr)	15.00	
Ratio Cal (kg/TM)	3.00	

Fuente. Laboratorio Metalúrgico Ing. José Alfaro Rivas.

ANEXO n.º 3

INFORME DE ENSAYE



LABORATORIO QUIMICO METALURGICO
Análisis de Minerales Metálicos y No Metálicos

INFORME DE ENSAYE

SOLICITADO POR :
MUESTRA : MINERAL OXIDADO
CANTIDAD DE MUESTRAS : 01
PROCEDENCIA : SAYAPULLO

DETERMINACION	UNIDADES	M-1
Au	g/TM	7

DETERMINACION	UNIDADES	M-1
Ag	g/TM	20

Trujillo, 24 de mayo de 2019


Juan Miguel Del Aguila Espinoza
ING. QUIMICO
R. CIP. N° 188270

ANEXO n.º 4

Informe N° 156-2015SUNAT/6C2000

INFORME N° 156 -2015-SUNAT/6C2000

A : Marcia Gisele Bellido Luglio
Gerente (e)
Gerencia Operativa del Registro de Bienes Fiscalizados
Intendencia Nacional de Insumos Químicos y Bienes
Fiscalizados

ASUNTO : Consulta sobre control de Insumos Químicos y Productos
Fiscalizados

REFERENCIA : Expediente N° 000-6E8120-2015-089419-9

FECHA : Lima, 23 FEB. 2015

Me dirijo a usted para informar lo siguiente:

I. ANTECEDENTES

Mediante el expediente de la referencia, la persona natural GRECIA LORELEY FLORES VILLON solicita se le indique si el producto denominado SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, se encuentra sujeto a control y fiscalización, para lo cual adjunta las especificaciones técnicas del producto.

II. BASE LEGAL

- 2.1 Decreto Legislativo N° 1126.- Decreto Legislativo que establece medidas de control en los insumos químicos y productos fiscalizados, maquinarias y equipos utilizados para la elaboración de drogas ilícitas.
- 2.2 Reglamento del Decreto Legislativo N° 1126, aprobado por el Decreto Supremo N° 044-2013-EF, modificado por Decreto Supremo N° 107-2013-EF, en adelante el Reglamento del Decreto Legislativo N° 1126.
- 2.3 Decreto Supremo N° 024-2013-EF, especifica los insumos químicos, productos y sus subproductos o derivados, objeto de control y fiscalización a que se refiere el artículo 5° del Decreto Legislativo N° 1126, de acuerdo a lo siguiente:
- a) El artículo 1°.- establece la lista de los insumos químicos y productos sujetos a control y fiscalización cualquiera sea su denominación, forma o presentación, precisando que se encuentran sujetos a control y fiscalización siempre que se encuentren a una concentración igual o superior al 80%, excepto el óxido de calcio que se controla a partir del 70%; asimismo que se encuentran sujetos a control y fiscalización aún cuando se encuentren diluidos o rebajados en su concentración porcentual en solución acuosa (agua) excepto el hipoclorito de sodio que se encuentra sujeto a control y fiscalización en concentraciones superiores al 8%.
- b) El artículo 2°, inciso 2.1.- establece las mezclas que se encuentran sujetas a control y fiscalización, las mismas que se detallan a continuación:
- Del ácido clorhídrico en una concentración superior al 10%
 - Del ácido sulfúrico en una concentración superior al 30%
 - Del permanganato de potasio en una concentración superior al 30%
 - Del carbonato de sodio en una concentración superior al 30%
 - Del carbonato de potasio en una concentración superior al 30%



Handwritten signature
RN65

Handwritten signature
OX-45

21

- c) El artículo 2°, inciso 2.2.- establece que se considera un disolvente sujeto a control y fiscalización, con características similares al thinner, a toda mezcla líquida orgánica capaz de disolver (disgregar) otras sustancias como lacas, tintas, pinturas, celulosas, resinas, entre otras, para formar una mezcla uniforme; que contenga uno o más solventes químicos fiscalizados; tal como acetona, acetato de etilo, benceno, éter etílico, hexano, metil etil cetona, metil isobutil cetona, tolueno y xileno, en concentraciones que sumadas sean superiores a un veinte por ciento (20%) en peso.

