

**BIODEGRADACIÓN DE CIANURO EN AGUAS Y SUELOS CONTAMINADOS
POR LA MINERÍA DE ORO**

MARIA CAMILA GORDILLO GONZÁLEZ

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2018**

**BIODEGRADACIÓN DE CIANURO EN AGUAS Y SUELOS CONTAMINADOS
POR LA MINERÍA DE ORO**

MARIA CAMILA GORDILLO GONZÁLEZ

**Monografía para optar el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Asesor(a)
DORA MARIA CAÑÓN RODRIGUEZ
Ingeniera Química**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2018**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma director especialización

Firma Calificador

Bogotá D.C. Marzo de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García Peña

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director de la Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Francisco Archer Narváez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores

DEDICATORIA

A mis padres, hermano, amiga Camila Bermúdez y especialmente a la tía Consuelo por todo el apoyo incondicional y acompañamiento durante el desarrollo de este documento.

María Camila Gordillo González

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de América por los conocimientos y valores adquiridos, a mi familia por su apoyo, al doctor Francisco Archer por su acompañamiento durante el desarrollo del documento y a la Doctora Dora Cañón por la paciencia y contribución en el mismo.

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	17
OBJETIVOS	18
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1 MINERÍA DE ORO	19
1.1.1 Proceso de extracción	23
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y SUELO INVOLUCRADOS EN EL PROCESO	28
1.2.1 Físicas	30
1.2.3 Químicas	31
1.3. CIANURO	32
1.3.1 Degradación de cianuro	35
2. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS EN AGUAS RESIDUALES Y SUELOS AFECTADOS POR LA MINERÍA DE ORO	39
2.1 SUELOS	39
2.2 AGUAS	42
3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACION REALIZADO POR LOS MICROORGANISMOS Y LA TECNOLOGIA APLICADA EN AGUAS Y SUELOS CONTAMINADOS CON CIANURO EN LA MINERIA DE ORO	53
4. CASOS DE APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGIAS Y SUS BENEFICIOS	64
5. CONCLUSIONES	69
6. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	78

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Reacción de formación de complejos metálicos con oro	25
Ecuación 2. Extracción de oro usando solución de cianuro aireada.	25
Ecuación 3. Reacción que tiene lugar al momento de la bio-oxidación.	59
Ecuación 4. Reacción de hidrolización del cianato.	59
Ecuación 5. Reacción de metabolización de <i>Pseudomonas paucimobilis</i>	60
Ecuación 6. Reacción de canalización por la Rodanasa.	61

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Fases para una explotación de oro o cualquier otro mineral.	22
Gráfico 2. Tecnologías para el tratamiento de aguas provenientes de la industria minera.	35
Gráfico 3. Usos del agua minera e impactos regionales.	48

LISTA DE IMAGENES

	pág.
Imagen 1. Valor de producción de algunos minerales en Colombia.	20
Imagen 2. Lugares de explotación de minerales en Colombia.	20
Imagen 3. Proceso de extracción de oro con el método de lixiviación con cianuro.	27
Imagen 4. Fuentes hídricas utilizadas en una extracción minera.	29
Imagen 5. Porción de la producción mundial de cianuro utilizada en minería.	34
Imagen 6. Disposición de los residuos con cianuro.	51
Imagen 7. Reacciones de degradación de cianuro.	57
Imagen 8. Diagrama de flujo del proceso de degradación.	67

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de suelos y sus características.	39
Tabla 2. Características fisicoquímicas de una muestra de suelo peruano.	42
Tabla 3. Características fisicoquímicas en aguas tomadas en Perú.	44
Tabla 4. Afectación a agua y suelos de acuerdo con el tipo de explotación minera.	46
Tabla 5. Usos del agua en procesos de obtención de oro.	49
Tabla 6. Parámetros óptimos para el desarrollo de los microorganismos.	54
Tabla 7. Reacciones que tienen lugar durante los Procesos de biodegradación de cianuro.	56
Tabla 8. Casos de aplicación de tecnologías desarrolladas por la empresa Homestake Mining Co.	65

LISTA ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Ficha de seguridad Cianuro de Hidrógeno	79
Anexo 2. Ficha de seguridad Cianuro de Sodio	82

GLOSARIO

ADSORCIÓN: fenómeno por el cual un sólido o un líquido atraen y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.

AEROBIO: organismo que necesita respirar oxígeno para vivir o desarrollarse.

AGUAS SUBTERRANEAS: fracción importante de la masa de agua presente en los continentes, y se aloja en los acuíferos bajo la superficie de la Tierra.

AGUAS SUPERFICIALES: se encuentran sobre la superficie del planeta.

ANAEROBIO: organismo que es capaz de vivir o desarrollarse en un medio sin oxígeno.

BIODEGRADACION: descomposición natural y no contaminante de una sustancia o producto por la acción de agentes biológicos.

BIODETOXIFICACIÓN: estimulación natural de órganos y sistemas responsables del drenaje y la eliminación de sustancias perjudiciales para la salud.

BIOSORCION: captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos.

DEGRADACIÓN DE CONTAMINANTES: procesos desarrollados para la eliminación de contaminantes orgánicos no biodegradables de aguas y suelos residuales industriales y urbanas.

ENTISOLES: suelos que no muestran ningún desarrollo definido de perfiles.

ENZIMA: moléculas de naturaleza proteica que catalizan reacciones químicas, siempre que sean termodinámicamente posibles.

FRACTURAMIENTO HIDRAULICO: técnica de extracción de gas y petróleo que se utiliza para estimular el flujo de hidrocarburos de formaciones geológicas impermeables.

FUENTES CONTAMINANTES: fuente única identificable y localizada de contaminación del aire, agua o térmica, acústica, lumínica, etc.

HIDROMETALURGIA: rama de la metalurgia que cubre la extracción y recuperación de metales usando soluciones líquidas, acuosas y orgánicas.

INCEPTISOLES: suelos derivados tanto de depósitos fluviónicos como residuales, y están formados por materiales líticos de naturaleza volcánica y sedimentaria.

MICROORGANISMOS: organismo microscópico animal o vegetal.

MINERIA: actividad de explotar las minas para extraer minerales.

PH: Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa.

SÓLIDOS DISUELTOS: medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular.

RESUMEN

En esta monografía se estudió la biodegradación de cianuro en suelos y aguas afectados por la minería de oro, identificando las consecuencias que trae para las aguas y suelos la utilización de cianuro en el proceso de extracción oro, ya que este elemento cambia las características fisicoquímicas de los mismos. Fueron identificados los procesos que tienen lugar por acción de los microorganismos durante la degradación en aguas o suelos, reacciones de oxidación, hidro catalíticas, reducción y sustitución/transferencia e igualmente los microorganismos aerobios y anaerobios presentes, estudiando las ventajas y desventajas de realizar dichos procesos. Se establecieron las condiciones óptimas para adelantar las reacciones de degradación como pH, temperatura, nutrientes, tipo de suelos y aguas, metales pesados y contenido de oxígeno. Finalmente se presentan las experiencias de 2 empresas que han puesto en práctica los procesos desarrollados a nivel laboratorio, como en Antioquia donde se usaron *Pseudomonas fluorescens*, y en Homestake Mining Co con explotaciones mineras ubicadas en países como Canadá y Estados Unidos. Se muestran las eficiencias de dichos procesos, sus características, condiciones y resultados para evidenciar la utilización de microorganismos en remediación de suelos y aguas contaminados con cianuro.

Palabras clave: Biodegradación, Cianuro, Minería de oro

INTRODUCCIÓN

El sector minero siempre ha tenido gran importancia en la economía mundial en comparación a muchas otras industrias, destacando la extracción de oro debido a su alto valor comercial. Gracias al gran interés para extraer oro, han sido creados diferentes técnicas para su exploración y explotación, afectando grandes proporciones de suelos y fuentes hídricas en los países donde se encuentra dicho metal, ya que en la mayoría de estos procesos se hace uso de sustancias químicas con alto grado de toxicidad siendo una de estas el cianuro con los cuales de manera directa o indirecta los seres vivos se ven afectados por la exposición a dichos contaminantes.

Debido a la problemática expuesta anteriormente, es necesario realizar tratamiento a los suelos y aguas afectados por altos contenidos de cianuro. Para lo cual se desarrollaron procesos de remediación químicos y físicos los cuales fueron eficientes al inicio de sus operaciones, pero con el paso del tiempo se identificó que tienen la desventaja de hacer uso de elementos químicos que contaminan aún más las fuentes naturales que se quieren remediar. Razón por la cual las empresas interesadas en disminuir los porcentajes de contaminación en sus residuos pensaron en el desarrollo de tecnologías limpias de remediación, como por ejemplo hacer uso de microorganismos degradadores de cianuro y de algunos otros contaminantes presentes en los residuos tratados.

Respecto a lo anteriormente planteado surge la pregunta: ¿Cuáles son los procesos utilizados para la degradación de cianuro a partir de microorganismos en aguas y suelos de la minería de oro?, base para los estudios que deben realizarse en laboratorio para identificar los más adecuados para dicha labor y las condiciones bajo las cuales tendrían un desarrollo óptimo respecto a la eficiencia en la degradación. Para después de identificar los más adecuados, desarrollar los procesos a nivel industrial considerando las cargas contaminantes de los residuos, las características de las aguas y suelos a tratar y de donde podrían ser aislados dichos microorganismos.

El documento presentado, desarrolla el tema descrito anteriormente haciendo uso de una metodología descriptiva en la cual se realiza una búsqueda de información de procesos ya existentes en el mundo y Colombia específicamente, identificando sus características, lugares de aplicación y resultados. Con esto se quiere generar un impacto positivo en el campo de la biodegradación aplicada a residuos industriales con alto contenido de cianuro, buscando lograr que se pongan en marcha dichas tecnologías y así avanzar en gran porcentaje en el tema de tratamiento de residuos para mejorar la calidad de aguas y suelos afectados por la industria a nivel nacional e internacional.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Explicar los procesos utilizados para la degradación de cianuro a partir de Microorganismos en residuos provenientes de la minería de oro en Colombia.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las características fisicoquímicas de las aguas residuales y suelos afectados por la minería de oro.
- Describir el proceso de la degradación de cianuro por parte de los microorganismos.
- Explicar las tecnologías utilizadas para la degradación de cianuro en aguas residuales y suelos afectados por la minería de oro.
- Presentar los casos de aplicación de tecnologías y los beneficios de su aplicación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MINERÍA DE ORO

Con el paso del tiempo, la explotación de recursos naturales ha ido en aumento respondiendo a las necesidades del ser humano, siendo la minería uno de los que ha tomado gran importancia en el mundo:

América Latina no ha sido ajena a este fenómeno y hoy muchos países de la región se benefician de un notable aumento de los flujos de inversión extranjera y un auge significativo de exportaciones de la minería. En el caso de Colombia, si bien ha tenido una notable estabilidad macroeconómica reconocida desde años atrás, sus instituciones adolecen de una gran fragilidad, lo que se ha traducido en una baja presencia del Estado en amplias zonas del país y en una preocupante percepción de altos niveles de corrupción. A pesar de esto, la minería ha tenido un impacto económico significativo en los últimos años, lo cual se manifiesta en el sector el cual ha tenido tasas de crecimiento superiores a las presentadas por otros segmentos productivos”¹.

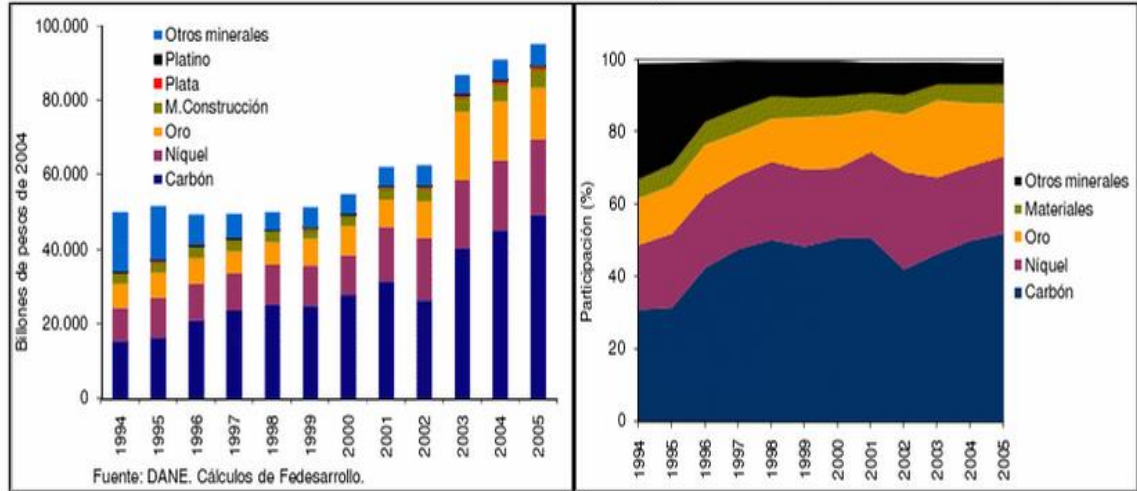
Igualmente, la extracción de minerales no metálicos es el sector que presenta mayor contribución a la economía nacional, agregando a esto la crisis que presenta el sector de los hidrocarburos, lo que lleva a que las empresas busquen otras fuentes de ingresos siendo la minería de metales o no metales una de las industrias que van en aumento y lo seguirá haciendo gracias a la importancia que ha tomado.

Respecto a la minería que no incluye los hidrocarburos, en Colombia se encuentra un gran potencial minero representado en las reservas y producción de carbón, níquel y metales preciosos. Estos minerales han aumentado su valor de la producción con el paso del tiempo, “estimando las mayores regalías respecto a sus porcentajes de participación en 77% del carbón, 18% níquel y 3,6% de metales preciosos. Logrando una participación del 2,8% en el PIB en el año 2004”². A continuación, en la Imagen 1 se observa el valor de la producción de diferentes minerales diferentes a los hidrocarburos explotados en el país, donde se observa la mayor participación del carbón en esta área seguido del níquel y oro.

¹ CÁRDENAS, Mauricio y REINA, Mauricio. La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal. Minería en Colombia, 2. Ed. Fedesarrollo, 2008. p. 3. [Consultado 10,07,2017]. Disponible en http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/893/CDF_No_25_Abril_2008_Esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

² Ibid., p. 49

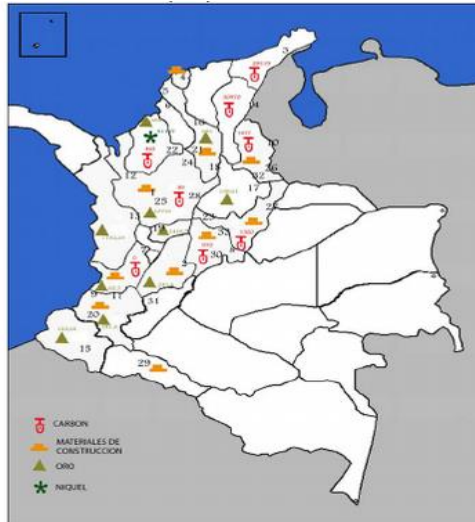
Imagen 1. Valor de producción de algunos minerales en Colombia.



Fuente. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. DANE

Igualmente, a lo largo del territorio nacional se realiza la explotación de los minerales anteriormente mencionados como se observa en la Imagen 2. Identificando el oro con la figura triangular verde con lo cual se observa que las zonas donde se realiza en mayor porcentaje dicha actividad son Antioquia, Bolívar, Chocó, Valle del Cauca y Nariño. El carbón la figura roja, la figura amarilla para materiales de construcción y la estrella verde para el níquel.

Imagen 2. Lugares de explotación de minerales en Colombia.



Fuente. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Disponible en: <http://www.igac.gov.co:10040/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/MapasdeColombia/Mapas/Nacionales>

Uno de los minerales anteriormente mencionados, que ha tomado gran importancia y es explotado desde hace mucho tiempo se trata del oro. Con el cual se realizan diferentes objetos a los cuales se les ha dado gran valor al momento de su adquisición y también tiene diferentes zonas de explotación en el país, siendo esta una de las razones donde radica su importancia:

Ha desempeñado un rol muy importante en la economía colombiana desde la época colonial, época desde la cual el valor de la producción y las exportaciones se han caracterizado por un comportamiento fluctuante. De otro lado este sector presenta algunas problemáticas como por ejemplo la deficiencia en datos estadísticos llegando muchas veces a no reflejar completamente la realidad, la persistencia de la minería mediana y pequeña y los procesos de extracción que hacen uso de agentes contaminantes para el agua y suelo, dando como resultado contaminación relacionada a esta práctica minera³.

Este metal es usado desde el surgimiento del hombre ya que fue de los primeros en ser descubiertos y fue de gran importancia debido a lo escaso que era y es en la actualidad. Se caracteriza físicamente por su brillo, color amarillo, suavidad y maleabilidad. Respecto a sus propiedades sobresale su resistencia a la corrosión, buen reflectante, resistente a la sulfatación y oxidación, libre de migración iónica, es fácil de realizar aleaciones con otros metales y presenta también alta conductividad térmica y eléctrica. Además de ser utilizado como moneda también es usado en aparatos eléctricos como teclados, conectores y circuitos microscópicos, del mismo modo son usados en calentadores y enfriados las láminas de este metal y por último también es usado para joyería y artesanías.

Este sector de la minería se caracteriza además de la gran cantidad de lugares donde se encuentra, por el uso de diferentes tecnologías tanto para la ubicación y extracción del mineral, siendo esto uno de los factores que permiten definir la minería de oro, como también el diseño de los procesos para un adecuado uso de los recursos naturales. Antioquia es el mayor productor de este mineral con un 68%, seguido por Chocó y Bolívar los cuales son los más representativos a nivel económico. Seguidos en menor importancia por Cauca, Tolima, Santander, Nariño, Valle del Cauca y Risaralda.

Al momento de la realización de la explotación del oro o de otro mineral de interés, se deben tener en cuenta las fases exigidas por la ley colombiana mostradas en la figura 3, las cuales abarcan un tiempo hasta de 30 años donde como primera medida se realiza el registro del proyecto a realizar y del cual aproximadamente entre 2 y 3 años se estudian los impactos y todo lo concerniente a las consecuencias de realizar dicha exploración y explotación. Después de analizar todos los factores que afectarían dichos proyectos, si son aceptados se da la licencia correspondiente

³ CÁRDENAS, Mauricio y REINA, Mauricio. La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal. Minería en Colombia, 2. Ed. Fedesarrollo, 2008. p. 56. [Consultado 10,07,2017].]. Disponible en http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/893/CDF_No_25_Abril_2008_Esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

a la empresa para que realice la explotación correspondiente, abarcando desde la etapa de todo el montaje inicial, las tareas iniciales en la explotación y todo el desarrollo de la minería hasta el día que fue concedido el permiso de explotación. Todo lo anterior como ya se mencionó, abarca hasta 30 años ya que, la empresa encargada debe tener en cuenta que hará con el terreno trabajado cuando acabe las operaciones, lo cual normalmente se piensa al momento de realizar los compromisos medioambientales iniciales, se debe cumplir con todo lo o por lo menos la mayoría de las actividades pensadas para la remediación del área afectada. En el gráfico 1 se observan dichos pasos y el tiempo que requieren para su puesta en marcha.

Gráfico 1. Fases para una explotación de oro o cualquier otro mineral.



Fuente. Asomineros y ANDI

Esta actividad minera trae consecuencias al medio ambiente debido a las técnicas utilizadas en el proceso, en cuanto a los ecosistemas marinos “las tasas de sedimentación aumentan debido a la gran cantidad de balsas, dragas y chupadeiras que transitan por ellos que genera un aumento en la turbidez alterando el color de las aguas dando como consecuencia la muerte de diferentes especies de peces, también los ríos son contaminados por derrames de petróleo y detergentes”.⁴ Igualmente al momento de realizar las excavación inicial de exploración, estos lugares en época de lluvias albergan gran cantidad de agua lluvia, lugar que se puede convertir en un vector de mosquitos los cuales son portadores de diferentes enfermedades las cuales se pueden transmitir a los habitantes cercanos, “en

⁴ D. CLEARY y I. THORNTON. Issues in environmental science and technology. Mining and its environmental impact. En: R.E. Hester y R.M. Harrison. Mining and its Environmental Impact. Cambridge. 1994. p. 19. ISBN 0-85404-200-8 [Consultado 11,07,2017].

algunas zonas en Brasil cercanas a lugares de explotación minera, se identificaron entre 1970 y 1989 el aumento de muertes a causa de la malaria”.⁵

La deforestación en las zonas de exploración y explotación es otra de las principales consecuencias de esta actividad, en estos lugares los trabajadores usualmente deben deforestar las áreas en las cuales se encuentra la vena de la mina y también para facilitar todo el proceso, facilidad en la movilidad de los trabajadores y la maquinaria necesaria. “Aunque de acuerdo con algunos estudios realizados en zonas de explotación minera en Brasil, la minería de oro no tiene gran participación en la deforestación respecto a otras actividades como la ganadería”.⁶

Otra actividad realizada en este proceso la cual tiene gran impacto en el medio ambiente se trata del uso de mercurio el cual tiene mucho tiempo de uso en el proceso. Estos impactos nacen en el proceso de recuperación del oro donde este químico “es calentado y los vapores producidos son liberados en la zona y contaminan la atmosfera, afectando también a los trabajadores o habitantes presentes en la zona ya que puede ser inhalado por ellos, igualmente al momento de la disposición de los desechos, estos llegan a contaminar fuentes hídricas o suelos con lo cual se afectarán algunas plantas o animales que tienen contacto directo con estos”.⁷

1.1.1 Proceso de extracción. En cuanto a su extracción, para poder empezar con dicho proceso debe tenerse identificado el lugar donde se encuentra el mineral y contar con las tecnologías adecuadas para llegar a lugares donde han sido identificadas suficientes cantidades de oro.

