



(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 309 987**

(51) Int. Cl.:

C01G 7/00 (2006.01)

C01G 28/00 (2006.01)

C22B 1/00 (2006.01)

C22B 1/11 (2006.01)

C22B 3/00 (2006.01)

C22B 3/04 (2006.01)

B01D 11/00 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(96) Número de solicitud europea: **96918993 .5**

(96) Fecha de presentación : **14.05.1996**

(97) Número de publicación de la solicitud: **0885170**

(97) Fecha de publicación de la solicitud: **23.12.1998**

(54) Título: **Procedimiento de biotratamiento de materiales sólidos en un biorreactor de superficie no agitado.**

(30) Prioridad: **02.06.1995 US 459621**
07.06.1995 US 476444
18.01.1996 US 588589
22.04.1996 US 636117

(45) Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2008

(45) Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2008

(73) Titular/es: **GeoBiotics, L.L.C.**
12345 West Alameda Parkway, Suite 310
Lakewood, Colorado 80228, US

(72) Inventor/es: **Kohr, William, J.**

(74) Agente: **Isern Jara, Jorge**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de biotratamiento de materiales sólidos en un biorreactor de superficie no agitado.

5 Antecedentes de la invención

Sector de la invención

La presente invención se refiere al biotratamiento de materiales sólidos. En particular, la presente invención se refiere al biotratamiento *ex situ* de materiales sólidos en un procedimiento aeróbico para degradar un compuesto no deseado presente en el material sólido.

Descripción de la técnica anterior

Los procedimientos de tratamiento biológico están encontrando aplicación a través de la industria. Dichos procedimientos se han usado en el tratamiento de aguas residuales, regeneración de desechos peligrosos, desulfurización de carbón mineral y biooxidación de minerales de sulfuro refractarios.

Se puede emplear una variedad de procedimientos en el tratamiento biológico de materiales sólidos, incluyendo tratamiento *in situ*, tratamiento del suelo, formación de composta o abono orgánico, tratamiento en pilas y tanques de batido o agitación. En el tratamiento biológico *ex situ* de materiales sólidos, se usa algún tipo de biorreactor para llevar a cabo el biotratamiento. Un biorreactor se puede definir como un recipiente o cuerpo en el cual las reacciones biológicas son llevadas a cabo mediante microorganismos, o enzimas que éstos producen, contenidos dentro del reactor mismo. El principal objetivo en el diseño de un biorreactor es generar un ambiente óptimo para que el procedimiento biológico deseado tenga lugar a gran escala y a escala económica.

Cuando un material sólido está siendo biotratado, las reacciones biológicas deseadas típicamente implican la degradación, ya sea directa o indirectamente, de algún compuesto no deseado presente en el material sólido. Para lograr esto económicamente, el biorreactor necesita reducir la concentración de compuesto no deseado a un nivel aceptable en una cantidad aceptable (en términos de velocidad de flujo) de material sólido que va a ser tratado.

En general, los procesos de biotratamiento son lentos y si son aeróbicos, requieren grandes cantidades de oxígeno para que el microorganismo aeróbico metabolice, ya sea directa o indirectamente, el compuesto no deseado. Por lo tanto, la transferencia de oxígeno es típicamente un problema mayor para las amplias clases de procedimientos de tratamiento biológico aeróbico disponibles. Los diseños de biorreactor aeróbico actuales intentan asegurar no sólo que los microorganismos que se están usando tengan acceso al material que va a ser biooxidado o metabolizado, sino también que todas las áreas del biorreactor, tengan un suministro adecuado de oxígeno y nutrientes, así como de mantener el pH y temperatura correctos, para que proceda el procedimiento biológico.

Los biorreactores de tanque agitados se usan en muchos tipos de procesos biológicos aeróbicos, incluyendo biooxidación de minerales de oro de sulfuro refractarios y regeneración biológico de suelos contaminados. Los biorreactores de tanque agitados proveen un contacto muy bueno entre el biolixiviador y el material sólido que se va a tratar. Además, los procedimientos de tanque agitado típicamente tienen condiciones de oxígeno favorables debido a que el tanque es rociado con aire u oxígeno. Sin embargo, e incluso en biorreactores de tanque agitado en donde el oxígeno se provee rociando aire u oxígeno, la solubilidad baja del oxígeno en agua (10 ppm) requiere una interfase de gas-agua grande. Esto generalmente se logra con propulsores y gastos de energía importantes. Los costos de energía elevados asociados con la agitación y aeración del reactor hacen que este tipo de biorreactor sea principalmente aplicable a bioprocedimientos que llevan a un punto final deseado de una forma relativamente rápida, típicamente en menos de una semana. Para procesos biológicos más lentos, un procedimiento correspondiente a un proceso intermitente generalmente estático, a gran escala, de bajo costo de energía es la mejor solución. Sin embargo, la meta de proveer las bacterias u otros microorganismos con un ambiente óptimo es aún de primordial importancia.

Existen tres tipos principales de biorreactores intermitentes estáticos usados para tratar biológicamente suelos contaminados con compuestos orgánicos tóxicos. Uno de estos métodos es el tratamiento o control de suelos. Este es un tratamiento de grado anterior de suelo contaminado en un espacio abierto grande. El suelo, se disemina sobre un área revestida de poliuretano de alta densidad generalmente cubierta con arena para permitir el drenaje. Se puede introducir aire por medio de tubos perforados y desagando el suelo una a dos veces a la semana. Este método se ha implementado ampliamente en sitios contaminados con compuesto aromático polinuclear (PNA) y pentaclorofenol (PCP). Una limitación de este procedimiento es que es necesaria un área grande, debido a que el suelo se disemina relativamente en una capa delgada para asegurar el flujo de aire adecuado. Este método también requiere el desagüe y puede limitarse en aire si la capa de suelo es demasiado gruesa o no se mezcla bien.