III. ANÁLISIS

De la Ficha de Datos de Seguridad, adjunta a la solicitud, se tiene que el producto denominado Agente de extracción de oro, que correspondería a la denominación SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, es una mezcla que contiene en su composición las sustancias químicas: óxido de sodio (Na_2O); nitrógeno (N); amonio (NH_4^+), identificado con CAS N° 14798-03-9; ferrocianuro de sodio ($\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$); agua (H_2O); calcio (Ca); hierro (Fe) e insolubles en agua, las cuales no se encuentran comprendidas en la lista de los insumos químicos y productos fiscalizados aprobada mediante Decreto Supremo N° 024-2013-EF, consecuentemente, el producto no se encuentra sujeto a control y fiscalización.

IV. CONCLUSIÓN

De lo expuesto en el análisis, se concluye que el producto denominado Agente de extracción de oro, que correspondería a la denominación SANDIOS, AGENTE DE EXTRACCIÓN DE ORO, no se encuentra sujeto a control y fiscalización por el Decreto Legislativo N° 1126.

Es cuanto informo, para su consideración.

Atentamente,



Lourdes Vargas Meléndez
Reg. QX45



ANEXO n.º 5

MSDS Cianuro de Sodio

		Hoja de Datos de Seguridad de Materiales (M S D S)		MBM-PQ-015 F.Elaboración: 10 Enero 2002 F. Revisión: 15 Abril 2006.	
Nombre del Producto CIANURO DE SODIO	U N 1689	GR 157			
Sección 1 Identificación del Producto Químico y Compañía.					
Nombre de Material: Cianuro de Sodio. Fórmula Química : NaCN Numero CAS : 143-33-9 Sinónimos : Cianuro de Sodio, Prusiato de Soda. Usos : Extracción de oro y metalurgia, pilas de Lixiviación. Fabricante / Manufacturero : DUPONT - COMPANY. Telefono: 1 (800) 441-7515					
Sección 2 Composición / Información de Ingredientes					
Ingredientes: +Cianuro de Sodio, otras sales de Sodio Proporción : 99% típico, 1% - 4% máximo. Compañía: DUPONT - COMPANY.					
Sección 3 Identificación de Peligros					
Clasificación de Riesgos: Agudo: Si Crónico: No Fuego: No Reactividad: Si Presión: No Lista de elementos Químicos Peligrosos. SARA Sustancia Extremadamente Peligrosa: Si CERCLA Sustancia Peligrosa: Si SARA Elemento Químico Tóxico: Si Inhalación: Puede ser fatal si se inhala, se traga o se absorbe a través de la piel. El contacto con ácidos, agua o álcalis débiles libera gas cianuro hidrógeno venenoso. Puede causar quemaduras a los ojos. Puede irritar la piel y causar quemaduras alcalinas y los síntomas son: Enrojecimiento en los ojos, irritación en la garganta, palpitaciones, dificultad para respirar, salivación, desorientación, náuseas, dolor de cabeza, debilidad de extremidades, vértigo, colapso, convulsiones. Piel: El contacto con la piel puede causar irritación con molestias y sarpullidos; soluciones fuertes pueden causar quemaduras en la piel o ulceraciones. La evidencia sugiere una permeabilidad significativa en la piel puede ocurrir. No existen registros de sensibilización en humanos. Ojos: Puede causar irritación, lagrimeo, o dificultades para ver. Prolongadas					

