

**REDUCCIÓN DE CIANURO PRESENTE EN ARENAS CIANURADAS
PROVENIENTES DE LA ANTIGUA MINERÍA AURÍFERA DE LA PLANTA LA
BODEGA EN EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA, SANTANDER**

MAYRA ALEXANDRA ALBARRACÍN LUNA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2014**

**REDUCCIÓN DE CIANURO PRESENTE EN ARENAS CIANURADAS
PROVENIENTES DE LA ANTIGUA MINERÍA AURÍFERA DE LA PLANTA LA
BODEGA EN EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA, SANTANDER**

MAYRA ALEXANDRA ALBARRACÍN LUNA

**Trabajo de grado para optar al título de
Química**

PASANTIA EMPRESARIAL

Directores

ENRIQUE MEJIA OSPINO

Ph.D Químico

LAURA CHAPARRO LEAL

Química de AUX

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2014

***A mi hijo Javier Mauricio (puñitos) por
brindarme esas sonrisas que me llenan de felicidad
y por ser mi angelito de la guarda, mi mayor tesoro,
el mejor regalo que Dios me pudo haber dado.***

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco a Dios por darme fuerzas y perseverancia en este largo recorrido. Agradezco a mi madre Gladys Luna y a mi padre Jose Albarracín por el apoyo que me brindaron, sus enseñanzas y por la paciencia que me han tenido. A mi hermana Kandy Albarracín por su preocupación y por toda la colaboración que me brindó a lo largo de mi carrera. A mi esposo Mauricio Gelvez por las alegrías que me ha brindado, por ser mi amigo, por amarme y cuidarme. A mi sobrino Milo por quererme tanto. A la empresa AUX Colombia por brindarme la oportunidad de realizar la pasantía. A Laura Chaparro por brindarme su conocimiento en el campo de la minería y por su colaboración. Al profe Enrique Mejía por brindarme su tiempo, conocimiento y apoyo no solo en el momento del proyecto sino a lo largo de la carrera, gracias por esas clases llenas de conocimiento y satisfacción a las 7 de la mañana. A la profesora Yolanda por darme la calificación necesaria para lograr el objetivo de graduarme y por enseñarme las técnicas de análisis. A todos los profesores que contribuyeron en mi formación, en especial a Jorge Saúl Ramírez, Yajaira Combariza, Juan Manuel Urbina y Alirio Palma. A los auxiliares de laboratorio de la universidad que me enseñaron a trabajar adecuadamente en un laboratorio: George y Alejo. Por último y no menos importante a mis compañeros de carrera, que me brindaron alegrías a lo largo de esta trayectoria: Daissy, Mary, Dani, Didy, Marce, Tita, Mario, Eli, Dianis, Elkin, Julito y además a mis amigos ingenieros que me apoyaron: Dieguito, William, Sergio, Jose Luis, Juan

TABLA DE CONTENIDA

INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEORICO.....	15
1.1 MINERIA	15
1.2 METODO DE EXTRACCIÓN DEL ORO	16
1.2.1 Uso del cianuro en la minería.....	16
1.3 CIANURO.....	17
1.3.1 Cianuro libre.....	17
1.3.2 Compuestos simples de cianuro	18
1.3.3 Complejos De Cianuro	18
1.3.3.1 Complejos de cianuro fácilmente dissociables en ácido débil (CN_{WAD})	18
1.3.3.2 Complejos fuertes de cianuro.....	18
1.3.4 Compuestos derivados de cianuro [7].....	19
1.3.4.1 cianato (CNO^-)	19
1.3.4.2 Tiocianato.....	19
1.3.5 Impactos del cianuro en la salud y en el ambiente.....	20
1.3.6 Legislación ambiental.....	20
1.4 TRATAMIENTO DE DESTRUCCIÓN DE CIANURO	21
1.4.1 Degradación natural	21
1.4.2 Oxidación química.....	21
1.4.3 Precipitación.....	22
1.4.4 Biodegradación	22
1.5 TRATAMIENTO DE OXIDACIÓN DE CIANURO CON CLORACION ALCALINA	22
1.5.1 Etapas del proceso.....	22
1.5.2 Ventajas y desventajas del tratamiento.....	23
1.5.2.1 Ventajas	23
1.5.2.2 Desventajas	23
2. METODOLOGIA	24

2.1	RECONOCIMIENTO DE LAS ARENAS.....	24
2.2	MUESTREO.....	24
2.3	CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA CIANURADA	25
2.4	REDUCCION DE CONCENTRACIÓN DE CIANURO EN LA ARENA	26
2.4.1	Equipos y reactivos empleados.....	27
2.4.1.1	Tratamiento del lavado de la arena cianurada	29
2.4.1.2	Influencia de la cantidad de agente neutralizante	30
2.4.1.3	Ensayos de tiempo de agitación	31
2.4.1.4	Ensayos de pH.....	32
2.4.2	Prueba a mayor escala	33
3.	RESULTADOS Y ANALISIS	35
3.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA CIANURADA	35
3.2	REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CIANURO EN LA ARENA	36
3.2.1	Tratamiento del lavado de la arena cianurada	36
3.2.2	Influencia de la cantidad de agente neutralizante	36
3.2.3	Ensayos de tiempo de agitación	37
3.2.4	Ensayos de pH.....	38
3.2.5	Prueba a mayor escala	38
3.3	RESULTADO DE REDUCCIÓN DE CIANURO PARA LA PRUEBA REALIZADA A MAYOR ESCALA	39
	CONCLUSIONES	40
	RECOMENDACIONES.....	41
	BIBLIOGRAFIA.....	42
	ANEXOS	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos y normas utilizadas para la determinación de diferentes parámetros fisicoquímicos de la arena cianurada.....	26
Tabla 2. Condiciones de las pruebas de variación de relación arena/hipoclorito	31
Tabla 3. Condiciones de las pruebas de variación de tiempo de agitación	32
Tabla 4. Condiciones de las pruebas de variación de pH.....	33
Tabla 5. Condiciones de la prueba a mayor escala.....	33
Tabla 6. Resultados obtenidos de diferentes características fisicoquímicas de la arena cianurada	35
Tabla 7. Concentración de cianuro libre en pruebas del efluente líquido	36
Tabla 8. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/1	36
Tabla 9. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/2.....	37
Tabla 10. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3.....	37
Tabla 11. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3 y variación de tiempo de agitación.....	37
Tabla 12. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3, agitación de 360 min y variación de pH	38
Tabla 13. Concentración de cianuro libre para la prueba a 1kg de arena	38
Tabla 14. Concentración de cianuro libre para la prueba a mayor escala.....	38
Tabla 15. Resultados de concentración de cianuro libre y total para la arena cianurada y la arena tratada realizados en el laboratorio PSL pro análisis.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de extracción de oro [22]	16
Figura 2. Equilibrio de CN-/HCN respecto al pH [5].....	17
Figura 3. Principales compuestos inorgánicos de cianuro [15].....	19
Figura 4. Arena cianurada ubicada en la planta La Bodega	24
Figura 5. Procedimiento de muestreo de arena cianurada	25
Figura 6. Pruebas a escala laboratorio	28
Figura 7. Test de cianuro libre para el efluente líquido	29
Figura 8. Proceso de determinación de cianuro libre mediante test colorimétrico Microquant	30
Figura 9. Proceso de determinación de cianuro libre en ensayos de variación de tiempo de agitación.....	31
Figura 10. Proceso de determinación de cianuro libre en ensayos de variación de pH	32
Figura 11. Proceso de determinación de cianuro libre en prueba con control de pH y agitación mecánica	33
Figura 12. Proceso de reducción de cianuro a mayor escala en campo	34