Otra tecnología usada en el remedio biológico de suelo contaminado es la formación de composta (abono orgánico). La composta se hace de suelo contaminado y varios ingredientes necesarios para dar soporte a la compostura tales como viruta de madera, paja o estiercol. Estos ingredientes hacen que aumente la cantidad de compuestos orgánicos biodegradables, mejora estructuralmente la matriz de la composta reduciendo el peso de la masa e incrementando los huecos de aire, e incrementando la cantidad de nutrientes inorgánicos en la mezcla. La formación de composta se puede llevar a cabo en un recipiente con flujo de aire forzado o en las pilas abiertas que son aireadas por medio

de tubos de aire o desagüando. Una desventaja a la adición de los ingredientes orgánicos es que su biodegradación genera calor y requiere oxígeno. La formación de composta generalmente se realiza en un modo intermitente y se usa una porción de la composta para inocular la siguiente composta. Este procedimiento se ha usado efectivamente en muchos tipos de contaminantes orgánicos incluyendo combustible diésel, 2,4,6, trinitrotolueno (TNT), hidrocarburos poliaromáticos (PAH), benceno y xileno.

La regeneración biológica en pilas es otro procedimiento biológico estático usado en la regeneración biológica de suelo contaminado excavado. En este procedimiento, el suelo se coloca en pilas de 2,4 a 3,7 metros de altura sobre un área revestida. Para mejorar el flujo de aire, el aire puede ser introducido mediante tubos perforados. En tales circunstancias, los tubos se colocan aproximadamente sobre un lecho de aproximadamente 31 centímetros del suelo contaminado en intervalos regulares. Los tubos después son típicamente cubiertos con una capa de grava para protegerlos del equipo pesado. El suelo excavado después se vacía en una pila de 2,4 a 3,7 metros de altura sobre la parte superior de la grava. La humedad se mantiene con un sistema de riego. El suelo puede necesitar fertilizante o cal para ajustar el pH y puede necesitar arena para incrementar la porosidad. Este procedimiento es de bajo costo y por lo tanto es aplicable a procedimientos biológicos lentos. Sin embargo, este procedimiento puede ser demasiado lento si la pila se encuentra limitada en cuanto a aire debido a la compactación del suelo durante o después de la construcción de la pila.

Así, por lo tanto, el acceso de aire y líquido siguen siendo consideraciones importantes limitativas de la tasa productiva en bioprocedimientos discontinuos o intermitentes estáticos usados para la regeneración de suelo, tales como regeneraciones biológicas en pilas, formación de composta y tratamiento de suelos. El flujo de aire se mejora en procedimientos existentes al grado posible introduciendo aire a través de tuberías de aire perforando o labrando el suelo. Sin embargo, cualquier constricción de flujo dentro de un biorreactor interferirá con la eficiencia del procedimiento. También, si las partes del suelo contaminado no se exponen a bacterias u otros nutrientes así como oxígeno, el bioprocedimiento global será lento o no procederá a completarse. De manera similar, en el caso de biooxidación en pilas de carbón mineral y de mineral de oro de sulfuro refractario, la biooxidación de los sulfuros se lleva a cabo eficientemente por las bacterias sólo cuando los sulfuros metálicos son expuestos a bacterias, agua, nutrientes y aire. Si los sulfuros son enterrados en el mineral o en las piezas sólidas de carbón mineral, la biooxidación no procederá. Además, si el flujo de aire o líquido en la pila se limita, la biooxidación también se limitará. Consecuentemente, existe la necesidad de un diseño de biorreactor mejorado que permita el biotratamiento de materiales sólidos con flujo de aire y fluido mejorados en todo el biorreactor y el material sólido que se va a tratar.

El uso de bacterias acidófilas, autotróficas, para biooxidar minerales de sulfuro en minerales de sulfuro refractarios es un tratamiento biológico que ha obtenido un vigor particular en los últimos 10 a 20 años.

El oro es uno de los metales más raros en la tierra. Los minerales de oro se pueden categorizar en dos tipos: de molienda libre y refractarios. Los minerales de molienda libre son aquellos que pueden ser procesados mediante técnicas de gravedad simples o cianuración directa. Los minerales refractarios, por otra parte, no son dóciles para tratamiento de cianuración convencional. Los depósitos que contienen oro se consideran refractarios si no pueden ser procesados económicamente usando técnicas convencionales de lixiviación con cianuro, porque insuficiente oro es solubilizado. Dichos minerales, a menudo, son refractarios, debido a su contenido excesivo de sulfuro metálicos (v. gr., pirita y arsenopirita) y/o materia carbonácea orgánica.

Un gran número de minerales refractarios consiste en minerales con un metal precioso tal como oro ocluido en partículas de sulfuro de hierro o partículas de sulfuro de otro metal. Las partículas de sulfuro de hierro consisten principalmente de pirita y arsenopirita. Los valores del metal precioso son frecuentemente ocluidos dentro del mineral de sulfuro. Por ejemplo, el oro, a menudo, existe como partículas submicroscópicas finamente diseminadas dentro de un hospedero de sulfuro refractario de pirita o arsenopirita. Si el oro u otro metal precioso permanece ocluido dentro del hospedero de sulfuro, incluso después de molerse, cuando los sulfuros deben ser oxidados para liberar los valores de metal precioso encapsulado y hacerlos dóciles (convertirlos en tratables) a un agente lixivador (o lixivante); entonces, el procedimiento de oxidación de sulfuro reduce la naturaleza refractaria del mineral.

Un gran número de procedimientos para oxidar los minerales de sulfuro o para liberar los valores de metal precioso son bien conocidos en la técnica. Estos métodos generalmente se descomponen en dos tipos: operaciones de molienda y operaciones en pila. Las operaciones de molienda son procedimientos típicamente costosos que tienen altos costos de operación y de capital. Como resultado, aun cuando la velocidad de recuperación global es típicamente mayor para el procedimiento de tipo de molienda, las operaciones de molienda típicamente no son aplicables a minerales de grado bajo, es decir minerales que tienen una concentración de oro menor de aproximadamente 2,4 g/ton. Las operaciones de molienda son incluso menos aplicables a minerales que tienen una concentración de oro tan baja como 0,68 g/ton.

Dos métodos bien conocidos para oxidar sulfuro y operaciones de tipo de molienda son oxidación bajo presión en una autoclave y calcinación.

La oxidación de sulfuros en minerales de sulfuro refractarios también se pueden lograr usando microorganismos acidófilos, autotróficos, tales como las especies *Thiobacillus ferrooxidans*, *Sulfolobus*, *Acidianus* y microorganismos termófilos facultativos en un pretratamiento microbiano. Estos microorganismos utilizan la oxidación de minerales de sulfuro como una fuente de energía durante el metabolismo. Durante el procedimiento de oxidación, los microorganismos anteriores oxidan las partículas de sulfuro de hierro para producir la solubilización de hierro, como ión férrico, y sulfuro, tal como ion sulfato.