exposiciones pueden causar corrosión con ulceración corneal y/o conjuntivitis. **Efectos Crónicos:** Inhalación, ingestión o contacto con la piel con cianuro de sodio puede causar molestias no específicas tales como náuseas, dolor de cabeza, y desfallecimiento, tanto como vómitos, baja en la presión sanguínea, debilitamiento, hemorragia nasal y pérdida de la consciencia. Estimulación del sistema nervioso central seguido por una depresión puede ocurrir con convulsiones, hipoxia y muerte debido a la interrupción de la respiración. Altas exposiciones pueden acelerar la respiración y el pulso, cianosis, acidosis y algunos efectos en la tiroides (observados en individuos con deficiencia nutricional, síntomas asociados con el síndrome de Parkinson o edema pulmonar y muerte en grandes exposiciones). En algunos casos con problemas en la visión o daño en el nervio óptico o retina, atribuibles al cianuro de sodio, el daño en el nervio óptico o de incremento en el insomnio, sueño agitado, temblores, dermatitis y hemorragia nasal en trabajadores de electrogalvanizado. Personas con enfermedades preexistentes al sistema nervioso central pueden aumentar su susceptibilidad a la toxicidad en exposiciones excesivas.

Sección 4 Medidas de Primeros Auxilios.

Inhalación: Si hay pérdida de consciencia, se debe administrar oxígeno y nitrilo de amilo. Traslade al paciente a una atmósfera no contaminada, mantenga al paciente abrigado y tranquilo. Llame al médico.

Contacto con la piel: Si el trabajador está inconsciente, se debe administrar oxígeno y nitrilo de amilo. Lave inmediatamente con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos después del contacto o sospecha de contacto, saque completamente toda la ropa contaminada. (incluyendo los zapatos y botas). Lave con agua por lo menos 5 minutos para sacar el cianuro de la piel del paciente. Llame al médico.

Contacto con los ojos: Lave inmediatamente los ojos con grandes cantidades de agua durante por lo menos 5 minutos manteniendo los ojos abiertos. No trate de neutralizar con ácidos o álcalis. El contacto con los ojos va a requerir una evaluación en más profundidad y posiblemente un tratamiento. Continúe lavando los ojos durante el traslado al hospital. Consulte con el médico.

Ingestión: Si hay pérdida de consciencia, el oxígeno y el nitrilo de amilo deberá administrarse. Si el paciente está inconsciente, suministre de inmediato un preparado de agua con carbón.

No haga tragar nada por la boca si el paciente está inconsciente. Llame al médico continúe administrando oxígeno. No suministre JARABES ni otros inductores del vómito ya que esto podría interferir con el uso de resucitador.

Sección 5 Medidas para Combatir Incendios.

Fuego/Explosión: No se quema. El cianuro puede no destruirse completamente en un fuego normal que comprometa a materiales combustibles tales como papel o madera. Como el cianuro no induce la combustión se puede oxidar en un incendio. Respete los códigos de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA).

Elementos de extinción: Use agua en los incendios cercanos al cianuro pero reduzca la cantidad de agua si los contenedores están abiertos o quemados, para evitar la fuga de cianuro. NO USE Dióxido de carbono (CO₂) con el cianuro húmedo ya que el ácido carbónico (H₂O + CO₂) podría liberar cianuro.

Instrucciones para el combate de incendios: El cianuro de sodio se disuelve rápidamente con el agua; por lo tanto puede haber fuga de solución de cianuro

si el contenedor se quema se abre o se quema. La fuga debe ser controlada para evitar problemas de seguridad y de medio ambiente. La solución de cianuro de sodio. En algunos casos podría ser aconsejable dejar que el fuego se consuma solo ya que el cianuro de sodio normalmente no se verá afectado por el fuego.

Sección 6 Medidas para Derrames Accidentales.

Limpieza de derrame: Usando palas y escobas, limpie el área derramada y dejando el material recuperado en un contenedor cerrado y en bolsa plástica para ser eliminado. Cubra y seque el área derramada. Lave el área derramada con una solución diluida de hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio. Para destruir el cianuro. Llame a DUPONT COMPANY para obtener asesoría.