Referente al proceso de extracción más utilizado para este mineral, puede decirse que:

Las rocas duras que lo contienen y que han sido destruidas y tomadas del piso, continúan con el proceso que puede incluir varios pasos, dependiendo si el oro se encuentra atrapado en diferentes fases como telururos y sulfatos. El proceso más utilizado para disolver oro desde 1890 ha sido la cianuración con oxígeno donde el concentrado se coloca en tinas de solución de cianuro y es agitado para aumentar el tiempo de contacto para la reacción entre los granos y la solución. El

⁵ D. CLEARY y I. THORNTON. Issues in environmental science and technology. Mining and its environmental impact. En: R.E. Hester y R.M. Harrison. Mining and its Environmental Impact. Cambridge. 1994. p. 23. ISBN 0-85404-200-8 [Consultado 11,07,2017].

⁶ Ibid., p 26

⁷ Ibid., p 25

líquido resultante es filtrado para remover los sólidos y continuar el proceso para recuperar el oro.⁸

El método anteriormente mencionado “fue patentado en el Reino Unido por J.S. MacArthur y los hermanos W. y R. Forrest, el 19 de octubre de 1887” y es el más utilizado gracias a su bajo costo en comparación a otras formas de extracción, debido a la facilidad de realización de las diferentes etapas que lo componen como, “la excavación de la mina, la disposición de las rocas deselladas, la molienda primaria del mineral, concentración de sulfuro por flotación o gravedad, oxidación por calcinamiento o presión donde el sulfuro es removido siendo el método con presión el más común en la industria, lixiviación en pilas con una solución de cal y cianuro, cianuración y por último la disposición de dichas pilas”⁹. Para un mejor entendimiento de este proceso, Mark J. Logsdon afirma en su libro El manejo de Cianuro en la minería de oro: “El uso de soluciones a base de agua para extraer y recuperar metales como el oro, se conoce como hidrometalurgia. También es conocido como lixiviación, en el cual el cianuro de sodio se disuelve en agua en condiciones ligeramente oxidantes, de acuerdo con el informe quincenal de la snmpe (Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía de Perú) en el caso del oro, se hace uso de este compuesto debido a que es uno de los pocos reactivos que lo disuelven en combinación con agua. A esta solución resultante se le conoce como Solución cargada, a la cual se le agregará zinc o carbón activado para recuperar el oro en este caso, quedando una solución residual que será recirculada al proceso.

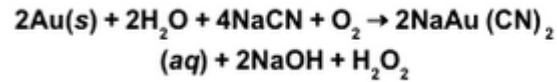
Principalmente el proceso de lixiviación “consiste en triturar el mineral, colocarlo sobre arcilla o polietileno y bañarlo con una solución de cianuro la cual, al infiltrarse a través del mineral, solubiliza el oro. En este proceso se forman complejos metálicos con el oro de acuerdo con la reacción presentada en la ecuación 1”¹⁰

⁸ M.A, Mckibben. Encyclopedia of Geology. Mineralogy, Geochemistry, and Natural Concentration of Gold. [Knovel]. 1 Edición. España. 2005. p. 124. ISBN 0-12-636380-3 [Consultada 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEGV00001>

⁹ROBERT J,Bowell; CHARLES N,Alpers y HEATHER E,Jamieson. Arsenic: Environmental Geochemistry, Mineralogy, and Microbiology. Crystal Chemistry of Arsenic Minerals. [Knovel] 79 Ed. Chantilly Virginia, ed. Jodi J, Rosso, 2015, p 79. ISBN 978-0-939950-94-2 [Consultado 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpRMGVAEG2>

¹⁰ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea].2009. p.7-12 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/424>

Ecuación 1. Reacción de formación de complejos metálicos con oro



Fuente. Revista La Sallista de Investigación

En la minería de oro se utilizan soluciones muy diluidas de cianuro de sodio (NaCN), típicamente 0,01% y 0,05% de cianuro”¹¹. “Se ha comprobado que la concentración de NaCN para el oro aumenta directamente conforme la concentración lo hace, llegando a un máximo de 400-500 gramos de NaCN por tonelada de solución”¹². Este proceso normalmente tarda 24 horas, a continuación, se observa en la ecuación 2 la reacción del proceso en el caso de utilizar una solución de cianuro aireada.

Ecuación 2. Extracción de oro usando solución de cianuro aireada.



Fuente. Hidrometalurgia y acabado de metales¹³

Respecto a lo encontrado en el libro Hidrometalurgia y acabado de metales “pueden agregarse peróxidos de hidrogeno o calcio para mejorar la efectividad de la reacción”¹⁴. Igualmente se identifican dos tipos de procesos de acuerdo con la facilidad de extracción del oro, “molienda libre el cual se usa cuando más del 80% de oro puede recuperarse por lixiviación convencional y refracción para un bajo porcentaje de recuperación en comparación al anteriormente mencionado”,¹⁵ para

¹¹ MARK J,Logsdon; KAREN,Hagelstein y TERRY,I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cynide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 8. ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

¹² MÉNDEZ PERALTA,Dulce María. Avances en la Metalurgia Extractiva, Materiales y Medio Ambiente. Procesos Hidrometalúrgicos En La Minería De Oro, Plata, Cobre y Aluminio. 1 Ed. Universidad de Sonora, 2009. p. 40

¹³ JONES,Craig W. Hydrometallurgy and Metal Finishing. 1 Ed. Cambridge. Applications of Hydrogen Peroxide and Derivates [Knovel] 1999. p. 245 ISBN 0-85404-536-8. [Consultado 19,08,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpAHPD0001>

¹⁴ Ibid.,. p. 246

¹⁵ BALLARAT,Victoria. Narrow Vein Mining Conference. Gold Particle Size and Cyanide - Based Extraction. [Knovel] 2008. p. 98. ISBN 9781920806897 [Consultado el 23,08,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpNVMCP003>

este caso se requiere un tratamiento más vigoroso como “hacer uso de oxígeno bajo presión o cloro gaseoso”¹⁶.

Debido a que este proceso trata principalmente de disolver el oro contenido en las rocas en una solución con cianuro, se deben tener en cuenta algunos factores como textura, fracturamiento, tamaño de los minerales solubles y su distribución en la roca mineralizante para así, saber qué tamaño deben tener para lograr un óptimo contacto con el disolvente y obtener una eficiente recuperación del mineral. Igualmente debe realizarse un estudio a las rocas que entraran al proceso para no tener problemas en el futuro, deben estudiarse características como:

“Que el mineral no contenga sustancias que se disuelvan en el cianuro o que reaccionen con este como algunas sales, que el tamaño del oro no afecte el tiempo para su disolución, que el metal que se pretende disolver no esté ligado en parte químicamente y que no contenga sustancias que precipiten los valores ya disueltos en el cianuro”¹⁷.

Para la realización de esta parte del proceso de extracción se puede realizar de dos formas, teniendo en cuenta el tamaño de las rocas que serán puestas en contacto con el cianuro “Proceso tradicional con molienda fina en el cual “el mineral se tritura, se reduce a unos pocos centímetros de diámetro y se le coloca en grandes pilas o montones. Una solución de cianuro se hace pasar lentamente a través de estas pilas para disolver el oro. La solución estéril se recoge en un estanque que generalmente se recarga con cianuro y se recircula al sistema”¹⁸, el tamaño de las partículas es muy importante para resultados óptimos el cual se encuentra entre - 150um a -45um, por otro lado se encuentra el proceso de lixiviación en montones, el cual ha presentado mayores avances con el paso del tiempo desde los años 70’s debido a que es mucho más económico en inversión y operación respecto al tradicional, en este proceso “el mineral no es molido sino quebrado y depositado en patios especiales donde se riega con cianuro y se busca una disolución óptima de 3.25mg/cm²/h”.¹⁹ A continuación, en la imagen 3, se puede observar todo el proceso

¹⁶ JONES, Craig W. Hydrometallurgy and Metal Finishing. 1 Ed. Cambridge. Applications of Hydrogen Peroxide and Derivates [Knovel] 1999. p. 246 ISBN 0-85404-536-8. [Consultado 19,08,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpAHPD0001>

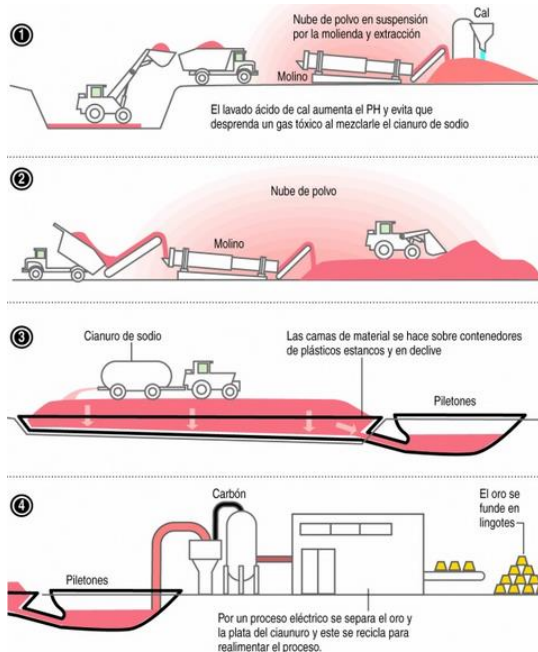
¹⁷ MÉNDEZ PERALTA, Dulce María. Avances en la Metalurgia Extractiva, Materiales y Medio Ambiente. Procesos Hidrometalúrgicos En La Minería De Oro, Plata, Cobre y Aluminio. 1 Ed. Universidad de Sonora, 2009. p. 40

¹⁸ MARK J, Logsdon; KAREN, Hagelstein y TERRY, I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 9. ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbc/a/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

¹⁹ MÉNDEZ PERALTA, Dulce María. Op cit., p. 45

por montones anteriormente mencionado de acuerdo a como se realiza en el país de Argentina, en la cual se observa en primera medida como se prepara el terreno para evitar reacciones indeseadas al momento de hacer uso de cianuro, posteriormente al tener el terreno listo se construyen los pozos donde se tendrán las piedras obtenidas anteriormente y donde se ponen en contacto con el cianuro. Finalmente se obtiene el oro puro después de pasar por un proceso eléctrico para separar el mineral y demás componentes del cianuro, también es utilizado en otros países como Colombia.

Imagen 3. Proceso de extracción de oro con el método de lixiviación con cianuro.



Fuente. LA ENCICLOPEDIA DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA EN ARGENTINA. Lixiviación con Cianuro. [Sitio Web]. Argentina. [Consultado 24,07,2017] Disponible en: https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/Lixiviaci%C3%B3n_con_cianuro

A los procesos anteriormente mencionados pueden identificarse algunos problemas que pueden presentarse en la realización del mismo, el tamaño del oro puede ser uno de ellos al presentarse muy grueso lo cual al momento de su separación de las piedras requerirá más tiempo de contacto con el cianuro, dando como consecuencia contaminación en los suelos del área de trabajo o también podría presentarse junto con el oro otros elementos como sulfatos, lo que podría requerir más tiempo en el proceso o la complicación del mismo al presentarse reacciones indeseadas afectando la calidad del mineral buscado y la eficiencia del proceso. Dándole a las empresas dedicadas a dicha labor problemas económicos y de proceso para un futuro.

“A pesar de la innovación y la economía que representa el uso de dichas tinajas con cianuro, se ha generado gran preocupación debido a la cercanía de ellas con vida silvestre y con fuentes de agua natural, llegando a endurecer la normatividad respecto a esta actividad, debido a que se trata de una sustancia tóxica que puede llegar a ser letal si se ingiere o se inhala en cantidades significativas”.²⁰ Debe tenerse en cuenta que el nivel máximo de cianuro que puede contener el agua potable es de 0,2 ppm.

Naturalmente se puede encontrar cianuro en aguas, suelos y aire el cual no llega a ser tóxico debido a que existen microorganismos que lo degradan de forma natural. En el caso del agua la mayor parte del cianuro formará cianuro de hidrógeno el cual se evaporará, otra porción de este cianuro será transformado por microorganismos en otras sustancias químicas, aunque esta forma de degradación es muy efectiva, los niveles de desechos de cianuro en las fuentes de agua y suelos han aumentado llegando a matar los microorganismos encargados de dicha tarea y permitiendo que las concentraciones de cianuro lleguen a ser altamente tóxicas para hacer uso de dicha agua y suelo contaminados, lo anterior debido a que al sumarle a estos medios desechos industriales, esta concentración de cianuro aumentará exponencialmente dando lugar a la intoxicación de los microorganismos encargados de la degradación natural, uno de los medios más afectados debido a esto se trata del suelo donde habitan la mayoría de dichos seres vivos, ya que en el suelo los cianuros son relativamente móviles y algunos de sus compuestos pueden formar cianuro de hidrógeno y evaporarse, los demás serán transformados a otras sustancias por los microorganismos ya mencionados. Los cuales al llegar el punto de exceder la concentración de cianuro no serán eficaces al momento de la degradación y cierto porcentaje de cianuro pasará hacia aguas subterráneas.²¹

La disposición del cianuro utilizado en el proceso se realiza normalmente en embalses al aire libre donde el efecto del aire y la luz solar rompen las cadenas del compuesto, del mismo modo al hacer uso de peróxidos o ácidos se modera el nivel del cianuro que entrará a los embalses o que será sometido a algún tratamiento de aguas.

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA Y SUELO INVOLUCRADOS EN EL PROCESO

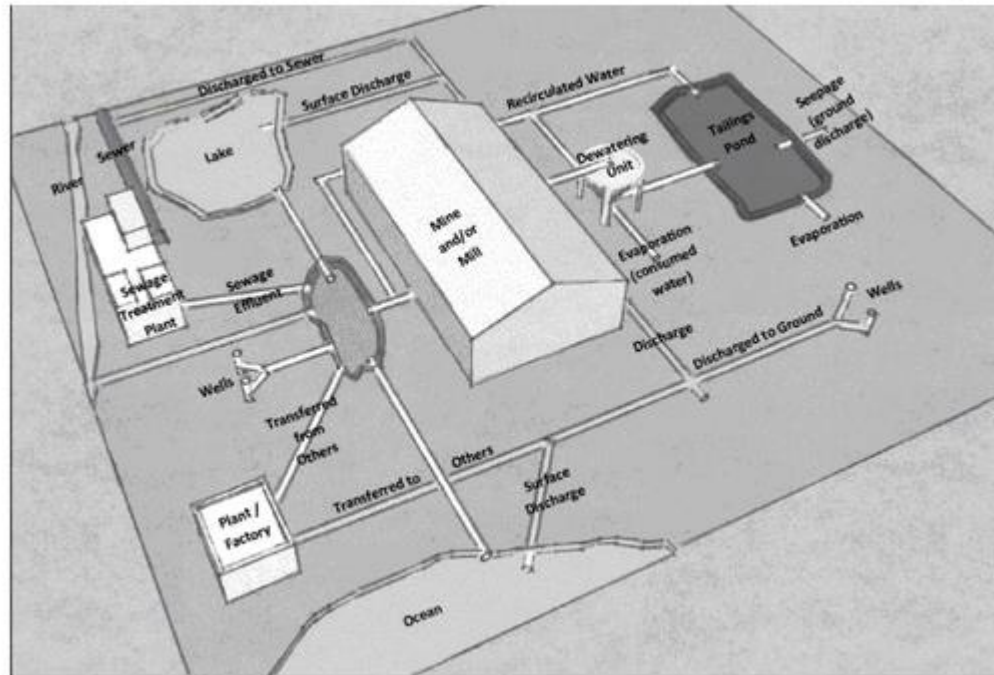
Debido a los lugares donde se realiza la actividad minera, el agua que se necesita para el proceso debe tomarse de fuentes diferentes como aguas subterráneas, superficiales, provenientes de una planta de tratamiento, marinas. Dependiendo de la etapa del proceso la calidad del agua requerida varía, a continuación, en la

²⁰ M.A, McKibben. Encyclopedia of Geology. Mineralogy, Geochemistry, and Natural Concentration of Gold. [Knovel]. 1 Ed. Oxford. 2005. p. 124. ISBN 0-12-636380-3. [Consultado el 8,09,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEGV00001>

²¹ AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. Resúmenes de Salud Pública - Cianuro (Cyanide) [www.atsdr.cdc.gov] Atlanta. [Consultado el 23,10,2017]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html. 2016

imagen 4 se observa un diagrama como ejemplo de las diferentes fuentes de agua que se pueden tener en un terreno dedicado a la explotación minera basado en el proyecto Kaufmann and Nadler de 1975

Imagen 4. Fuentes hídricas utilizadas en una extracción minera.



Fuente. SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION. Water in Mineral Processing. Water use in the Mining Industry. [Knovel]. 1 Ed. Englewoo, Colorado, USA. Editado por Jaroslaw Drelich. 2012. p. 12. ISBN 978-0-87335-356-4 [Consultado el 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

Las aguas residuales del proceso de extracción minera pueden provenir desde minas que se encuentran en operación o lugares donde ya todo el mineral fue extraído y fue abandonado sin importar el estado del terreno. Las características de las aguas encontradas en estos lugares varían de acuerdo con la mina donde se toma la muestra del líquido, aunque pueden encontrarse características en común como minerales de hierro, también piritas de hierro las cuales con el contacto con el agua por tiempo prolongado se disuelven formando ácido sulfúrico. Igualmente, pueden encontrarse metales como cadmio, zinc y cobre en las aguas residuales de procesos mineros. Como consecuencia de la presencia de los metales o minerales ya mencionados, pueden identificarse “aguas ferruginosas llamadas así debido a la oxidación de las piritas, son confundidos con el oro debido a su apariencia. Este proceso de oxidación les da a estas aguas condiciones acidas de diferentes concentraciones y cantidades, causando la disolución de otros minerales presentes. Esta agua acidificada al entrar en contacto con el aire puede generar reacciones indeseadas y compuestos aún mucho más contaminantes no solo para las aguas

sino también para el aire y suelo, afectando también aguas superficiales o subterráneas cercanas a la zona”²².

Al momento de analizar el agua utilizada en el proceso, su descarga en ríos es controlada cuidadosamente ya que son aguas acidas normalmente. A estas se les somete a un proceso en el cual es “neutralizada, se remueven los sólidos suspendidos y es tratada químicamente para finalmente ser descargada de acuerdo a las licencias existentes”²³.

Otras fuentes hídricas que son afectadas al momento de la extracción o de su abandono se trata de las aguas superficiales y las subterráneas, principalmente las aguas provenientes de minas abandonadas, las cuales para poder ser cerradas después de terminar operaciones debe solicitarse un permiso para este cierre. Esto ha afectado seriamente los ecosistemas cercanos ya que en el lugar se dejan aguas contaminadas en condiciones de seguridad poco adecuadas y se filtra a los suelos, aguas subterráneas y superficiales.

Al momento de realizar el estudio de la calidad de las aguas utilizadas o afectadas en el proceso, deben tenerse en cuenta las características fisicoquímicas de las mismas. Las cuales son importantes debido a que estas dan las pautas para decidir si un agua es apta para el consumo humano, dependiendo también del uso que se le dará en el futuro.

Las características principales que son analizadas en un cuerpo de agua son:

1.2.1 Físicas

- Color: “se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias”²⁴. En el caso de la minería de oro, pueden identificarse residuos de algunos minerales presentes en el suelo y también de los químicos utilizados en el proceso.
- Sabores y Olores: “se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición”²⁵. Los cuales son medidos ya que

²² R.E. Hester;R.M. Harrison. Issues in Environmental science and technology. Mining and its Environmental Impact. The Discharge of Waters from Active and Abandoned Mines. [Knovel]. 1 Ed. Cambridge. 1994. p. 126. ISBN 0-85404-200-8. [Consultado el 24,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpMEI00001>

²³Ibid., p. 125

²⁴ ORELLANA, Jorge A. Libro De Ingenieria Sanitaria. Caracteristicas Del Agua Potable. Universidad Tecnica del Norte. [Página Web]. Argentina. 2005. [Consultado el 23,07,2017]. Disponible en: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

²⁵R.E. Hester;R.M. Harrison. Op cit., p.124.

pueden ser perjudiciales para la salud humana al tratarse de materia en descomposición.

- Turbidez: “las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba”.²⁶ Este estudio se realiza principalmente desde el punto de vista estético, aunque el agua resultante del proceso minero no se piensa en destinarla al consumo humano.

1.2.3 Químicas. Estas características son analizadas debido a que, aunque el agua naturalmente presenta variedad de sustancias químicas, tiene un máximo de concentración de estas. Buscando que de llegar estas a ser consumidas no representen peligro para el hombre, al identificar elementos tóxicos que naturalmente no se encuentran como fenol, arsénico, selenio, Cromo, Plomo, Hierro, Manganeso, Flúor, Cobre, Zinc, Magnesio, Cloruro, Sulfatos, Calcio, Yodo y Nitratos. Los cuales son producto de los procesos industriales, en este caso muchos como resultado del proceso de extracción de oro.