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Formato de recolección de la muestra	45
Anexo B. Tarjeta de identificación de la muestra.....	46

RESUMEN

TITULO: REDUCCIÓN DE CIANURO PRESENTE EN ARENAS CIANURADAS PROVENIENTES DE LA ANTIGUA MINERÍA AURÍFERA DE LA PLANTA LA BODEGA EN EL MUNICIPIO DE CALIFORNIA, SANTANDER*

AUTOR: Mayra Alexandra Albarracín Luna.**

PALABRAS CLAVES: Cianuro, Oxidación de cianuro, Neutralización, Hipoclorito de sodio, Minería.

DESCRIPCIÓN: la minería aurífera representa una actividad económica productiva en el municipio de California, Santander y su proceso realiza lixiviación por percolación de cianuro debido a la gran afinidad que presenta el cianuro de sodio con el oro, de tal forma que las colas de lixiviación resultantes (arenas cianuradas) quedan con concentraciones remanentes de cianuro libre de 2800 ppm en promedio, las cuales afectan los efluentes líquidos que abastecen a la población usuaria del acueducto de Bucaramanga al realizar descargas en el río Surata sin realizar tratamientos previos directamente en la arena cianurada.

Por medio de esta pasantía empresarial se realizó tratamiento directo a las arenas mediante pruebas a escala laboratorio, encontrando una alternativa para reducir la concentración de cianuro libre presente en las colas de lixiviación con el fin de cumplir con la legislación ambiental utilizando como agente neutralizante hipoclorito de sodio con una concentración del 13% y haciendo un tratamiento con influencia de relación arena/hipoclorito, tiempo de agitación y manteniendo un valor de pH por encima de 10 para evitar la formación de ácido cianhídrico, el cual es tóxico y perjudicial para las personas que se encuentran en el entorno y para los recursos hídricos.

La aplicación del método desarrollado cumplió con el objetivo de reducir la concentración de cianuro libre debido a que se consiguió disminuir la concentración de 2800 ppm a 0,85 ppm, logrando cumplir con la normatividad vigente en materia de vertimientos de residuos líquidos a un cuerpo de agua que es de 1,0 ppm.

* Pasantía empresarial

** Facultad de ciencias básicas, Escuela de Química, Directores: PhD. Enrique Mejía y Laura Chaparro

ABSTRACT

TITLE: CYANIDE REDUCTION PRESENT IN GOLD BENEFIT BY PRODUCTS FROM THE OLD MINE LA BODEGA IN CALIFORNIA, SANTANDER. *

AUTHOR: Mayra Alexandra Albarracín Luna.**

KEYWORDS: Cyanide, Cyanide oxidation, Neutralization, Sodium Hypochlorite, Mining.

DESCRIPTION: Gold mining represent one of the most important economic activities in California, a little town situated in the department of Santander, Colombia. The mineral benefit process is make whit sodium cyanide due to the high affinity whit the gold, the remaining cyanide tailings whit low contents of gold are washed with fresh water and their leaching is neutralized whit hydrogen peroxide, then the sand and the leaching are thrown to the creek. However in this study the cyanide tailings washed previously whit fresh water had a remaining cyanide concentration of 2800 ppm meaning that leachate neutralizing process is not enough to discharge the sand to the river and to accomplish the environmental regulations. In fact this process has been affected Bucaramanga's aqueduct user population.

In the present work, was carry a process of directly cyanide tailings neutralization (sand neutralization) and not only the leaching, using 13% sodium hypochlorite, varying sand/hypochlorite ratio, contact time, and keeping constant pH value in 10 to avoid hydrogen cyanide formation due to its extremely toxicity for humans.

The major objective of the present work was accomplished through the method mentioned above, because it was a substantial decrease of free cyanide concentration from 2800 to 0,85 ppm wish is in concordance to the Colombian environmental discharge regulatory that establish a maximum limit value of 1ppm of cyanide for water bodies.

* Business internship

** Basic Science Faculty, School of Chemistry, Directors: PhD. Enrique Mejía y Laura Chaparro

INTRODUCCIÓN

La minería en el municipio de California (Santander) se considera la mayor forma de empleo de la región, pero ha presentado baja tecnología en el proceso de extracción al utilizar métodos de minería artesanal, donde el uso de cianuro es fundamental en los procesos de lixiviación por percolación, debido a su gran afinidad para disolver el oro. Lo que ha causado grandes cantidades acumuladas de colas de lixiviación (arenas cianuradas) con un alto contenido de cianuro libre y complejos de cianuro, las cuales alteran el ambiente y afectan económicamente a la empresa, debido al espacio que estas ocupan en el área de trabajo y el riesgo de contaminación de los vertimientos de agua como las corrientes hídricas más cercanas que corresponden al río Suratá, el cual es fuente de abastecimiento de agua potable para el 40% del área metropolitana de Bucaramanga.

Por lo tanto por medio de esta práctica se realizó un estudio con el fin de encontrar las condiciones idóneas para reducir la concentración de cianuro presente en las colas de lixiviación resultantes del proceso de beneficio del mineral para la extracción de oro provenientes de la antigua minería en California (Santander), mediante pruebas a escala de laboratorio, teniendo en cuenta la influencia de variables fundamentales como la cantidad de agente neutralizante, pH y tiempo de agitación.

1. MARCO TEORICO

1.1 MINERIA

Es un proceso selectivo de minerales mediante una etapa de exploración y explotación del terreno. El sector de la minería representa una de las principales fuentes económicas colombianas, debido a que representa generación de empleos e inversiones en infraestructura, servicios públicos y gestión social y ambiental [17].

