

II ANTECEDENTES

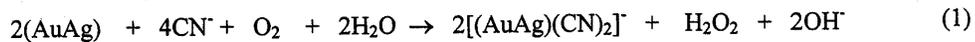
2.1 Generalidades

La mina La Colorada se encuentra localizada a 45 km al Sureste de Hermosillo, Sonora. En esta mina se han venido procesando minerales de oro y plata provenientes de los yacimientos de La Gran Central y el Crestón aplicando cianuración en terreros.

La lixiviación de metales preciosos por cianuración se desarrolló en la década de los ochentas, como un método eficiente para la extracción de oro y plata de depósitos pequeños y poco profundos. Además de ser atractivo para tratar minerales de baja ley y diseminados [1].

El principio básico de cianuración establece que los iones de cianuro forman compuestos muy estables con el oro, la plata y otros metales. Las soluciones de cianuro débilmente alcalinas tienen una preferente acción disolvente sobre el oro y la plata contenidos en un mineral. Elsner fue el primero en describir una ecuación para la disolución de oro y plata [24].

La ecuación de Elsner (1) muestra la reacción de disociación de oro y plata.



La lixiviación de terreros consiste en colocar mineral triturado sobre una superficie impermeable de plástico, asfalto o arcilla. Después el mineral se pone en contacto con la solución de cianuro, donde se obtiene una solución rica que contiene los valores de oro y plata

que se drena fuera del terrero hasta una pila de recuperación. A la solución rica se le agrega polvo de zinc para precipitar los metales preciosos y la solución despojada o solución pobre se envía nuevamente al terrero controlando la concentración de cianuro de sodio y alcalinidad. El precipitado de oro y plata no está químicamente puro sino asociado, por lo que es necesario pasarlo a una etapa de fundición donde se obtiene el doré. La refinación es el paso final en el proceso de cianuración, en este se trata el doré para obtener el metal deseado en forma pura, utilizable comercialmente [1].

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo del proceso de lixiviación en terreros.

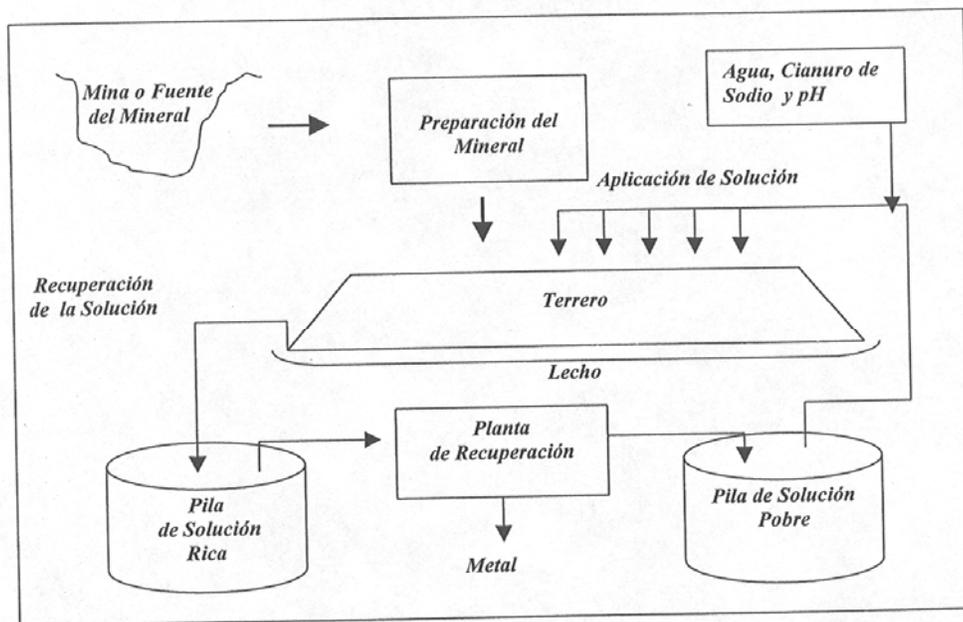


Figura 1. Diagrama de Flujo del Proceso de Lixiviación en Terreros

Después de aplicar un proceso de cianuración las áreas y efluentes que quedan contaminados son terreros agotados, piletas de solución enriquecida y solución pobre, los cuales deberán ser restaurados mediante la aplicación de algún tratamiento correctivo antes del cierre de la mina.