En cuanto a los ecosistemas marinos:

El grado de toxicidad depende de las condiciones del agua como pH, temperatura, concentración de oxígeno, especies que residen allí entre otras. Para el tema de la degradación del cianuro en el agua influye que las bacterias y protozoos pueden degradarlo convirtiéndolo en dióxido de carbono, amonio y la cloración de los suministros de agua puede resultar en cianato, teniendo en cuenta que dependiendo del pH se favorecen ciertas reacciones. Otra de las posibles soluciones para disminuir el impacto del cianuro en el medio ambiente es el uso de *Eichornia crassipes* ya que presenta gran resistencia a grandes concentraciones de Cianuro, aunque aún no ha sido probada esta opción.²⁷

Por lo anterior, las empresas dedicadas a esta industria han implementado algunas medidas para evitar que la flora, fauna, seres humanos, fuentes hídricas y suelos se vean afectados por el contenido de cianuro en las pilas, colocando paredes, cercas y otra variedad de obstáculos los cuales no logran completamente evitar la contaminación. Esta preocupación de la afectación de los recursos naturales nace debido a que en el proceso de minería donde se hace uso del cianuro, se presenta una variación de deshidratación entre los sitios afectados y que cuentan con hidrología respecto a los sitios mineros individuales. Específicamente en los procesos de:

²⁶ R.E. Hester;R.M. Harrison. Issues in Environmental science and technology. Mining and its Environmental Impact. The Discharge of Waters from Active and Abandoned Mines. [Knovel]. 1 Ed. Cambridge. 1994. p. 125. ISBN 0-85404-200-8. [Consultado el 24,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpMEI00001>

²⁷ EISLER,Ronald. Eisler’s Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. Gold Mine Wastes. [Knovel] 1 Ed. Amsterdam. 2007 p. 358. ISBN 978-0-444-53105-6. [Consultado el 25,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEEEHPC08>

Molienda y lixiviación se requiere gran cantidad de agua alcalina la cual será contaminada con cianuro de sodio (NaCN), cianuro libre y metales de cianuros los cuales son altamente tóxicos. Una vez se ha realizado el proceso y obtenido el oro, esta solución de cianuro es tratada para llegar a un pH óptimo y poder reutilizarla en el mismo proceso más adelante, pero no solo el cianuro es el problema más importante ya que durante su degradación se producen compuestos de nitrógeno e igualmente al momento de la molienda y lixiviación se libera plomo, cadmio, cobre, arsénico y mercurio presentes en el mineral extraído los cuales quedan en el suelo y también en la atmosfera son liberados gases de hidrogeno de cianuro (HCN).²⁸

1.3. CIANURO

La palabra Cianuro cobija una variedad de compuestos químicos siendo sus elementos fundamentales carbono y nitrógeno, adquiriendo sus características de acuerdo con el elemento al que estén combinados. La Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía en su informe quincenal para la snmpe afirma que “existen alrededor de 2000 fuentes naturales de cianuro, como por ejemplo almendras, cerezas, alfalfa, rábano, legumbres, col, coliflor, brócoli, nabos, entre otras plantas. Asimismo, está presente en bacterias, hongos, algas e incluso en algunos insectos”.

Respecto a los tipos de cianuro se identifican dos principales compuestos, el cianuro de hidrogeno el cual es un gas incoloro que se produce por la combinación de gas natural con amoniaco principalmente y el cianuro de sodio el cual es un compuesto solido e incoloro que se combina fácilmente con el agua y también es el más utilizado en el proceso de lixiviación para extraer oro. Como documentos anexos se encuentran las fichas de seguridad correspondientes a los compuestos mencionados anteriormente.

Aunque estos compuestos se encuentran en plantas y frutos de consumo normal, es eliminado por el hígado al ser concentraciones pequeñas. Sin embargo, esta sustancia es peligrosa si no se toman las medidas adecuadas al manipular estos elementos. Al entrar en contacto el ser humano con altas concentraciones “Actúa a través de la inhibición de ciertas células, bloqueando el proceso de respiración celular (evita que las células del cuerpo reciban oxígeno). Ello podría conllevar a posibles problemas en el corazón o en el cerebro producto de la falta de oxigenación en el organismo”²⁹. Lo anterior dependerá del tiempo de exposición, la cantidad y la

²⁸ EISLER, Ronald. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. Gold Mine Wastes. [Knovel] 1 Ed. Amsterdam. 2007 p. 353. ISBN 978-0-444-53105-6. [Consultado el 25,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEEHPC08>

²⁹ SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA, PETROLEO Y ENERGIA. Informe Quincenal De La Snmpe. [Página Web] Peru .2012. [Consultado el 26,09,2017] Disponible en: <http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-minero/1819-destino-de-las-exportaciones-mineras-actualizado-agosto-de-2012.html>

forma en que fue expuesta la persona y los síntomas no son únicamente para este caso de intoxicación.

Estos elementos en mamíferos presentan una importante consecuencia si se tiene contacto con ellos debido a que son inhibidores enzimáticos que bloquean la producción de ATP (Adenosín Trifosfato), dando como consecuencia la inducción a la hipoxia celular.

En cuanto al cianuro de sodio “desde el siglo XIX es empleado en operaciones auríferas para la disolución o lixiviación de oro”³⁰. Su ingestión puede ser letal con una acción rápida, presentando signos y síntomas como náuseas, olor a almendras amargas, convulsiones, coma, depresión respiratoria, colapso cardíaco, entre otras después de ser ingeridos 200 mg del mismo.

Debido a las nefastas consecuencias que tienen estos compuestos en el hombre y el medio ambiente, “la mayoría de empresas dedicadas a la minería de oro se han adherido voluntariamente a las normas del Código Internacional para el manejo de cianuro, que desde el año 2003 exigen un proceso de auditorías periódicas para certificar la buena gestión de este producto”³¹, aunque ya que existen tecnologías para su eliminación en las aguas residuales después de ser recirculada en el mayor porcentaje posible, este código es necesario para garantizar el adecuado tratamiento de dichos residuos.

Además de las negativas consecuencias del uso de diferentes compuestos de la familia del cianuro, también presentan ventajas las cuales radican en la facilidad de su composición en combinarse con otras sustancias y también como a partir de algunos pueden elaborarse una variedad de productos de fuentes naturales o sintéticos, “gracias a sus propiedades únicas, el cianuro se utiliza en la fabricación de partes metálicas y en numerosos productos orgánicos como plásticos, telas sintéticas, fertilizantes, herbicidas, tintes y productos farmacéuticos”.³² En la imagen 5 se pueden evidenciar los datos de acuerdo al porcentaje de utilización de dicho elemento químico en la industria minera respecto a la producción mundial, donde aproximadamente el 20% de la producción total es destinada a la actividad minera.

³⁰ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.7-12 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

³¹ PONCE MURIEL Alvaro. Minería Moderna Para El Progreso De Colombia. La Contaminación Del Agua. 1 ed. Colombia. 2014. p. 97. ISBN 978-958-58371-0-2. [Consultado el 15,08,2017]. Disponible en: <http://acmineria.com.co/publicaciones/mineria-moderna-para-el-progreso-de-colombia>

³² MARK J, Logsdon; KAREN, Hagelstein y TERRY, I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 13. ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

Imagen 5. Porción de la producción mundial de cianuro utilizada en minería.



Fuente. El manejo del Cianuro en la extracción del oro.³³

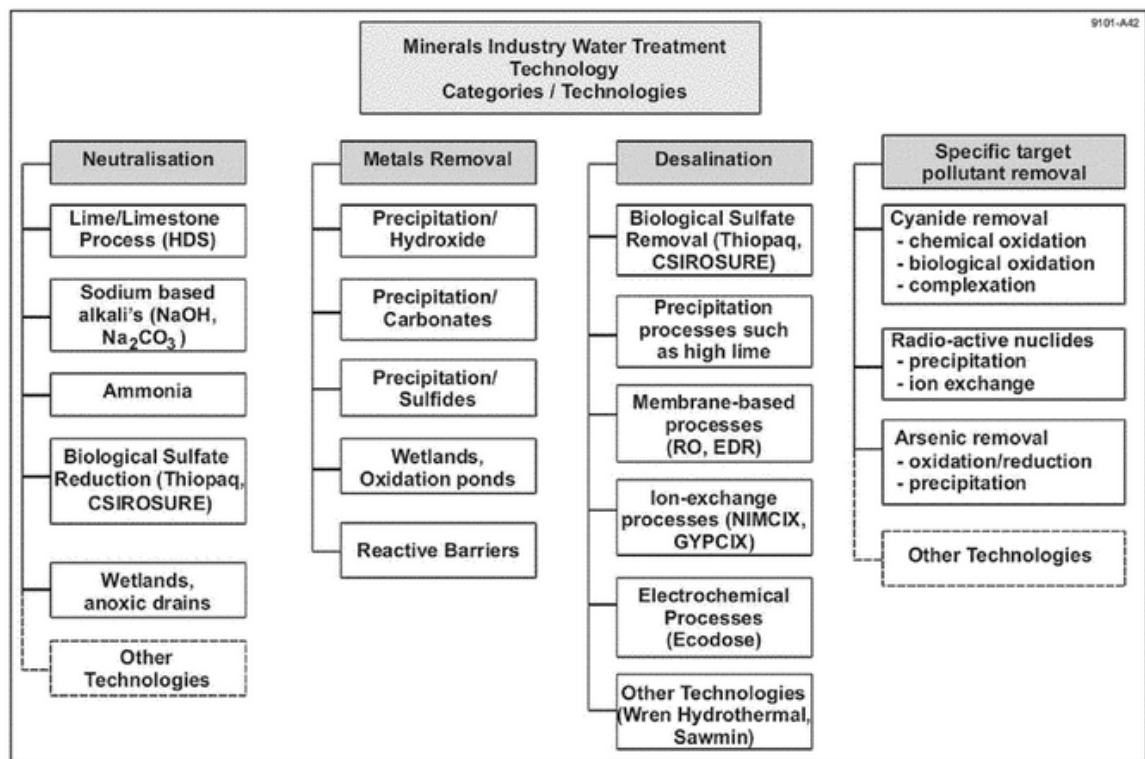
Debido a que en el país la extracción de oro es una actividad de alta importancia, la importación de cianuro ha presentado un importante aumento debido a que es el químico de mayor uso en la explotación minera aurífera. Este producto normalmente es traído de Busan, Corea de acuerdo con lo expresado en un artículo recuperado del diario El Espectador³⁴, donde ponen en evidencia el gran problema que presenta la ruta de entrada del producto a las regiones donde se realiza dicha actividad en un alto porcentaje. Ya que, las canecas del producto llegan al puerto de Buenaventura y son llevados hasta lugares apartados de allí y se hace uso de medios de transporte principalmente fluviales en los cuales se han presentado accidentes en los cuales el cianuro ha llegado a caer a diferentes ríos como por ejemplo el Magdalena. Lo anterior dando como resultado la preocupación de las autoridades en cuanto a la importación del producto, las rutas utilizadas ya que se identificaron algunas que recorrían largas distancias. Todo lo anterior logrando identificar algunas problemáticas que surgían con ello como por ejemplo el contrabando, ventas ilegales y principalmente minería ilegal.

³³ MARK J,Logsdon; KAREN,Hagelstein y TERRY,I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 8. ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

³⁴ PULIDO RANGEL,Luisa. La ruta del peligroso cianuro. En: EL ESPECTADOR. Bogotá. D.C. 7, septiembre,2008. Disponible en: <https://www.elespectador.com/impreso/nacional/articuloimpreso-ruta-del-peligroso-cianuro>

1.3.1 Degradación de cianuro. Debido al aumento de la contaminación como consecuencia de esta actividad se han desarrollado procesos en los cuales se busca disminuir el contenido de cianuro en el agua ya que “las tecnologías para descontaminación de cianuro están diseñadas para la parte líquida de los desechos, si se presentan sólidos contaminados con este químico no son tratados para eliminarlo”³⁵, a excepción de los suelos los cuales al ser afectados con esta actividad minera pueden contaminar las fuentes de agua subterráneas por lo cual, los procesos se han desarrollado principalmente para fuentes hídricas teniendo en cuenta que son de gran importancia para los seres vivos. A continuación, en el gráfico 2 se muestran los procesos más utilizados al momento de tratar aguas contaminadas provenientes de procesos mineros, de acuerdo con el contaminante de interés.

Gráfico 2. Tecnologías para el tratamiento de aguas provenientes de la industria minera.



Fuente. SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION. Water in Mineral Processing. Water use in the Mining Industry. [Knovel]. 1 Ed. Englewood, Colorado, USA. Editado por Jaroslav Drellich. 2012. p. 10. ISBN 978-0-87335-356-4 [Consultado el 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

³⁵ SOCIETY FOR MINING METALLURGY AND EXPLORATION. Mitigation of Metal Mining Influenced Water. Cyanide Detoxification. [Knovel] Volume 2 ed. 2009. p. 102. [Consultado el 3,09,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

Los procesos anteriormente mencionados se conocen como “atenuación” ya que con estos procesos se busca disminuir la concentración de cianuro en el mayor porcentaje posible, obtener agua alcalina nuevamente y suelos con menor concentración de cianuro. Haciendo uso de diferentes procesos que han sido desarrollados de la mano con el avance tecnológico del sector en tratamiento de aguas residuales, en el cual han sido desarrollados diferentes opciones para tratar las aguas residuales no solo de la minería sino de la industria en general.

Son utilizadas dos tecnologías combinadas: tratamiento y reciclado, para el primero se conocen procesos como:

- **Degradación natural:** “donde el mecanismo se basa en la volatilización con posteriores transformaciones atmosféricas de la cual normalmente al final se logran tan buenos resultados que es suficiente y no es necesario realizar más procesos. Puede durar año o décadas el proceso.
- **Oxidación química:** el cual incluye los procesos desarrollados por INCO y por Degussa donde se hace uso de agentes químicos normalmente peróxido de hidrogeno.
- **Precipitación:** del cual se pueden obtener cianuros estables al agregar ciertos complejantes³⁶.
- **Cloración alcalina:** “el cual se ha usado en una escala comercial y se basa en agregar como reactivo cloro para destruir el cianuro. Este proceso utiliza dos etapas, en la primera se producen cianatos y después se busca romper estos cianatos en gas de nitrógeno y bicarbonato³⁷.
- **Adsorción:** “consiste en la remoción del químico empleando carbón activado, sulfuro ferroso o intercambio iónico, todas siendo técnicas costosas³⁸.

³⁶ MARK J,Logsdon; KAREN,Hagelstein y TERRY,I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 15 ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 16,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

³⁷SOCIETY FOR MINING METALLURGY AND EXPLORATION. Mitigation of Metal Mining Influenced Water Cyanide Detoxification. [Knovel]. 2 ed.USA. Editado por: GUSEK,James y FIGUEROA,Linda 2009. p. 103. [Consultado el 6,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

³⁸ GARCÉS MOLINA,Adelaida María; AGUDELO BETANCUR,Lina Marcela y MACÍAS MAZO,Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea].2009. p.7-12 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

- **Acidificación:** donde sobresalen dos procesos comerciales “los cuales producen cianuro de hidrogeno a partir de los desechos y del cual se puede remover el cianuro. Estos dos procesos son: Acidificación simple y acidificación-volatilización-regeneración (AVR).”³⁹
- **Quelación:** “ha demostrado remoción de cianuro de 95% donde se hace uso de una resina que tiene la capacidad de capturar los WAD cianuros totales y libres, pudiendo atrapar también otro tipo de elementos presentes en las muestras”.⁴⁰
- **Procesos Electroquímicos:** “se ha hecho uso de dos tipos de estos procesos a escala comercial los cuales, son oxidación electroquímica donde una corriente eléctrica es usada para producir cianatos a partir de simples y libres cianuros y electrodiálisis donde un potencial eléctrico se usa para causar el movimiento de las cargas iónicas positivas y negativas en el material a través de una membrana híbrida semipermeable”⁴¹.
- **Evaporación:** No realiza la destrucción del cianuro ya que en este proceso se busca la evaporación de las aguas de desecho a tratar.
- **Intercambio iónico:** Se hace uso de resinas encargadas para remover cantidades significativas de cianuro y cianatos.
- **Radiación UV:** Se trata de un bombardeo simple a las aguas de desecho con radiación UV con una longitud de onda controlada.
- **Conversión:** “transformar el cianuro en compuestos menos tóxicos como el tiocianato o ferrocianato”⁴².

³⁹ SOCIETY FOR MINING METALLURGY AND EXPLORATION. Mitigation of Metal Mining Influenced Water Cyanide Detoxification. [Knovel]. 2 ed.USA. Editado por: GUSEK,James y FIGUEROA,Linda 2009. p. 104. [Consultado el 6,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

⁴⁰ Ibid., p. 105

⁴¹ SOCIETY FOR MINING METALLURGY AND EXPLORATION. Mitigation of Metal Mining Influenced Water Cyanide Detoxification. [Knovel]. 2 ed.USA. Editado por: GUSEK,James y FIGUEROA,Linda 2009. p. 106. [Consultado el 6,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

⁴² GARCÉS MOLINA,Adelaida María; AGUDELO BETANCUR,Lina Marcela y MACÍAS MAZO,Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.9 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

Los procesos anteriormente mencionados presentan una característica en común, no logran una completa degradación, razón por la cual se “desarrollan tratamientos biológicos para dicha tarea, los cuales gracias a las propiedades de degradación que presentan muchos microorganismos, como la oxidación de compuestos de cianuro y tiocianato por *Pseudomonas paucimobilis*, metabolismo de cianuros por cepas de *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Bacillus* y *Alcaligenes* incluyendo las enzimas oxigenasa y bacterias degradadoras de cianuro principalmente cianuro oxigenasa, nitrilasa e hidratasa”⁴³.

Lo anteriormente mencionado se conoce como proceso de degradación biológico o biorremediación, “puede definirse como el uso de organismos vivos, componentes celulares o enzimas libres con el fin de realizar una mineralización, transformación parcial o humificación de residuos o agentes contaminantes”⁴⁴ También se considera un tratamiento secundario ya que está ligado a dos procesos microbiológicos, los cuales pueden ser aerobios y anaerobios. Del mismo modo comprende reacciones complejas de digestión y fermentación efectuadas por la especie utilizada y se califica su eficiencia expresando la disminución de la DBO en porcentaje.

Estos procesos de biorremediación se han venido desarrollando desde 1987, todo como resultado de la preocupación por la contaminación, que estaba presentando desde aquella época este proceso de minería. Los procesos ya mencionados y muchos otros existentes para dicho problema, aún se encuentran en estudio, siempre pensando en el uso de alternativas más amigables.

En la Fundación Universidad de América, respecto al tema de degradación de cianuro haciendo uso de microorganismos, aplicado a aguas y suelos contaminados de la minería de oro, se encontró un trabajo relacionado, con título: Remoción de cianuros y metales pesados de las aguas residuales de industrias Inca S.A, de Paola Soraya Garzón López. Encontrando trabajos que tratan temas relacionados con biorremediación, pero no específicamente cianuro en minería de oro.

⁴³ EISLER, Ronald. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. Gold Mine Wastes. [Knovel] 1 Ed. Amsterdam. 2007 p. 355. ISBN 978-0-444-53105-6. [Consultado el 25,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEEHPC08>

⁴⁴ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.10 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

2. IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS EN AGUAS RESIDUALES Y SUELOS AFECTADOS POR LA MINERÍA DE ORO

2.1 SUELOS

Al momento de realizar la extracción del mineral, antes de la puesta en marcha de la mina se hacen estudios previos donde se toman diferentes muestras del suelo para conocer los minerales y elementos que se encuentran en dicho lugar. Son muestras a diferentes profundidades para determinar tipo, cantidad, profundidad y otras características importantes a tener en cuenta durante la realización del proceso, como por ejemplo presencia de fuentes hídricas que podrían ser afectadas o utilizadas para beneficio del proceso. A continuación, en la tabla 1, se listan los tipos de suelos que pueden encontrarse en las diferentes regiones de Colombia donde se realiza la explotación de oro y sus características, información consultada en el libro SME Mining Engineering Handbook del autor Society for Mining, Metallurgy, and Exploration⁴⁵.

Tabla 1. Tipos de suelos y sus características.

Tipo de suelo	Características
Andisoles	Sostienen la mayor riqueza agrícola, por lo cual son una fuente esencial de alimento. Proviene de cenizas volcánicas.
Derivado de rocas metamórficas	Suelos derivados de esquistos con nivel de fertilidad bajo y acidez fuerte. Suelos derivados de cuarcitas y neises, fuertemente ácidos y de muy baja fertilidad.
Derivado de rocas sedimentarias	Suelos profundos con abundantes piedras y cascajos, de ácidos a neutros y con fertilidad media. También aparecen suelos derivados de conglomerados, arcillas pizarrosas y arsénicas. Se caracteriza por tener esquisto y caliza que contienen pedazos de oro submicroscópicos. Pueden encontrarse suelos oxidados los cuales presentan la ventaja de que pueden ser lixiviados y obtener resultados muy buenos con porcentaje de recuperación del 70%. En cuanto a los suelos no oxidados el oro se encuentra en los sulfuros con material orgánico carbonado presente obteniendo una recuperación de entre 10% y 15%.
Derivado de rocas ígneas	A más de 1000 m de altura presentan texturas medias, ácidos y baja fertilidad, en menor altura moderadamente ácidos y fertilidad moderada o baja.
Origen aluvial	Drenaje moderado a imperfecto, ligeramente ácidos o neutros y fertilidad moderada a buena.