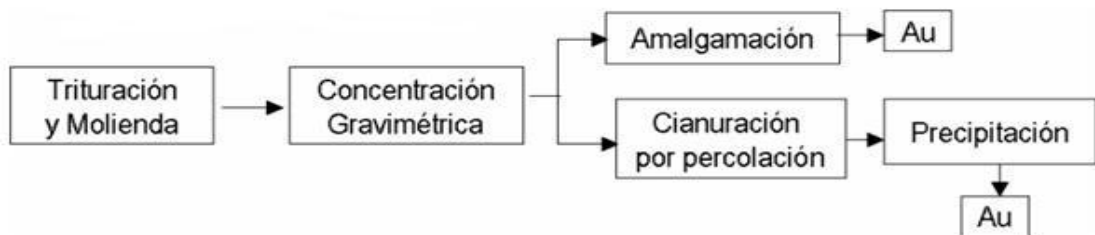
Sin importar el tipo de minería que se utilice, ya sea de cielo abierto o subterránea, los procesos de extracción del mineral siempre son los mismos; solo que la minería a cielo abierto requiere dinamitar mayor terreno para su explotación, de manera que estas minas generan mayor contaminación por explosivos, en las cuales se requiere 9 ton de pólvora por día; en este tipo de minería se puede observar la mayor deforestación por voladura de montañas y pulverización de rocas; creando así un desequilibrio de nuestro sistema ecológico [20]. Mientras que la minería subterránea que es la que se ha llevado a cabo en el municipio de California realiza una exploración debajo de la superficie y en zonas por lo general muy altas, lo que hace necesario llegar hasta lo más profundo del terreno. En donde existe un esfuerzo y un riesgo extremo para poder sacar el material que se encuentra en lo más profundo de las minas, el transporte de estos materiales se hace a través de una vagoneta y se vacía en la tolva para luego pasar a los molinos [21].

La actividad minera del país está regulada por la ley 685 de 2001, la cual representa el código de minas fomentando la exploración y la explotación de recursos minerales manejando adecuadamente los recursos naturales y la integridad del ambiente [17].

1.2 METODO DE EXTRACCIÓN DEL ORO

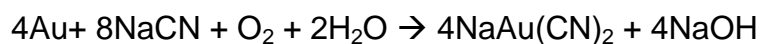
El proceso de beneficio del oro se lleva a cabo mediante varias etapas, iniciando por un proceso de trituración del mineral extraído de la mina el cual se realiza de manera manual, luego un proceso de molienda y concentración gravimétrica; después se utiliza un proceso de amalgamación disolviendo el material en disoluciones de mercurio generando lo que se conoce como pelusa o mediante un proceso de cianuración [20].

Figura 1. Proceso de extracción de oro [22]



1.2.1 Uso del cianuro en la minería El cianuro se utiliza en las tinajas de cianuración debido a su excelente propiedad de disolver el oro, desde que este proceso fue inventado en la última década del siglo XIX. La minería artesanal realiza lixiviación por percolación con cianuro de sodio o de potasio utilizando tinajas de doble fondo para el paso de las soluciones de cianuro entre las arenas, de tal forma que tanto como los efluentes líquidos como los residuos sólidos (colas de lixiviación) resultantes presentan concentraciones remanentes de cianuro. [15]

La extracción de oro del mineral mediante el uso del cianuro se basa en la reacción de Elsner, donde se produce una sal doble de cianuro [15]:

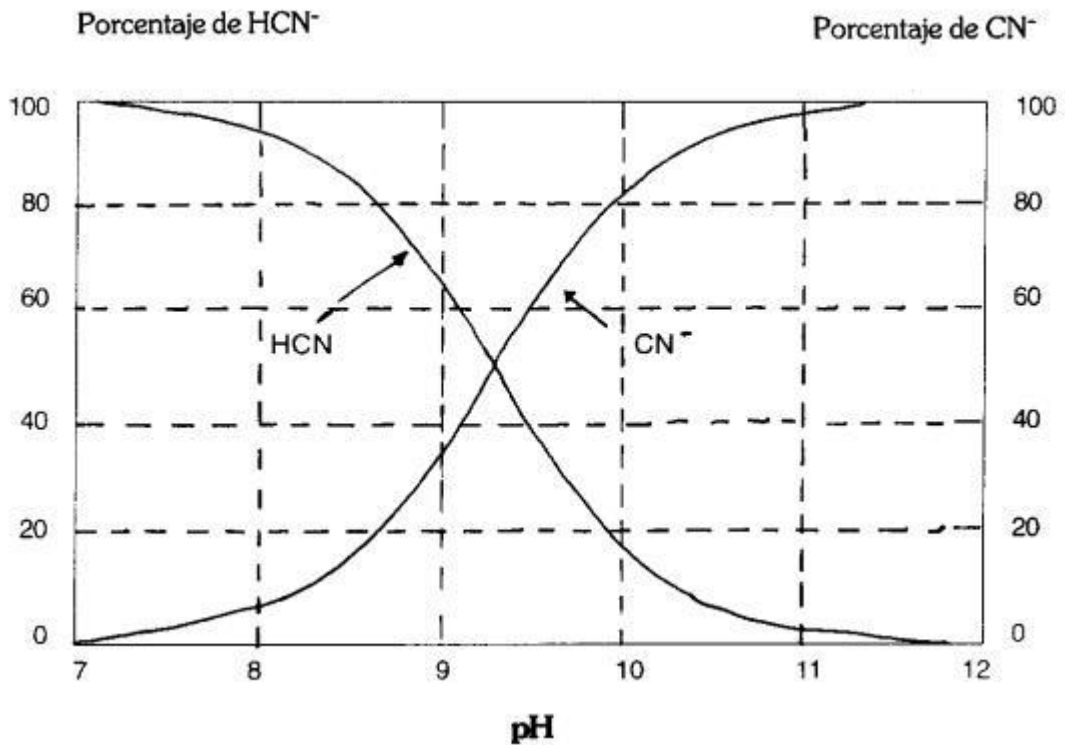


1.3 CIANURO

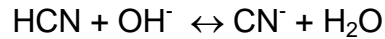
El cianuro es el término general que se les designa a compuestos químicos inorgánicos que presentan un átomo de carbono enlazado a un átomo de nitrógeno mediante un triple enlace.

1.3.1 Cianuro libre. El cianuro puede estar en forma de cianuro libre (CN_F) que limita a dos especies, las cuales son el ion cianuro (CN^-) y el ácido cianhídrico (HCN) el cual presenta un leve olor amargo a almendras y tiene una vida media en la atmosfera alrededor de 1 a 3 años [2]. Por debajo de un pH de 8 el cianuro libre se encuentra la mayor parte como HCN, de tal forma que puede volatilizarse en el aire.