Sección 7 Manejo y Almacenamiento.

Manipulación: La planificación de emergencia y el entrenamiento son necesarios antes de comenzar a trabajar con el cianuro ya que el tratamiento inmediato es esencial en casos de envenenamiento con cianuro. Mantenga siempre los Kits de Antídoto de Cianuro a mano. No respire el polvo, el rocío ni el gas de cianuro. Evite que entre a los ojos. Evite el contacto con la piel y la ropa. No lleve alimentos, bebidas ni tabaco cuando sea posible la contaminación con cianuro. Lave completamente después de manipular. Lave la ropa contaminada antes de volver a usarla.

Almacenado: Almacene en contenedores bien etiquetados en áreas secas, bien ventiladas y seguras. Mantenga los contenedores cerrados y secos. No almacene con ácidos o sales ácidas contenedores con agua o álcalis débiles o agentes oxidantes. No manipule ni almacene comida, bebidas ni tabaco en las áreas con cianuro o almacene cerca de combustibles ni inflamables ya que el consecuente procedimiento para apagar incendios con agua puede llevar a fugas de cianuro. No almacene bajo sistemas de sprinklers.

Sección 8 Control de Exposición / Protección del Personal.

Controles de Ingeniería: Use la suficiente ventilación como para mantener la exposición de los empleados bajo los límites recomendados.

Equipo de Protección Personal: Use protección ocular contra sustancias químicas y guantes de goma. Cuando existan exposiciones en el aire potencialmente mayores a los límites aplicables, use el equipo de protección respiratorio aprobado por NIOSH, incluyendo el sistema autónomo. Tenga a mano y use: protección para el rostro, ropa de goma, delantales y botas; aparatos de respiración desechable para el polvo y rocío tóxico, equipos de respiración autónomo (en caso de emergencia); detector de cianuro de hidrógeno, elementos de Primeros Auxilios y de Tratamiento Médico, incluyendo resucitadores de oxígeno.

Sección 9 Propiedades Físicas y Químicas.

Forma: Sólido, granulado, briquetas.	PH: 11.3 – 11.7
Color: Blanco.	Olor: leve olor a amoníaco.
Punto de Ebullición: 1496 °C(2725F) 760 mm.Hg	Gravedad Específica: 1.6
Punto de Fusión: 564C (1047F).	Presión de Vapor: Mínimo.
Solubilidad en agua: -37 WT% @ 20 C (68F)	Densidad en bruto (embalado): 50-55 lbs/pies3.
Sección 10 Estabilidad y Reactividad.	
<p>Estabilidad: Muy estable cuando esta seco. Polimeracion / Polimerización: No habrá polimerización. Incompatibilidades Químicas: Grandes cantidades de gas cianuro de hidrógeno inflamable y venenoso (HCN) se producirá por el contacto con ácidos, reacciona violentamente con agentes oxidantes fuertes cuando se calienta. El agua o las soluciones alcalinas débiles pueden producir cantidades peligrosas de cianuro de hidrógeno en áreas confinadas. Descomposición: La humedad causara una lenta descomposición, liberando cianuro hidrógeno venenoso y gases de amoniaco.</p>	
Sección 11 Información Toxicológica.	
<p>Oral LD50: 15 mg/kg en ratas. Dermico LD50: 11.28 – 14.63 mg/kg en conejos. Inhalación LC50 : Información no disponible pero se considera altamente tóxico como CN por inhalación.</p>	
Sección 12 Información Ecotoxicológica.	
<p>Toxicidad Acuatica: Cianuro de Sodio. 96 horas LC50 – Fathead minnows: 0.43 – 0.66 mg/L. 96 horas LC50 – Trucha arcoiris : 0.46 – 0.75 mg/L. 96 horas LC50 – Bluegill sunfish : 0.28 mg/L.</p>	
Sección 13 Consideraciones Relativas a la Eliminación.	
<p>Eliminación de desperdicios: Este material puede ser un desecho peligroso. No vacíe cianuro en alcantarillas que puedan contener un ácido. Desintoxique usando hipoclorito de sodio diluido, peróxido de hidrogeno o hipoclorito de calcio, cumpla con la legislación que establece el método de eliminación.</p>	
Sección 14 Información para el Transporte.	
<p>DOT Nombre del producto de embarque : CIANURO DE SODIO. Clase de Riesgo: 6.1 No I.D UN/NA: UN1689 Rotulo DOT: TOXICO Información Especial: Contaminante Marino. Grupo Del Embalaje: I DOT/ IMO Nombre del producto de embarque : CIANURO DE SODIO SOLIDO.</p>	

