

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN –DIGI–
–FINEANS–
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

“Determinación del nivel de contaminación del aire con cianuro en un proyecto minero de extracción de oro por la técnica de lixiviación”

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PRESENTADO POR
JORGE ALEJANDRO TORRES FLORES

GUATEMALA, 28 DE AGOSTO DE 2009

ÍNDICE

	Página
I. Resumen	3
II. Introducción	4
III. Antecedentes	6
IV. Justificación	12
V. Objetivos	14
VI. Hipótesis	15
VII. Métodos	16
VIII. Resultados	17
IX. Discusión	18
X. Conclusiones	20
XI. Recomendaciones	21
XII. Referencias bibliográficas	22
XIII. Anexos	23
A. Norma Consultada.....	24
B. Imágenes de los colectores de precipitación pluvial.....	26

RESUMEN

Actualmente se han puesto muy de moda las explotaciones de metales preciosos, y Guatemala es un país que no se ha quedado atrás. Al día de hoy cuenta con dos proyectos mineras de extracción de oro por medio de la técnica de lixiviación con cianuro. El mal manejo del cianuro puede causar desastres de magnitudes catastróficas ya que el cianuro, que es el compuesto utilizado para la acomplejación y separación del oro del mineral es altamente toxico.

Si no se maneja adecuadamente se puede dar la contaminación de las fuentes de agua y de los suelos, esto a través del aire y los ciclos biogeoquímicos de los elementos esenciales. Uno de estos ciclos es el del agua, en el cual el aire tiene mucho que ver, ya que a través de él se transportan muchos compuestos que pueden servir de nutrientes o de contaminantes.

Además, si el personal que se encuentra expuesto a diario a este compuesto nocivo para la salud no toma las medidas de seguridad necesarias, así como no labora en un ambiente en el cual se respeten los límites para los compuestos tóxicos puede sufrir enfermedades a corto y a largo plazo, o incluso, la muerte instantánea por la alta toxicidad de esta sustancia.

El presente es un estudio realizado a las aguas provenientes de la precipitación pluvial en las zonas próximas al proyecto minero El Sastre, encontrándose niveles de contaminación en el parámetro analizado, ya que se paso por encima del límite máximo permisible propuesto por el COGUANOR, que es de 0,07mg/L, lo cual puede causar enfermedades a las personas que consuman aguas en donde se almacene esta precipitación pluvial de forma estancada como los lagos e incluso en los ríos en donde se colecta el agua en tanques para su uso posterior. Además, por el nivel detectado se podría decir que se está contaminando levemente las fuentes hídricas de la zona próxima a la mina.

INTRODUCCIÓN

Por definición, hoy la minería (a cielo abierto) es un actividad industrial insostenible, en la medida en que la explotación del recurso supone su agotamiento, su desaparición; además de sus impactos culturales y económicos, al obligar a los pobladores a cambiar su actividad (vocación) productiva, reemplazar sus hábitos alimenticios y poner en riesgo su seguridad y soberanía alimentaria usando la tierra ya no para la producción de alimentos, sino para su destrucción en función de la extracción del oro.

En la extracción de oro por medio de lixiviación por cianuro se lleva a cabo por la denominada minería a cielo abierto (o a tajo abierto). En este tipo de minería se lleva remueven cientos de toneladas del suelo y del subsuelo dejando al descubierto la roca que contiene el oro; como el metal está metido en la roca, en trozos tan pequeños que ni siquiera se pueden ver a simple vista, primero aflojan la roca utilizando explosivos o maquinaria pesada, para luego molerlas hasta hacerlas polvo y tenderla sobre plásticos que son permanentemente regados con una mezcla de agua y cianuro (lixiviación), donde éste empieza a actuar como imán de las partículas de oro, escurriendo luego hacia piletas con carbón que dividen el oro del cianuro. Luego se pueden aplicar diversos procesos dando como resultado la formación de los famosos lingotes.

La tecnología que las empresas transnacionales tienen para la extracción de minerales, compuesta por equipos de excavación, gran maquinaria y el traslado e instauración de tuberías de distribución, permiten hoy remover montañas enteras en cuestión de días, haciendo rentable la extracción de una tonelada de tierra para la obtención de un (1) gramo de oro.