Figura 2. Equilibrio de CN^-/HCN respecto al pH [5]



En disolución acuosa las dos formas de cianuro libre se encuentran en equilibrio según la siguiente reacción



1.3.2 Compuestos simples de cianuro

Son aquellos compuestos iónicos (KCN, NaCN, Ca(CN)₂, Hg(CN)₂) que se disuelven en solución acuosa y liberan cationes y el anión cianuro, el cual puede reaccionar después con el agua y formar HCN.

1.3.3 Complejos De Cianuro Además el cianuro también se puede presentar en forma de complejos de cianuro debido a que el mineral aurífero contiene metales como Fe, Ni, Cu, Zn, Co y Cd que reaccionan con el cianuro utilizado en el proceso de beneficio [2]. Estos complejos se pueden clasificar en:

1.3.3.1 Complejos de cianuro fácilmente disociables en ácido débil (CN_{WAD}) Son aquellos complejos de Cd, Cu, Ni, Ag y Zn que se disocian fácilmente al reaccionar con un ácido débil y son bastante tóxicos, debido a la formación de cianuro libre y metales que presentan al someterse a valores de pH por debajo de 6.

1.3.3.2 Complejos fuertes de cianuro Son aquellos complejos de Fe, Co y Au que son fuertes y estables en solución en condiciones físicas y químicas normales. En la minería el complejo fuerte que se encuentra en mayor proporción es el complejo de hierro, debido a que este metal se encuentra presente en todos los materiales geológicos; estos complejos pueden liberar hasta el 85 % de su contenido de cianuro al someterlos a un alto nivel de radiación ultravioleta y en sistemas cerrados dando lugar a una reacción de fotólisis e hidrólisis [16].

Figura 3. Principales compuestos inorgánicos de cianuro [15]

Clasificación	Compuestos
Cianuros inorgánicos	
Cianuro libre	CN ⁻ , HCN
Cianuros simples	
a) Solubles	NaCN, KCN, Ca(CN) ₂ , Hg(CN) ₂
b) Sales neutras insolubles	Zn(CN) ₂ , Cd(CN) ₂ , Ni(CN) ₂ , CuCN, AgCN
Complejos de cianuro débiles	Zn(CN) ₄ ²⁻ , Cd(CN) ₃ ⁻ , Cd(CN) ₄ ²⁻
Complejos de cianuro moderadamente fuertes	Cu(CN) ₂ ⁻ , Cu(CN) ₃ ²⁻ , Ni(CN) ₄ ²⁻ , Ag(CN) ₂ ⁻
Complejos de cianuro fuertes	Fe(CN) ₆ ⁴⁻ , Fe(CN) ₆ ³⁻ , Fe(CN) ₅ ²⁻ NO, Co(CN) ₆ ⁴⁻

1.3.4 Compuestos derivados de cianuro [7] El cianuro al reaccionar con elementos presentes en las rocas de extracción y en los tratamientos para destrucción de cianuro genera diferentes subproductos:

1.3.4.1 cianato (CNO⁻) Es un ion generado debido a la reacción entre el ion cianuro y el ion metálico o mediante el tratamiento de cianuro mediante oxidación química con el ion hipoclorito o con peróxido de hidrogeno. Además el cianato puede hidrolizarse y formar el ion amonio por medio de la siguiente reacción:



Otra reacción que puede realizar el cianato es oxidarse para formar gas nitrógeno y carbonato por medio de agentes oxidantes fuertes a un pH por encima de 8 y un tiempo de reacción de 1 hora.

1.3.4.2 Tiocianato. Compuesto formado por azufre, carbono y nitrógeno producidos por la reacción de cianuro libre con átomos de azufre inestable, durante el proceso de lixiviación del mineral. El tiocianato puede biodegradarse lentamente por medio del Thiobacillus thiocyanoxidans que lo oxida hasta formar amoníaco y sulfato. Además el tiocianato puede ser oxidado por una diversidad de agentes químicos para formar el cianato.

La reacción de oxidación en la que interviene el cloro es:



1.3.5 Impactos del cianuro en la salud y en el ambiente Los compuestos de cianuro se clasifican como peligrosos; debido a que se conoce como un veneno de acción rápida capaz de matar a una persona en cuestión de minutos si está expuesta a una dosis suficientemente elevada. La exposición al cianuro en los seres humanos se puede dar mediante inhalación, ingestión o absorción a través de la piel, impidiendo a las células utilizar el oxígeno, lo cual causa hipoxia de los tejidos y cianosis (decoloración azulada de la piel). La forma más tóxica del cianuro es el HCN gaseoso. La Conferencia Norteamericana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH) establece el límite de umbral tope de HCN en 4.7 ppm. Para el cianuro libre, la dosis letal en humanos por ingestión o inhalación varía entre 50 y 200 mg (1 a 3 mg de cianuro libre por kg. de masa corporal). La dosis letal por absorción dérmica es considerablemente mayor, alrededor de 100 mg por kg de peso corporal [1]. La Entidad de Protección Ambiental (EPA) ha determinado que el cianuro no es clasificable en cuanto a carcinogenicidad en seres humanos.

El cianuro es fitotóxico e interfiere en la fotosíntesis de las plantas verdes. A nivel de organismos animales el cianuro puede ser absorbido por piel, ingerido e ingresar al aparato digestivo, o inhalado. Concentraciones de cianuro de hidrógeno de 200 ppm son letales para muchos animales. En ambiente acuático concentraciones tan bajas como 0,1 miligramo por litro afectan la biota acuática más sensible.

1.3.6 Legislación ambiental En Colombia, según la resolución 2115 del 2007 del Ministerio de Protección Social y del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial el límite permisible de cianuro en el agua para consumo humano es de 0,05 ppm.

Según el decreto 1594 de 1984 la cantidad establecida de cianuro para agua de consumo humano y doméstico con tratamiento convencional es de 0,2 ppm y en materia de vertimientos de residuos líquidos a un cuerpo de agua es de 1,0 ppm [4].

1.4 TRATAMIENTO DE DESTRUCCIÓN DE CIANURO

En la industria se utilizan diferentes métodos para destruir el cianuro:

1.4.1 Degradación natural Su eficiencia limita a concentraciones bajas de cianuro y se lleva a cabo mediante procesos de volatilización, hidrólisis y fotodegradación; los cuales dependen del tiempo de retención. El problema de estos métodos es que presentan una cinética muy lenta para aplicaciones industriales [3].