Clase de Riesgo: 6.1
No I.D UN/NA: UN1689
Rotulo DOT: TOXICO
Información Especial: Contaminante Marino.
Grupo Del Embalaje: I
Cantidad Reportable: 10 lb (4.54 kg.)

ANEXO n.º 6: MSDS SANDIOSS.



SANDIOSS MSDS (Fichas de Datos de Seguridad)

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre del producto: Agente de extracción de oro

Uso general: extraer y recuperar el oro

2. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE INGREDIENTES

Descripción: porcentaje de los componentes

Nombres de los componentes	Nro. CAS	Porcentaje de peso %
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	1313-59-3	35-50%
Nitrógeno (N)	7727-37-9	12-20%
Amonio (NH ₄ ⁺)	14798-03-9	7-12%
Ferrocianuro de Sodio (Na ₄ Fe(CN) ₆ ·10H ₂ O)	13601-19-9	7-12%
Agua (H ₂ O)	7732-18-5	1-4%
Calcio (C)	7440-70-2	1-5%
Hierro (Fe)	7439-89-6	1-5%
Insolubles en agua	-- --	3-8%

3. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

.NFPA- Categoría (Área: 0 - 4)



**Peligro para salud
= 1 (Baja Toxicidad, irritación)**



**Peligro de incendio: 0 (no inflamable)
Reactividad: 0 (estable)**

- Riesgos: El producto es de baja toxicidad, no inflamable y alta estabilidad, el polvo generado en el proceso causa perjuicio al inhalarlo.
- Vía de intrusión: contacto con la piel, contacto con los ojos, ingestión, inhalación.

Potenciales efectos agudos sobre la salud:

- Contacto con los ojos: es irritable al contactar directamente con los ojos, puede causar algún dolor, enrojecimiento y lágrima de los ojos si no lo trata eficiente y adecuadamente, no frotar si entra algún polvo a los ojos.
- Contacto con la piel: no produce irritación significativa el contacto de poco tiempo y poca cantidad, pero puede estimular las áreas heridas de la piel y causar inflamación. Dada la buena higiene industrial, el contacto directo con cualquier producto químico se debe mantener al mínimo y hacer el trabajo de protección personal.
- Inhalación: no causa daño significativo la inhalación de polvo con poco tiempo y pequeña cantidad, el exceso de inhalación de una cantidad grande en poco tiempo puede provocar irritación respiratoria. Si la inhalación de polvo es de largo tiempo puede causar el daño pulmonar; en el momento del proceso y aplicación se debe tener protección respiratoria para evitar la inhalación excesiva del polvo.
- Ingestión: La ingestión del producto es considerado peligroso, no dejar al alcance de los niños.

Potenciales efectos crónicos sobre la salud:

- Efectos cancerígenos: ingredientes contenidos en el producto no tiene un conocido carcinógeno significativo. (Clasificado por la NTP de IARC y OSHA de E.E.U.U).
- Efectos mutagénicos: No disponible.
- Efectos teratogénicos: Desconocida.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