Si el mineral refractario que se está procesando es un mineral de sulfuro carbonáceo, entonces se pueden requerir etapas de procesamiento adicionales después del pretratamiento microbiano para evitar el denominado efecto de frotación (efecto “preg-robbing”) del complejo de aurocianuro u otros complejos lixiviantes de metales preciosos por la materia carbonácea nativa bajo tratamiento con un lixiviante.

Tal como se emplea aquí, el mineral de sulfuro o mineral de sulfuro refractario se entenderá que comprende también los materiales de sulfuro carbonáceos refractarios.

Un método conocido de lixiviación biológica de minerales de sulfuro carbonáceo se describe en la Patente de estadounidense U.S. No. 4,729,788, expedida el 8 de marzo de 1988, que se incorpora aquí por referencia. De acuerdo con el procedimiento descrito, las bacterias termofílicas, tales como *Sulfolobus* y las bacterias facultativas-termofílicas, se usan para oxidar los constituyentes del sulfuro del mineral. El mineral biolixiviado, se trata, después, con un agente preformador (de supresión de flujo) para inhibir el grado de propensión a frotación (efecto preg-robbing) del componente carbonáceo del mineral. Los metales preciosos, se extraen, después, del mineral usando un lixivador de cianuro o tiourea convencional.

Otro método conocido de lixiviación biológica de minerales de sulfuro carbonáceo se describe en la Patente estadounidense U.S. No. 5,127,942, expedida el 7 de julio de 1992, que se incorpora aquí por referencia. De acuerdo con este método, el mineral es sometido a un lixivador biológico oxidativo para oxidar el componente de sulfuro del mineral y liberar los valores del metal precioso. El mineral, después, se inocula con un consorcio de bacterias en presencia de nutrientes para promover así el crecimiento del consorcio bacteriano, el consorcio bacteriano siendo caracterizado por la propiedad de desactivar el grado de propensión a frotación de la materia carbonácea en el mineral. En otras palabras, el consorcio bacteriano funciona como un agente preformador (de suspensión de flujo) biológico. Después de tratarse con el consorcio microbiano capaz de desactivar el carbono absorbedor de metal precioso, el mineral, después, es lixiviado con un lixivador apropiado para producir la disolución del metal precioso en el mineral.

La oxidación de minerales de sulfuro refractario usando microorganismos, o como a menudo se le hace referencia, la biooxidación, se puede lograr en un procedimiento de molienda o un procedimiento en pila. En comparación con la oxidación a presión y calcinación, los procedimientos de biooxidación son más simples de operar, requieren menos capital y tienen costos de operación más bajos. De hecho, la biooxidación, se escoge a menudo como el procedimiento para oxidar minerales de sulfuro en minerales de sulfuro refractarios debido a que es económicamente favorable sobre otros medios para oxidar el mineral. Sin embargo, debido a las velocidades de oxidación más lentas asociadas con microorganismos cuando se comparan con medios químicos y mecánicos para oxidar minerales refractarios de sulfuro, la biooxidación es a menudo el paso limitante del procedimiento de minería.

Un procedimiento de biooxidación de tipo de molienda implica la trituración de mineral seguida de tratamiento de una suspensión del mineral en un biorreactor agitado en donde los microorganismos pueden usar los sulfuros finamente molidos como una fuente de energía. Dicho procedimiento de molienda se usó a escala comercial en la mina Tonking Spring. Sin embargo, la industria minera ha considerado generalmente la operación de biooxidación de Tonkin Springs como un fracaso. Un segundo procedimiento de tipo de molienda implica la separación de sulfuros que tienen metal precioso del mineral usando tecnologías de concentración de sulfuro convencionales, tales como la flotación y, después, de oxidación de los sulfuros en un biorreactor agitado para aliviar su naturaleza refractaria. Las operaciones comerciales de este tipo se usan en África, América del Sur y Australia.

La biooxidación en un procedimiento en pilas típicamente incluye la oxidación de una pila con partículas de mineral de sulfuro refractario trituradas y después inocular la pila con un microorganismo capaz de biooxidar los minerales de sulfuro en el mineral. Después de que la biooxidación ha llegado a un punto final deseado, la pila es drenada y lavada mediante lavado a chorro repetido. Los valores de metal precioso liberados después son fáciles de lixiviar con lixivador adecuado.

Típicamente, los minerales que contienen metal precioso son lixiviados con cianuro porque es el lixivador o lixivante más eficiente para la recuperación de los valores de metal precioso del mineral. Sin embargo, si se usa cianuro como el lixivante, la pila primero debe ser neutralizada.

Puesto que la biooxidación ocurre a un pH ácido bajo mientras que el procesamiento de cianuro puede ocurrir a un pH básico alto, la biooxidación en pila seguido de procesamiento con cianuro convencional es inherentemente un procedimiento de dos pasos. Como resultado, opciones de procedimiento que utilizan biooxidación en pila deben separar los dos pasos del procedimiento. Esto se hace convencionalmente separando los pasos temporalmente. Por ejemplo, en un procedimiento de biooxidación en pila de un mineral de oro de sulfuro refractario, la pila primero es biooxidada y después enjuagada, neutralizada y tratada con cianuro. Para lograr esto económicamente y prácticamente, la mayoría de las operaciones de biooxidación en pila se usan una almohadilla de pila permanente en una de varias configuraciones con mineral o sin mineral.

De los diversos procedimientos de biooxidación disponibles, la biooxidación en pila tiene los costos de operación y capital más bajos. Esto hace a los procedimientos de biooxidación en pila particularmente aplicables a minerales de tipo de grado y desecho bajos, es decir minerales que tienen una concentración de oro (o un valor de metal precioso equivalente) menor que aproximadamente 2,4 g/ton. Sin embargo, la biooxidación en pila tiene una cinética muy lenta en comparación con los procedimientos de biooxidación de molienda. La biooxidación en pila típicamente requiere

muchos meses para oxidar suficientemente los minerales de sulfuro en el mineral para permitir que los valores de oro u otros metales preciosos sean recuperados en cantidades suficientes mediante un subsiguiente lixiviado de cianuro, para el procedimiento que va a considerarse como económico. Por lo tanto, las operaciones de biooxidación se limitan por el tiempo requerido para que ocurra una suficiente biooxidación para permitir la recuperación económica de oro.