El resultado, cientos de hectáreas de tierra y roca contaminada; destrucción del bosque y la cubierta vegetal. Las lluvias lavan la tierra de tal manera que sus nutrientes (los pocos que quedan) salen, terminando de empobrecer los suelos; contaminan y destruyen las fuentes de

agua que se encuentran por debajo de la tierra (vetas subterráneas) hasta secarlas o en otros casos contaminando las cuencas hidrográficas aledañas. Una mina pequeña necesita utilizar aproximadamente doscientos cincuenta mil (250.000) litros de agua por hora. Una familia campesina utiliza treinta (30) litros de agua por día; lo cual indica que el agua que una familia utiliza por veinte años, la empresa minera la gasta en solo una hora.

Además de presentar los problemas anteriormente planteados, también existe la contaminación por cianuro del aire. Esto debido a que el cianuro, al igual que cualquier otro compuesto químico presenta una volatilidad la cual le permite ser transportado a la atmósfera, junto con el agua que se evapora al estar disuelto, y luego ser devuelto en forma de precipitación pluvia (según el ciclo del agua), siendo así este un transporte, en este caso, de un contaminante ambiental. Además, la EPA (por sus siglas en inglés) ha establecido que la máxima concentración permitida de ácido cianhídrico en lugares en los que se requiere la presencia permanente de trabajadores es de 10 ppm (11mg HCN/m^3) el umbral de olor para el cianuro de hidrógeno es de 2 a 5 ppm.

ANTECEDENTES

El creciente interés por la explotación de oro de parte de muy diversas compañías mineras se origina tanto en los aumentos en los precios del oro (una onza se cotiza actualmente a un precio entre los 900 y 1,000 dólares), que brindan un alto margen de utilidad, como en la reciente creación de métodos rentables en función de los costos de producción, para la extracción de oro en yacimientos sumamente pobres, gracias a la tecnología de extracción de oro por lixiviación con cianuro.

Según la DuPont Corporation (citado por Alberswerth, 1992), es económicamente viable extraer minerales con solamente 0.01 onzas de oro por cada tonelada de mineral. Esta tecnología ha venido a substituir a la recuperación de oro por amalgamación con mercurio, proceso ineficiente en términos de recuperación, ya que permite solo un 60% de recuperación del mineral, en comparación con más de un 97% en caso de extracción con cianuro. (La amalgamación es el proceso mediante el cual el mineral se une con la sustancia utilizada, en este caso mercurio, para efectos de separarlo del resto del material.)

La Tecnología de Extracción de Minerales por Lixiviación con Cianuro (Cyanide Heap Leach Mining)

Las operaciones mineras que utilizan la tecnología de extracción por lixiviación con cianuro (cyanide heap leach mining) en minas a cielo abierto se componen de seis elementos principales, que son:

- * la fuente del mineral (an ore source),
- * la plataforma (the pad) y el cúmulo (the heap),
- * la solución de cianuro,

- * un sistema de aplicación y recolección,
- * los embalses de almacenamiento de solución (solution storage ponds),
- * una planta para la recuperación de metales.

La mayoría de las operaciones que utilizan la extracción por lixiviación con cianuro usan la minería a cielo abierto para conseguir el mineral. La minería a cielo abierto trastorna grandes extensiones de tierra. Sin embargo, varias operaciones también usan material de desecho previamente extraído. Se trituran las menas (rocas que contienen el mineral) y se les amontona en un cúmulo que se coloca sobre una plataforma de lixiviación (leach pad).

Los cúmulos de material triturado varían en su tamaño. Un cúmulo pequeño puede estar constituido por 6 mil toneladas de mineral, mientras que un cúmulo grande puede tener hasta 600 mil toneladas, llegando a medir cientos de pies de alto y cientos de yardas de ancho. Las plataformas de lixiviación pueden variar en tamaño. Pueden tener aproximadamente entre uno y 50 acres (1 hectárea equivale a 2.471 acres).

El tamaño de la plataforma depende de la magnitud de la operación y la técnica de lixiviación. Generalmente, las plataformas de lixiviación tienen un forro (liner) de materiales sintéticos y/o naturales que se usan para "tratar" de evitar filtraciones. A veces, las operaciones utilizan forros dobles o triples. El uso de varios forros efectivos es económicamente viable y ventajoso para el ambiente, dado que una plataforma con filtraciones pueden contaminar los recursos hídricos con cianuro.