⁴⁵ DARLING, Peter. SME Mining Engineering Handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Geology of Copper Deposits. [Knovel]. 3 Ed. 2011. p. 1075. ISBN 897-0-87335-264-2. [Consultado el 26,06,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpSMEMEHE5>

Tabla 1. (Continuación)

Derivados de cenizas volcánicas	Rico en materia orgánica, fuertemente ácidos, gran capacidad para fijar fosforo y baja fertilidad.
Oxidados	Presentan la ventaja de que pueden ser lixiviados y obtener resultados muy buenos con porcentaje de recuperación del 70%.
Volcánicas con bajo contenido de ácido sulfúrico o intrusivas	El contenido de sulfuro esta normalmente entre 2% y 3% de pirita donde se encuentra contenido el oro. Para el caso de los suelos oxidados requiere que las piedras sean trituradas para un mejor proceso más adelante. Para los suelos no oxidados donde se trituran las piedras, pero con porcentajes más bajos de recuperación.
Rocas con sulfuros oxidados	El oro puede encontrarse en los óxidos de hierro, presentan las características físicas de suavidad y permeabilidad debido a lo cual usualmente se hace uso de cemento para aglomerarlas y hacer más fácil su extracción.
Saprolito / Lateritas	Los minerales volcánicos e intrusivos en climas tropicales se encuentran bajo tierra con un proceso de erosión avanzado. La capa de la superficie normalmente es una fina lamina de laterita y metros más en profundidad se convierte en Saprolito con pedazos de oro algunas veces en ellos.
Depositos con capa de arcilla	En algunos depósitos de tipo Carlin y volcánicas ocurren alteraciones teniendo en ellas depósitos de oro. En este caso se procesan con las mismas técnicas que para las saprolitas con la diferencia que se hace necesario aplastar las rocas debido a la mezcla factores como lo blando de las mismas, la humedad de la arcilla y las rocas muy duras.

Fuente: Mining Engineering Handbook

En Colombia se identifican diversos y frágiles suelos, con 11 de 12 órdenes de suelos existentes en el mundo donde destacan los incipientes con 58,11% de entisoles e inceptisoles, 28,79% son suelos muy evolucionados entre los cuales se identifican 8.5 millones de hectáreas. No existen suelos de la clase agrícola 1 y los de clase 2,3 y 4 cubren el 15% del territorio. En las llanuras del Caribe, en las cordilleras, altiplanicies y valles interandinos los suelos se han sometido a actividades agropecuarias y mineras⁴⁶.

Esta importante característica de la diversidad en suelos que pueden encontrarse en el país “surge de su localización intertropical y ecuatorial, su variedad climático-geológica y de la influencia de la cordillera de los Andes, se caracterizan por ser superficiales en las áreas abruptas de las montañas y profundos en los valles aluviales de los principales ríos; arenosos en las zonas marginales del Escudo de Guyana y arcillosos en tierras situadas al este de la cordillera andina, paisajes

⁴⁶ SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Suelos En Colombia. [Página Web]. Colombia. 2018 [Consultado el 03,01,2018] Disponible en: <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>

desérticos aparecen en la alta Guajira o en franjas supe húmedas como del Pacífico, Magdalena medio o la selva amazónica”⁴⁷.

Respecto al contenido de minerales y otros elementos, su concentración depende de la región y el clima, por ejemplo, en regiones de clima seco los suelos son fértiles muchas veces con sales en exceso, en territorios amplios del oriente y otras regiones húmedas los nutrientes se presentan en grandes cantidades, pero predomina el aluminio y la acidez. Junto con lo anterior se sabe que la mayoría de los suelos colombianos son de naturaleza mineral ya que son derivados de una gama compleja y variada de materiales geológicos entre los que se destacan las cenizas volcánicas. “La mayoría de los suelos están constituidos por materiales minerales y orgánicos igualmente importantes para el sostenimiento de la vegetación. Un ejemplo de esto se encuentra en la zona del Amazonas donde es alto el grado de acidez, la saturación de bases muy baja, la ausencia de calcio, magnesio y potasio intercambiables, pobreza en fosforo aprovechable y altos contenidos de aluminio de cambio. También se encuentra cuarzo en un 95%, mientras que minerales fácilmente intemperizables y ricos en nutrientes no existen o se encuentran en pocas cantidades. En otras zonas se encuentran suelos derivados de arcillas en los cuales el crecimiento vegetal es casi nulo, ya que solo se identifica la presencia de un tipo de arbustos en el lugar”⁴⁸.

“En el departamento de Santander, se encuentran amalgamas con diferentes elementos químicos presentes y en varias ocasiones es posible encontrarlo junto con plata”.⁴⁹

Al momento de realizar la caracterización de los suelos después de ser afectados por el proceso minero que hace uso de cianuro, se identifican tres parámetros principales los cuales permitirán en el futuro realizar los estudios necesarios para el desarrollo de tecnologías destinadas a la degradación del contaminante. Dichos parámetros son el pH, temperatura y concentración de Cianuro. A continuación, en la tabla 2, se presenta la caracterización de un suelo en estudio ubicado en Perú⁵⁰

⁴⁷ LOMBANA CORTES, Abdón. Suelos Colombianos, Una Mirada Desde La Academia. El Suelo, Un Ejemplo De Diversidad En La Naturaleza. 1 Ed. Bogotá, 2004. p. 30 ISBN 958-9029-64-7. [Consultado el 28,12,2017]. Disponible en: http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-suelos_colombianos-_pag_-_web_0.pdf

⁴⁸ Ibid., p.31

⁴⁹ MORALES MÉNDEZ, Jonathan David y RODRÍGUEZ, Ramón Silva. A Profile of Corporate Social Responsibility for Mining Companies Present in the Santurban Moorland, Santander, Colombia. En: Global Ecology and Conservation. Vol 6. Abril, 2016 [Consultado el 6,01,2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989415300287>

⁵⁰ LA TORRE, Melitza. Concejo Nacional de Ciencia tecnología e innovación tecnológica. Biorremediación De Suelos y Aguas Afectados Por Actividades Mineras Auríferas y Argentíferas En

donde se identifican los valores en los que normalmente se encuentran los suelos contaminados con Cianuro.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de una muestra de suelo peruano.

Muestra	Código	pH	Temperatura (°C)	[CN] (mg/L)
Suelo	Muestra contaminada con cianuro	8.79	21	21.5
	Muestra no contaminada con cianuro	6.81	20	< 0.05

Fuente. Biorremediación de suelos y aguas afectados por actividades mineras auríferas y argentíferas en la Región La Libertad mediante el uso de un consorcio de bacterias y/o hongos nativos productores de enzimas degradadoras del cianuro y de sus derivados tóxicos

Como se observa en la tabla los valores de pH y temperatura no varían significativamente en comparación con la concentración del cianuro, el cual es mucho mayor al que originalmente se encuentra allí. Razón por la cual se hace necesario el uso de tecnologías para la disminución de dicha concentración y también debe tenerse en cuenta al momento del proceso, el valor del pH encontrado ya que este podría afectar el desarrollo de los microorganismos.

2.2 AGUAS

Otro de los factores que incide en el proceso de extracción del mineral, se trata del recurso hídrico el cual, al momento de realizar el correspondiente análisis, puede presentar diferentes características de acuerdo al país donde se realiza el estudio y el tipo de suelo, igualmente debe ser realizado un balance de masa para tener proyecciones de la cantidad que será utilizada y la que se desechará con el desarrollo del proceso, para lo cual se tienen en cuenta factores importantes que afectaran la correcta realización del mismo como información del sistema hidrológico y climático de la zona. Todo lo anterior será de gran utilidad ya que gracias a ello se “conocerá la calidad del agua, se tendrán datos de la carga contaminante presente para la realización de pruebas toxicológicas e identificar las fuentes contaminantes, se tendrán los datos requeridos para los esfuerzos iniciales del proceso y así establecer las bases, también será de gran ayuda para los tratamientos que sean necesarios y para el momento de responder a las autoridades pertinentes respecto al manejo y cantidades utilizadas en el proceso”⁵¹.

La Región La Libertad Mediante El Uso De Un Consorcio De Bacterias y/o Hongos Nativos Productores De Enzimas Degradadoras Del Cianuro y De Sus Derivados Tóxicos. Perú. 2015. [Consultado el 4,09,2017]. Disponible en: <http://dina.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/>

⁵¹ MCLEMORE, Virginia T.; RUSSELL, Carol C. y SMITH, Kathleen S. Sampling and Monitoring for the Mine Life Cycle. 6 Ed. Englewood, Colorado. 2014. p. 38 ISBN 0873353986 [Consultado el 25,08,2017]. Disponible en:

Un ejemplo del contenido de aguas en lugares de extracción minera se puede encontrar en el estudio realizado a las aguas de Zlatna en Rumania⁵², se buscaba identificar las características de estas, su origen y los cambios que presenta después de realizar un proyecto de extracción de oro. Lo anterior se realizó por medio de una caracterización hidro química e isotópica a las aguas presentes en la mina. Se tomaron 12 fuentes de agua que corrían en el lugar, 9 manantiales, 3 pozos domésticos y 8 con agua minera con una frecuencia mensual de 12 meses en el año 2015. Este estudio arrojó resultados respecto al contenido del recurso hídrico, se identificó que presentaba minerales y elementos químicos como calcio, magnesio, sodio, potasio, litio, NO₃, SO₄ y cloro. De acuerdo con la literatura consultada, normalmente en los suelos donde suele encontrarse oro sobresalen 5 características principales de las aguas presentes allí, entre las que se encuentran “bajo pH, alto contenido de sulfatos, aluminio, hierro, metales no ferrosos y alta turbiedad”⁵³, los cuales no son requisitos necesarios para que sea considerada como un agua que pueda tener en su fondo restos del mineral.

Con todos los datos obtenidos y el análisis pertinente se llegó a la afirmación que las fuentes presentes en el lugar son producto del ciclo meteórico. También que las altas precipitaciones son la principal fuente de recarga para aguas de la mina y las variaciones de temperatura controlan la composición de los isotopos, lo cual indica que los sistemas bajo tierra presentan una buena mezcla entre ellos. No se identificó contaminación relevante en los manantiales y también se encontraron aguas freáticas. Respecto a las aguas que corren bajo el suelo se encontraron rastros de contaminación proveniente de las aguas utilizadas en el proceso, principalmente en mayor porcentaje al momento del año en que las aguas disminuyen su cauce.

Igualmente, en el estudio nombrado anteriormente en la parte suelos que se realizó en Perú, se obtuvieron datos respecto a las características de las aguas encontradas allí. Lo cual se observa en la tabla 3 donde se encuentran las características de las aguas del lugar en estudio la cual es presentada a continuación.

https://books.google.com.co/books/about/Sampling_and_Monitoring_for_the_Mine_Lif.html?id=mEj_uoQEACAAJ&redir_esc=y

⁵² PAPP, Delia. COCIUBA, Ioan. BACIU, Calin. Composition and Origin of Mine Water at Zlatna Gold Mining Area (Apuseni Mountains, Romania) [ScienceDirect].Romania. 2017. 37-40 [Consultado el 20,11,2017]

⁵³ MCLEMORE, Virginia T.; RUSSELL, Carol C. y SMITH, Kathleen S. Op cit., p. 39

Tabla 3. Características fisicoquímicas en aguas tomadas en Perú.

Muestra	Características	pH	Temperatura (°C)	[CN] (mg/L)
Aguas	Muestra contaminada con Cianuro	11.59	21	132
	Muestra no contaminada con Cianuro	7.69	21	< 0.02

Fuente. Biorremediación de suelos y aguas afectados por actividades mineras auríferas y argentíferas en la Región La Libertad mediante el uso de un consorcio de bacterias y/o hongos nativos productores de enzimas degradadoras del cianuro y de sus derivados tóxicos.

De acuerdo con los datos obtenidos, se puede evidenciar el gran daño que le hace el Cianuro a las fuentes hídricas cuando no se controla su vertimiento en ella. Como muestra se tiene el valor del pH que aumenta significativamente en comparación con una fuente no contaminada y lo mismo ocurre al observar la concentración de cianuro. Ya que el que se encuentra naturalmente es 100 veces menor al que puede encontrarse en diferentes fuentes contaminadas.

Con toda la información obtenida previamente, se estudia a continuación el proceso de extracción, dependiendo de las características de este y del terreno donde se encuentra, existen diferentes métodos para su obtención:

- **Minería superficial o a cielo abierto**

Se presenta normalmente en “depósitos de oro aluvial los cuales se pueden dividir en: la recuperación de oro en sedimentos que van en el río y los depositados en terrazas aluviales de antiguos abanicos”. Este tipo de minería se conoce también como depósitos secundarios, se forman por la descomposición de la roca en fragmentos y su concentración dependerá de la densidad y por la estabilidad física y química del oro.

En cuanto a la etapa de explotación en los sedimentos de ríos, durante el proceso se hace uso y vertimiento elevado de agua durante el dragado ya que en esta etapa se hace la limpieza de las rocas y sedimentos encontrados. Otra característica de este tipo de explotación es la presencia de “minerales muy resistentes a procesos de intemperización (casiterita, platino, circón, ilmenita, entre otros)”⁵⁴ lo cual, puede hacer aún más atractivo para las empresas o habitantes de la zona su extracción debido al buen precio que tienen estos minerales en el mercado aparte del oro.

⁵⁴ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Sinopsis Nacional De La Minería Aurífera Artesanal y De Pequeña Escala. Bogotá 2012. p 72-16,17,18. [Consultado el 28,08,2017]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

- **Minería subterránea o profunda**

De acuerdo con lo expuesto en Investigation, Remediation and Protection of Land Resources “en lo que respecta a la minería subterránea, puede presentar aguas durante la explotación, que siempre viene acompañada por el hundimiento (regular e irregular) desde la superficie la cual depende de la geología, la profundidad requerida y la tecnología con la que se cuenta y también presenta la aparición de lagos o fuentes hídricas que no se conocían o tenían en los estudios”⁵⁵.

Entre las aguas que pueden encontrarse allí se pueden identificar “percolantes, infiltradas de fuentes superficiales o introducidas por el hombre para estas actividades las cuales por medio de la etapa de desagüe son evacuadas, este proceso es el de mayor importancia ya que es el único donde se generan vertimientos en este tipo de extracción, teniendo en cuenta también que las aguas provenientes de los socavones contienen contaminantes como hierro, plomo, sílice, arsénico entre otros y además presentan un alto contenido de sólidos suspendidos”. En lo que respecta al agua que puede encontrarse durante el proceso o que es agregada al mismo es evacuada hacia unas piscinas de sedimentación.

Debido a las características de estos tipos de minería, se afirma que es más amigable con el medio ambiente y más rentable la minería subterránea en comparación con la minería a cielo abierto, debido a que “en la primera se obtiene el mineral de interés dejando atrás las rocas que no se necesitan, mientras que en la segunda es necesario mover el material orgánico de la superficie y empezar a cavar sin saber hasta que profundidad será necesario hacerlo, dando como resultado montañas de rocas y desechos que no son necesarios”⁵⁶.

En la tabla 4, se identifican los procesos donde se demanda el recurso agua dependiendo del tipo de explotación y sus consecuencias en fuentes naturales afectadas por las operaciones realizadas en las diferentes etapas del proceso.

⁵⁵ DIETER D,Genske. Investigation, Remediation and Protection of Land Resources. Extraction of Minerals. [Knovel] USA. Whittles Publishing. 2007. p. 137. ISBN 978-1870325-87-5 [Consultado el 27,09,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpLRPLR002>

⁵⁶ SAHU,H. B.; PRAKASH,N. y JAYANTHU,S. Underground Mining for Meeting Environmental Concerns – A Strategic Approach for Sustainable Mining in Future. En: Procedia Earth and Planetary Science. 2015. Vol 11. p. 232-241.

Tabla 4. Afectación a agua y suelos de acuerdo con el tipo de explotación minera.

Tipo de explotación	Proceso donde se hace uso del agua	Características	Afectación al recurso hídrico	Afectación al suelo
Cielo abierto	Riego de vías para la reducción de polvo en suspensión.	"De acuerdo con estudios realizados este uso del agua va desde 0 a 15% en cuanto al total del agua utilizada en el proceso completo". ⁵⁷	Debido a que esta actividad debe realizarse constantemente las fuentes de donde se toma el agua se agotaran al pasar el tiempo.	Al realizar la remoción de las diferentes capas presentes, se alteran las características físicas del suelo y al tener contacto con el agua sus propiedades se verán afectadas.
	Dragado	Se hace limpieza de las rocas y sedimentos encontrados.	Agotamiento de fuentes hídricas y contaminación de las usadas en el proceso.	Recepción de contaminantes provenientes de las rocas trabajadas, en los lugares destinados para poner los desechos.
	Consumo humano	Los trabajadores de la mina necesitan consumir agua potable.	Agotamiento de las fuentes de donde se obtiene el recurso.	Cambio de los suelos para la construcción de lugares de almacenamiento.
	Obtención de oro	Después de la obtención de las rocas, estas son llevadas a procesos en los cuales se obtendrá el mineral puro.	Contaminación del agua con cianuro y otros químicos producto del proceso y agotamiento de diferentes fuentes de donde se obtiene el agua necesaria.	Cambios en las características de los suelos debido a los procesos de excavación y extracción. Contaminación por medio de aguas contaminadas previamente.
Subterránea	Excavación	Al momento de realizar la excavación pueden encontrarse fuentes de agua que serán evacuadas por medio del drenaje.	Agotamiento de fuentes hídricas encontradas en el lugar y contaminación de estas.	Cambios en las características de los suelos, infertilidad y contaminación.

⁵⁷ AVILA CHAPARRO, Eduardo. Los Procesos Mineros y Su Vinculación Con El Uso Del Agua. En: El consumo de agua en la minería formal. Santiago de Chile. 2009. p. 22

Tabla 4. (Continuación)

	Puesta en marcha de la mina	En esta etapa se hace uso de agua potable para los trabajadores y al momento de encontrar fuentes hídricas que no se tenían planeadas se drenan al lugar designado para dichas aguas.	Agotamiento de las fuentes utilizadas para los diferentes procesos que lo requieran. Contaminación con diferentes químicos producto de los procesos allí realizados.	Afectación de todas las características del suelo causando infertilidad, cambios en el pH, reacciones indeseadas, muerte de plantas o animales y contaminación
	Obtención del mineral puro	En este proceso se obtienen rocas las cuales contienen el oro y deben ser llevadas a las plantas de tratamiento donde junto con algunos químicos el agua tiene gran actividad en dicho proceso.	Contaminación del recurso con cianuro y otros elementos de reacciones y procesos realizados para dicha labor.	Contaminación con agua residual durante el proceso, almacenamiento de residuos o puesta en marcha del proceso de lixiviación.

Fuente. Autor

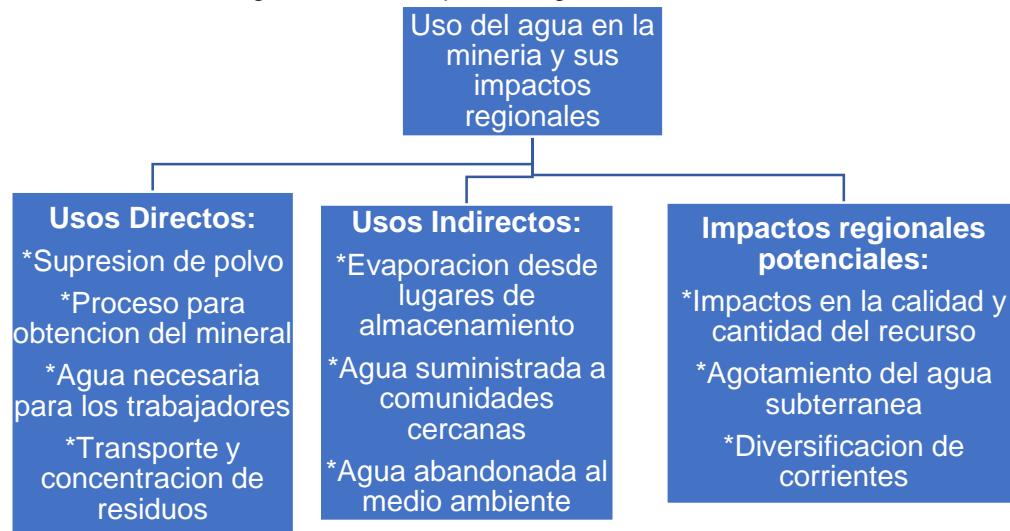
Para complementar la tabla anterior, después de realizar el proceso de lixiviación no solo queda cianuro y sus compuestos en los residuos, también se encuentran algunos otros químicos como ácidos débiles (Cu, Cd, Ni, Zn, entre otros) y ácidos fuertes (Au, Ag, Fe, Co, entre otros). Siendo la presencia de estos elementos junto con el cianuro una de las razones por las cuales dichos desechos son altamente contaminantes y se hace necesaria la remoción de ellos para obtener aguas y suelos en mejores condiciones para ser liberados a la naturaleza o poder recircularlos al proceso.