2.2 Restauración

Los procesos industriales generan sustancias tóxicas que presentan un problema complejo y que constituyen un desafío para las empresas que generan residuos contaminantes. Aunque la solución de estos problemas ambientales es específica para cada industria, se observan algunos principios generales: incrementar la reutilización de las aguas residuales, controlar la contaminación y si es posible recuperar los subproductos en el punto mismo de su generación y disminuir los gastos de tratamiento, así como confinar en una laguna de desechos para mantener la contaminación en un nivel mínimo o para ahorrar en los costos de neutralización o restauración [2].

La restauración ambiental tiene como propósito eliminar, reducir o controlar los riesgos para la salud humana y para el ambiente en sitios contaminados. Los procesos de restauración ambiental tiene como objetivo reducir los contaminantes por debajo de los niveles normativos, a costos aceptables y la solución debe ser permanente [3].

En la década de los ochentas y noventas se trabajó intensamente en el desarrollo de tecnologías para eliminar tóxicos del ambiente. Inicialmente, la limpieza consistía en el traslado del material contaminado a otro lugar donde era confinado o se incineraba, alternativas que fueron rechazadas principalmente por los habitantes de las comunidades cercanas a las instalaciones de recepción y combustión [3].

Hasta ahora, se han desarrollado una variedad de procesos para restaurar sitios contaminados. En donde intervienen procesos físicos, químicos, biológicos o combinaciones de los mismos que permiten degradar, neutralizar y/o transformar las sustancias presentes a compuestos menos tóxicos o inertes [3].

Los procesos de restauración se han aplicado en aguas, suelos, aire y mantos acuíferos contaminados generalmente con sustancias de características indeseables, como: metales pesados, hidrocarburos y complejos químicos tóxicos.

La Tabla I de Apéndice A, muestra la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, en donde se indican los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

2.3 Sitios Contaminados con Cianuro

El término cianuro abarca los compuestos y complejos formados con el ión cianuro, es muy común y existen en una gran cantidad de formas y compuestos del cianuro, los hay muy tóxicos hasta los inertes. La forma del cianuro más común y también, la más tóxica es la del ácido cianhídrico (HCN); que es un gas muy volátil que se disipa para reaccionar con el ambiente y formar compuestos menos tóxicos e inertes [1].

Los residuos de cianuro se generan principalmente por industrias dedicadas al chapeado de metales, farmacéutica, fibras sintéticas, plásticos, gasificación, quemado del carbón, templado del acero, electrodeposición, en reacciones orgánicas, en la preparación de ácido clorhídrico y en la lixiviación de metales preciosos [2]. Las formas más comunes en que se puede encontrar el cianuro en la naturaleza se muestran en la Tabla II.

Tabla II. Clasificación del Cianuro y Compuestos del Cianuro en Soluciones Acuosas

Clasificación	Tipo de Compuesto
1. Cianuro Libre	CN, HCN
2. Compuestos Simples	
2.1 Solubles	NaCN, KCN, Ca(CN) ₂ , Hg(CN) ₂ ,
2.2 Insolubles	Zn(CN) ₂ , Cd (CN) ₂ , CuCN, Ni(CN) ₂ , AgCN
3. Complejos Débiles	Zn(CN) ₄ ²⁻ , Cd(CN) ₃ ⁻ , Cd(CN) ₄ ²⁻
4. Complejos Moderadamente Fuertes	Cu(CN) ₂ ⁻ , Cu(CN) ₃ ²⁻ , Ni(CN) ₄ ²⁻ , Ag(CN) ₂ ⁻
5. Complejos Fuertes	Fe(CN) ₆ ⁴⁻ , Co(CN) ₆ ⁴⁻ , Au(CN) ₂ ⁻ , Fe(CN) ₆ ³⁻