Una vez que el mineral triturado es apilado en la plataforma de lixiviación, se le rocía uniformemente con una solución de cianuro. Un sistema de regaderas dispersa la solución de cianuro a 0.005 galones por minuto por pie cuadrado (típicamente). Para un cúmulo pequeño (de 200 por 200 pies), esta velocidad equivale a 200 galones por minuto. La solución de cianuro contiene entre 0.3 y 5.0 libras de cianuro por tonelada de agua (entre 0.14 y 2.35 kg de cianuro por tonelada de agua), y tiene una concentración promedio de 0,05 por ciento (alrededor de

250 miligramos por litro de cianuro libre). La solución de cianuro lixivia (lava y amalgama) las partículas microscópicas de oro del mineral mientras se filtra por el cúmulo. Los ciclos de lixiviación duran desde unos cuantos días hasta unos cuantos meses, dependiendo del tamaño del cúmulo y de la calidad del mineral. La solución de cianuro que contiene el oro --llamada la solución "encinta"-- fluye por gravedad a un embalse de almacenamiento. Desde el embalse de almacenamiento se usan bombas o zanjas con forros para llevar la solución hacia la planta de recuperación de metales.

Los métodos más usados para la recuperación del oro contenido en la solución "encinta" de cianuro son la precipitación con zinc (método Merrill - Crowe) y la absorción con carbón. En el proceso de precipitación con zinc, se agrega zinc en polvo y sales de plomo a la solución "encinta". El oro se precipita (se separa) de la solución mientras el zinc en polvo se combina con el cianuro. Luego se funde el precipitado para recuperar el oro. Los productos finales de este proceso son el oro en barras (gold ore bullion) y una solución de cianuro "estéril" (sin oro) (barren solution), la cual se transfiere con bombas a un embalse de almacenamiento. También se origina material de desecho (slag material) que consiste en impurezas, incluyendo metales pesados. Normalmente se descargan estas escorias en un cúmulo de material de desecho.

La alternativa preferida por la mayoría de las operaciones es la absorción con carbón, sobre todo en las operaciones más pequeñas y en aquellas en las que las cantidades de plata que viene asociada con el oro en la solución "encinta" son menores. En este proceso, la solución encinta es impulsada por bombas a través de columnas de carbón activado. El oro y la plata de la solución se adhieren al carbón, y la solución "estéril", que todavía contiene cianuro, se lleva a un embalse de almacenamiento. El oro y la plata son separados del carbón por un tratamiento con soda cáustica caliente. Después, la solución pasa por una célula que contiene un ánodo de acero inoxidable y un cátodo para chapar el metal. El carbón gastado se reactiva en un horno para poder reutilizarlo.

En las operaciones de extracción por lixiviación se utilizan los embalses de almacenamiento para almacenar la solución de cianuro que luego se rociará sobre el cúmulo, sobre la solución "encinta" lixiviada del cúmulo y sobre la solución "estéril" que resultan del procesamiento del oro. Por razones ambientales y económicas, todos los embalses de almacenamiento tienen forros para evitar escapes de la solución de cianuro.

Las operaciones de extracción por lixiviación con cianuro pueden usar un sistema "cerrado" o "abierto" para el manejo de la solución de cianuro. En un sistema "abierto", se trata o se diluye la solución "estéril" que queda después de recuperar el oro, para cumplir con las normas aplicables de calidad de agua para concentraciones de cianuro y luego se descarga al ambiente. En un sistema "cerrado" se reutiliza o se recicla la solución de "estéril" para minimizar la necesidad de más cianuro, y para cumplir con las normas ambientales que pueden ser aplicables en el sitio minero. Varias operaciones grandes en tierras federales (de Estados Unidos) están valiéndose del sistema "cerrado".

Las operaciones mineras que utilizan la tecnología de extracción con cianuro llevan implícitos altos impactos ambientales, que en muchos casos pueden ser catalogados de desastre ambiental.

Para las plantas y los animales, el cianuro es extremadamente tóxico. Derrames de cianuro pueden matar la vegetación e impactar la fotosíntesis y las capacidades reproductivas de las plantas. En cuanto a los animales, el cianuro puede ser absorbido a través de la piel, ingerido o aspirado. Concentraciones en el aire de 200 partes por millón (ppm) de cianuro de hidrógeno son letales para los animales, mientras que concentraciones tan bajas como 0.1 miligramos por litro (mg/l) son letales para especies acuáticas sensibles. Concentraciones subletales también afectan los sistemas reproductivos, tanto de los animales como de las plantas.