1.4.2 Oxidación química La degradación de cianuro por oxidación se puede realizar mediante varios procesos: con peróxido de hidrógeno el cual oxida el cianuro libre y el cianuro WAD y los convierte en carbonato y amonio, aunque no se adapta bien al tratamiento de lodos debido al irregular requerimiento de peróxido cuando se presentan sólidos y al excesivo consumo de sulfato de cobre; con SO_2 /aire desarrollado por la empresa INCO el cual también oxida el cianuro libre y el cianuro WAD, pero, desarrolla limitaciones debido a la necesidad de obtener una licencia para poder utilizar el proceso y la incapacidad para oxidar subproductos intermedios del cianuro; por medio de cloración alcalina que será explicado más adelante [8].

1.4.3 Precipitación Este proceso se lleva a cabo mediante el agregado deliberado de complejantes tales como hierro, los cuales hacen que parte del cianuro reaccione con otros componentes químicos formando compuestos de amoníaco, nitrato y dióxido de carbono controlando los elevados niveles de otros metales que se puedan encontrar.

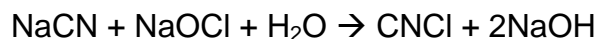
1.4.4 Biodegradación Este proceso es un tratamiento biológico limitado a bajas concentraciones de cianuro que se ve favorecido bajo condiciones aeróbicas, en donde las bacterias utilizan el oxígeno del aire para descomponer los compuestos de cianuro en nitratos, bicarbonatos y sulfatos [2].

1.5 TRATAMIENTO DE OXIDACIÓN DE CIANURO CON CLORACION ALCALINA

Este tratamiento degrada el cianuro mediante el uso de hipoclorito a pH alcalino. El hipoclorito que se utiliza, se puede suministrar en forma líquida como soluciones de hipoclorito de sodio o de potasio o en forma gaseosa como cloro gaseoso [6].

1.5.1 Etapas del proceso

- Durante la cloración alcalina se forma cloruro cianógeno (CNCl) por reacción del cianuro con el cloro y se hidroliza mediante un pH alcalino a cianato (CNO) que es veinte veces menos tóxico que el cianuro.

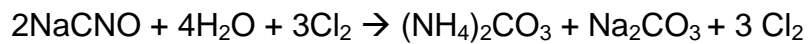


Los requerimientos teóricos de cloro para la oxidación de cianuro libre a cianato son de 2,72 Kg de Cl₂/Kg de CN.

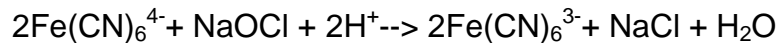
- El cloro también oxida los derivados de cianuro como tiocianato formando cianato.



- En presencia de un exceso de cloro el cianato se puede oxidar para formar carbonato



- El cloro oxida el ferrocianuro convirtiéndolo en ferricianuro



1.5.2 Ventajas y desventajas del tratamiento

1.5.2.1 Ventajas

- Puede oxidar el tiocianato
- No requiere catalizador de cobre
- Ofrece cinética rápida
- Proceso sencillo de realizar

1.5.2.2 Desventajas

- Provoca alto consumo de reactivos
- Requiere un pH elevado
- No destruye complejos de hierro-cianuro
- Puede dejar cloruro residual en la solución (requiere un estanque de pulido o una etapa de aireación) [19].

2. METODOLOGIA

2.1 RECONOCIMIENTO DE LAS ARENAS

Como primera medida se realizó un reconocimiento de la zona, con el objetivo de observar donde se ubica la arena cianurada (planta La Bodega) proveniente de la antigua minería aurífera; allí se encontró la arena dispuesta en la tina de cianuración.

Figura 4. Arena cianurada ubicada en la planta La Bodega



2.2 MUESTREO

Este procedimiento se realizó en el sector La Vencedora ubicado en la planta La Bodega.

Se realizó un programa de muestreo mediante la norma NTC 4113 [13,14] y la NTC 3656 [12] y un seguimiento de guías metodológicas de investigación de suelo [10,11], utilizando un muestreo sistemático de rejillas rectangulares, mediante el uso de formatos de recolección de la información y tarjeta de identificación de la muestra.

1. Se procedió a realizar una limpieza de la arena para retirar desechos extraños.
2. Luego se aplano la arena a lo largo de la tina.

3. Luego se procedió a realizar la rejilla rectangular (42 divisiones) dentro de la tina con el uso de cabuya y puntillas.
4. Después se realizó la toma de la muestra en cada división por medio de un tubo PVC de 4 pulgadas y con la ayuda de una porra para lograr una profundidad de 30 cm.
5. Las muestras individuales se recolectaron en un balde donde se mezcló y luego se agregaron a un saco de fibra donde se formó la muestra compuesta.
6. Después se recolectó una muestra de 2 kg para análisis de laboratorio.

Figura 5. Procedimiento de muestreo de arena cianurada



2.3 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA CIANURADA

Se determinó pH (mediante el pH-metro en el laboratorio AUX), metales como hierro, níquel, cobre, plomo, plata, manganeso, calcio, y magnesio (mediante absorción atómica por el laboratorio GIMBA [9]), cianuro libre (mediante test

colorimétrico) y cianuro libre y cianuro total (mediante destilación por el laboratorio PSL pro análisis).

Tabla 1. Métodos y normas utilizadas para la determinación de diferentes parámetros fisicoquímicos de la arena cianurada.

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN	NORMA
pH	Potenciométrico	Medición potenciométrica de pH	ASTM D 4972-01
Hierro	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Cobre	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Níquel	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Plomo	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Plata	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Manganeso	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Calcio	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Magnesio	Espectrofotometría	Absorción Atómica	SM-3111
Cianuro libre	Colorimetría	Test de cianuros	
Cianuro libre	Destilación		SM -4500-CN ⁻
Cianuro total	Destilación		SM -4500-CN ⁻

2.4 REDUCCION DE CONCENTRACIÓN DE CIANURO EN LA ARENA

El proceso de reducción del cianuro con hipoclorito de sodio al 13 % ha sido la alternativa escogida por la empresa AUX debido a la cantidad de reactivo disponible, no requiere catalizador de cobre, ofrece cinética rápida y puede oxidar eficazmente el cianuro disociable en ácido débil dejando solución de cianuro de hierro de baja toxicidad.

Para el adecuado proceso de reducción de cianuro se realizaron una serie de pruebas con el fin de determinar la influencia de diferentes variables como: pH, tiempo de agitación y la relación de arena: neutralizante.

Además se llevaron a cabo pruebas a escala de laboratorio y pruebas a escala real.