No solo para la etapa de exploración y explotación en las minas se hace uso del agua, al momento de la extracción del mineral en los diferentes procesos industriales también se hace necesario el uso de grandes volúmenes del recurso, como, por ejemplo, para el procesamiento del mineral, enfriamiento y lavado del equipo utilizado y también para el manejo de los desechos mineros. Otro punto importante que involucra el uso del agua en el proceso se trata de la “mezcla entre el mineral y el barro que se obtiene de los sistemas de drenado, este debe ser involucrado en el proceso de obtención de oro, lo cual genera importantes cantidades de mezclas de sólido y líquidos que hacen difícil el almacenamiento en silos. Debido a lo anterior se hace necesario la puesta en marcha de sistemas de separación de las mezclas para así hacer más eficiente el proceso y lograr cantidades de agua significantes que puedan ser reutilizadas no sin antes ser

sometidas a un tratamiento previo”⁵⁸. Debido a la importancia de esta separación para la continuación del proceso, es necesario tener en cuenta siempre la densidad del lodo y hacer uso de sistemas de bombeo bien diseñados ya que se podrían presentar atascamientos.

La calidad del agua requerida para lo anteriormente mencionado no es muy importante ya que las características de los procesos no lo requieren así, pero al hablar del bienestar de los mineros, estos necesitan permanecer hidratados para la realización de la labor y su salud, otra actividad donde se hace necesario el uso del recurso hídrico. Los usos anteriormente mencionados pueden ser clasificados entre directos e indirectos, los cuales generan impactos en la región de la explotación. En el gráfico 3, se presentan los usos ya mencionados con algunos adicionales como el agua de reservada para posibles emergencias o para suplir el déficit del recurso bien sea por desabastecimiento o por la evaporación que tiene lugar allí, el volumen presente dispuesto para abastecer las comunidades cercanas y el agua que es descargada al medio ambiente. Igualmente se muestran posibles los impactos que la actividad genera sobre la calidad y cantidad de agua disponible en fuentes naturales, agotamiento de aguas subterráneas y división de la dirección de los flujos de estas.

Gráfico 3. Usos del agua minera e impactos regionales.



Fuente. OSSA-MORENO, Juan. The Hydro-Economics of Mining. En: Ecological Economics. 2018. Vol. 145. p. 368-379

Debido al alto volumen requerido para la realización de estos procesos mineros, las empresas deben obtener los permisos para poder hacer uso del agua, presentando los destinos que esta tendrá en el proceso, los impactos que generara su extracción

⁵⁸ ANIKI, Abimbola O. Innovative De-Watering Device for Effective Separation of Mud Slurry and Solids Ore in a Mining Industry. En: Procedia Manufacturing. 2017. Vol 7. p. 497-503

y en algunos países es necesario realizar la identificación del tipo de agua que será utilizada (subterránea, superficial, etc.) ya que, en muchos de los países mineros, existe un impuesto que deben pagar las empresas que hagan uso de agua mineral. Deben también presentar las actividades de remediación que se realizaran, siendo un punto principal de esto el tratamiento que se hará a las aguas que así lo requieran. Dependiendo de lo anterior y del país donde se realice, las autoridades dictaran la cantidad permitida a usar y el tiempo durante el cual se podrá hacer uso de esta. Junto con lo anteriormente mencionado, existen disposiciones legales en cada país, donde se dictan los requerimientos necesarios para la disposición de aguas contaminadas y sus concentraciones permitidas para que puedan ser vertidas en lagos o ríos.

Para las siguientes etapas en la extracción de oro, pueden usarse procesos refractarios y no refractarios. El primero se caracteriza por la existencia de un enlace entre el oro y una fracción de sulfuro, lo cual requiere flotación y procesos previos como la molienda, tostación, oxidación a presión y biooxidación antes de ser procesado por CIP, CIL o separación gravitacional para finalmente ser procesado y obtener oro refinado. En cuanto al proceso no refractario el mineral no es molido y puede ser sometido a procesos como separación gravitacional por CIP o CIL. A continuación, en la tabla 5 se relacionan los usos del agua en procesos de obtención de oro.

Tabla 5. Usos del agua en procesos de obtención de oro.

Proceso no refractario	Proceso refractario
<p>Extracción en la mina</p> <p>Proceso con carbón en pulpa (CIP) o Carbón en Lixiviación (CIL)</p> <p>Se hace recirculación de agua desde donde se almacenan los residuos a los procesos de separación del oro con cianuro.</p> <p>El agua que no es recirculada se usa para los procesos de arrastre, evaporación y filtración.</p>	<p>Extracción en la mina</p> <p>Molino</p> <p>Proceso con carbón en pulpa (CIP), Carbón en Lixiviación (CIL) o Separación gravitacional</p> <p>Se hace recirculación de agua desde donde se almacenan los residuos hacia la molienda.</p> <p>El agua que no es recirculada se lleva a los procesos de arrastre, evaporación y filtración.</p>

Fuente. Conferencia del uso del agua en la minería, noviembre 2013.

Como se puede observar el agua es usada en diferentes etapas del proceso, la cual es recirculada para optimizar su uso y reducir la concentración de cianuro en la misma.

En el proceso no refractario el agua entra en los procesos de disminución de tamaño de las rocas y la molienda, el lodo se transporta a tanques y es tratado con cianuro para obtener el oro. La tecnología CIP (Carbón en pulpa) se usa para separarlo y juntarlo en el solvente y para el proceso de lavado también se hace uso de agua. En este caso se recircula el agua desde el espesador para devolverla al molino. Finalmente, el oro disuelto es sometido a corriente para obtener cátodos y así después ser puesto en contacto con cloración y electrolisis para obtener el oro de alta pureza. En este caso donde se hace uso del cianuro para separar el oro de las

rocas, existen dos caminos que pueden tomarse proceso cerrado o abierto. En el primero, la “solución estéril de cianuro es reutilizada, buscando eliminar la necesidad de hacer uso de más químicos en el proceso mientras que en el segundo el cianuro se diluye y la solución que queda después de obtener el mineral se descarga al medio ambiente, siempre buscando cumplir con los estándares que dicta la ley de cada país en cuanto a concentraciones de contaminantes en el agua”⁵⁹. Ya con esta solución preparada, se aplica sobre el lugar donde se encuentra listo el material del cual será obtenido el oro.

Se ha sido estimado el consumo de agua de acuerdo con lo publicado por la mina de oro Paulsen ⁶⁰ en 65816kL/t Au. Mostrando la cantidad en kilo litros de agua consumida por tonelada de oro procesada. En este valor se encuentran incluidas las aguas residuales generadas en las operaciones de trituración húmeda, molienda, concentración, clasificación, cianuración, retorta y Merrill Crowe cuando no se hace recirculación del agua. Estas aguas “presentan altos contenidos de material en suspensión, dependiendo de las características del manto rocoso pueden presentar altos contenidos de metales pesados, mercurio y cianuro. Lo anterior hace necesario que dichas aguas sean tratadas para eliminarlos, controlar el pH y sedimentar sólidos presentes.”⁶¹

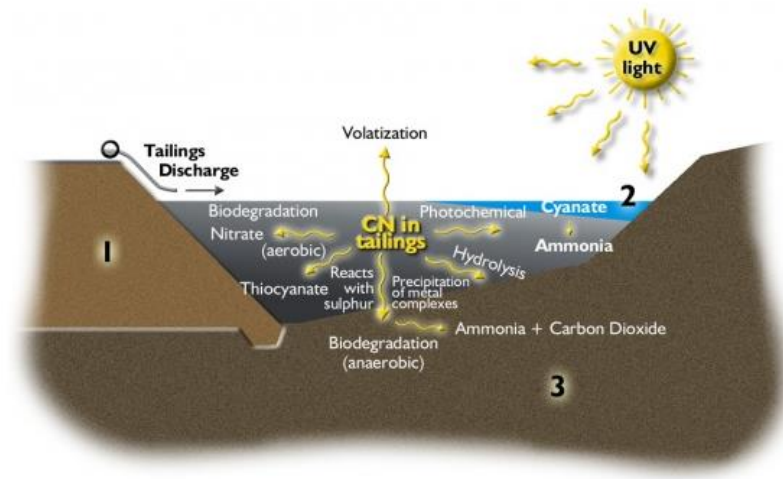
Uno de los contaminantes que más se encuentra en las aguas residuales de la minería de oro se trata del cianuro, el cual llega a contaminar fuentes hídricas y el suelo, afecta la vida silvestre y también a los habitantes de zonas cercanas donde se realiza dicha actividad. Como medida de prevención por parte de las empresas mineras, al momento de construir los lugares donde se dispondrán las rocas que tendrán contacto con la solución de cianuro, es decir, donde se realizara el proceso de lixiviación, se coloca en el fondo de esta un sistema impermeable el cual no deja que pase al subsuelo o aguas subterráneas el agua contaminada con el químico nombrado anteriormente. En la imagen 6 se observa cómo es el lugar que disponen las empresas para la disposición de los residuos con cianuro y también se ven las reacciones que tienen donde se dejan los desechos del proceso de oro con cianuro y como se ve beneficiado el suelo al momento de hacer uso del sistema anteriormente mencionado.

⁵⁹ MUÑOZ GALEANO, Esteban. The Dark Side of the Mining ‘boom’ in Colombia. 1 Ed. Medellín, Editorial Fondo, 2017. p. 63 ISBN 978-958-56132-3-2 [Consultado el 4,12,2017]. Disponible en: <http://www.uniremington.edu.co/images/investigacion/libros-investigacion/the-dark-side-web.pdf>

⁶⁰ WATER IN MINING CONFERENCE. [Knovel] 26 - 28 Noviembre 2013. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Brisbane. [Consultado el 7,12,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMCNBQL6>

⁶¹ MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA; UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. Identificación y Diagnostico De Los Procesos Que Generan Vertimiento. En: Guia De Orientación Para El Minero Sobre El Correcto Manejo De Vertimientos Para La Minería De Metales Preciosos y Carbón. 2015. p.19, 20

Imagen 6. Disposición de los residuos con cianuro.



Fuente. OCEANA GOLD. Cianide. [<http://www.waihigold.co.nz>] [Consultado el 10 enero 2018]. Disponible en: <http://www.waihigold.co.nz/mining/cyanide-ph-and-acid-drainage/cyanide/Oceana Gold>.

Muchas de las minas que utilizan este método de prevención, han presentado problemas con ello ya que en algunos casos se evidenció la presencia de filtraciones en el material por donde se escapa el material contaminado. Las empresas que hacen uso de este químico saben del gran rechazo a nivel mundial del cianuro y afirman que con este modo de prevención los impactos y problemas que argumentan dichas personas se ven disminuidos lo cual, de acuerdo con sus afirmaciones hace que sea posible y no tan contaminante usar el cianuro en el proceso de extracción.

Debido a lo anteriormente mencionado, los encargados de diseñar los procesos o mejorarlos se plantean minimizar el uso del agua durante todo el proceso recirculándola o tratándola, buscando reducir costos y ayudar al medio ambiente. No siempre las empresas realizan dicha actividad de prevención en cuanto a la contaminación con cianuro, por cual en muchos casos ponen más atención en los posibles métodos de tratamiento para las aguas contaminadas y así en lo posible recircular las aguas libres de contaminantes y el cianuro recuperado al proceso, lo cual permite disminuir costos operativos y reducir al mínimo la cantidad total de cianuro utilizado. Normalmente pueden emplearse 4 tratamientos para estas aguas como son degradación natural, oxidación química, precipitación y biodegradación. Además de ellos, se han desarrollado muchas otras tecnologías que hacen el mismo trabajo de separación siendo más económicas y eficientes en la mayoría de los casos. “Los procesos de recuperación y reciclado de cianuro se utilizan desde el año 1930. Este proceso abarca tres pasos: control de pH, volatilización y captura del cianuro liberado. Aunque ya existe esta opción de tratamiento, se han desarrollado tecnologías más eficientes como el tratamiento de lodos la cual es una

adaptación de la ya existente. Aún más reciente se conocen estudios de un tratamiento para separar los complejos de cianuro de las soluciones y absorberlos en perlas de resina de poli estireno, lo cual permite no solo separar cianuro sino algunos otros metales presentes en la solución tratada⁶². Otro proceso creado para la recuperación de cianuro, que ya se tiene en marcha y ofrecido por la empresa BQE Water se denomina SART⁶³ (sulfidización-acidificación-recirculación-espesamiento) en el cual se rompe el enlace del metal en el complejo WAD (complejos cianurados disociables en ácido débil) y precipita el metal como un concentrado de calidad comercial. Finalmente se obtiene cianuro libre que se recircula al proceso.

Respecto a la obtención de agua reciclable, se han puesto en marcha opciones de tratamiento como por ejemplo “la separación de esta de los sólidos presentes por medio de filtración y sedimentación y para la separación de los sólidos del agua se hace uso de algunos químicos encargados de la coagulación y floculación. Las opciones anteriormente mencionadas dependen de las características del efluente, las características del agua donde serán depositados los residuos, la posibilidad de la reutilización de dichas aguas y más importante aún los requerimientos legales del lugar donde se está realizando la exploración y explotación”⁶⁴.

Con toda la información anteriormente presentada se puede evidenciar el daño que hace al medio ambiente específicamente a las aguas y suelos el uso del cianuro en los procesos mineros de extracción de oro. Se afectan las características físicas y químicas de dichos recursos naturales llegando también indirectamente a seres vivos que tienen contacto directo o indirecto con dichas fuentes. Haciendo necesaria la toma de medidas para contrarrestar dichas consecuencias en gran medida y disminuir el daño ambiental que hace dicha industria.

⁶² MARK J,Logsdon; KAREN,Hagelstein y TERRY,I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 17-22 ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 16,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

⁶³ BQE WATER. Nuestras Tecnologías Para Tratar Cianuro / STAR. [Página Web]. [Consultado el 11 enero 2018]. Disponible en: <https://www.bqewater.com/es/soluciones-tecnologicas/cianuro-sart/>

⁶⁴ SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION. Water in Mineral Processing. Water use in the Mining Industry. [Knovel]. 1 Ed. Englewood, Colorado, USA. Editado por Jaroslaw Drelich. 2012. p. 6-11. ISBN 978-0-87335-356-4 [Consultado el 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DEGRADACION REALIZADO POR LOS MICROORGANISMOS Y LA TECNOLOGIA APLICADA EN AGUAS Y SUELOS CONTAMINADOS CON CIANURO EN LA MINERIA DE ORO

Debido al alto grado de toxicidad del cianuro, el desarrollo de tratamientos físicos y químicos para su eliminación en aguas o suelos ha aumentado debido al alto impacto que genera su uso. Una de las opciones para tratar el agua contaminada se trata de la biorremediación, la cual puede definirse como “el uso de organismos vivos, componentes celulares o enzimas libres con el fin de realizar una mineralización, transformación parcial o humificación de residuos o agentes contaminantes y que también puede alterar el estado Redox de metales”⁶⁵. También puede definirse como la “manipulación de microorganismos con una función metabólica deseada en procesos físicos y químicos, los cuales terminaran en la remoción del contaminante de interés”⁶⁶.

Para el desarrollo de los procesos, uno de los factores que tiene gran influencia en el mismo se relaciona con las características naturales de los microorganismos, específicamente si se trata de organismos aerobios o anaerobios. Siendo los microorganismos aerobios los que cuentan con mayores investigaciones y mayores avances en la industria, sin dejar de lado los anaerobios los cuales desde el año 1989 tienen reportes de procesos desarrollados con ellos y puestos en marcha para tratamiento de desechos con cianuro. Microorganismos desarrollados en cultivos batch metanogénicos semicontinuos y algunos otros procesos de la mano con los ya existentes o una mezcla de procesos con reactores tanto aerobios como anaerobios.

En el caso de los procesos anaerobios, su falta de desarrollo puede deberse a la poca información respecto a cómo realiza la degradación los microorganismos, pero al momento de estudiarse podrán ser consideradas opciones atractivas de degradación ya que “puede producirse biogás con poca demanda biológica de oxígeno, requerir pequeños volúmenes y poca energía lo que lo hace más económico en comparación con procesos aerobios. Si fuera posible la identificación de microorganismos capaces de convertir cianuro en metano y la realización de más

⁶⁵ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. *En: Revista La Sallista de Investigación*. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.8-10 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

⁶⁶ SUSTAINABLE MINING CONFERENCE. Bioremediation. Australia. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. 2010. p. 76. ISBN 978 1 921522 24 6. [Consultado el 4,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpSMC00003>

estudios referentes al tema, los procesos anaerobios podrían convertirse en algo factible y eficiente para las biotecnologías de remoción de contaminantes”.⁶⁷

Los factores de los cuales dependerá el proceso varían de acuerdo con la aplicación y en el caso de los suelos con las propiedades fisicoquímicas del contaminante y el tipo de suelo. Igualmente, estos tratamientos variaran sus características y eficacia dependiendo del tipo de proceso el cual puede ser in situ que se aplica en el lugar donde se está contaminando y ex situ donde se retira el suelo contaminado y se lleva a un lugar especializado para realizar el tratamiento. Más específicamente en el primer caso, se puede poner en práctica por medio de dos formas de tratamiento, una es agregar nutrientes en el lugar para así estimular las poblaciones existentes allí a que aumenten su actividad degradadora y como segunda opción se tiene agregar poblaciones que no se encuentran en el lugar, pero que son utilizadas para dicha labor, muchas veces modificadas genéticamente buscando que realicen el trabajo mejor.

Los microorganismos para la realización de dicha labor absorben las sustancias orgánicas las cuales, utilizan como fuente de carbono y energía para sus funciones metabólicas y de crecimiento. Siendo este uno de los parámetros principales mostrados en la tabla 6 que se encuentra a continuación, los cuales deben cumplirse para que el desarrollo de los microorganismos sea bueno y que la biorremediación sea eficaz información obtenida del resumen de la conferencia respecto a la minería sostenible realizada en el año 2010.⁶⁸

Tabla 6. Parámetros óptimos para el desarrollo de los microorganismos.

Parámetro	Condiciones adecuadas para actividad microbiana
Humedad	25-28% de capacidad de retención de agua
pH del suelo	5.5 – 8.8
Contenido de Oxígeno	<10% de aire en los espacios de poros
Temperatura (°C)	15 – 45
Nutrientes	Fosforo y Nitrógeno
Tipo de suelo	Bajo contenido de arcilla y sedimentos
Metales pesados	Total de 2000 ppm

Fuente. Sustainable Mining Conference 2010.

⁶⁷ ALMAGRO,Victor, Exploring anaerobic environments for cyanide and cyano-derivates microbial degradation. *En: Applied Microbiology and Biotechnology.* 2017.p. 1067-1074

⁶⁸ SUSTAINABLE MINING CONFERENCE. Bioremediation. Australia. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.2010.p. 76. ISBN 978 1 921522 24 6. [Consultado el 4,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpSMC00003>

Más específicamente en un estudio realizado en Perú⁶⁹ se evaluaron algunos de los parámetros presentes en la tabla anterior y su efecto en el desarrollo de los microorganismos más en detalle, el primer aspecto identificado se trata del pH del cual se identificó un rango óptimo para desarrollo de las cepas entre 9.5 y 10.5 y en lo referente a la temperatura el rango identificado como adecuada para la incubación se encuentra entre 25°C y 30°C.

Al tratarse de contaminantes no orgánicos, como el cianuro existen diferentes procesos que pueden realizar los microorganismos como bioabsorción, bioacumulación, reducción, solubilización, precipitación y metilación.

En el caso del cianuro, puede ser metabolizado por hongos y bacterias los cuales toman este elemento como fuente de carbono y nitrógeno. Como ejemplos de estos microorganismos, se han identificado con el tiempo diferentes especies bacterianas capaces de degradar diferentes compuestos que contienen cianuro. Como ejemplos de estos casos se tiene “la especie *Bacillus* con la cual Meyer logro reducir el 98% del cianuro presente en el medio estudiado, Nwokoro y Uju Dibua realizaron la misma tarea en este caso con *Pseudomonas stutzeri* y *Bacillus subtilis* con lo cual obtuvieron reducción de 88.5% en el medio”⁷⁰. Para ejemplos más completos se tienen algunos casos donde se hizo uso de “*Bacillus ipeeaterium* el cual transforma cianuro de potasio en acido aspártico, asparagina y CO₂ libre o unido al cianuro en carbonato y amoníaco. También se utilizan *Pseudomonas pseudoalcaligenes* CECT534, las cuales consumen el cianuro y lo transforman en amoníaco bajo condiciones alcalinas y *Fusarium solani* IHEM 8026 el cual degrada el cianuro de potasio a acido fórmico”⁷¹.

En los procesos de biodegradación de cianuro, los microorganismos convierten la parte orgánica en amoníaco y bicarbonato. Lo metales que pueden estar presentes normalmente son adsorbidos por la biopelícula o inmovilizados, la eficiencia de estos procesos dependerá de la estabilidad de los compuestos y muchos de los microorganismos utilizados para esto se encuentran en los lugares donde cerca se realiza algún uso del químico en la minería o en otras áreas. Estos procesos usualmente tienen lugar en contactores biológicos, camas empacadas, reactores batch, sistemas de lodos activados, entre otros. A continuación, en la tabla 7 presentada se observan los diferentes procesos que pueden realizar los

⁶⁹ CORNEJO LA TORRE, Melitza de Lourdes. Biorremediación De Relaves Mineros Con Un Consorcio Microbiano Nativo Caracterizado Molecularmente y Productor De Enzimas Degradadores De Cianuro y Derivados. Lima, Peru. Universidad Nacional de Tumbes, 2016. p. 36

⁷⁰ Ibid., p. 52

⁷¹ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.8-10 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

microorganismos para degradar el cianuro, las reacciones que tienen lugar y algunos de los microorganismos que lo realizan.

Tabla 7. Reacciones que tienen lugar durante los Procesos de biodegradación de cianuro.