5 Mientras más largo sea el tiempo requerido para la biooxidación, mayores serán las instalaciones de almohadilla permanentes y mayor será la inversión de capital necesaria. En sitios de minas en donde la cantidad de suelo adecuado para construcción de almohadillas de pila es limitado, el tamaño de la almohadilla permanente puede convertirse en un factor limitante en la cantidad de mineral procesado en el mina y por lo tanto la rentabilidad de la mina. En tales circunstancias, las condiciones limitantes de velocidad del procedimiento de biooxidación se vuelven aun más importantes.

10 Las condiciones de limitación de velocidad del procedimiento de biooxidación en mina incluyen acceso de inoculante, acceso de nutrientes, acceso de aire u oxígeno, acumulación de toxinas y acceso de dióxido de carbono, que se requieren para hacer el procedimiento más eficiente y por lo tanto una opción de tratamiento atractiva. Además, para la biooxidación, los tiempos de inducción referentes a los biooxidantes, los ciclos de crecimiento, las actividades biocidas, la viabilidad de las bacterias y similares son consideraciones importantes porque las variables tales como acceso, tamaño de partículas, establecimiento, compactación y similares son económicamente irreversibles una vez que la pila se ha construido, es decir, debido a que las pilas no se pueden regenerar una vez formadas, excepto sobre una base limitada.

20 Los minerales que tienen un alto contenido de arcilla y/o polvos finos son especialmente problemáticos cuando se procesan en un procedimiento de lixiviación en pila o biooxidación en pila. La razón de esto es que la arcilla y/o los polvos finos pueden migrar a través de la pila y canales de conexión de flujo de aire y líquido, dando por resultado pudelado; canalización; agotamiento de nutrientes, dióxido de carbono u oxígeno; distribución irregular de biooxidante, y similares. Como resultado, grandes áreas de la pila pueden cubrirse y ser ineffectivamente lixiviadas. Este es un problema común en la lixiviación de cianuro y ha conducido a procedimientos de aglomeración de partículas con cemento para lixiviación de cianuro a pH alto y con polímeros para lixiviación biológica a pH bajo. Los auxiliares de aglomerados de polímeros también se pueden usar en ambiente de pH alto, que por costumbre se usan para lixiviar los metales preciosos, seguido de lixiviación biológica oxidativa de los sulfuros hierro en el mineral.

30 La biooxidación de minerales de sulfuro refractarios es especialmente sensible a canales de percolación bloqueados por material de arcilla suelta y polvos finos debido a que las bacterias necesitan grandes cantidades de aire u oxígeno para crecer y biooxidar las partículas de sulfuro de hierro en el mineral. El flujo de aire también es importante para disipar calor generado por la reacción de biooxidación exotérmica, ya que el calor excesivo puede matar a las bacterias en crecimiento en una pila grande, deficientemente ventilada.

40 Los procedimientos descritos en la Patente estadounidense U.S. No. 5,246,486, expedida el 21 de septiembre de 1993, y en la Patente estadounidense U.S. No. 5,431,717, expedida el 11 de julio de 1995 a William Kohr, ambas incorporadas aquí por referencia, están dirigidas a incrementar la eficacia del procedimiento de biooxidación en pila asegurando un buen flujo de fluido (tanto de gas como de líquido) en toda la pila.

Minerales que son bajos en sulfuro o pirita, o minerales que son altos en materiales consumidores de ácido tales como carbonato de calcio u otros carbonatos, también pueden ser problemáticos cuando se procesan en una biooxidación en pila. La razón de esto es que el ácido generado por estos minerales bajos en pirita es insuficiente para mantener un pH bajo y una concentración de hierro alta necesaria para el crecimiento de las bacterias.

50 El inventario de la solución y el control de la solución también posee consideraciones limitantes de velocidad importantes para procedimientos de biooxidación en pila. La solución drenada de la pila de biooxidación será ácida y contendrá bacterias y iones férricos. Por lo tanto, esta solución se puede usar ventajosamente en la aglomeración de un nuevo mineral o recirculándola a la parte superior de la pila. Sin embargo, los materiales tóxicos e inhibidores pueden acumularse en esta solución. Por ejemplo, los iones férricos, que generalmente son un auxiliar útil en la lixiviación de pirita, son inhibidores de crecimiento bacteriano cuando su concentración excede aproximadamente en 30 g/l. Otros metales que retardan el procedimiento de biooxidación también se pueden acumular en esta solución. Dichos metales que a menudo se encuentran en minerales de sulfuro refractarios incluyen arsénico, antimonio, cadmio, plomo, mercurio y molibdeno. Otros metales tóxicos, subproductos de biooxidación, sales disueltas y material bacterianamente producido, también pueden ser inhibidores de la tasa de biooxidación. Cuando estos materiales inhibidores se acumulan en la solución a un nivel suficiente, la recirculación de la solución se vuelve perjudicial para la tasa o velocidad a la cual procede el procedimiento de biooxidación. De hecho, la recirculación continua de una solución que tiene suficiente acumulación de materiales inhibidores detendrá el procedimiento de biooxidación en conjunto.

60 El procedimiento descrito en la solicitud de patente estadounidense U.S. serie No. 08/329,002, presentada el 25 de octubre de 1994, por Kohr y otros, incorporada aquí por referencia, enseña un método para tratar la solución biolixiviada para reducir al mínimo la acumulación de materiales inhibidores. Como resultado de ello, cuando la solución biolixiviada es recirculada a la parte superior de la pila, la velocidad de biooxidación dentro de la pila no se hace lenta, o se hará lenta a un menor grado que si la solución se recircula sin tratamiento.

Aunque los métodos anteriores han mejorado la velocidad a la cual los procedimientos de biooxidación en pila proceden, la biooxiación en pila aun requiere mucho más tiempo que un procedimiento de biooxidación de molienda, tal

como un biorreactor agitado. No obstante, como se indicó antes con minerales de sulfuro refractario de grado bajo, un biorreactor agitado es una alternativa viable debido a su costo de capital inicial alto y a sus costos de operación altos.