2.4.1 Equipos y reactivos empleados

Pruebas a escala laboratorio

- 100 g de arena para cada prueba
- Hipoclorito de sodio al 13%
- Balanza
- Hidróxido de sodio para ajustar el pH
- Test de cianuro libre
- Embudos
- Papel de filtro
- Geotextil
- Agitadores magnéticos y mecánicos
- Cronometro
- pH-metro

Pruebas a escala real

- 25 kg de arena
- Hipoclorito de sodio al 13%
- Hidróxido de sodio
- Baldes de capacidad de 10 litros
- Balanza
- Agitadores manuales y mecánicos
- Mangueras
- Cronometro
- pH-metro
- test de cianuro libre

Figura 6. Pruebas a escala laboratorio



Figura 6. Procedimiento de los ensayos realizados a escala laboratorio

Estas pruebas se realizaron por medio de una placa de agitación y agitador magnético para muestras de 100 g, para muestras de 1 Kg se utilizó un agitador mecánico. Además se realizó el proceso de filtración con geotextil y con papel de filtro.

2.4.1.1 Tratamiento del lavado de la arena cianurada



Figura 7. Test de cianuro libre para el efluente líquido

Esta prueba se realizó con el fin de asemejar el proceso a la forma en cómo se realiza en la minería artesanal

- Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis: lavado de 100g de arena de concentración con 100 ml de H₂O con agitación constante durante 20min y se realizó el test de cianuro libre.
- Tratamiento del lixiviado: al lixiviado obtenido y filtrado, se le adicionaron 50ml de NaClO de concentración 13%, en el lixiviado neutralizado se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución mediante la técnica colorimétrica.
- Primer lavado de la arena con el lixiviado tratado: se realizó un primer lavado de los 100g de arena inicial con el lixiviado, en el lixiviado resultante se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución
- Segundo lavado de la matriz sólida con agua: se lavó nuevamente la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena
- Segundo lavado de la arena con el lixiviado tratado: se realizó un segundo lavado de los 100g de arena inicial con el lixiviado tratado, en el lixiviado resultante se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución.

- Tercer lavado de la matriz sólida con agua: se lavó nuevamente la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena

2.4.1.2 Influencia de la cantidad de agente neutralizante Se tomó cierta cantidad de arena cianurada como base para la realización de los ensayos, variando la cantidad de hipoclorito de sodio (13%) adicionado y así determinar la relación más favorable para disminuir la cantidad de cianuro; monitoreando la concentración de cianuro libre y el pH. Luego de realizar el proceso, la arena se lavó con agua y si se observaban resultados positivos de cianuro.

Figura 8. Proceso de determinación de cianuro libre mediante test colorimétrico Microquant



- Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis: lavado de 100g de arena de concentración con 100 ml de H₂O con agitación constante durante 20min y se realizó el test de cianuro libre.
- Tratamiento de la arena: a los 100 g de arena se le adicionó NaClO de concentración 13% variando la relación arena: hipoclorito, se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución mediante la técnica colorimétrica.
- Segundo lavado de la matriz sólida con agua: se lavó nuevamente la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena
- Tercer lavado de la matriz sólida con agua: se lavó nuevamente la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena

Las cantidades de hipoclorito de sodio utilizadas correspondieron a una relación de arena: hipoclorito de 1:1,1:2, 1:3.

Tabla 2. Condiciones de las pruebas de variación de relación arena/hipoclorito

PRUEBA #	CONDICIONES DE LA PRUEBA
1	Relación de arena/NaOCl= 1/1
2	Relación de arena/NaOCl= 1/2
3	Relación de arena/NaOCl= 1/3

2.4.1.3 Ensayos de tiempo de agitación Se pesó cierta cantidad de muestra, manteniendo una relación de arena: hipoclorito de sodio de 1:3, variando el tiempo de agitación de 20 minutos a 6 horas de agitación.

Figura 9. Proceso de determinación de cianuro libre en ensayos de variación de tiempo de agitación.



- Tratamiento de la arena: a los 100 g de arena se le adicionó NaClO de concentración 13% variando el tiempo de agitación, se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución mediante la técnica colorimétrica.
- lavado de la matriz sólida con agua: se lavó la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena
- lavado de la matriz sólida con agua: se lavó nuevamente la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena

Tabla 3. Condiciones de las pruebas de variación de tiempo de agitación

PRUEBA #	CONDICIONES DE LA PRUEBA
1	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y 20 min de agitación
2	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y 60 min de agitación
3	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y 120 min de agitación
4	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y 240 min de agitación
5	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y 360 min de agitación

2.4.1.4 Ensayos de pH. Se tomó cierta cantidad de arena cianurada como base para la realización de los ensayos, variando el valor del pH a mantener por medio de la adición de hidróxido de sodio con el fin de determinar el pH adecuado para la eliminación de cianuro.

Figura 10. Proceso de determinación de cianuro libre en ensayos de variación de pH



- Tratamiento de la arena: a los 100 g de arena se le adicionó NaClO de concentración 13% manteniendo una relación arena: hipoclorito de 1:3 y un tiempo de agitación de 360 minutos, adicionando la cantidad adecuada para mantener el pH, se analizó la concentración de CN libre después de haber filtrado la solución mediante la técnica colorimétrica.
- lavados de la matriz sólida con agua: se lavó la arena con 100ml de agua para verificar la concentración de CN - remanente en la arena y se controló el pH cada 30 minutos durante 6 horas de agitación

Tabla 4. Condiciones de las pruebas de variación de pH

PRUEBA #	CONDICIONES DE LA PRUEBA
1	Relación de arena/NaOCl= 1/3 sin adición de NaOH
2	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y pH 10
3	Relación de arena/NaOCl= 1/3 y pH 11

Luego se realizó una prueba para mayor cantidad de arena = 1000 g manteniendo un pH por encima de 10 y una agitación mecánica con el fin de determinar si las condiciones encontradas para 100 g de arena se mantenían para 1000 g.

Figura 11. Proceso de determinación de cianuro libre en prueba con control de pH y agitación mecánica



2.4.2 Prueba a mayor escala

En esta etapa se realizó una prueba a una escala mayor (25 Kg de arena) teniendo en cuenta los resultados de las pruebas a escala laboratorio. Estas pruebas se realizaron en la planta La Bodega en el sector La Vencedora con la ayuda de auxiliares del área ambiental y con la protección adecuada.