Durante los procesos de lixiviación en terreros para la recuperación de metales preciosos donde se utiliza cianuro como agente lixivante, se generan gran cantidad de compuestos muy tóxicos e inestables derivados del cianuro, que quedan en el mineral agotado y en las soluciones pobres. Estos compuestos, al ser liberados al ambiente sin un tratamiento previo causarían un impacto potencial en la calidad del agua y los mantos acuíferos, principalmente [1]. Por lo cual, se considera necesario restaurar las áreas contaminadas después de agotar un terrero o terminar un proceso de cianuración.

2.4 Degradación de Cianuro

Los métodos para degradar el cianuro se han venido desarrollando desde 1965 [1,2,3], con esto se han establecido diversas técnicas para restaurar los medios contaminados y los mecanismos de reacción para cada uno de los procesos de degradación de cianuro.

Un punto muy importante en la degradación del cianuro es conocer las reacciones que se llevan a cabo en forma natural y los factores que pueden afectarlas en el terrero agotado.

2.4.1 Principales mecanismos de degradación de cianuro en terreros agotados

Las principales reacciones de degradación que involucran al cianuro en los terreros de cianuración son hidrólisis y volatilización, formación de tiocianatos, hidrólisis y saponificación del cianuro, complejos simples del cianuro y complejos metálicos de cianuro, oxidación del ácido cianhídrico y cianuro libre, degradación aeróbica y anaeróbica de ácido cianhídrico. Estas reacciones dependen principalmente de factores como precipitaciones pluviales, mineralogía del terrero, pH, aereación y temperatura [27]. Estas reacciones se describen a continuación.

2.4.1.1 Hidrólisis y volatilización

La reacción de hidrólisis y volatilización está dada por la ecuación (2)

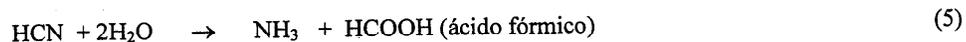
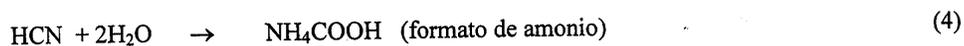


Esta reacción depende del pH. A pH de 9.36 el valor de la constante de disociación (pKa) y las concentraciones de ácido cianhídrico y de ión cianuro son iguales. A valores bajos de pH, la especie dominante es el ácido cianhídrico; a pH neutro se tiene el 99% de esta especie. Dado que la mayoría de los terreros trabaja a pH de 10.5, cuando estos son abandonados el valor del pH decrece con el tiempo debido a la neutralización causada por lluvia, produciéndose así el ácido cianhídrico. La producción de ácido cianhídrico ocasiona

pérdidas de cianuro en el terrero y ocurre principalmente en la parte superior del terrero, bajo condiciones oxidadas e insaturadas. La ecuación (2) describe el mecanismo de reacción de los métodos de degradación natural, mismos que serán descritos posteriormente [27].

2.4.1.2 Hidrólisis/saponificación del ácido cianhídrico

A medida que decrece el valor del pH, el ácido cianhídrico se puede hidrolizar para producir un formato, ácido fórmico o formato de amonio, de acuerdo a las siguientes reacciones.



El pH del sistema determina la cantidad formada de cada compuesto, a pH bajo se favorece la formación de ácido fórmico. Esta forma de hidrólisis recibe el nombre de saponificación. Una vez que se ha degradado el cianuro a ácido cianhídrico se dan estos tipos de reacciones en un proceso de cianuración [27].

2.4.1.3 Formación de tiocianatos

Los iones tiocianato (CNS^-) se pueden formar por la reacción entre el cianuro y cualquier especie del azufre, tales como los sulfuros, sulfuro de hidrógeno o tiosulfato, como se puede observar en las siguientes reacciones.