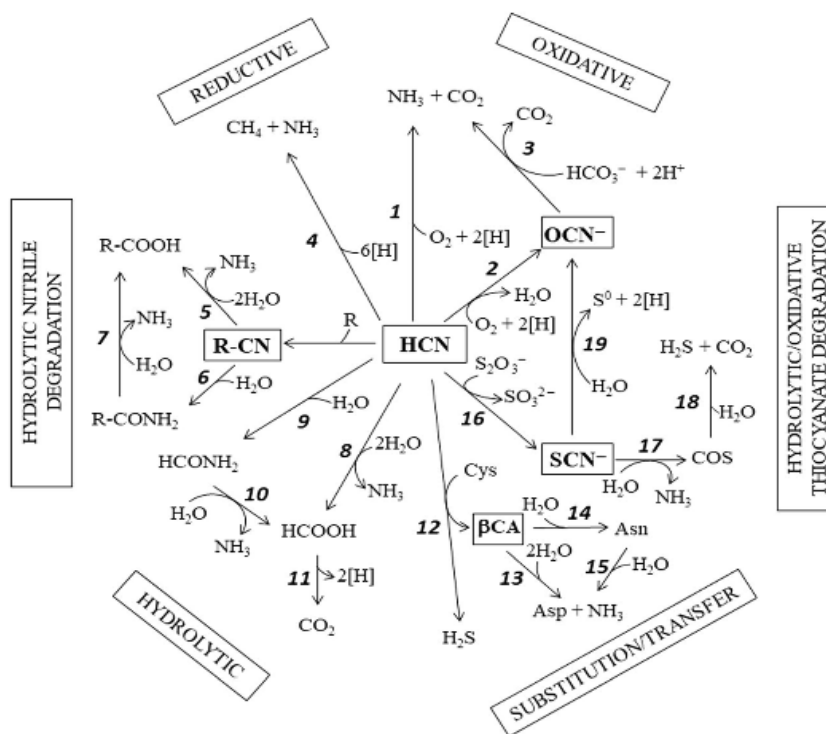
Camino	Mecanismo	Microorganismos
Reacciones hidro catalíticas	Cianuro hidratasa $\text{HCN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCONH}_2$ Nitrilo hidratasa $\text{R-CN} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-CONH}_2$ Cianidasa $\text{HCN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCOOH}$ Nitrilasa $\text{R-CN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{R-COOH}$	Mas recurrente en organismos fungi. (<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Fusarium sp.</i>) Nitrilo hidratasa y nitrilase en <i>Pseudomonas chloraphis</i> , <i>Brevibacterium sp.</i>
Reacciones de oxidación	Cianuro monooxigenasa $\text{HCN} + \text{O}_2 + \text{H}^+ + \text{NAD(P)H} \rightarrow \text{HOCN} + \text{NAD(P)}^+ + \text{H}_2\text{O}$ Cianuro dioxigenasa $\text{HCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + \text{NAD(P)H} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NH}_3 + \text{NAD(P)}^+$	<i>Pseudomonas putida</i> inmovilizadas
Reacciones de reducción	$\text{HCN} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_2 = \text{NH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_2 = \text{O}$ $\text{CH}_2 = \text{NH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_3 = \text{NH} + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{CH}_4 + \text{NH}_3$	<i>Klebsiella oxytoca</i>
Reacciones de sustitución/transferencia	Cianoanilina sintasa $\text{Cystene} + \text{CN}^- \rightarrow \beta\text{-cyanoaniline} + \text{H}_2\text{S}$ $\text{OAS} + \text{CN}^- \rightarrow \beta\text{-cyanoaniline} + \text{CH}_3\text{COO}^-$ Cianuro sulfotransferasa $\text{CN}^- + \text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{SCN}^- + \text{SO}_3^{2-}$	No existen aún requerimientos de oxígeno para esta clase de reacciones

Fuente. Bioremoval of Cyanide and Phenol from industrial wastewater: An update⁷²

Como ayuda para entender mejor los diferentes caminos que tienen los microorganismos para degradar cianuro a continuación, en la imagen 7 se observan las reacciones que se mostraron anteriormente, donde se evidencian todos los productos intermedios durante el desarrollo de las reacciones, los productos y secuencia de las mismas, dependiendo el tipo de reacción y el elemento químico que se quiere degradar partiendo del cianuro como elemento principal y tomando también los nitrilos y tiocianato que pueden degradar los microorganismos.

⁷² VEDULA, Ravi Kiran; DALAL, Shailu y MAJUMDER, C. B. Bioremoval of Cyanide and Phenol from Industrial Wastewater: An Update. En: BIOREMEDIATION JOURNAL. Octubre 2002. vol. 17, no. 4, p. 278-293.

Imagen 7. Reacciones de degradación de cianuro.



Fuente. ALMAGRO, Victor, et al. Exploring anaerobic environments for cyanide and cyano-derivates microbial degradation. *En: APPLIED MICROBIOLOGY AND BIOTECHNOLOGY*. 2017.p. 1067-1074

En complemento a lo anterior, al tocar el tema de procesos anaerobios se sabe que bajo estas condiciones solo operarían dos procesos, reducción e hidro catalíticas. En la primera el cianuro se convierte en metano y amoníaco siendo catalizada por la nitrogenasa en células de *Klebsiella oxytoca*, con la desventaja que si las células tienen contacto con oxígeno quedarán inactivadas. También se identificó el trabajo de degradación que realizan las mismas células, pero en el caso de ser inmobilizadas, ya que al presentar estas características son más efectivas al momento de la degradación, tolerando rangos de pH mucho más altos a los normales y llegando a reducir concentraciones de muchos otros elementos presentes en los desechos. Aunque presenta grandes ventajas dicho proceso, no ha sido usado en gran porcentaje debido a la falta de microorganismos que presenten la enzima nitrogenasa en ellos.

Respecto a la reacción hidro catalítica, fue demostrada la degradación de cianuro en un reactor el cual contenía carbón activado y los microorganismos transformaron el elemento contaminante de interés en amoníaco y ácido fórmico lo cual como paso siguiente generó bicarbonato. Los casos de degradación nombrados anteriormente pueden ser elegidos para degradar cianuro ya que no es mucha la diferencia en

cuanto a eficiencias respecto a procesos anaerobios o aerobios, con los dos se podría obtener resultados favorables.

De acuerdo con la teoría, se han logrado conocer los tiempos que toman algunos microorganismos para realizar dicha labor de degradación "*Ralstonia sp.* y *Klebsiella pneumoniae* degradan el tetracianoniquelato en 48 horas mientras que *Acremonium strictum* lo hace en 85 horas y *Cryptococcus humicola* en 60 horas, *P. pseudoalcaligenes* en 14 días degrada el cianuro de sodio, *Klebsiella oxytoca* degrada 0,58 mM de cianuro de potasio en 32 horas y 0,9 mM del mismo compuesto en 80 horas, también se tienen datos de las células de *K. oxytoca* con un porcentaje de 91% de degradación para 1 mM de KCN lo que le toma 20 horas de trabajo y al hablar del mismo microorganismo pero con condiciones anaerobias y degradando tetracianoniquelato tarda 60 horas"⁷³.

Como un caso más específico para entender cómo trabajan dichos microorganismos se encuentra el estudio realizado en los suelos de minas de oro del municipio de Amalfi, Antioquia⁷⁴. Donde tres consorcios de microorganismos obtenidos allí fueron aislados, lavados con caldo nutritivo e incubado a temperatura ambiente y finalmente se conservaron en agar nutritivo inclinado con aceite mineral. Para identificar los microorganismos más eficientes, a las diferentes incubaciones de los consorcios se les aumentaba la concentración de cianuro de potasio en el caldo, esto se realizaba en condiciones aerobias y anaerobias con un pH de 7. Para finalmente identificar que los consorcios crecieron en todas las fases del proceso tanto en condiciones aerobias como anaerobias, pero en el caso anaerobio el crecimiento fue en menor proporción. Lo anterior permitió identificar que bajo las dos condiciones es posible que se desarrollen los microorganismos y de acuerdo con el poco crecimiento en las condiciones anaerobias se corrobora lo que dice la teoría: el proceso de biodegradación del cianuro es aerobio, mientras que en condiciones anaerobias se degrada principalmente el tiocianato.

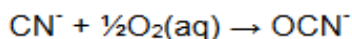
Aunque se identificó mayor eficiencia de remoción en cierta condición, debido a las altas concentraciones de cianuro en los suelos y aguas es posible hacer uso de microorganismos bajo condiciones aerobias o anaerobias teniendo en cuenta que debe mantenerse un pH ácido para que el proceso sea eficiente al momento de la remoción de cianuro. De acuerdo con las condiciones que sean elegidas el microorganismo va a realizar el debido proceso, si se tienen condiciones aerobias, "cianuro, tiocianato, nitritos y amoníaco son oxidados a nitratos. Mientras que el

⁷³ AVCIOGLU, Nermin Hande y BILKAY, Isil Seyis. Biological Treatment of Cyanide by Using *Klebsiella pneumoniae* Species. En: FOOD TECHNOLOGY & BIOTECHNOLOGY. Octubre 2016. vol. 54, p. 450-454

⁷⁴ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.8-10 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

proceso anaerobio los nitratos y nitritos son removidos como nitrógeno en estado gaseoso. En los dos casos la remoción de metales puede realizarse mediante adsorción de la biomasa o precipitación como carbonatos, hidróxidos o sulfuros.⁷⁵ Otra opción de biorremediación se trata de la bio-oxidación, la cual la realizan algunas especies de bacterias, fungí, algas, levaduras y plantas por medio de sus enzimas y aminoácidos de forma natural. Este proceso se trata de la conversión metabólica del cianuro en cianato, en la ecuación se observa la reacción que tiene lugar al momento de este proceso. Ver ecuación 3.

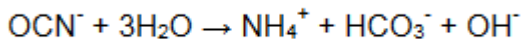
Ecuación 3. Reacción que tiene lugar al momento de la bio-oxidación.



Fuente. Cyanide Remediation: Current and past technologies.

Al momento de esta reacción, “diferentes especies pueden formarse de acuerdo con las características de la biomasa utilizada, las especies de cianuro encontradas en el lugar tratado y las condiciones de la solución como concentración, pH y temperatura. Una vez se produce y libera el cianato se puede hidrolizar con amonio y iones de bicarbonato como se muestra a continuación en la ecuación la reacción que tiene lugar durante esta etapa”⁷⁶. Ver ecuación 4.

Ecuación 4. Reacción de hidrolización del cianato.



Fuente. Cyanide Remediation: Current and past technologies

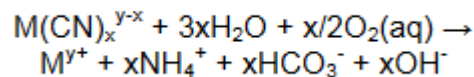
La reacción anteriormente mencionada tendrá su mejor rendimiento bajo condiciones de un pH aproximado a 7 y a temperatura ambiente, pero presenta el problema de la formación de amoniaco el cual es toxico por lo cual debe ser tratado posteriormente. Después de diferentes estudios y análisis de todos los microorganismos que podrían realizar dicha labor, se llegó a la conclusión que la oxidación realizada por bacterias es la que presenta mejores resultados conocidos.

⁷⁵ ADAMS, Mike D. Advances in Gold Ore Processing. Biological Cyanide Destruction Processes. [knovel] 1 Ed. 2005. Vol 15 p. 676. [Consultado el 16,01,2018]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpAGOP0004/cid:kt008IXMQ1>

⁷⁶ GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.8-10 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530103>

Uno de los casos conocidos que ha tenido éxito se trata del tratamiento realizado en una planta de procesamiento de efluentes procedentes de la planta localizada en Lead, Dakota del sur. Allí se hace uso de una biopelícula compuesta principalmente por *Pseudomonas paucimobilis* las cuales metabolizan el cianuro proveniente de los desechos producidos durante el proceso y también en aguas subterráneas que llegan a ser contaminadas. En la ecuación se observa la reacción que tiene lugar durante este proceso. Ver ecuación 5.

Ecuación 5. Reacción de metabolización de *Pseudomonas paucimobilis*



Fuente. Cyanide Remediation: Current and past technologies.

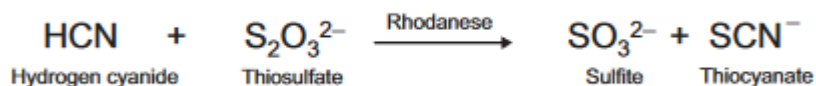
La acumulación bacteriana de los cationes metales (M) se da por absorción, adsorción o precipitación de hidróxido, la bio-oxidación del tiocianato actúa como buffer del sistema, el amoniaco producido posteriormente es tratado por los mismos microorganismos.

También se conoce la biooxidación realizada por bacterias mesófilicas las cuales tienen la tendencia a oxidar hierro y sulfuros. En este caso tienen lugar reacciones electroquímicas entre el oxidante y los minerales de sulfuro. Debe tenerse en cuenta que este proceso no fue diseñado para la remoción de cianuro, lo fue para obtener de una forma mas eficiente el oro durante su extracción.

Otro de los procesos realizados por microorganismos para la eliminación de cianuro, se trata del que realiza la enzima *Rodanasa* que se encuentra en la mitocondria y realiza su trabajo al momento que un ser vivo tiene en su organismo dicho químico. Esta enzima “cataliza la formación de tiocianato y sulfitos que tiene el cianuro y también tiosulfato u otros donadores de sulfuro que puedan encontrarse”⁷⁷. A continuación, en la ecuación 6 se observa la reacción de dicho proceso enzimático.

⁷⁷ J BALLHORN, Daniel. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Cyanogenic Glycosides in Nuts and Seeds. [Knovel] Editado por: R, Victor. Watson Ronald y Patel, Vinood. 2011. p. 134 [Consultado el 11,01,2018]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpNSHDP001>

Ecuación 6. Reacción de canalización por la Rodanasa.



Fuente. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Toxicity and Detoxification of Cyanide

También se tienen estudios del uso de la especie *Klebsiella pneumoniae*, la cual no solo se ha pensado para la remediación del cianuro sino también en diferentes áreas contaminadas con otros químicos altamente tóxicos. Siendo la aplicación para degradar cianuro un nuevo tema de estudio, en el cual “se estudiaron 17 diferentes cepas de las cuales se busca identificar las mas eficientes que logran optimizar el proceso de degradación siendo puestas en contacto con diferentes compuestos de cianuro que pueden encontrarse en los lugares contaminados sujeto del proceso de biorremediación”⁷⁸.

Para los residuos líquidos provenientes de procesos mineros que hacen uso de cianuro, también se han desarrollado tecnologías para su biorremediación siendo uno de los casos el estudio desarrollado en el Centro de Investigación en Protección Ambiental Tecnológico de Costa Rica por Alma Deloya Martínez⁷⁹ en el cual se buscaba desarrollar un consorcio de microorganismos adaptados para degradar altas concentraciones de cianuro. Para la obtención de estos microorganismos primero se realizó una lixiviación a los desechos asegurando condiciones de micronutrientes, pH, oxígeno disuelto y temperatura. Estas condiciones se mantuvieron durante el tiempo estimado para el estudio y se realizaron exámenes periódicamente microscópicos para determinar las condiciones óptimas donde se desarrollarán los microorganismos. Para el desarrollo de estos se realizo hasta la tercera incubación reinoculandolos y controlando todos los casos de crecimiento. Se separaban las cepas por centrifugación y se congelaron para después liofilizarlas. Fue posible identificar que una de las condiciones que presentaban los desechos como el pH fueron óptimos para el desarrollo de los microorganismos y después de 72 días fue posible obtener un desarrollo optimo de los mismos, siendo una de las razones para que tome tanto tiempo su desarrollo que el cianuro es un inhibidor de la respiración celular por lo cual demoraran mas en desarrollarse, pero gracias a esto la capacidad de degradación presenta porcentajes de 95% ya que los microorganismos al tardar tanto tiempo llegan a adaptarse óptimamente y logran recibir altas concentraciones de cianuro para degradarlo y no verse afectados hasta llegar a la muerte de los mismos. Es así como después de los estudios, lo

⁷⁸ AVCIOGLU, Nermin Hande y BILKAY, Isil Seyis. Biological Treatment of Cyanide by Using *Klebsiella pneumoniae* Species. En: FOOD TECHNOLOGY & BIOTECHNOLOGY. Mayo 13, 2016 Vol. 54. p. 450-454

⁷⁹ MARTINEZ, Alma Deloya. Tratamiento de desechos del cianuro por biorremediación. En: TECNOLOGIA EN MARCHA. vol. 25. 2001. p. 61-72

encargados llegaron a concluir que el consorcio estudiado llegó a su madurez hasta la tercera generación, con microorganismos más fuertes y eficientes logrando una remoción entre 95% y 98%. Este proceso de remoción, tomó tiempos de retención de 15 días lo cual trae grandes beneficios en lo que respecta a al sector económico ya que las concentraciones eliminadas por dichos microorganismos son más grandes en comparación con procesos similares teniendo en cuenta que el proceso de lixiviación debe realizarse a los desechos como paso previo a el trabajo de los microorganismos.

Los procesos anteriormente mencionados comparten una característica, los microorganismos se desarrollan en un medio donde pueden moverse sin restricciones en el lugar donde se realiza el proceso de biodegradación, pero también existe otro procedimiento en el cual las enzimas, cepas o células son inmovilizadas, es decir, se atrapan dentro del cultivo o no son solubles en el mismo. Aunque puede pensarse que este tipo de características no son óptimas para una remediación exitosa, se ha podido demostrar que “los microorganismos inmovilizados presentan ventajas en comparación a las que se encuentran libres, como la reducción de muertes en reactores como también mantener una densidad alta y adecuada para los diferentes flujos sin afectar el proceso. También se evidencia una estabilidad catalítica lo cual, junto con su resistencia a las altas cantidades de contaminantes es otra de las razones para decir que inmovilizar los microorganismos inmovilizados son una opción más rentable al momento de hablar sobre biodegradación de cianuro. Esta inmovilización se realiza encapsulándolas en diferentes matrices las cuales pueden ser agar, alginato o carragenano.⁸⁰” La bacteria que fue identificada como la que mejor realiza dicho proceso si es inmovilizada se trata de *P. putida* la cual presenta características como su forma cilíndrica, es gram-negativa, móvil y no produce esporas durante la realización del proceso. Este microorganismo degrada el cianuro en NH_3 y CO_2 , el tiempo que tomara para una degradación adecuada está directamente conectado con el pH que se trabaje.

Aunque como se mencionó anteriormente este tipo de procesos tienen muchas ventajas, también presentan algunas desventajas ya que al inmovilizar los microorganismos estos en algún momento tomaran resistencia al sustrato y se presentarían complicaciones en cuanto a la movilización de estos entre matrices. Razón por la cual se presenta una baja solubilidad de oxígeno en el agua y la alta densidad en las células, debido a lo anterior la transferencia de oxígeno normalmente es uno de los factores limitantes al momento de la biodegradación a partir de microorganismos inmovilizados. Como consecuencia de lo mencionado, el oxígeno podría ser el elemento que tendría más complicaciones al momento del proceso, ya sea en su producción o en las reacciones que podrían suceder, es por

⁸⁰ CHAPATWALA, K. D. Biodegradation of cyanides, cyanates and thiocyanates to ammonia and carbon dioxide by immobilized cells of *Pseudomonas putida*. En: JOURNAL OF INDUSTRIAL MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY. vol. 20. 1998, p. 28

esto que para decidir si hacer uso de microorganismos movilizados o inmovilizados debe tenerse en cuenta todos los factores, como el tipo de químico que quiere ser consumido, las condiciones del proceso como pH, temperatura, si será aerobio o anaerobio y lo más importante será realizar los estudios necesarios para encontrar un proceso que sea eficiente.

Otro microorganismo que fue identificado como un buen degradador de cianuro al ser inmovilizado se trata de una especie de hongo mutante de *Trichoderma koningii*. Durante el estudio “se atraparon las células en alginato de sodio para así inmovilizarlas y degradaran el cianuro y ferrocianuro, todo esto en un medio líquido mineral, encontrando que durante este procedimiento las células degradaron más eficientemente el cianuro en comparación con las mismas pero no inmovilizadas, también fue posible identificar que para este proceso las células utilizadas podrían ser reutilizadas en un futuro para el mismo o nuevos procesos que se pongan en marcha, igualmente se pudo identificar que este tipo de proceso protege los organismos de factores ambientales que podrían hacerle daño”⁸¹. Gracias a lo anterior se tuvo una base en cuanto a la biodegradación con este tipo de organismos y se identificó una importante opción para la biorremediación de cianuro.

⁸¹ ZHOU,Xiaoying. Efficient biodegradation of cyanide and ferrocyanide by Na-alginate beads immobilized with fungal cells of *Trichoderma koningii*. En: CANADIAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY. vol. 53. 2007. p. 1033-1037

4. CASOS DE APLICACIÓN DE LAS TECNOLOGIAS Y SUS BENEFICIOS

Al momento de identificar un microorganismo que realiza la degradación de cianuro eficientemente, las empresas interesadas en eliminar dicho contaminante de aguas o suelos afectados buscan las opciones adecuadas para realizar dicha tarea con procesos previamente desarrollados, para lo cual se hace uso de microorganismos que después de estudios a nivel laboratorio mostraron una alta eficiencia en lo respectivo a la degradación. Aunque pueden preferirse procesos aerobios, para el caso de los anaerobios existen casos de aplicación exitosos, aunque estos toman más tiempo en realizar la labor.