Por lo tanto, existe la necesidad de una técnica de lixiviado biológico de pila que se puede usar para biooxidar minerales de sulfuro refractarios que contienen metal precioso y que provea flujo de aire y fluido mejorado dentro de la pila. Además, existe la necesidad de un procedimiento de lixiviado biológico de pila en el cual los minerales que son bajos en minerales de sulfuro, o minerales que son altos en materiales de consumo de ácido tales como carbonato de calcio, se pueden procesar.

También existe la necesidad de un procedimiento de biooxidación que se puede usar para liberar metales preciosos o fluidos en concentrados de minerales de sulfuro refractario. Los procedimientos de molienda que actualmente se usan para oxidar dichos concentrados incluyen biolixiviado en un biorreactor agitado, oxidación bajo presión en una autoclave y calcinación. Estos procedimientos de molienda utilizan los minerales de sulfuro en el concentrado con relativa rapidez, liberando así metales preciosos atrapados. Sin embargo, a menos que el concentrado tenga una alta concentración de oro, no justifica económicamente el gasto de capital o los costos de operación elevados asociados con estos procedimientos. Y, aunque un procedimiento de lixiviado biológico de molienda es el procedimiento de molienda menos costoso en cuando a costos de capital iniciales y a sus costos de operación, aun no justifica el procesamiento de concentrados que tienen menos de aproximadamente 17 gramos de oro por tonelada de concentrado, que típicamente requiere un mineral que tiene una concentración mayor que aproximadamente 2,4 gramos de oro por tonelada. Por lo tanto, también existe la necesidad de un procedimiento que se pueda usar para biooxidar concentrados de minerales de sulfuro refractario que tienen metal precioso a una tasa o velocidad comparable con el biorreactor de tanque agitado, pero que tiene costos de capital y operación más comparables con los de un procedimiento de lixiviado biológico de pila.

Además de los concentrados de minerales de sulfuro que contienen metal precioso, hay muchos minerales de sulfuro que contienen minerales de sulfuro de metal que pueden ser potencialmente tratados usando un procedimiento de biooxidación. Por ejemplo, muchos minerales de cobre contienen minerales de sulfuro de cobre. Otros ejemplos incluyen minerales de zinc, minerales de níquel y minerales de uranio. La biooxidación se puede usar para producir la disolución de valores de metal tales como cobre, zinc, níquel y uranio a partir de concentrados de estos minerales. Los valores de metal disueltos podrían entonces ser recuperados usando técnicas conocidas tales como extracción con disolventes, cementación de hierro y precipitación. Sin embargo, debido al volumen absoluto del concentrado de sulfuro formado a partir de minerales de sulfuro, un biorreactor agitado sería prohibitivamente costoso, y las operaciones en pila normales simplemente requerirían mucho tiempo para hacer económicamente factible recuperar los valores de metal deseados. Por lo tanto, existe también la necesidad de un procedimiento económico para biooxidar concentrados de minerales de sulfuro de metal producidos a partir de minerales de sulfuro para dar origen así a la disolución de los valores de metal de modo que puedan ser subsiguientemente recuperados a partir de la solución de lixiviado biológico.

Por lo tanto, aunque existe la necesidad de un procedimiento de biooxidación que se pueda usar para procesar concentrados de sulfuro a partir de minerales de sulfuro refractario a una tasa o velocidad que sea mucho más rápida que la de los procedimientos de biooxidación en pila existentes, pero que tenga costos de capital inicial y costos de operación menores que los de un biorreactor ha girado, esta necesidad no ha quedado satisfecha. Además, aunque también existe la necesidad de un método de biooxidación que se puede usar para procesar económicamente concentrados de sulfuro de minerales de tipo de sulfuro de metal, esta necesidad también ha quedado sin ser satisfecha.

Breve descripción de la invención

La presente invención está dirigida al biotratamiento de materiales sólidos en un biorreactor no agitado. Para este fin, en un primer aspecto de la presente invención, se provee un procedimiento de biotratamiento de un material sólido para retirar un compuesto no deseado usando un biorreactor de superficie no agitado. De acuerdo con el procedimiento, la superficie de una pluralidad de sustratos gruesos es revestida con un material sólido que va a ser tratado biológicamente para formar una pluralidad de sustratos gruesos revestidos. Un reactor de superficie no agitado es después formado apilando la pluralidad de sustratos gruesos revestidos en una pila o colocando la pluralidad de sustratos gruesos revestidos en un tanque de tal manera que el volumen hueco del reactor sea mayor que o igual a aproximadamente 25%. El reactor es inoculado con un microorganismo capaz de degradar el compuesto no deseado en el material sólido, formando con ello un biorreactor de superficie no agitado, y el material sólido después es biotratado en el biorreactor de superficie hasta que el compuesto no deseado en el material sólido es degradado a una concentración deseada. Para asegurar el volumen hueco adecuado en el biorreactor, los sustratos gruesos tienen un tamaño de partícula mayor que aproximadamente 0,3 cm y el material sólido que va a ser biotratado, tiene un tamaño de partícula menor que aproximadamente 250 micras (μm). Las formas de preferidas de presentación de la presente invención, se dan a conocer en las reivindicaciones dependientes 2 a 56. El espesor del revestimiento de material sólido sobre la pluralidad de sustratos gruesos es preferiblemente menor que aproximadamente 1 mm para asegurar que el microorganismo que está siendo usado en el biotratamiento tenga acceso adecuado a todo el material sólido que está siendo biotratado. Revestimientos más gruesos incrementarán la capacidad del biorreactor, pero la tasa o velocidad a la cual el procedimiento de biotratamiento avanza será más lenta debido al acceso limitado del microorganismo que se está usando para las partículas subyacentes de material sólido. Para hacer uso completo de la capacidad del biorreactor mientras se asegura acceso de microorganismos adecuado, el espesor del revestimiento de material sólido debe ser mayor que aproximadamente 0,5 mm y menor que aproximadamente 1 mm. Para el acceso de aire y líquido incrementado, el volumen hueco del biorreactor se puede fijar a más que o igual a aproximadamente 35%. Esto mejorará en gran medida la velocidad o tasa a la cual procede el procedimiento de biotratamiento.

Una variedad de materiales se pueden usar para los sustratos gruesos, incluyendo roca, grava, roca de lava, roca que contiene minerales de carbonato, ladrillo, bloque de ceniza, escoria y plástico.