El tiocianato es una especie común de cianuro en un terrero que contenga minerales sulfurosos, y su formación depende más de las condiciones mineralógicas que del pH y Eh.

En las áreas oxidadas del terrero el sulfito (SO_3^{-2}) reacciona con el oxígeno para formar sulfatos. El tiocianato es relativamente estable, es el menos tóxico de los cianuros y su formación es una buena ruta para eliminarlo de los terreros. Sin embargo, si el terrero tiene un alto contenido de sulfuros, las condiciones ácidas pueden cambiar la geoquímica del cianuro [27].

2.4.1.4 Complejos simples del cianuro

Los más comunes son las sales binarias que forma el ión cianuro con ciertos metales. Estos compuestos, en soluciones se ionizan y producen cationes metálicos libres y iones cianuro, como se muestra en la ecuación (7)



En general, los compuestos de cianuro simple no son muy tóxicos, pero los cianuros de sodio, potasio, calcio y mercurio, se disocian fácilmente en solución y producen iones cianuro. A valores de pH menores de 9.36, el ión se hidroliza y se produce ácido cianhídrico, que es muy tóxico [27].

2.4.1.5 Complejos metálicos del cianuro

El ión cianuro puede reaccionar con metales y formar complejos como se muestra en las ecuación (8).



La toxicidad de los complejos metálicos se debe al igual que en los casos anteriores a la producción de HCN como resultado de una reacción de disociación ó hidrólisis. Además,

los cianuros de cobre y plata afectan la vida marina. El complejo de cianuro de hierro es bastante insoluble y puede destruirse por la acción de los rayos ultravioleta solares [27].

2.4.1.6 Oxidación del ácido cianhídrico y ion cianuro

Esta reacción se lleva a cabo en las partes superiores del terrero y la reacción para el ácido cianhídrico es la siguiente:



El ion cianuro (CN^-) requiere de un catalizador mineralógico, bacteriológico o fotoquímico (luz solar) para producir iones cianato:



El cianato de hidrógeno (HCNO) y el cianato (CNO^-) son mucho menos tóxicos que el ácido cianhídrico. El cianato de hidrógeno y el ion cianato se hidrolizan para formar amoníaco y dióxido de carbono, los cuales escapan del sistema en forma de gases como se indica en la siguiente reacción.



El amoníaco generado puede formar compuestos amoniacales o ser oxidado a nitrato, dependiendo del pH [27].

2.4.1.7 Degradación aeróbica del ácido cianhídrico

Se da en las partes del terrero que presentan condiciones aeróbicas, sólo si el mineral está oxidado. En algunos procesos biológicos se puede consumir ácido cianhídrico y generar cianato de hidrógeno, aunque este se hidroliza después a amoníaco y dióxido de carbono. Estos mecanismos de reacción se muestran a continuación.

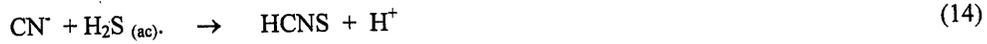


En este caso, la reacción es la misma producida en la oxidación de HCN y CN⁻ sólo que aquí se requiere una enzima [27].

2.4.1.8 Degradación anaeróbica

Este tipo de degradación se da en pequeñas porciones del terrero, y la condición para que se presente es que exista sulfuro de hidrógeno (HS⁻) o ácido sulfhídrico (H₂S). Las especies de azufre presentes dependen del pH. Si el pH es mayor a 7 esta presente el HS⁻. En

caso contrario, si el pH es menor a 7 habrá más ácido sulfhídrico . La formación de tiocianato de hidrógeno (HCNS) mediante la degradación anaeróbica se muestra en las siguientes reacciones .



Después el HCNS se hidroliza para formar el amoníaco, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono.

Las reacciones anteriores describen algunos mecanismos por medio de los cuales el cianuro puede degradarse. La mayor parte de los métodos de detoxificación que se han desarrollado se basan en estos mecanismos de reacción [27].