- **Inhalación:** Si produce malestar, aléjese de inmediato a un lugar aireado y fresco y mantenga la permeabilidad de la vía respiratoria, se debe dar oxígeno si tiene dificultad para respirar, si paraliza la respiración inmediatamente se aplica respiración artificial y se dirige a urgencias médicas.
- **Contacto con la piel:** limpie a fondo con agua corriente y jabón.
- **Contacto con los ojos:** Retire lentes de contacto (si los hay), levante los párpados superiores e inferiores, lave inmediatamente con abundante agua durante varios minutos si la situación no mejora consulte inmediatamente al médico.
- **Ingestión:** Después de ingerir excesivamente se enjuaga con agua, tome leche o clara de huevo y luego provoque vómito, consulte a un médico de inmediato

5. LUCHA CONTRA INCENDIOS

- **Información general:** En cualquier incendio, los bomberos deben usar aparatos de respiración autónoma y ropa protectora para evitar la inhalación de los gases tóxicos y nocivos generados por la combustión de la descomposición o a alta temperatura, y deben proteger los extintores para evitar una posible explosión cuando el recipiente se caliente.
- **Medios para extinguir el fuego:** Agua y extintor.
- **Punto de inflamación:** No aplicable.
- **Temperatura de auto ignición:** No aplicable.
- **Riesgo de incendio y peligro:** Ninguno.
- **Riesgo de incendio anormal o explosión:** Ninguno.

6. MEDIDAS CONTRA LIBERACIÓN ACCIDENTAL

- **Pequeñas fugas:** Cuando se produce una pequeña fugas, se limpia la sustancia directamente al recipiente de tratamiento.
- **Derrame y fuga importantes:** Cuando una fuga grande se produce, el área de la fuga debe ser aislada, el acceso es restringido para evitar la contaminación con el material fugado, se recicla el material fugado no contaminado al recipiente respectivo; los personales de reciclaje deben usar ropa de protección contra el polvo, guantes protectores y máscaras contra el polvo, y limpian el material contaminado al recipiente de tratamiento dependiendo de la situación.

7. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

- **Manejo y manipulación:** Disponer medidas de protección para los operadores del producto, prestar atención en el momento de empaquetar y manipular para no producir daños y fugas, debe evitar la producción del polvo para que los operadores no inhalen excesivamente. En el proceso de producción puede generar polvo o humos, por lo tanto, se debe hacer el trabajo relacionado de la protección personal y un plan integral del control de ventilación.
- **Almacenamiento:** el producto es fuertemente estable, generalmente no tiene exigencia estricta sobre la condición del almacenamiento, se puede almacenar según las condiciones normales, mantenga la zona de almacenamiento seca, ventilada y alejada de cualquier producto alimenticio y sustancia que puede reaccionar con el producto.

8. CONTROL DEL CONTACTO/ PROTECCIÓN PERSONAL

- **Control de ventilación e ingeniería:**
Cuando el producto está en el procesamiento se debe mantener buena ventilación.
- **Protección respiratoria:**



No hay necesidad de protección respiratoria si el tiempo del contacto con el producto es corto.
Usar la máscara contra el polvo cuando por mucho tiempo aplica el producto o en el procesamiento.

- **Protección corporal:**



Es necesaria la ropa a prueba del polvo.

- **Guantes protectores:**



Puede usar guantes largos de caucho.

- **Protección de los ojos:**



Use gafas protectoras.

- No es necesario aplicar la protección de los ojos si el uso o el contacto con el producto son de poco tiempo o de poca cantidad.
- Es necesario usar gafas protectoras si el procesamiento es de tiempo largo o de una cantidad masiva.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Descripciones Generales	
Apariencia:	Partículas sólidas
Color:	Gris
Olor:	Olor a amoníaco
Cambio de las condiciones	
Punto de fusión / Rango de fusión:	Desconocido
Punto de ebullición / Rango de ebullición :	Desconocido
Punto de ignición:	No aplicable
Riesgo de explosión:	Normalmente el producto no tiene riesgo de explosión.
Densidad	
Densidad relativa:	>1(Agua=1)
Densidad de vapor:	No aplicable.
Solubilidad / compatibilidad	
Agua:	Soluble
Valor pH:	Desconocido