El procedimiento de conformidad con el primer aspecto de la invención es útil para muchos procedimientos de biotratamiento diferentes, incluyendo la regeneración biológica de suelos contaminados, la desulfuración de carbón mineral y la biooxidación de minerales de sulfuro refractario. En aplicaciones de regeneración biológica, el compuesto no deseado es típicamente un compuesto orgánico. En aplicaciones de desulfurización de carbón mineral y biooxidación de mineral de sulfuro refractario, el compuesto no deseado es mineral de sulfuro.

Un segundo aspecto de la presente invención, es el procedimiento anterior, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie de los citados sustratos, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, hasta que se biooxida una cantidad deseada de las citadas partículas finas de sulfuro de metal, en el citado concentrado de mineral de sulfuro, y se liberan los valores de metal de interés.

Dependiendo del depósito mineral particular que se está minando, los concentrados de mineral de sulfuro usados en esta invención pueden comprender concentrados de sulfuro procedentes de minerales de sulfuro refractario que tienen metal precioso o pueden comprender concentrados de sulfuro a partir de minerales de tipo sulfuro metálico de base, tales como calcopirita, millerita o esfalerita. La distinción siendo que el primero, el metal de intereses es un metal precioso ocluido dentro de los minerales de sulfuro, y en el último, el metal que va a ser recuperado es un metal de base tal como cobre, níquel o zinc y está presente como un sulfuro metálico en el concentrado de sulfuro.

Un tercer aspecto de la presente invención, se dirige al procedimiento anterior, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, ocluidos, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie del citado sustrato grueso, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, hasta que se biooxida una cantidad deseada de las citadas partículas finas de sulfuro de metal, en el citado concentrado de mineral de sulfuro, y se liberan los valores de metal de interés, comprendiendo adicionalmente, el procedimiento, las etapas de: contactar las partículas finas de sulfuro de metal biooxidado, con un lixiviante de metal precioso, para disolver con ello valores de metal precioso procedentes de las partículas finas de metal de sulfuro de metal, biooxidadas; y recuperar valores de metal precioso procedentes del lixiviante.

Un aspecto adicional de la presente invención, se dirige al procedimiento anterior, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie del citado sustrato grueso, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, provocando con ello la producción de un biolixiviado fuera de solución y la disolución de la porción de las partículas de sulfuro de metal, comprendiendo adicionalmente, el procedimiento, la etapa de: recuperar valores deseados de metal procedentes de la solución biolixiviada. Los minerales de especial interés que pueden ser procesados utilizando este procedimiento incluyen minerales de sulfuro de cobre, zinc, níquel, molibdeno, cobalto y uranio.

El oro es el metal precioso preferido recuperado usando el procedimiento de conformidad con el presente aspecto de la invención. Sin embargo, también se pueden recuperar otros metales preciosos, incluyendo plata y platino. La roca de lava es un material de sustrato particularmente preferido debido a su área de superficie alta. Como lo reconocerán inmediatamente los expertos en la técnica, se pueden usar un número de lixiviantes junto con el presente procedimiento, sin embargo, la tiurea y el cianuro son los lixiviantes preferidos, siendo el cianuro un lixivianador particularmente preferido.

Los anteriores y otros objetos, aspectos y ventajas serán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la siguiente descripción de las modalidades preferidas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo del procedimiento de conformidad con una modalidad de la presente invención;

La figura 2 es una vista en sección transversal de un sustrato de mineral de sulfuro refractario revestido con un concentrado de partículas de sulfuro metálico de conformidad con la presente invención;

La figura 3 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo del procedimiento de conformidad con otra modalidad de la presente invención;

La figura 4 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo del procedimiento de conformidad con otra modalidad de la presente invención;

La figura 5 es una ilustración esquemática de un diagrama de flujo del procedimiento de conformidad con otra modalidad de la presente invención;

La figura 6 es una gráfica que ilustra el por ciento de oxidación de hierro *versus* tiempo para un mineral completo en comparación con un procedimiento de conformidad con la presente invención;

La figura 7 es una gráfica que compara la velocidad de biooxidación diaria promedio de un mineral completo contra el de un procedimiento de conformidad con la presente invención;

La figura 8 es una gráfica que ilustra el porcentaje de biooxidación para otro procedimiento de conformidad con la presente invención;

La figura 9 es una gráfica que ilustra la velocidad diaria promedio de biooxidación para el procedimiento correspondiente a la figura 8;

La figura 10 es una gráfica que ilustra el porcentaje de biooxidación como una función del tiempo para un concentrado de pirita revestido sobre un soporte de roca estéril y el mismo concentrado de pirita revestido sobre un soporte de mineral de sulfuro refractario que contiene una alta concentración de carbonato mineral; y

La figura 11 es una gráfica que ilustra la velocidad de biooxidación para un concentrado distribuido sobre la parte superior de un procedimiento en pila de roca de lava de conformidad con una modalidad de la presente invención *versus* un procedimiento de tipo de tanque agitado.

Descripción detallada de la invención

Ahora se describe una primera modalidad de la invención en la cual un material sólido es biotratado en un birreactor de superficie no agitada para retirar un compuesto no deseado. De conformidad con la primera modalidad, la superficie de una pluralidad de sustratos gruesos que tiene un tamaño de partícula mayor que aproximadamente 0,3 cm es revestido con el material sólido que va hacer biotratado para formar una pluralidad de sustratos gruesos revestidos. El material sólido que va a ser biotratado tiene un tamaño de partícula de menos de aproximadamente 250 μm por lo que forma un revestimiento muy uniforme sobre los sustratos gruesos. Un reactor de superficie no agitada se forma entonces apilando la pluralidad de sustratos gruesos revestidos en una pila o colocando la pluralidad de sustratos gruesos revestidos en un tanque de modo que el volumen hueco del reactor sea mayor que o igual a aproximadamente 25%. El reactor es inoculado con un microorganismo capaz de degradar el compuesto no deseado en el material sólido, y el material sólido después es biotratado en el biorreactor de superficie hasta que el compuesto no deseado en el material sólido es degradado a una concentración deseada.