2.5 Métodos para Degradar Cianuro

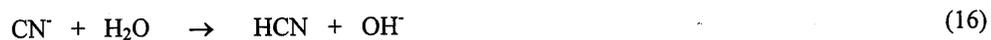
Para realizar un buen tratamiento de cianuro residual de los terreros agotados, es importante considerar los procesos de degradación natural y las características del mineral. Después se puede seleccionar un método de restauración en uso o propuesto.

Actualmente existen métodos que emplean técnicas de degradación de cianuro mediante el uso de tratamientos naturales, químicos y biológicos.

2.5.1 Degradación natural

La detoxificación natural de los terreros ya lixiviados, pueden ser de dos formas: el abandono pasivo y el lavado con agua. Estos métodos se llevan a cabo mediante una reacción de hidrolización y el desprendimiento de ácido cianhídrico [1,5].

La siguiente ecuación describe el mecanismo de reacción para la degradación natural.



En esta primer alternativa, la degradación del cianuro se lleva a cabo al dejar abandonado el terrero ya agotado sobre el relleno, por años expuesto a la luz del sol y a la atmósfera. Esta estrategia es más apropiada para lugares altos y temperaturas elevadas [1,5].

La detoxificación natural es relativamente lenta, pero puede acelerarse por las fuerzas de la naturaleza. El método más apropiado de realizar tal aceleración sin recurrir a tratamientos, sería un período de lluvias o lavados con agua a través del mineral. Aunque la lluvia tiene baja capacidad de neutralización, la circulación de ésta a través del mineral agotado disminuye el pH lo suficiente para convertir el cianuro libre a HCN, el cual se pierde

en la atmósfera por volatilización [1,5]. El mecanismo de reacción para el lavado con agua se describe por la ecuación (16).

La mayor preocupación de detoxificar el terrero ya agotado, es generar grandes volúmenes de soluciones de lavado parcialmente contaminadas. Estas soluciones no son aceptables para descargar al ambiente, ni para uso en un nuevo tratamiento. Además, un período prolongado de lluvias puede provocar inundaciones y derrames de soluciones de cianuro. Estas desventajas obligan a considerar otras alternativas [1,5].

2.5.2 Degradación química

El objetivo de la detoxificación química del cianuro en el mineral agotado, es lograr bajos niveles de residuos de cianuro en los efluentes desde el terrero [5], mediante la aplicación de sustancias químicas con propiedades oxidantes y lograr las siguientes consideraciones operacionales: destruir rápidamente el cianuro, minimizar los volúmenes de los efluentes, evitar la generación de compuestos o derivados metaestables del cianuro y finalmente, limitar la construcción de procesos químicos adversos o sus productos de degradación/reacciones en los efluentes [1,10].

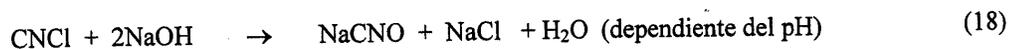
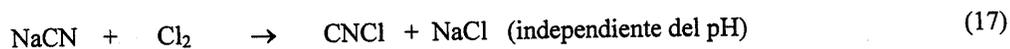
Los tratamientos químicos en uso son: cloración alcalina, oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2), oxidación con dióxido de azufre (SO_2) – aire, conocido también como

proceso INCO, acidificación y proceso de sulfuro de hierro. Los primeros tres tratamientos son los más empleados a nivel industrial [1].

2.5.2.1 Clorinación alcalina

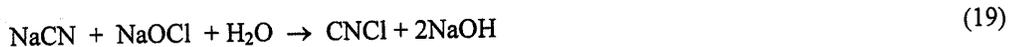
En este proceso, el cianuro se oxida con cloro (Cl_2) o hipoclorito generalmente en condiciones alcalinas.