Tabla 5. Condiciones de la prueba a mayor escala

PRUEBA #	CONDICIONES DE LA PRUEBA
1	Relación de arena/NaOCl= 1/3

Figura 12. Proceso de reducción de cianuro a mayor escala en campo



3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA CIANURADA

Tabla 6. Resultados obtenidos de diferentes características fisicoquímicas de la arena cianurada

PARÁMETRO	VALOR ENCONTRADO
pH	9,23
Hierro	56 g/Ton
Cobre	205 g/Ton
Níquel	5,042 g/Ton
Plomo	2,064 g/Ton
Plata	<L.D
Manganeso	0.775 g/Ton
Calcio	26,746 g/Ton
Magnesio	0,129 g/Ton
Cianuro libre	2800 ppm
Cianuro total	>2800 ppm

De acuerdo a estos resultados se puede observar que la arena ubicada en la planta La Bodega presenta una alta concentración de cianuro libre, lo que hace importante la neutralización de esta arena para el previo vertimiento o utilización, debido a que no cumple con la normatividad vigente. Además las concentraciones de calcio y magnesio presentan valores bajos, los cuales no representan incumplimiento en valores de dureza de la solución de lixiviación con agua.

Se presentan altos valores de hierro, lo cual se puede deber a la gran cantidad de pirita presente en el mineral de veta por lo que se recomienda realizar un proceso de eliminación de metales pesados con ácido cítrico.

3.2 REDUCCIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CIANURO EN LA ARENA

3.2.1 Tratamiento del lavado de la arena cianurada

Tabla 7. Concentración de cianuro libre en pruebas del efluente líquido

Proceso realizado	Concentración de CN- en mg/l
Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	12000
Segundo lavado de la matriz sólida objeto de análisis	20
Tercer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	17,5

De acuerdo a los resultados se pudo observar que el método de neutralizar con hipoclorito de sodio el lixiviado resultante de la arena cianurada no es suficiente para descargar la arena a las fuentes hídricas, de tal forma que el tratamiento utilizado actualmente no cumple con la normatividad vigente para vertimientos.

Debido a que no siempre se puede enviar una muestra de arena para realizar una descarga, el método de confirmación con agua y test de campo es una herramienta útil para poder tomar la decisión bajo las condiciones de campo y económicas de los pequeños mineros.

3.2.2 Influencia de la cantidad de agente neutralizante. En la siguiente tabla se puede observar la influencia producida por el hipoclorito de sodio al variar la relación.

- Prueba 1: Relación de arena/NaOCl= 1/1

Tabla 8. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/1

	Concentración de CN- en mg/l
Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	12000
Segundo lavado de la matriz sólida objeto de análisis	N.O.
Tercer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	15

- Prueba 2: Relación de arena/NaOCl= 1/2

Tabla 9. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/2

Proceso realizado	Concentración de CN- en mg/l
Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	12000
Segundo lavado de la matriz sólida objeto de análisis	N.O.
Tercer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	12,5

- Prueba 3: Relación de arena/NaOCl= 1/3

Tabla 10. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3

Proceso realizado	Concentración de CN- en mg/l
Primer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	12000
Segundo lavado de la matriz sólida objeto de análisis	N.O.
Tercer lavado de la matriz sólida objeto de análisis	1,5

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede analizar que al aumentar la relación de arena: hipoclorito se disminuye la concentración de cianuro libre, debido a que al utilizar una relación 1:1 se determinó una concentración de 15 ppm mientras que para una relación 1:3 se logro reducir hasta 1,5 ppm.

3.2.3 Ensayos de tiempo de agitación Relación de arena/hipoclorito de sodio= 1:3

Tabla 11. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3 y variación de tiempo de agitación

Prueba	Tiempo de agitación (min)	Concentración de cianuro libre (ppm)
1	20	1,5
2	60	1,3
3	120	1,0
4	240	0,8
5	360	0,5

Por medio de los resultados obtenidos se pudo observar que a medida que aumenta el tiempo de agitación se disminuye la concentración de cianuro libre en la matriz sólida.

3.2.4 Ensayos de pH

- Prueba 1: Relación de arena/NaOCl= 1/3 agitación de 360 min

Tabla 12. Concentración de cianuro libre para las pruebas de la relación arena/NaOCl= 1/3, agitación de 360 min y variación de pH

Prueba	pH inicial	pH final	Concentración de cianuro libre (ppm)
1	9,23	7,5	1,5
2	10,04	10,01	0,5
3	11,30	11,27	0,3

Por medio de los resultados obtenidos se puede comprobar la influencia del pH al realizar el proceso de neutralización de la matriz sólida, debido a que al mantener un pH alcalino se reduce la concentración de cianuro libre y además se eliminan los derivados de cianuro los cuales son altamente tóxicos.

- Prueba a mayor cantidad de arena = 1000 g

Tabla 13. Concentración de cianuro libre para la prueba a 1kg de arena

pH inicial	pH final	Concentración de cianuro libre (ppm)
11,23	10,21	0,3

3.2.5 Prueba a mayor escala

Tabla 14. Concentración de cianuro libre para la prueba a mayor escala

pH inicial	pH final	Concentración de cianuro libre (ppm)
10,20	10,07	0

Al realizar esta prueba de neutralización de cianuro en la matriz sólida en campo luego de varias recirculaciones del lixiviado con hipoclorito y luego de varios lavados con agua proveniente de los lechos de secado y al realizar el test colorimétrico para determinar cianuro libre se encontró un valor de 0 ppm, de tal forma que la muestra obtenida se envió al laboratorio PSL pro análisis para verificar la concentración obtenida.

3.3 RESULTADO DE REDUCCIÓN DE CIANURO PARA LA PRUEBA REALIZADA A MAYOR ESCALA

Tabla 15. Resultados de concentración de cianuro libre y total para la arena cianurada y la arena tratada realizados en el laboratorio PSL pro análisis

MUESTRA	CIANURO LIBRE (ppm)	CIANURO TOTAL (ppm)
Arena cianurada [9]	2800	>2800
Arena tratada [18]	0,85	1,8

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio del laboratorio PSL pro análisis para la arena tratada con hipoclorito se puede observar una notable reducción de la concentración de cianuro; además al comparar con la normatividad se puede concluir que cumple con el limite permisible que es de 1,0 ppm de cianuro libre para vertimientos; sin embargo se recomienda disminuir más la concentración de cianuro libre utilizando mayor cantidad de agente neutralizante y se recomienda la disminución de la concentración de metales como el hierro para la utilización de estas arenas para el relleno de los túneles de la antigua minería.

CONCLUSIONES

Por medio de esta práctica empresarial fue posible encontrar las condiciones adecuadas para la reducción de cianuro de las colas de lixiviación (arena cianurada) provenientes de la antigua minería aurífera del municipio de California (Santander) utilizando como agente neutralizante hipoclorito de sodio.

La influencia del valor de pH afecta notablemente la reacción del cianuro con el hipoclorito de sodio debido a que se observa mayor reducción de cianuro con valores mayores a 10, además de evitar la volatilización de cloruro cianógeno.