El procedimiento de biotratamiento se puede usar en la regeneración biológica de suelos contaminados, la desulfuración de carbón mineral y biooxidación de minerales de sulfuro refractario para nombrar algunos. En las aplicaciones de regeneración biológica, el material sólido es típicamente suelo y el compuesto no deseado es típicamente un compuesto orgánico dentro del suelo. La presente invención, por lo tanto, tiene aplicación en muchos de los sitios superconsolidados existentes. Una lista parcial de contaminantes orgánicos que se pueden quitar de suelo usando la presente invención incluyen: aceite de desecho, grasa, combustible para aviones a propulsión a chorro, combustible diésel, aceite crudo, benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, hidrocarburos poliaromáticos (PAH), aromáticos polinucleares (PNAs), pentaclorofenol (PCP), bifenilos policlorados (PCRs), creosota, pesticidas, 2,4,6-trinitrotolueno (TNT), hexahidro-1,3,5-trinitro 1,3,5-triazina, (RDX), octahidro-1,3,5,7-tetranitro 1,3,5,7-tetrazocina (HMX), N-metil -N-2,4,6-tetra-nitroanilina y nitrocelulosa (NC).

Por otro lado, si se usa la presente invención para desulfurar carbón mineral, el material sólido estará compuesto de partículas de carbón mineral y el compuesto no deseado serán las partículas de mineral de sulfuro contenidas dentro de las partículas de carbón mineral. En aplicaciones de biooxidación de mineral de sulfuro refractario, el material sólido típicamente será mineral molido o un concentrado de sulfuro producido a partir del mineral y el compuesto no deseado serán las partículas de sulfuro metálico dentro del mineral o concentrado.

En algunos casos, puede ser benéfico formar un concentrado por flotación o por otros medios en donde por la fracción del material sólido que va a ser biotratado es concentrada en una fracción de peso más pequeña. Este concentrado, si contiene la mayoría de los sulfuros de metal no deseado o toxinas, por ejemplo, puede ser procesado más efectivamente en cuando a su costo, que el material entero.

Como lo apreciarán los expertos en la técnica a partir de lo anterior y de la descripción, el procedimiento de conformidad con la presente invención tiene amplia aplicabilidad en cuanto se puede usar para biotratar cualquier material sólido que contenga un compuesto no deseado que sea susceptible de biodegradación o biooxidación por un microorganismo o enzimas producidas por un microorganismo.

El propósito de los sustratos gruesos es para proveer soporte con un área de superficie relativamente grande sobre la cual el material sólido que va a ser biotratado puede residir durante el procedimiento de biotratamiento. Por lo tanto, cuando un gran número de sustratos gruesos revestidos son apilados en una pila o colocados en un tanque, el reactor de superficie no agitado se forma de modo que tiene un área de superficie activa muy grande por metro cúbico de

espacio de reactor. Aunque el área de superficie exacta del reactor por metro cúbico de espacio del reactor dependerá del tamaño en particular de los sustratos gruesos empleados, debe ser por lo menos de 100 metros cuadrados por metro cúbico de reactor y típicamente se da de 500 metros cuadrados o más por metro cúbico de espacio del reactor. Además, usando sustratos gruesos que tienen un tamaño de partícula mayor de aproximadamente 0,3 cm y restringiendo el tamaño de partícula del material sólido que va a ser biotratado a menos de aproximadamente 250 micras, el reactor tendrá asegurado un volumen hueco adecuado para permitir que el aire y nutrientes tengan acceso a todas las partes del reactor durante el procedimiento de biotratamiento. A este respecto, el volumen hueco del reactor debe ser por lo menos de aproximadamente 25%. Dicho volumen hueco también asegurará la disipación de calor adecuada dentro de la pila. Para acceso incrementado de aire y líquido y disipación o calor incrementada, el volumen hueco del biorreactor se puede fijar a más de o igual a aproximadamente 35%. Esto mejorará en gran medida la velocidad a la cual procede el procedimiento de biotratamiento.

Mientras se usan sustratos gruesos más grandes se incrementará el volumen hueco en el reactor y por lo tanto mejorará el acceso de aire y nutrientes, además de la disipación de calor, en todo el reactor, el uso de sustratos más grandes reduce la capacidad de carga del biorreactor. Un buen compromiso entre asegurar el volumen hueco adecuado y asegurar la capacidad de reactor adecuada se puede lograr usando sustratos gruesos que tengan un tamaño de partícula nominal que sea mayor que aproximadamente 0,6 cm y menor que aproximadamente 2,54 cm.

Una variedad de materiales se pueden usar para los sustratos gruesos, incluyendo roca, grava, roca de lava, roca estéril que contiene minerales de carbonato, ladrillo, bloque de cenizas, escoria y plásticos. La roca de lava es particularmente preferida debido a su superficie áspera, no uniforme, incrementando así su área de superficie para un sustrato de tamaño de partícula dado y mejorando la integridad del revestimiento del material sólido que se aplica al mismo. La roca estéril gruesa que contiene minerales de carbonato es ventajosa si el procedimiento de biotratamiento es ácido debido a que el ácido reaccionará con los minerales de carbonato para ocasionar lentamente la liberación de dióxido de carbono, que los microorganismos autotróficos pueden usar como una fuente de carbono para llevar a cabo la síntesis metabólica. La producción de dióxido de carbono entonces se puede usar para promover el crecimiento de microorganismos en el reactor.

Cuando un mineral de sulfuro refractario o un concentrado de sulfuro está siendo biooxidado para reducir el contenido de mineral de sulfuro en el mismo, se pueden usar partículas de mineral como los sustratos gruesos. De manera similar, si se está usando el procedimiento para desulfurar carbón mineral, se pueden usar partículas gruesas de carbón mineral como los sustratos gruesos. En ambos casos, el sustrato puede beneficiarse del procedimiento de biooxidación llevado a cabo sobre su superficie.