Las dosis letales para humanos son, en caso de que sean ingeridas, de 1 a 3 mg/kg del peso corporal, en caso de ser asimilados, de 100-300 mg/kg, y de 100-300 ppm si son aspirados. Esto

significa que una porción de cianuro más pequeña que un grano de arroz sería suficiente para matar a un adulto. La exposición a largo plazo a una dosis subletal podría ocasionar dolores de cabeza, pérdida del apetito, debilidad, náuseas, vértigo e irritación de los ojos y del sistema respiratorio. Hay que tener mucho cuidado al manejar el cianuro, para efectos de prevenir el contacto dañino de parte de los trabajadores. Sin embargo, según la industria, no hay ningún caso de fatalidades humanas en las minas que usan las técnicas de lixiviación con cianuro.

Los trabajadores mineros suelen tener contacto con el cianuro, sobre todo durante la preparación de la solución de cianuro y la recuperación del oro de la solución. Para los trabajadores mineros, los riesgos son el polvo de cianuro, los vapores de cianuro (HCN) en el aire provenientes de la solución de cianuro y el contacto de la solución de cianuro con la piel.

Aunque son rentables para las compañías mineras, las minas que utilizan la extracción por lixiviación con cianuro son bombas de tiempo para el medio ambiente, tal y como lo indica el amplio estudio de la National Wildlife Federation de los Estados Unidos (Alberswerth et al, 1992), del cual se citan a continuación algunas de las preocupaciones planteadas:

1. A la vez que se extraen millones de toneladas de mineral de minas a cielo abierto y se les trata con millones de galones de solución de cianuro, las operaciones que utilizan la extracción por lixiviación con cianuro trastornan los hábitats de la vida silvestre y las cuencas hidrográficas, y pueden redundar en una multitud de riesgos para la salud y el ambiente. Estos impactos pueden manifestarse durante varias fases de la operación.
2. Los estanques de cianuro seducen a la vida silvestre. Ha sido registrada frecuentemente la muerte de animales silvestres, en especial aves, atraídos por el señuelo de los espejos de agua de esos estanques. La extensión generalizada de la mortalidad de animales silvestres en las instalaciones que utilizan dicho proceso ha provocado la preocupación del Servicio de Vida Silvestre y Pesquerías de los Estados Unidos, a pesar de que existen técnicas para evitar la muerte de animales silvestres, por ejemplo cercas y redes que cubren las

plataformas de lixiviación y los embalses de almacenamiento, para impedir que las aves y los mamíferos entren en contacto con la solución venenosa.

3. Después de la lixiviación, el cúmulo de mineral ya procesado contiene todavía vestigios de la altamente tóxica solución de cianuro, así como de metales pesados concentrados que han sido precipitados del mineral. Muchas operaciones optan por tratar los desechos contaminados con cianuro enjuagando con agua fresca el cúmulo hasta que la concentración de cianuro baje a un nivel inferior al máximo permitido (este nivel varía entre los estados y países). Una vez que la concentración de cianuro baja al nivel permitido, normalmente se deja en el lugar el material ya procesado, se compacta y puede que se haga o no se haga el esfuerzo de reconstruir ecológicamente el sitio.
4. Si no se enjuaga totalmente el mineral usado y la roca de desecho, o si se le deja sin tratar, el cianuro puede seguir filtrándose al medio ambiente. Tanto el cianuro como los metales pesados liberados por él (entre ellos se encuentran arsénico, antimonio, cadmio, cromo, plomo, níquel, selenio, talio) y otras sustancias tóxicas que se encuentran en el cúmulo y los lixiviados (por ejemplo sulfuros), son una amenaza para las quebradas, ríos o lagos, para las fuentes subterráneas de agua y para los peces, la vida silvestre y a las plantas (citado también por Hartley,1995).