Como primer caso de aplicación se encuentra el realizado a arenas residuales con grandes cantidades de cianuro procedentes de 6 plantas de beneficio de oro en Segovia, Antioquia, Colombia⁸². Fue utilizado el microorganismo *Pseudomonas fluorescens* el cual antes de ser puesto en contacto con las arenas fue aislado de cada una de las muestras de las plantas, con un procedimiento exclusivo para dicha tarea. Este microorganismo fue fácil de encontrar en las arenas, debido a que normalmente se encuentra en suelos con las características que presenta el objeto de estudio. De las cepas nativas obtenidas de las diferentes fuentes, se escogió la que mejor eficiencia mostró brindándole las condiciones adecuadas para su desarrollo. Al momento de realizar el proceso en los reactores destinados a dicha tarea, en las primeras 24 horas con una mínima cantidad de contaminante se obtuvo degradación de 60%, pero si se aumentaba al doble dicha cantidad solo se llegaba a un 14%, en los casos de tener 400 y 500 ppm de cianuro la biodegradación fue de un 50%. Las concentraciones se mantuvieron así hasta el día 3 donde se empezó a observar una disminución significativa del contenido de cianuro en los casos de tener concentraciones menores de 800 ppm de NaCN. A todo lo anterior debe incluirse para obtener buenos resultados las condiciones del proceso como tiempo de reacción, población bacteriana, concentración de cianuro y cantidad de arena. E igualmente deben garantizarse los rangos establecidos en la teoría como óptimos para el desarrollo de microorganismos identificados previamente.

En el artículo escrito por Joanne Baxter y Stephen P. Cummings⁸³ son presentados algunos casos exitosos de biodegradación de cianuro en residuos mineros, dando las características de estos y la localización de las minas donde son desarrolladas dichas actividades.

⁸² RESTREPO, Oscar; MONTOYA, Carlos y MUÑOZ, Nury. Degradación microbiana de cianuro procedente de plantas de beneficio de oro mediante una cepa nativa de *P. fluorescens*. En: REVISTA DE LA FACULTAD DE MINAS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Vol 73. p. 45-50. Mayo 2016. ISSN 2346-2183 [Consultado el 5 enero 2018] Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/805>

⁸³ BAXTER, Joanne y CUMMINGS, Stephen. The current and future applications of microorganism in the bioremediation of cyanide contamination. En: SCHOOL OF APPLIED SCIENCES, NORTHUMBRIA UNIVERSITY. p. 7-11. Mayo 2006. ISSN 0003-6072

La empresa Homestake Mining Co, con el tiempo ha desarrollado diferentes procesos pensados para la biodegradación de cianuro en residuos mineros los cuales son presentados a continuación en la tabla 8 con sus respectivas características.

Tabla 8. Casos de aplicación de tecnologías desarrolladas por la empresa Homestake Mining Co.

Lugar de aplicación	Microorganismo	Características
Dakota, Estados Unidos	<i>P. paucimobilis</i>	La cepa fue sometida a un proceso de climatización. El ácido fosfórico se utilizó como fuente nutricional para la cepa. El microorganismo metabolizó el cianuro en amoníaco, el cual en un segundo proceso sería convertido en nitrato. Se obtuvo porcentajes de remoción entre 91% y 95%.
Mina Nickel Plate, Canada	Procesos anaerobios y aerobios.	Sistema de lodos suspendidos provenientes de los procesos de filtración al cual le sería aplicado un proceso biológico pasivo
Mina Santa Fe, Estados Unidos	Proceso con biomasa	Puesta en marcha con los residuos producto del drenaje de los lugares destinados al proceso de lixiviación.

Fuente. Microbial destruction of cyanide wastes in gold mining

Todos los procesos anteriormente mencionados presentaron resultados eficientes en cuanto a remoción de cianuro, tiocianato, cianato, algunos metales presentes y como segundo plano reacciones de nitrificación y desnitrificación. Junto a esta característica de remoción presentan ventajas como “la facilidad para la operación de los equipos y el proceso, los microorganismos degradadores tienen esta característica gracias a la facilidad que presentan para realizar dicha tarea, la cantidad de solución necesaria para el proceso es mucho menor en comparación con procesos químicos o físicos, lo cual ayuda a disminuir el costo”⁸⁴.

Como otro ejemplo de aplicación de procesos in situ, se encuentra el implementado en la mina Green Springs USMX ubicada en Nevada, Estados Unidos. En este caso se utilizó una cepa de *P. pseudoalcaligenes* aislada de embalses con residuos en ellas provenientes del proceso minero, las cuales fueron introducidas en tanques de adsorción cuyo contenido era principalmente carbón, los cuales originalmente tenían la tarea de recircular el cianuro desde el final del proceso de lixiviación hacia los minerales que esperan ser procesados. Con este proceso los tanques fueron convertidos en biorreactores, logrando una significativa reducción en la concentración de elementos que contienen cianuro.

⁸⁴ AKCIL, Ata y MUDDER, Terry. Microbial destruction of cyanide wastes in gold mining: process review. En: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS.p. 445-449. Marzo 25 2003.

Pintail System Inc. también desarrollo un proceso para la degradación de cianuro resultante de la minería de oro, donde se hacía uso de una bacteria nativa de dicho lugar la cual fue aislada y con las condiciones adecuadas estudiadas sus habilidades para degradar cianuro y con el desarrollo de estas con el tiempo lograr eficiencias mucho mayores en presencia de altas concentraciones del contaminante. Esta investigación fue puesta en marcha en un proyecto de descontaminación en Hecla Mining Company's Yellow Pine Mine en Idaho, Estados Unidos, de donde se obtuvieron las cepas a desarrollar y también donde 10000 galones de residuos fueron tratados con este microorganismo logrando reducir 46.6 ppm de cianuro a tan solo 0.2 ppm al final del proceso.

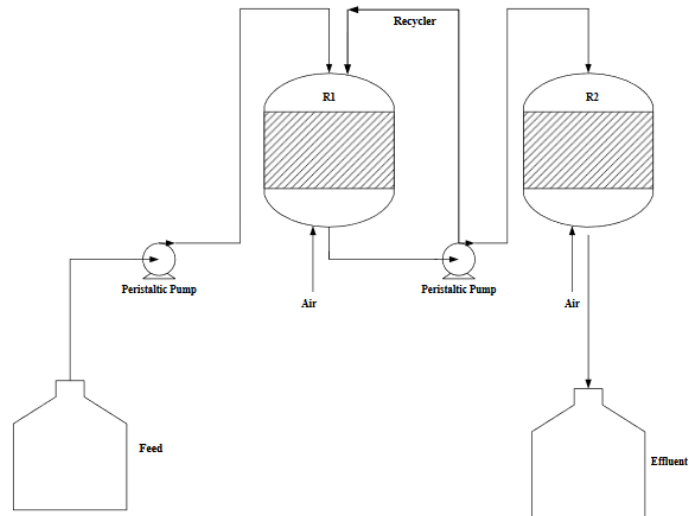
Por otro lado, debido a los altos porcentajes de residuos provenientes de diferentes industrias en Malasia, se buscaron opciones de tratamiento para disminuir agentes contaminantes en fuentes hídricas afectadas por dichos agentes contaminantes. Identificando en la biorremediación una de las mejores opciones para lograr resultados adecuados en lo referente a la degradación de contaminantes como lo es el cianuro. Después de la realización de estudios a nivel laboratorio, fue identificada “una cepa de *Rhodococcus* UKMP-5M como un microorganismo degradador de cianuro totalmente eficiente en dicha tarea, logrando 100% de eficiencia con concentraciones de 15mM aproximadamente de cianuro en las aguas tratadas. Sin importar la presencia de metales pesados como hierro, cobre y zinc, requiriendo aproximadamente de 3 días para la degradación completa e implementando la inmovilización de las cepas lo cual permitió que el microorganismo fuera resistente a altas concentraciones del sustrato, cambios en el pH y temperatura, también permitió mantener la densidad adecuada de las células y mejorar la acción catalítica. Gracias a este trabajo, fue posible la puesta en marcha de diferentes plantas destinadas al tratamiento de residuos líquidos provenientes no solo del sector minero sino también de muchas otras industrias donde el cianuro es uno de los más grandes contaminantes”⁸⁵.

Uno de los procesos recientemente desarrollados para degradación de cianuro y tiocianato por medio de microorganismos se trata del cual hace uso del microorganismo *Thiobacillus* sp., el cual se desarrolló bajo condiciones de pH entre neutras y alcalinas en tanques con función de biorreactores con agitación en un sistema en serie. “El proceso tuvo tiempos de residencia entre 7 a 24 horas y temperaturas desde 21°C a 25°C. Se identificó eficiencia de remoción de tiocianato y cianuro hasta de 99.9% si en el proceso no se realizaban cambios drásticos de pH o si no era agregado más contaminante del presente en la muestra contaminada. También se observó que los microorganismos demostraron la capacidad de producir

⁸⁵ NALLAPAN, Maegala. Biotoxification of cyanide-containing industrial wastewaters by *Rhodococcus* UKMP-5M. En: SECTION CELLULAR AND MOLECULAR BIOLOGY. 2014.p. 1635-1642. ISSN 0006-3088

nitrógeno mientras realizaban la tarea de degradación.⁸⁶ Lo anterior demostrando que es posible realizar el proceso de biodegradación tanto para cianuro y tiocianato al mismo tiempo con excelentes resultados de remoción y valor agregado al lograr eliminar otros contaminantes que se encuentran presentes y pueden de una vez ser removidos para no realizar procesos alternos, los cuales requerirán mayor inversión económica y gasto de materias primas. En la imagen 8 se observa el diagrama de flujo correspondiente a como se desarrolla el proceso con las corrientes que influyen en cada reactor junto con los equipos necesarios para el desarrollo de este. Como por ejemplo las bombas que servirán para dirigir los desechos tratados desde el almacenamiento hasta los reactores y de estos hacia el lugar donde se almacenara el producto sin contaminantes.

Imagen 8. Diagrama de flujo del proceso de degradación.



Fuente. Performance of a continuously stirred tank bioreactor system connected in series for the biodegradation of thiocyanate and free cyanide.

La India al ser uno de los países con mayor producción industrial presenta grandes cantidades de desechos con altos contenidos de cianuro provenientes de diferentes industrias no solo la minera, ubicándose la mayoría de ellas en zonas urbanas. Razón por la cual se han buscado alternativas de descontaminación económicas debido al alto volumen de residuos que necesitan tratamiento lo cual eleva en gran porcentaje los costos relacionados a tratamiento conocidos. Siendo esta la razón

⁸⁶ MEKUTO, Lukhanyo. Performance of a continuously stirred tank bioreactor system connected in series for the biodegradation of thiocyanate and free cyanide. En: JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING. Vol 5. Abril, 2017. p. 1936-1945

del estudio realizado por Yogesh B. Patil⁸⁷, en el cual realiza la investigación de la posibilidad de desarrollar procesos integrados de biosorción y biodetoxificación y así hacer uso de tecnologías destinadas a la degradación de cianuro por medio de una biomasa obtenida de la cascara de arroz la cual eliminaría completamente el cianuro, esta biomasa fue seleccionada después de poner a prueba diferentes especies seleccionadas para el estudio. Como resultados del estudio, se identificó que el proceso de biosorción tenía su punto máximo bajo condiciones de pH acidas, junto con el microorganismo *Eichornia* eran las condiciones adecuadas para resultados buenos. Identificando que la biomasa obtenida de la cascara es un buen agente biosorbente para residuos con concentraciones moderadas de cianuro en ellos.

Un caso similar ocurrió en una provincia de Khorasan-Razavi, Irán donde se estudió la resistencia de ciertos microorganismos a las condiciones que presentan los residuos con cianuro producidos allí. Fueron estudiadas 9 de las cuales solo 2 mostraron la resistencia y características adecuadas para el proceso, estas eran de la familia de *Halomonas*, estas fueron capaces de metabolizar el cianuro como fuente de nitrógeno, a un pH de 9.5 con porcentajes de remoción de 66% y 50%. Tomándoles 96 horas en total para llegar a un porcentaje 75%. En este caso fue determinante el factor del pH ya que la degradación estaba directamente relacionada con este. No fue realizado un estudio más profundo en lo referente a la bioquímica de los procesos y las reacciones que tienen lugar allí, lo cual podría realizarse en un futuro para asegurar mejores resultados y entender los ya puestos en marcha.

Los casos de aplicación anteriormente mencionados presentan opciones de tratamiento de residuos con cianuro. Alternativas a los procesos convencionales tanto físicos y químicos, los cuales generan más contaminación y mayor necesidad de inversión económica para la puesta en marcha de estos, ya que se necesita como materia prima microorganismos que muchas veces se encuentran en el lugar que se quiere remediar. Presentaron eficiencias de remoción muchas veces iguales o mayores a los procesos convencionales, pero no generan más contaminación aparte de los que se busca eliminar de las fuentes naturales.

⁸⁷ YOGESH, Patil. Development of a low-cost industrial waste treatment technology for resource conservation. An urban case study with gold-cyanide emanated from SMEs. En: PROCEDIA - SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES. Vol 37. 2012. p. 379-388

5. CONCLUSIONES

- Como consecuencia de la actividad minera, principalmente explotación de oro las características fisicoquímicas de suelos y aguas involucrados en el proceso se ven afectadas y alteradas por la presencia de cianuro como contaminante. El valor del pH se ve incrementado en poco porcentaje en los suelos y en aguas si presenta un aumento más significativo ya que pasa de neutro a básico, mientras que la temperatura en ninguno de los dos casos aumenta significativamente. Caso contrario a la concentración de cianuro el cual puede ser hasta 20 veces mayor en los suelos y más de 100 veces mayor en aguas al encontrado naturalmente allí, a lo cual se le suma presencia de elementos contaminantes como metales pesados. Afectando no solo dichos recursos naturales sino también animales, plantas o seres humanos que llegan a tener contacto con ellos.
- Los microorganismos capaces de realizar la tarea disminuir la concentración de Cianuro presente en algunos residuos, presentan altas capacidades de degradación por medio de diferentes reacciones. Teniendo presente que deben mantenerse condiciones óptimas de pH del suelo con valores entre 5.5 y 8.8, temperatura entre 15°C y 45 °C, humedad entre 25 y 28%, contenido de oxígeno menor a 10%, nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno, tipo de suelo con bajo contenido de arcilla y sedimentos y un máximo de 2000 ppm de metales pesados. Los cuales afectarán los resultados de este y la capacidad de degradación.
- Al momento de poner en práctica los procesos desarrollados a nivel laboratorio de microorganismos degradadores de cianuro, se desarrollan diferentes tecnologías las cuales se deben adaptar a los diferentes tipos de suelos y aguas aptas para realizar este tratamiento. Sobresalen 4 tecnologías: reacciones hidrocatalíticas donde el cianuro se convierte en amoníaco y ácido fórmico hasta llegar a bicarbonato, oxidación donde es convertido el cianuro en cianato, requiere un pH aproximado de 7 y temperatura ambiente, reducción en la cual el metano se convierte en amoníaco con la desventaja de que si tiene contacto con oxígeno se inactiva el proceso y que cuenta con pocos microorganismos que presentan la enzima encargada del proceso y sustitución/transferencia de la cual aún no existen suficientes estudios. Se han identificado tiempos de degradación por medio de dichas tecnologías desde 32 horas hasta 80 horas lo cual dependerá del microorganismo, la reacción que tiene lugar y las condiciones.
- Algunas empresas mineras han implementado diferentes procesos para la biodegradación de cianuro, generando disminución de costos en cuanto a la inversión en tecnologías de descontaminación y llegar a tener aguas y suelos libres de contaminantes para recircular al proceso o para disponer en fuentes

naturales sin hacerles mayor daño. Casos como el realizado en Antioquia Colombia utilizando *Pseudomonas fluorescens* con tiempo de proceso hasta de 3 días logrando porcentaje de remoción de hasta 60%. La empresa Homestake Mining Co en diferentes países puso en marcha procesos de biodegradación con eficiencias de remoción entre 91% y 95%. Pintail System Inc, logro reducir 46.6 ppm de cianuro a 0.2 ppm. Usando *Thiobacillus sp*, requiriendo entre 7 y 24 horas para llegar a un 99.9% de eficiencia en la remoción de cianuro.

- La biodegradación de cianuro en suelos y aguas afectados por la minería de oro, con el paso del tiempo ha tomado mayor participación en el mercado gracias a sus beneficios y excelentes resultados. En Colombia se han realizado gran cantidad de trabajos destinados a la identificación de microorganismos eficientes en dicha tarea, con la problemática que aún no son puestos en marcha en gran porcentaje a nivel industrial, lo cual hace necesario que dichas empresas inviertan en dichas tecnologías para en un futuro lograr resultados mejores en cuanto a calidad de los residuos generados por ellos. No solo generarán beneficios ambientales sino también económicos ya que si se logra recircular agua o cianuro los costos disminuirán y se puede destinar el dinero que se tenía para ello en mejoras para el proceso.

6. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar la investigación del tema de la presente monografía, la información encontrada fue suficiente en cuanto a la explicación de los procesos que realizan los microorganismos de degradación, pero en cuanto a la puesta en marcha de tecnologías en casos concretos de la industria hizo falta información respecto a ello. Lo cual hace necesario que en un futuro se realicen las investigaciones respecto a cómo y dónde son implementadas dichas tecnologías para la degradación de cianuro.
- Debido a que en Colombia el tema de biodegradación de Cianuro no es muy conocido y puesto en práctica, quienes deseen seguir con este tema aún queda mucho por investigar como por ejemplo nuevos microorganismos degradadores de cianuro, las condiciones bajo las cuales presentan grandes eficiencias y como poner en práctica dichos procesos a nivel industrial en Colombia principalmente identificando las condiciones que presentarían los residuos y las que necesitarían los microorganismos llegando así a beneficiar el medioambiente.

BIBLIOGRAFIA

ADAMS, Mike D. Advances in Gold Ore Processing. Biological Cyanide Destruction Processes. [knovel] 1 Ed. 2005. Vol 15 p. 676. [Consultado el 16,01,2018]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/view/khtml/show.v/rcid:kpAGOP0004/cid:kt008IXMQ1>

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TOXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES. Resúmenes de Salud Pública - Cianuro (Cyanide) [Página Web] Atlanta. [Consultado el 23,10,2017]. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs8.html. 2016

AKCIL, Ata y MUDDER, Terry. Microbial destruction of cyanide wastes in gold mining: process review. En: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS. p. 445-449. Marzo 25 2003.

ALMAGRO, Victor, Exploring anaerobic environments for cyanide and cyano-derivates microbial degradation. En: Applied Microbiology and Biotechnology. 2017. p. 1067-1074

ANIKI, Abimbola O. Innovative De-Watering Device for Effective Separation of Mud Slurry and Solids Ore in a Mining Industry. En: Procedia Manufacturing. 2017. Vol 7. p. 497-503

AVCIOGLU, Nermin Hande y BILKAY, Isil Seyis. Biological Treatment of Cyanide by Using Klebsiella pneumoniae Species. En: FOOD TECHNOLOGY & BIOTECHNOLOGY. Octubre 2016. vol. 54, p. 450-454

AVILA CHAPARRO, Eduardo. Los Procesos Mineros y Su Vinculación Con El Uso Del Agua. En: El consumo de agua en la minería formal. Santiago de Chile. 2009. p. 22

BALLARAT, Victoria. Narrow Vein Mining Conference. Gold Particle Size and Cyanide - Based Extraction. [Knovel] 2008. p. 98. ISBN 9781920806897 [Consultado el 23,08,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpNVMCP003>

BAXTER, Joanne y CUMMINGS, Stephen. The current and future applications of microorganism in the bioremediation of cyanide contamination. En: SCHOOL OF APPLIED SCIENCES, NORTHOMBRIA UNIVERSITY. p. 7-11. Mayo 2006. ISSN 0003-6072

BQE WATER. Nuestras Tecnologías Para Tratar Cianuro / STAR. [Página Web]. [Consultado el 11 enero 2018]. Disponible en: <https://www.bqewater.com/es/soluciones-tecnologicas/cianuro-sart/>

CÁRDENAS, Mauricio y REINA, Mauricio. La minería en Colombia: impacto socioeconómico y fiscal. Minería en Colombia, 2.Ed. Fedesarrollo, 2008. p. 3. [Consultado 10,07,2017]. Disponible en http://www.repository.fedesarrollo.org.co/bitstream/handle/11445/893/CDF_No_25_Abril_2008_Esp.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CHAPATWALA, K. D. Biodegradation of cyanides, cyanates and thiocyanates to ammonia and carbon dioxide by immobilized cells of *Pseudomonas putida*. En: JOURNAL OF INDUSTRIAL MICROBIOLOGY & BIOTECHNOLOGY. vol. 20. 1998, p. 28

CORNEJO LA TORRE, Melitza de Lourdes. Biorremediación De Relaves Mineros Con Un Consorcio Microbiano Nativo Caracterizado Molecularmente y Productor De Enzimas Degradadores De Cianuro y Derivados. Lima, Peru. Universidad Nacional de Tumbes, 2016. p. 36

D. CLEARY y I. THORNTON. Issues in environmental science and technology. Mining and its environmental impact. En: R.E. Hester y R.M. Harrison. Mining and its Environmental Impact. Cambridge. 1994. p. 19. ISBN 0-85404-200-8 [Consultado 11,07,2017].