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

- **Estabilidad química:** En circunstancias normales, el producto es estable.
- **Solubilidad:** Soluble en la mayoría de los disolventes tales como agua y ácidos inorgánicos.
- **Productos de descomposición peligrosos:** el producto en sí no es combustible pero puede descomponerse y producir gases tóxicos en caso de incendio o de calor o de reacción con los productos químicos que pueden reaccionar.
- **Polimerización peligrosa:** No ocurrirá polimerización peligrosa.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- **Datos de toxicidad aguda en animales:**
LD 50: N/D
LC 50: N/D
- **Datos de irritación en animales:** leve irritación, no hay datos detallados experimentales de irritación en animales.
- **Efectos crónicos al hombre:**
Carcinogenicidad: No identificado
Mutagenicidad: No identificado
Teratogenicidad: No identificado

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

- **Nocivo a la ecología:** inocuo y no tóxico sobre los organismos acuáticos y los medios acuáticos.
- **Degradabilidad:** no degradable.
- **Consideraciones ambientales:** durante el proceso de fabricación debe reducir o evitar el derroche de relacionadas sustancias perjudiciales en el sistema de alcantarillado y el medio ambiente.

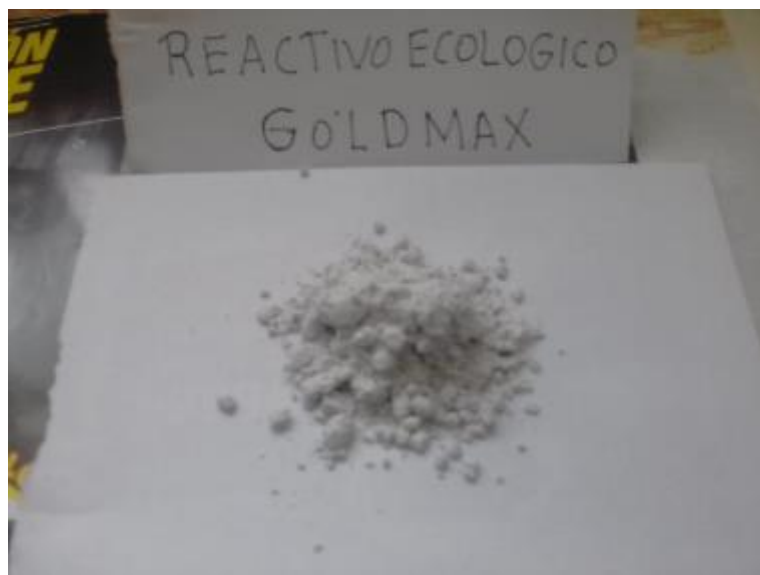
13. CONSIDERACIONES PARA LA ELIMINACIÓN

- **Producto:** Debe eliminarse de acuerdo con las leyes aplicables y reglamentos estatales y locales.
- **Recomendación:** el tratamiento según los pertinentes métodos locales de eliminación de residuos.
- **Embalajes sin limpiar:** La disposición recomendada debe ser de acuerdo con las normativas vigentes.

14. INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

- **Nombre oficial de transporte:** no especificado.
- **Número de N.N.U.U:** No aplicable
- **Grupo Del Embalaje:** NA
- **Clasificación de producto peligroso:** NA
- **Contaminante marino:** No
- **Exigencia del empaque:** No especificado
- **Clasificación ADR /RID:** No aplicable
- **Clasificación de mercancía peligrosa /IMO:** No aplicable
- **Clasificación de ICAO/IATA:** No aplicable

ANEXO n.º 7: Reactivo lixivante Goldmax



ANEXO n.º 8: Reactivo lixivante Sandioss



ANEXO n.º 9: Fotos de los equipos utilizados en las pruebas metalúrgicas



Chancadora de mandíbula 5" x 6"



Lote de mineral en estudio



Equipos de columnas de lixiviación