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, debido al precio de la onza de oro en el mercado internacional, que oscila entre los 900 y 1000 dólares por onza (el precio cotizado al 31 de agosto del 2009 es de 954.63), se ha desatado un “boom” en el interés de las industrias mineras por la extracción de tan preciado metal; esta extracción se realiza por la técnica denominada extracción por lixiviación por cianuro ya que es el método más barato para realizar esta extracción, esto debido a los bajos costos de operación de una mina de este tipo y las altas ganancias que genera.

En Guatemala, un país tercermundista o en vías de desarrollo, cuenta con fuentes o betas de diversos minerales y metales preciosos, entre ellos el oro. Las industrias mineras han venido al país a ofrecer grandes avances en progreso y desarrollo a cambio de extraer sus recursos naturales no renovables. Se han montado minas para extracción del preciado metal por medio de la técnica de lixiviación por cianuro (los proyectos mineros son el denominado Montana y el denominado El Sastre); pero en cambio si no se realizan adecuadamente los controles en el manejo de tan altamente tóxico químico, se puede obtener un retraso en el desarrollo, además de un alto índice de contaminación ambiental (aire, agua y suelo) y posiblemente, si no se detecta a tiempo, altos índices de mortandad.

En Guatemala el ente encargado de autorizar las explotaciones es el Ministerio de Energía y Minas conjuntamente con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, cada uno en lo que a su área respecta, pero se debe contar de ambas aprobaciones para poder dar inicio a un proceso minera. Para que esto sea de una manera “limpia” ecológicamente hablando se debe contar con la aprobación del estudio de impacto ambiental, el cual es un estudio que hace énfasis a las medidas de mitigación en caso sucediera un accidente o cuando se termine de realizar la extracción para reordenar el área afectada. El Ministerio de Ambiente y Recursos

Naturales como ente reguladora y verificadora de la no contaminación debe de realizar monitoreos constantes acerca del manejo de los compuestos químicos que estas se manejan, para indicar a las empresas si aun están cumpliendo con las normativas de no contaminación establecidas en el país. Guatemala es un país que aun no cuenta con muchas normas para poder realizar auditorías ambientales y determinar si una empresa cualquiera esta o no contaminando el ambiente con su proceso de trabajo, pero existen normas internacionales que pueden utilizarse de referencia para este efecto; y debido a este poco control es que la mayoría de industrias asisten a países en vías de desarrollo para realizar sus actividades, debido a los bajos requerimientos ambientales y a los bajos costes de operación, a esto sumada la necesidad humana de un empleo para poder contar con la canasta básica para poder vivir de una forma “decente”.

En Guatemala la mayoría de normas están destinadas para el control de las fuentes acuíferas y terrestres y evitar así su contaminación, pero se ha dejado en el olvido quizá la segunda más importante después del agua, el aire, ya porque ambas son entes transportadoras de cualquier fenómeno, ya sea nutriente o contaminante; y todo lo que es transportado por el aire es depositado en las fuentes de agua y en los suelos. El cianuro es un compuesto relativamente poco volátil (Presión de vapor (kPa) 0.1013 (a 800 °C), 41.8 (a 1360 °C), por lo cual se puede transportar por el aire si se dan procesos de volatilización, y en Guatemala, el Proyecto de El Sastre se encuentra ejecutándose en una zona donde hay altas temperaturas y se da una alta volatilización del agua y con esta se puede dar la volatilización del cianuro de sodio contenido. Es por esto que se realizara un análisis del aire que circula en los alrededores de la mina por medio de un método indirecto, el cual será el de la medición de cianuro en la precipitación pluvial.

OBJETIVOS

Objetivos:

General:

1. Determinar el nivel de contaminación por cianuros en el aire que circula en los alrededores de un proyecto minero de extracción de oro por lixiviación con cianuro.

HIPÓTESIS

Existe contaminación con cianuro en el aire que circula en los alrededores de una mina de extracción de oro por medio del proceso de lixiviación con cianuro, la cual se ve relegada en la precipitación pluvial.

METODOS

Método tritimétrico (Standard Method de APHA, 4500 CN⁻ D)

El método tritimétrico es utilizado como el Estándar Method de APHA (4500 CN⁻ D), cuando la concentración de cianuro esta por sobre los 1000µg/L (38.5µM). El ion cianuro en solución de una muestra es titulado con una solución de nitrato de plata (AgNO₃) para formar un complejo de cianuro soluble, Ag[Ag(CN)₂], por medio de la reacción de Liebig. Cuando se ha agregado un pequeño de exceso del ion Ag, se detecta por un indicador sensible a la plata, la p-dimetilaminobenzalrodanina (o Rodamina B). La solución se torna de un color amarillento a un color rojo por la formación de un complejo entre la plata y el indicador. El límite de detección del ion plata por medio de este indicador es de 0.1mg/L (0.93µM) en comparación con un blanco.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el análisis tritimétrico de las aguas de lluvia colectadas en los alrededores de la mina de extracción de oro.