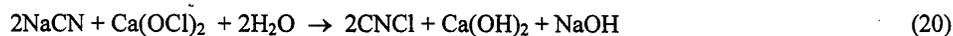
Las principales reacciones involucradas en la utilización de cloro son las siguientes:



El producto de la segunda reacción, la cual es más rápida entre un pH de 10 a 11 es cianato que reacciona lentamente con Cl_2 en una segunda etapa, para formar bicarbonato de sodio (Na_2CO_3), cloruro de sodio (NaCl) y nitrógeno (N_2) [1].

El mecanismo de reacción cuando se emplea hipoclorito se describe mediante las siguientes ecuaciones:





2.5.2.2 Oxidación con peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) oxida al cianuro libre y complejos débiles en un sólo paso, dando productos no tóxicos, como se muestra en la ecuación (22).



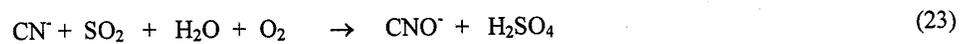
El cianuro de hidrógeno es hidrolizado a amoníaco y carbonato, oxidándose la amoníaco a nitrato [1].

2.5.2.3 Oxidación con dióxido de azufre – aire

El proceso fue desarrollado en 1982 [5]. Se emplea una combinación de dióxido de azufre (SO_2) – aire, la cantidad del dióxido de azufre oscila en 2 y 5% en presencia de un catalizador de cobre. El proceso involucra la oxidación de complejos metálicos y cianuro libre a cianato a pH de 8 a 10 con excepción del cianuro de hierro [1].

El dióxido de azufre se puede agregar en forma líquida, sulfito de sodio, metasulfito de amonio gaseoso proveniente de un proceso de fundición y se utiliza cal para mantener el pH.

En la ecuación (23), se describe el mecanismo de reacción para oxidar al cianuro con SO_2 y aire [1,9].



Debido a las condiciones de operación el fierro se une al cianuro, el cual es removido por precipitación como una sal de ferrocianuro de cobre. Esta reacción se muestra en la ecuación (24).



Los otros metales base son eliminados como hidróxidos.

La aplicación de métodos naturales y químicos producen compuestos con menor grado de toxicidad que permanecen en el medio contaminado hasta degradarse después de algunos años. Una alternativa a estos procesos son los tratamientos biológico.

2.5.3 Degradación biológica

Los residuos generados durante la cianuración se deben tratar antes de su descarga, el uso de tratamientos biocorrectivos es una excelente alternativa para resolver estos problemas ambientales. En la industria minera son usados con más frecuencia los métodos químicos para destruir cianuro. Sin embargo, las investigaciones sobre la aplicación de tratamientos biocorrectivos en estas áreas se han venido incrementando a nivel industrial, debido a las ventajas que tienen para biodegradar los residuos de cianuración.

Los tratamientos biocorrectivos o biodegradación consisten en el uso productivo de microorganismos naturales como levaduras, hongos y bacterias para descomponer o degradar compuestos y residuos peligrosos, en sustancias menos tóxicas y en algunos casos lograr la destrucción del contaminante [4].

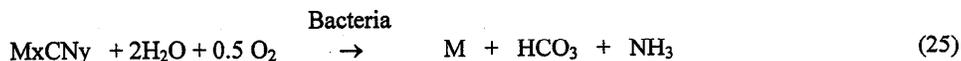
Las bacterias se aplican en los procesos de biorestauración de medios contaminados con cianuro, aunque este sea un inhibidor metabólico de algunos microorganismos, debido a que el cianuro es producido naturalmente por una gran variedad de plantas, hongos y bacterias [8]. Esto permite el desarrollo de un gran número de sistemas microbiológicos viables que metabolizan el cianuro y lo degradan.

Entre las bacterias que tienen la capacidad para biodegradar el cianuro se incluyen especies de los géneros *Actinomyces*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Pseudomonas* y *Thiobacillus* [5,6]. Las características generales de estas bacterias son: bacilos no

fermentadores, con metabolismo oxidativo, no sacarolítico y quimilitrotróficos [15]. Las bacterias quimilitrotróficas se nutren de materia inorgánica y son las más eficientes para biodegradar el cianuro de medios contaminados como los terreros de cianuración [11].