DARLING, Peter. SME Mining Engineering Handbook. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. Geology of Copper Deposits. [Knovel]. 3 Ed. 2011. p. 1075. ISBN 897-0-87335-264-2. [Consultado el 26,06,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpSMEMEHE5>

DIETER D, Genske. Investigation, Remediation and Protection of Land Resources. Extraction of Minerals. [Knovel] USA. Whittles Publishing. 2007. p. 137. ISBN 978-1870325-87-5 [Consultado el 27,09,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpIRPLR002>

EISLER, Ronald. Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. Gold Mine Wastes. [Knovel] 1 Ed. Amsterdam. 2007 p. 358. ISBN 978-0-444-53105-6. [Consultado el 25,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEEEHPC08>

GARCÉS MOLINA, Adelaida María; AGUDELO BETANCUR, Lina Marcela y MACÍAS MAZO, Karina Isabel. Aislamiento de consorcio de microorganismos degradadores de cianuro. Revista La Sallista de Investigación. Vol 3. Núm 1. Antioquia. [En línea]. 2009. p.7-12 [Consultado 13,07,2017]. Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co/dspace/handle/10567/424>

J BALLHORN, Daniel. Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention. Cyanogenic Glycosides in Nuts and Seeds. [Knovel] Editado por: R, Victor. Watson Ronald y Patel, Vinood. 2011. p. 134 [Consultado el 11,01,2018]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpNSHDP001>

JONES, Craig W. Hydrometallurgy and Metal Finishing. 1 Ed. Cambridge. Applications of Hydrogen Peroxide and Derivates [Knovel] 1999. p. 245 ISBN 0-85404-536-8. [Consultado 19,08,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpAHPD0001>

LA TORRE, Melitza. Concejo Nacional de Ciencia tecnología e innovación tecnológica. Biorremediación De Suelos y Aguas Afectados Por Actividades Mineras Auríferas y Argentíferas En La Región La Libertad Mediante El Uso De Un Consorcio De Bacterias y/o Hongos Nativos Productores De Enzimas Degradadoras Del Cianuro y De Sus Derivados Tóxicos. Perú. 2015. [Consultado el 4,09,2017]. Disponible en: <http://dina.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/>

LOMBANA CORTES, Abdón. Suelos Colombianos, Una Mirada Desde La Academia. El Suelo, Un Ejemplo De Diversidad En La Naturaleza. 1 Ed. Bogotá, 2004. p. 30 ISBN 958-9029-64-7. [Consultado el 28,12,2017]. Disponible en: http://www.utadeo.edu.co/files/node/publication/field_attached_file/pdf-suelos_colombianos-_pag_-_web_0.pdf

M.A, Mckibben. Encyclopedia of Geology. Mineralogy, Geochemistry, and Natural Concentration of Gold. [Knovel]. 1 Edición. España. 2005. p. 124. ISBN 0-12-636380-3 [Consultada 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpEGV00001>

MARK J, Logsdon; KAREN, Hagelstein y TERRY, I. Mudder. The Management of Cyanide in Gold Extraction. Cyanide use in Gold Production. 1 Ed. Ottawa, Ontario. 1999. p. 17-22 ISBN 1-895720-27-3. [Consultado 16,07,2017]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/516c6bb1e4b0e4e26c1d8e53/t/51b9546ae4b003975d41bbca/1371100266892/ICMMCY%7E1.PDF>

MARTINEZ, Alma Deloya. Tratamiento de desechos del cianuro por biorremediación. En: TECNOLOGIA EN MARCHA. vol. 25. 2001. p. 61-72

MCLEMORE, Virginia T.; RUSSELL, Carol C. y SMITH, Kathleen S. Sampling and Monitoring for the Mine Life Cycle. 6 Ed. Englewood, Colorado. 2014. p. 38 ISBN 0873353986 [Consultado el 25,08,2017]. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/Sampling_and_Monitoring_for_the_Mine_Lif.html?id=mEjuoQEACAAJ&redir_esc=y

MEKUTO, Lukhanyo. Performance of a continuously stirred tank bioreactor system connected in series for the biodegradation of thiocyanate and free cyanide. En:

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING. Vol 5. Abril,2017. p. 1936-1945

MÉNDEZ PERALTA,Dulce María. Avances en la Metalurgia Extractiva, Materiales y Medio Ambiente. Procesos Hidrometalúrgicos En La Minería De Oro, Plata, Cobre y Aluminio. 1 Ed. Universidad de Sonora, 2009. p. 40

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Sinopsis Nacional De La Minería Aurífera Artesanal y De Pequeña Escala. Bogotá 2012. p 72-16,17,18. [Consultado el 28,08,2017]. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA; UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA. Identificación y Diagnostico De Los Procesos Que Generan Vertimiento. En: Guia De Orientación Para El Minero Sobre El Correcto Manejo De Vertimientos Para La Minería De Metales Preciosos y Carbón. 2015. p.19, 20

MORALES MÉNDEZ,Jonathan David y RODRÍGUEZ,Ramón Silva. A Profile of Corporate Social Responsibility for Mining Companies Present in the Santurban Moorland, Santander, Colombia. En: Global Ecology and Conservation. Vol 6. Abril, 2016 [Consultado el 6,01,2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989415300287>

MUÑOZ GALEANO,Esteban. The Dark Side of the Mining 'boom' in Colombia. 1 Ed. Medellin, Editorial Fondo, 2017. p. 63 ISBN 978-958-56132-3-2 [Consultado el 4,12,2017]. Disponible en: <http://www.uniremington.edu.co/images/investigacion/libros-investigacion/the-dark-side-web.pdf>

NALLAPAN,Maegala. Biodegradation of cyanide-containing industrial wastewaters by *Rhodococcus* UKMP-5M. En: SECTION CELLULAR AND MOLECULAR BIOLOGY. 2014.p. 1635-1642. ISSN 0006-3088

ORELLANA,Jorge A. Libro De Ingenieria Sanitaria. Caracteristicas Del Agua Potable. Universidad Tecnica del Norte. [Página Web]. Argentina. 2005. [Consultado el 23,07,2017]. Disponible en: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf

PAPP,Delia. COCIUBA, Ioan. BACIU, Calin. Composition and Origin of Mine Water at Zlatna Gold Mining Area (Apuseni Mountains, Romania) [ScienceDirect].Romania. 2017. 37-40 [Consultado el 20,11,2017]

PONCE MURIEL Alvaro. Minería Moderna Para El Progreso De Colombia. La Contaminación Del Agua. 1 ed. Colombia. 2014. p. 97. ISBN 978-958-58371-0-2. [Consultado el 15,08,2017]. Disponible en: <http://acmineria.com.co/publicaciones/mineria-moderna-para-el-progreso-de-colombia>

PULIDO RANGEL,Luisa. La ruta del peligroso cianuro. En: EL ESPECTADOR. Bogotá. D.C. 7, septiembre,2008. Disponible en: <https://www.elespectador.com/impreso/nacional/articuloimpreso-ruta-del-peligroso-cianuro>

R.E. Hester;R.M. Harrison. Issues in Environmental science and technology. Mining and its Environmental Impact. The Discharge of Waters from Active and Abandoned Mines. [Knovel]. 1 Ed. Cambridge. 1994. p. 126. ISBN 0-85404-200-8. [Consultado el 24,11,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpMEI00001>

RESTREPO,Oscar; MONTOYA,Carlos y MUÑOZ,Nury. Degradación microbiana de cianuro procedente de plantas de beneficio de oro mediante una cepa nativa de *P.fluorecens*. En: REVISTA DE LA FACULTAD DE MINAS-UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Vol 73. p. 45-50. Mayo 2016. ISSN 2346-2183 [Consultado el 5 enero 2018] Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/805>

ROBERT J,Bowell; CHARLES N,Alpers y HEATHER E,Jamieson. Arsenic: Environmental Geochemistry, Mineralogy, and Microbiology. Crystal Chemistry of Arsenic Minerals. [Knovel] 79 Ed. Chantilly Virginia, ed. Jodi J, Rosso, 2015, p 79. ISBN 978-0-939950-94-2 [Consultado 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpRMGVAEG2>

SAHU,H. B.; PRAKASH,N. y JAYANTHU,S. Underground Mining for Meeting Environmental Concerns – A Strategic Approach for Sustainable Mining in Future. En: Procedia Earth and Planetary Science. 2015. Vol 11. p. 232-241.

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA. Suelos En Colombia. [Página Web]. Colombia. 2018 [Consultado el 03,01,2018] Disponible en: <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>

SOCIEDAD NACIONAL DE MINERIA, PETROLEO Y ENERGIA. Informe Quincenal De La Snmpe. [Página Web] Peru .2012. [Consultado el 26,09,2017] Disponible en: <http://www.snmpe.org.pe/informes-y-publicaciones/informes-quincenales/sector-minero/1819-destino-de-las-exportaciones-mineras-actualizado-agosto-de-2012.html>

SOCIETY FOR MINING METALLURGY AND EXPLORATION. Mitigation of Metal Mining Influenced Water. Cyanide Detoxification. [Knovel] Volume 2 ed. 2009. p. 102. [Consultado el 3,09,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

SOCIETY FOR MINING, METALLURGY, AND EXPLORATION. Water in Mineral Processing. Water use in the Mining Industry. [Knovel]. 1 Ed. Englewoo,Colorado,USA. Editado por Jaroslaw Drelich. 2012. p. 6-11. ISBN 978-0-87335-356-4 [Consultado el 12,07,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMP00006>

SUSTAINABLE MINING CONFERENCE. Bioremediation. Australia. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy.2010.p. 76. ISBN 978 1 921522 24 6. [Consultado el 4,10,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpSMC00003>

VEDULA,Ravi Kiran; DALAL,Shailu y MAJUMDER,C. B. Bioremoval of Cyanide and Phenol from Industrial Wastewater: An Update. En: BIOREMEDIATION JOURNAL. Octubre 2002.vol. 17, no. 4, p. 278-293.

WATER IN MINING CONFERENCE. [Knovel] 26 - 28 Noviembre 2013. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy. Brisbane. [Consultado el 7,12,2017]. Disponible en: <https://app.knovel.com.ez.uamerica.edu.co/web/toc.v/cid:kpWMCNBQL6>

YOGESH,Patil. Development of a low-cost industrial waste treatment technology for resource conservation. An urban case study with gold-cyanide emanated from SMEs. En: PROCEDIA - SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES. Vol 37. 2012. p. 379-388

ZHOU,Xiaoying. Efficient biodegradation of cyanide and ferrocyanide by Na-alginate beads immobilized with fungal cells of Trichoderma koningii. En: CANADIAN JOURNAL OF MICROBIOLOGY. vol. 53. 2007. p. 1033-1037

ANEXOS

Anexo A

Ficha de seguridad Cianuro de hidrogeno

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CIANURO DE HIDROGENO

ICSC: 0492







MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES ESPAÑA

Acido cianhídrico
Acido prúsico (licuado)
HCN
Masa molecular: 27.03




INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

Nº ICSC 0492
Nº CAS 74-90-8
Nº RTECS MW6825000
Nº NU 1051
Nº CE 006-006-00-X




TIPOS DE PELIGRO/ EXPOSICION	PELIGROS/ SINTOMAS AGUDOS	PREVENCION	PRIMEROS AUXILIOS/ LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	Extremadamente inflamable. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.	Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.	Cortar el suministro; si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo, dejar que el incendio se extinga por sí mismo; en otros casos apagar con polvo, agua pulverizada, espuma, dióxido de carbono.
EXPLOSION	Las mezclas gas/aire son explosivas.	Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosión.	En caso de incendio: mantener fría la botella rociando con agua. Combatir el incendio desde un lugar protegido.
EXPOSICION		¡EVITAR TODO CONTACTO!	¡CONSULTAR AL MEDICO EN TODOS LOS CASOS!
• INHALACION	Confusión mental. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Convulsiones. Jadeo. Pérdida del conocimiento. Muerte.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Posición de semiincorporado. No aplicar respiración boca a boca. Administrar oxígeno por personal especializado. Proporcionar asistencia médica. Véanse Notas.
• PIEL	¡PUEDE ABSORBERSE! (Para mayor información, véase Inhalación).	Guantes protectores. Traje de protección.	Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica. Utilizar guantes protectores cuando se presten primeros auxilios.
• OJOS	PUEDE SER ABSORBIDO. Enrojecimiento. (Véase Inhalación).	Gafas ajustadas de seguridad, o protección ocular combinada con la protección respiratoria.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.

INGESTION	Sensación de quemazón. (Para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. No respiración boca a boca. Administrar oxígeno por personal especializado. Proporcionar asistencia médica. Véanse Notas.
DERRAMES Y FUGAS	ALMACENAMIENTO	ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro inmediatamente. Consultar a un experto. Ventilar. Eliminar toda fuente de ignición Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verter NUNCA chorros de agua sobre el líquido. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Traje hermético de protección química, incluyendo aparato autónomo de respiración.	A prueba de incendio. Separado de alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco. Almacenar solamente si está estabilizado.	NU (transporte): Ver pictograma en cabecera. contaminante marino. Clasificación de Peligros NU: 6.1 Riesgos Subsidiarios NU: 3 Grupo de Envasado NU: I CE: simbolo F+ simbolo T+ simbolo N R: 12-26-50/53 S: 1/2-7/9-16-36/37-38-45-60-61	
			
VEASE AL DORSO INFORMACION IMPORTANTE			
ICSC: 0492		Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europeas © CE, IPCS, 2003	

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CIANURO DE HIDROGENO

ICSC: 0492

D A T O S I M P O R T A N T E S	<p>ESTADO FISICO: ASPECTO: Gas incoloro o líquido, de olor característico.</p> <p>PELIGROS FISICOS: El gas se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.</p> <p>PELIGROS QUIMICOS: La sustancia puede polimerizar debido al calentamiento intenso, bajo la influencia de bases, por encima del 2% de agua, o si no se encuentra químicamente estabilizado, con peligro de incendio o explosión. Por combustión, formación de gases tóxicos y corrosivos, incluyendo óxidos de nitrógeno. La disolución en agua es un ácido débil. Reacciona violentamente con oxidantes, cloruro de hidrógeno en mezclas alcohólicas, originando peligro de incendio y explosión.</p> <p>LIMITES DE EXPOSICION: TLV: 4.7 ppm; (valor techo); (piel); (ACGIH 2003). MAK: 1.9 ppm, 2.1 mg/m³; H (absorción dérmica); Categoría de limitación de pico: II(2); Riesgo para el embarazo: grupo C; (DFG 2003).</p>	<p>VIAS DE EXPOSICION: La sustancia se puede absorber por inhalación, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACION: La evaporación de esta sustancia a 20°C, producirá una concentración nociva de la misma en aire muy rápidamente.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION DE CORTA DURACION: La sustancia irrita los ojos y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en respiración celular, dando lugar a convulsiones y pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica. Véanse Notas.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICION PROLONGADA O REPETIDA: La sustancia puede afectar a la tiroide.</p>
--	---	--



PROPIEDADES FÍSICAS	Punto de ebullición: 26°C Punto de fusión: -13°C Densidad relativa (agua = 1): 0.69 (líquido) Solubilidad en agua: miscible Presión de vapor, kPa a 20°C: 82.6 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 0.94 Temperatura crítica: 183.6°C (no en la ficha)	Punto de inflamación: -18°C c.c. Temperatura de autoignición: 538°C Límites de explosividad, % en volumen en el aire: 5.6-40.0 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: -0.25 Conductividad eléctrica: 10000000 pS/m (no en la ficha)
DATOS AMBIENTALES	La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.	
NOTAS		
<p>El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario realizar un tratamiento específico; así como disponer de los medios adecuados junto las instrucciones respectivas. La alerta por el olor es insuficiente. Aplicar también las recomendaciones de esta ficha al compuesto cianuro de hidrógeno, estabilizado, absorbido en material poroso inerte. Otros números NU: 1613, Cianuro de hidrógeno, solución acuosa <20 % de cianuro de hidrógeno; 1614, Cianuro de hidrógeno, estabilizado, absorbido en material poroso inerte; 3294, Cianuro de hidrógeno, solución en alcohol, no más del 45% de cianuro de hidrógeno. Nunca trabajar solo en un área si hay posibilidad de exposición a cianuro de hidrógeno. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición.</p> <p style="text-align: right;">Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1051 Código NFPA: H 4; F 4; R 2;</p>		
INFORMACION ADICIONAL		
Los valores LEP pueden consultarse en línea en la siguiente dirección: http://www.mtas.es/insht/practice/vlas.htm		Última revisión IPCS: 2003 Traducción al español y actualización de valores límite y etiquetado: 2003 FISQ: 2-040
ICSC: 0492		CIANURO DE HIDROGENO
© CE, IPCS, 2003		
NOTA LEGAL IMPORTANTE:	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.	

Fuente. Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el trabajo. España [Página Web]. [Consultado el 25,02,2018] Disponible en: <http://www.insht.es/porta/site/Insht/?VAPCOOKIE=LLLRhVjG9FQPKdLZyjg1JVZy6dTLMbBB1pnTFSGGk182T1mXtlmh!-828813677!-1049084863>

Anexo B

Ficha de seguridad cianuro de sodio

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CIANURO DE SODIO		ICSC: 1118 Mayo 2003	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	143-33-9 VZ7525000 1689 006-007-00-5 205-599-4	Sal sódica del ácido cianhídrico NaCN Masa molecular: 49.01	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible pero produce gas inflamable en contacto con agua o aire húmedo. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		NO utilizar agentes hidricos. NO utilizar agua. NO utilizar dióxido de carbono. En caso de incendio en el entorno: espuma, y polvo.
EXPLOSIÓN			En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua pero NO en contacto directo con agua.
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA DISPERSION DEL POLVO! ¡HIGIENE ESTRICTA!	¡CONSULTAR AL MÉDICO EN TODOS LOS CASOS!
Inhalación	Dolor de garganta. Dolor de cabeza. Confusión mental. Debilidad. Jadeo. Convulsiones. Pérdida del conocimiento.	Extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. No aplicar respiración boca a boca. Administrar oxígeno por personal especializado. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Enrojecimiento. Dolor. (Además, véase Inhalación).	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar la piel con agua abundante o ducharse. Proporcionar asistencia médica.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor. (Además, ver Inhalación).	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial, o protección ocular combinada con la protección respiratoria si se trata de polvo.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Sensación de quemazón. Náuseas. Vómitos. Diarrea. (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo. Lavarse las manos antes de comer.	Provocar el vómito (¡UNICAMENTE EN PERSONAS CONSCIENTES!). Uséanse guantes de protección para inducir vómito. No realizar la respiración boca a boca. Administrar oxígeno por personal especializado. Proporcionar asistencia médica. Véanse Notas.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Evacuar la zona de peligro. Consultar a un experto. Ventilar. Barrer la sustancia derramada e introducirla en un recipiente seco, precintable y etiquetado. Neutralizar cuidadosamente el residuo con solución de hipoclorito de sodio. Eliminarlo a continuación con agua abundante. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Traje de protección química, incluyendo equipo autónomo de respiración.		Hermético. Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Contaminante marino. Clasificación UE Símbolo: T+, N R: 26/27/28-32-50/53 S: (1/2-)7-28-29-45-60-61 Nota: A Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: I	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1689 Código NFPA: H 3; F 0; R 0;		Separado de oxidantes fuertes, ácidos, alimentos y piensos, dióxido de carbono, agua o productos que contienen agua. Mantener en lugar seco y bien ventilado. Bien cerrado.	
Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © CE, IPCS, 2005			
			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fichas Internacionales de Seguridad Química

CIANURO DE SODIO	ICSC: 1118
DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO Polvo cristalino blanco, higroscópico, de olor característico. Inodoro seco.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS La sustancia se descompone rápidamente en contacto con ácidos, y lentamente en contacto con agua, humedad o dióxido de carbono, produciendo ácido cianhídrico (ver ICSC 0492). La disolución en agua es moderadamente básica.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN TLV: como CN 5 mg/m³; (valor techo); (piel); (ACGIH 2003). MAK: (fracción inhalable) 2 mg/m³ H; Categoría de limitación de pico: II(1); Riesgo para el embarazo: grupo: C; (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN La sustancia se puede absorber por inhalación a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN Pueden alcanzarse rápidamente una concentración nociva de partículas suspendidas en el aire cuando se dispersa.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN La sustancia irrita fuertemente los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La sustancia puede causar efectos en la respiración celular, dando lugar a convulsiones y pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte. Se recomienda vigilancia médica. Véanse Notas.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA La sustancia puede afectar a la tiroide.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Punto de ebullición: 1496°C Punto de fusión: 563,7°C Densidad: 1,6 g/cm³</p> <p>Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 58</p>	
DATOS AMBIENTALES	
La sustancia es muy tóxica para los organismos acuáticos.	
NOTAS	
El valor límite de exposición laboral aplicable no debe superarse en ningún momento de la exposición en el trabajo. En caso de envenenamiento con esta sustancia es necesario realizar un tratamiento específico; así como disponer de los medios adecuados junto las instrucciones respectivas. NO llevar a casa la ropa de trabajo. Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. Nunca trabajar solo en un área donde es posible la exposición a ácido cianhídrico. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005 ver Límites de exposición.	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011):</p> <p>VLA-EC: 5 mg/m³ (como CN)</p> <p>Notas: vía dérmica.</p>	
NOTA LEGAL	Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.
<small>© IPCS, CE 2005</small>	

Fuente. Instituto Nacional de Seguridad, Salud y Bienestar en el trabajo. España [Página Web]. [Consultado el 25,02,2018] Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/1101a1200/nspn1118.pdf>