Tabla 1
Resultados obtenidos en el análisis de las muestras colectadas

Muestra	pH	Concentración de CN ⁻ (ppm)
1	7	8.5
2	7	7.5
3	7	3
4	7	3.5
5	7	2.5
6	7	8

Fuente: Laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia

DISCUSIÓN

Se procedió a la recolección de muestras de agua de lluvia en los alrededores de la mina de oro denominada el Sastre ubicada en el Municipio de San Antonio La Paz del Departamento de El Progreso mediante la instalación de colectores de lluvia utilizados por la Unidad de Monitoreo del Aire de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala. El periodo de colección fue de 15 días comprendidos del 4 de Julio al 18 de Julio del 2009. Posteriormente se analizaron las muestras por el Método Tritimétrico $4500 \text{ CN}^- \text{ D}$, propuesto por la Standar Methods para aguas, que es una titulación de cianuro por medio de nitrato de plata utilizando Rodamina B como indicador del punto final de la titulación.

Los resultados obtenidos reflejan que existe un nivel relativamente alto de contaminación, ya que dada la zona, que posee un bajo nivel de precipitación pluvial, presenta una concentración alta de cianuro, lo cual indica que no se esta manejando adecuadamente la evaporación de las piletas, el cianuro se evapora y es arrastrado por el aire hacia la atmosfera y luego precipita de nuevo en la lluvia, proceso por el cual es adherido a las fuentes de agua natural aledañas a la zona y a las plantas que se encuentren en esa zona. El cianuro es altamente toxico y afecta el proceso de la fotosíntesis y las capacidades reproductivas de las plantas. En cuanto a los animales, el cianuro puede ser absorbido a través de la piel, ingerido o aspirado. Concentraciones en el aire de 200 partes por millón (ppm) de cianuro de hidrógeno son letales para los animales, mientras que concentraciones tan bajas como 0.1 miligramos por litro (mg/l) son letales para especies acuáticas sensibles. Concentraciones subletales también afectan los sistemas reproductivos, tanto de los animales como de las plantas.

Además, el límite máximo permisible (LMP) propuesto por el COGUANOR es de 0.07ppm para aguas de uso potable, lo cual si se hiciera un promedio diario de precipitación de cianuro en las muestras, este número se supera por casi 10 veces en la muestra que presenta la menor

contaminación, no digamos en la de mayor contaminación. Lo cual indica que si una persona utilizara el agua después de una lluvia en un río cercano a la mina podría correr riesgos de presentar leves síntomas de intoxicación por cianuro, ya que la descarga al ambiente es alta, esto debido a que por ser una zona de clima seco, entonces la precipitación es esporádica, entonces la concentración es mayor aun en una lluvia.

CONCLUSIONES

Después de realizar la inferencia de los resultados obtenidos en el estudio se puede concluir que:

1. Existe contaminación por cianuro en las precipitaciones pluviales de la zona en donde se encuentra el proyecto minero denominado El Sastre.
2. Dado que se detectó contaminación en la precipitación de la zona, se puede inferir que el aire que circula en los alrededores de la zona se encuentra altamente contaminado con cianuro.

RECOMENDACIONES

Finalizado el presente informe se recomienda que:

1. Se analice el contenido de de cianuro en el aire del área de trabajo para poder así determinar si el personal se encuentra expuesto a envenenamiento por cianuro.
2. Se realice un monitoreo constante por las autoridades correspondientes para determinar si se está manejando adecuadamente el cianuro.
3. Se realice un monitoreo constante por las autoridades correspondientes de las fuentes de agua natural y de los suelos de la zona.
4. Se realice un monitoreo constante por las autoridades correspondientes del área de trabajo del personal y evitar así cualquier exposición que pueda ser dañina para la salud de los trabajadores.
5. Se realice por la industria minera medidas de mitigación para evitar la contaminación por cianuro proveniente de la evaporación de agua utilizada en el proceso de lixiviación en la extracción de oro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Comisión guatemalteca de Normas, COGUANOR. Norma NGO29001. Guatemala. 2003.
2. American Public Health Association. Standar Methods for the Examination of Water and Waste Water. 18th ed. Washington, DC:APHA, HWWA, WPCF, 1992, pp. 4.18-4.31.
3. Enviromental Protection Agency, EPA. Quality Criteria for Water, 1986. EUA.
4. J.Liebig. Process for determining the amount of hydrocyanic acid in medical prissic acid, bitter almond water and laurel water. Quarterly Chem. Soc. London. 4:219-221, 1852
5. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Division of Toxicology and Environmental Medicine. 2006.
6. Idárraga Franco, Andrés. A propósito del día Mundial Contra la Minería a Cielo Abierto. Publicado en <http://censat.org/> el 30 de julio del 2009.

ANEXOS

Anexo A: Norma consultada

utiliza el citrato como única fuente de carbono. La *Escherichia coli* es el indicador más preciso de contaminación fecal.

4. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y QUÍMICAS

4.1. Características físicas.

Tabla 1. Características sensoriales. Límite máximo aceptable (LMA) y límite máximo permisible (LMP) que debe tener el agua potable

Características	LMA	LMP
Color	5.0 u	35.0 u (1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5.0 UNT	15.0 UNT (2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados.		

4.1.1. Conductividad eléctrica. El agua potable deberá tener una conductividad de 100 µS/cm a 750 µS/cm a 25°C.

4.2. Características químicas del agua potable. Son aquellas características que afectan la potabilidad del agua y que se indican en la tabla 2 siguiente.

Tabla 2. Substancias químicas con sus correspondientes límites máximos aceptables y límites máximos permisibles

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloro residual libre (1) (2)	0,5 mg/L	1,0 mg/L
Cloruro (Cl)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Conductividad	---	< de 1.500 µS/cm
Dureza Total (CaCO ₃)	100.000 mg/L	500.000 mg/L
Potencial de hidrógeno (3)	7,0-7,5	6,5-8,5
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1.000,0 mg/L
Sulfato (SO ₄)	100.000 mg/L	250.000 mg/L
Temperatura	15,0°C-25,0°C	34,0°C
Aluminio (Al)	0,050 mg/L	0,100 mg/L
Calcio (Ca)	75.000 mg/L	150.000 mg/L
Cinc (Zn)	3.000 mg/L	70.000 mg/L
Cobre (Cu)	0,050 mg/L	1.500 mg/L
Magnesio (Mg)	50.000 mg/L	100.000 mg/L

- (1) El límite máximo aceptable, seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0,5 mg/L, después de por lo menos 30 minutos de contacto, a un pH menor de 8,0, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de *Escherichia coli* y ciertos virus.
- (2) En aquellas ocasiones en que amenazcan o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 2,0 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en la eficiencia de los tratamientos para potabilizar el agua.
- (3) En unidades de pH.

4.3. Agua clorada. La cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitaria segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua, por lo que en la tabla 2 se hace referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual que es aquella porción del cloro residual total que esté "libre" y que sirva como medida de capacidad para oxidar la materia orgánica que pueda encontrarse en el interior de las tuberías o por ruptura de las mismas que pueda producir cierta contaminación microbiológica.

4.4. Límites de toxicidad. En la tabla 3 se indican algunas substancias o compuestos químicos que al sobrepasar el límite máximo permisible en el agua potable, causan toxicidad.

Tabla 3. Relación de las substancias inorgánicas con significado para la salud, con sus respectivos límites máximos permisibles (LMP)

Substancia	LMP, en miligramos por litro
Arsénico (As)	0.010
Bario (Ba)	0.700
Boro (B)	0.300
Cadmio (Cd)	0.003
Cianuro (CN)	0.070
Cromo (Cr)	0.050
Mercurio (Hg)	0.001
Piomo (Pb)	0.010
Selenio (Se)	0.010

4.5. Relación de las substancias biocidas con sus respectivos límites máximos permisibles. Los nombres de las substancias biocidas orgánicas sintéticas, así como el límite máximo permisible se describen en la tabla 4.

Anexo B: Imágenes de los colectores de precipitación pluvial