Existen una variedad de procesos biológicos disponibles para biodegradar el cianuro a pesar de ser tóxico en algunas de sus formas. Las principales reacciones enzimáticas que llevan a cabo las bacterias para la destrucción del cianuro son : sustitución - adición, hidrólisis, reducción y oxidación. De los mecanismos para biodegradar cianuro, la vía oxidativa es la más factible para aplicarse a nivel industrial [8].

Los mecanismos de oxidación biológica del cianuro fueron descritos en 1965 por Howe y posteriormente estos mecanismos fueron revisados por Knowles en 1976. El mecanismo de oxidación del cianuro utilizando bacterias descrito por Howe se muestra en las siguientes reacciones [5, 12, 16, 9].



En las ecuaciones 25, 26 y 27, se muestra el proceso de oxidación biológica de cianuro, en cual se pone en contacto la bacteria con el cianuro y lo metaboliza para oxidarlo a carbonatos y amoníaco. Después, el amoníaco reacciona para formar nitratos, nitritos y finalmente el nitrógeno, el cual es empleado por las mismas bacterias como nutriente.

El tratamiento biocorrectivo para un sistema de cianuración consiste en la inoculación de las bacterias, al terreno agotado o bien estimular las bacterias nativas del mismo con nutrientes y componentes orgánicos extras, los cuales sirven como sustratos en el crecimiento microbiológico [1]. En algunos casos se han aislados microorganismos específicos para degradar y asimilar el cianuro y en otros se han empleado cepas de colección las cuales provienen de laboratorios especializados como American Type Culture Collection (ATCC). Lo más recomendable es añadir una población de bacterias nativas para aumentar la efectividad del proceso y después del biotratamiento debe mantenerse la concentración normal retroalimentando nutrientes. Este proceso se puede aplicar en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

En este proceso se deben considerar las reacciones enzimáticas, requerimiento de cofactores, viabilidad de las células en el tratamiento de cianuro, disponibilidad de cianuro para ser utilizado y los productos de reacciones, así como las reacciones adicionales a las que pueden estar sujetas.

Los tratamientos de biodegradación se pueden emplear para resolver problemas ambientales en una gran variedad de formas y se han aplicado en medios contaminados como

suelos, mantos acuíferos y sedimentos contaminados principalmente con compuestos orgánicos e inorgánicos. Estos métodos de biodegradación son particularmente aplicables en la eliminación de cianuro residual presente en aguas de desecho y minerales agotados.

Los primeros reportes de degradación de cianuro residual, mediante tratamientos biocorrectivos en medios lodosos o suelos aparecieron hace aproximadamente un cuarto de siglo [12].

Alrededor de los ochentas, los procesos biocorrectivos se consideraron de interés público al desarrollarse nuevas tecnologías. Con todo esto, también se observa que en el tratamiento de las aguas generadas en los procesos mineros mediante una biorestauración efectiva, algunos microorganismos pueden degradar tiocianatos y complejos metálicos de cianuro [3,12].

En 1984, la compañía minera Homestake Mine en Lead, Dakota del Sur, en Estados Unidos, aplicó una mezcla de bacterias del género *Pseudomonas* para la destrucción de cianuro en aguas de descarga[12].

En 1991, Lichfield mostró cinco formas generales para llevar a cabo los tratamientos biocorrectivos: bioreactores, tratamiento en fase sólida, mezclado, suelos de cultivo y tratamiento in situ. En estos cinco bioprocesos se cubren todas las variantes de los procesos biocorrectivos [3].

De los tratamientos citados, las medidas de biocorrectivas in situ se consideran unas de las mejores alternativas para el tratamiento de cianuro residual en mineral agotado a nivel industrial.

Los biotratamiento in situ no requiere de excavaciones, el costo del tratamiento es más económico en comparación con los otros métodos y no requiere tecnología complicada. Esto lo hace una alternativa apropiada para aplicarse en la degradación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, como los residuos de cianuro generados durante los procesos de recuperación de metales preciosos.