El tiempo de agitación es un factor importante en el desarrollo del método, debido a que al mantener mayor tiempo de agitación y de contacto de la arena con el agente neutralizante se logra mayor reducción del cianuro libre.

El método desarrollado para la reducción de cianuro en las colas de lixiviación resultantes del proceso de extracción de oro, demostró ser eficaz debido a la notable reducción y por lo tanto cumplir con la normatividad vigente de vertimientos.

RECOMENDACIONES

Continuar con el método desarrollado para la reducción de la arena cianurada ubicada en la tina de cianuración de la planta La Bodega, sector La Vencedora.

Evaluar el proceso de detoxificación de la arena tratada mediante bioensayos de crecimiento radicular

Buscar alternativas para el aprovechamiento de la arena, las cuales pueden ser el uso de estas como llenado de túneles de explotación ó realizar mezclas para materiales de construcción.

Capacitar la pequeña minería respecto al proceso de neutralización de cianuro en las colas de beneficio para evitar que las fuentes hídricas sigan siendo impactadas por estos residuos

BIBLIOGRAFIA


1. AGENCIA PARA SUSTANCIAS TOXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES (ATSDR). Resumen de salud pública. Cianuro. División de toxicología y medicina ambiental. 2006. Disponible en internet: http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html
2. AGUIRRE, F. et al. Procesos de destrucción de complejos cianurados. Universidad Nacional de Catamarca. Argentina. S.f.
3. BOTZ, Michael. Overview of cyanide treatment methods. Mining Environmental Management. Mining Journal Ltd. London. 2001.
4. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Decreto 1594 de 1984. Usos del agua y residuos líquidos.
5. DELGADO, Jesús; ORTIZ, Jaime. Estudio del proceso de neutralización del cianuro presente en los residuos del proceso de lixiviación de minerales auríferos en el distrito minero de Vetas y California. Ingeniería metalúrgica. Universidad Industrial de Santander. 2009. 107 p.
6. FAJARDO, Jonny, et al. Estudio de métodos químicos de remoción de cianuro presente en residuos de cianuración provenientes del proceso de extracción de oro de veta en el departamento de Nariño. Revista luna azul. Colombia. 2010.
7. FERNANDEZ, Begoña. Desarrollo de un nuevo método para la eliminación de cianuro de aguas residuales de mina. Tesis doctoral. España. Universidad de Oviedo. 2007. 201 p.

8. GAVIRIA, Ana; MEZA, Luis. Análisis de alternativas para la degradación de cianuro en efluentes líquidos y sólidos del municipio de Segovia, Antioquia y en la planta de beneficio de la empresa mineros nacionales, municipio de Marmato, Caldas. Universidad Nacional de Colombia. Revista de la Facultad de minas (Dyna). 2006.
9. GRUPO DE INVESTIGACIONES EN MINERALES, BIOHIDROMETALURGÍA Y AMBIENTE (GIMBA). caracterización fisicoquímica de las arenas cianuradas remanentes de la antigua minería aurífera de la planta “la bodega” en el municipio de california, Santander. Onceavo informe de resultados. 2012
10. IHOBE. Sociedad pública de gestión ambiental. Guía metodológica. Investigación de la contaminación del suelo. Toma de muestras.
11. IHOBE. Sociedad pública de gestión ambiental. Guía metodológica. Investigación de la contaminación del suelo. Análisis químico.
12. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. NTC 3656. Gestión ambiental. Suelo. Toma de muestra de suelo para determinar contaminación. 1994
13. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. NTC 4113-1. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para el diseño de programas de muestreo. 1997
14. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. NTC 4113-2. Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía sobre técnicas de muestreo. 1997


15. LOGSDON, Mark; HAGELSTEIN, Karen; MUDDER, Terry. El manejo del cianuro en la extracción de oro. Consejo internacional de metales y medio ambiente. Canadá. 2001
16. NAVA ALONSO, F, et al. Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración. Revista de metalurgia. Artículo 48. 2007
17. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Guía minero ambiental. Exploración. Colombia. 2002
18. PSL PROANALISIS LTDA. Informe de resultados No. 01-ARE-JUL-AUX-13. 2013.
19. SGS COLOMBIA. Minería. Clorinación alcalina. Disponible en internet: <http://www.sgs-latam.com/es-ES/Mining/Metallurgy-and-Process-Design/Cyanidation-Technologies/Cyanide-Destruction/Alkaline-Chlorination.aspx>
20. VASQUEZ, Jorge. Procesamiento de minerales auríferos. Ministerio de minas y energía. Preservación ambiental. Cartilla N°3. p. 5-8, 15-17.s.f.
21. VEGA, Abraham. Guía didáctica de educación ambiental. Minería y medio ambiente. 1999.
22. WOLFF, Erwin. Incorporación de tecnologías limpias para beneficiar minerales auríferos en la pequeña minería de Vetas y California (Santander) buscando reducir vertimientos de mercurio y cianuro. Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. Colombia. 2008.

ANEXOS

Anexo A. Formato de recolección de la muestra

	FORMATO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	CODIGO: RIM01
MUESTRA: arena		
CODIGO DE MUESTRA: ALVSBTC01		
UBICACIÓN: La Bodega sector La Vencedora		
TIPO DE CONTAMINANTE: cianuro y metales como Cr, Ni, Fe, Al y Cu		
TIPO DE ANALISIS SOLICITADOS: Determinación de cianuro y metales		
MATERIAL UTILIZADO: tubo PVC de 4 pulgadas, balde, porra, balanza, jarra, pala pequeña, cabuya, puntilla, martillo, costal y EPP.		
PROFUNDIDAD DE MUESTREO: 30 cm		
CANTIDAD MUESTREADA: 25 Kg		
OBSERVACIONES GENERALES:		
ELABORADO POR: Luis Ernesto Rangel - Mayra Alexandra Albarracín		VERIFICADO POR: Laura Chaparro

Anexo B. Tarjeta de identificación de la muestra

	TARJETA DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	CODIGO: TIM01
MUESTRA: arena	CODIGO DE MUESTRA: ALVSBTC01	
FECHA DE MUESTREO: 21/03/13	HORA DE MUESTREO: 9:30 am	
CANTIDAD DE MUESTRA: 25 Kg	UBICACIÓN: La Bodega sector La Vencedora	
PROFUNDIDAD DE MUESTRA: 30 cm	ANALISIS SOLICITADO: Determinación de cianuro y metales	
MUESTREO POR: Luis Ernesto Rangel – Mayra Alexandra Albarracín	VERIFICADO POR: Laura Chaparro	