Los métodos biocorrectivos para la destrucción de cianuro tiene las siguientes ventajas: el tratamiento puede ser in situ, el costo del tratamiento es bajo comparado con los métodos de tratamiento químico, el tiempo de tratamiento es corto y sobre todo, la degradación del cianuro es completa y los productos finales de biodegradación son: amoníaco (NH_3), dióxido de carbono (CO_2) y agua.

En la Figura 2 se muestra el proceso de biodegradación de cianuro por acción de las bacterias.

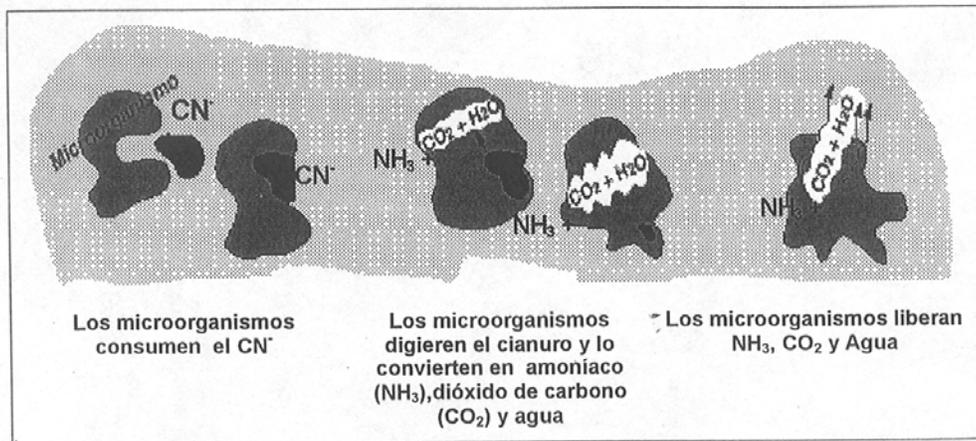


Figura 2. Esquema de Biodegradación Aeróbica del Cianuro

2.5.3.1 Biodegradación de cianuro aplicando *Pseudomonas* y *Bacillus*

Las especies de los géneros *Pseudomonas* y *Bacillus* son las más comunes en los terreros. Estas bacterias presentan características y propiedades que muestran resultados viables y apropiados para aplicarse en la biodegradación de cianuro, además existen antecedentes de su aplicación.

En 1975, se utilizó un microorganismo llamado *Bacillus estearothermophilus*, para degradar cianuro en aguas de descarga [7].

En 1984, se llevó a cabo uno de los más grandes avances en cuanto a la aplicación de tratamientos biocorrectivos en la degradación de cianuro en aguas de desecho. Esta investigación fue realizada por la empresa Homestake Mining Company [12]. En la cual se usaron bioreactores con una mezcla de bacterias inmovilizadas del género *Pseudomonas*.

En 1993 R.H. Lien y P.B. Altringer, realizaron una investigación en la que utilizaron *Pseudomonas pseudoalcaligenes* para degradar cianuro en aguas residuales y obtuvieron resultados satisfactorios [10].

En 1993, G.R.V. Babu, J.H. Wolfram y K. D. Chatpatwala, presentaron un trabajo de degradación de cianuro en aguas residuales donde se aplicó *Pseudomona putida* aislada de los mismos efluentes [13].

De todas las investigaciones realizadas anteriormente, se han establecido los mecanismos de biodegradación de cianuro y se han desarrollado algunas técnicas para su tratamiento. La metodología empleada en estas investigaciones pueden ser aplicadas para la restauración de terreros agotados. Sin embargo, es necesario hacer investigaciones sobre la aplicación específica de estos procesos, en el tratamiento de residuos de cianuración contenidos en los terrero agotados y las soluciones acuosas. También se deben hacer pruebas de biodegradación con bacterias aisladas de sistema de cianuración no probadas y con combinaciones de estas, para hacer más eficiente el proceso biocorrectivo.