Aunque los sustratos gruesos se han definido como teniendo un tamaño de partícula mayor que aproximadamente 0,3 cm, se reconoce y se contempla que algo del material de sustrato grueso realmente puede ser menor que este. Como lo reconocerán los expertos en la técnica, si los sustratos gruesos son producidos triturando material más grande que la escala de tamaño deseada, el material triturado tendrá cierta distribución de tamaño. Y, aun cuando el material sea tamizado para excluir material menor de aproximadamente 0,3 cm, algo de material que tenga un tamaño de partícula menor de 0,3 cm como mínimo objetivo, estará todavía presente en los sustratos gruesos debido a la ineficiencia inherentes en el procedimiento de tamizado y debido a desgaste de partículas durante la manipulación. Por lo tanto, por más de aproximadamente 0,3 cm se pretende que substancialmente todos los sustratos gruesos estén por arriba de este tamaño por lo que el volumen hueco del reactor permanecerá por arriba de por lo menos aproximadamente 25% durante la formación del reactor y a través de su operación. Preferiblemente, la cantidad de sustratos gruesos por debajo del corte 0,3 cm es menor de 5% en peso.

En general, el material sólido que va a ser biotratado debe ser mucho más pequeño que el sustrato grueso sobre el cual es revestido. Este material deber ser molido a un tamaño suficientemente pequeño para permitir que el microorganismo empleado en el biotratamiento tenga acceso a todo el material de modo que el compuesto no deseado pueda ser biooxidado o biodegradado en un tiempo que generalmente sea mayor que un procedimiento de tanque agitado, pero más corto que un procedimiento en pila del material completo. Este tiempo generalmente se da entre 14 días y 90 días, dependiendo del compuesto deseado y de la velocidad de su biodegradación o biooxidación.

El tamaño de partícula de material sólido máximo se ha fijado a aproximadamente 250 micras (μm) por lo que el material sólido formará un revestimiento relativamente uniforme sobre los sustratos gruesos durante el procedimiento de revestimiento, en lugar de formar aglomerados entre ellos. Además, partículas mayores de 250 micras pueden no adherirse a la superficie de los sustratos gruesos sin el uso de un aglutinante.

Es deseable formar un revestimiento relativamente uniforme de las partículas finas sobre los sustratos gruesos durante el procedimiento de revestimiento debido a que esto aumentará al máximo la integridad del revestimiento y el área de superficie del material sólido expuesto al microorganismo activo que se añada al biorreactor. Si los aglomerados del material sólido se forman durante el procedimiento del revestimiento, las partículas de material sólido que están en el interior del aglomerado serán bloqueadas contra la acción del microorganismo y por lo tanto la cantidad de tratamiento biológico que recibirán será reducida o no existente. Además, los aglomerados no son tan estructuralmente sólidos como los sustratos revestidos y probablemente se separarán durante el procedimiento de apilamiento usado para formar el reactor o durante el biotratamiento, conduciendo potencialmente a la formación de bloqueos dentro del reactor, que podrían cubrir porciones del reactor contra tratamiento biológico.

ES 2 309 987 T3

Típicamente, puesto que el tamaño de partícula de material sólido que va a ser biotratado disminuye, el procedimiento de biotratamiento será procesado más rápido y más material sólido será cargado en los sustratos gruesos. Los tamaños de partícula más pequeños también tenderán a pegarse mejor a la superficie de los sustratos gruesos. Si el tamaño de partícula del material sólido que a ser tratado es menor que aproximadamente 25 micras (μm), sin embargo, podrían encontrarse problemas de polvo excesivo durante la manipulación y podría haber aglutinación durante el procedimiento de revestimiento.

Preferiblemente, el tamaño de partícula del material sólido que va a ser tratado tiene un tamaño de partícula nominal que es mayor que aproximadamente 75 micras y menor que aproximadamente 106 micras. Las partículas en esta escala de tamaño se adherirán bien a los sustratos gruesos, y las mejoras en incrementos que se pueden lograr en la velocidad del procedimiento de biotratamiento con tamaños de partícula más finos son raramente justificados por los costos de trituración añadidos de producir los mismos.

Los sustratos revestidos se pueden producir añadiendo los sustratos gruesos y material sólido a un tambor giratorio en cantidades apropiadas. Preferiblemente, los sustratos gruesos se secan y el material sólido está en una suspensión de densidad de pulpa elevada por lo que se pegará a los sustratos gruesos a medida que la suspensión revista los sustratos gruesos. Alternativamente, los sustratos gruesos y el material sólido se pueden secar cuando se añaden al tambor giratorio y se rocíe agua al tambor para promover la adhesión del material sólido a los sustratos gruesos. En la formación de los sustratos revestidos, es deseable mantener el contenido de humedad del material sólido dentro de la escala de 5 a 30% en peso para promover la adhesión apropiada entre el material sólido y los sustratos gruesos.

Como lo reconocerán los expertos en la técnica, también se pueden usar muchas otras técnicas para revestir los sustratos gruesos. Por ejemplo, el material sólido que va a ser biotratado se puede rociar en una suspensión de densidad de pulpa elevada sobre los sustratos gruesos a medida que la pluralidad de sustratos gruesos está siendo apilada para formar el reactor.

Si el material sólido que va a ser biotratado se aplica como una suspensión, se pueden hacer ajustes al material para optimizar el procedimiento de biotratamiento. Por ejemplo, el pH se puede ajustar a la escala de pH óptima para el microorganismo que se va a usar para desdoblar el compuesto no deseado. Si se necesitan nutrientes, ingredientes correctores o inoculantes, también se pueden añadir en este momento. En algunos casos puede ser ventajoso empezar el bioprocedimiento en un tanque antes de la aplicación de las partículas de material sólido a los sustratos gruesos.

La integridad de los sustratos gruesos revestidos será suficiente para evitar que se forme un gran número de bloqueos en los canales de flujo del reactor mientras las partículas de material sólido sobre la superficie de los sustratos revestidos están siendo biotratadas. Dichos bloqueos reducirán el flujo de oxígeno y la migración de microorganismos dentro del biorreactor y reducirán así la velocidad del procedimiento del biotratamiento. Desde luego, mientras mayores sean los sustratos gruesos en relación con el tamaño de partícula del material sólido, menos probablemente se formarán dichos bloqueos debido a que el material sólido será mucho más pequeño que los intersticios entre los sustratos gruesos. La integridad de los sustratos revestidos también debe ser suficiente para evitar que cantidades excesivas del material sólido sean lavadas del biorreactor durante el procedimiento de biotratamiento.

Aunque la tensión superficial del agua debe mantener las partículas de material sólido a la superficie de los sustratos gruesos en la mayoría de los casos, si se encuentra que las partículas de material sólido se lavan del biorreactor en concentraciones excesivas o que se forman bloqueos en el biorreactor debido a degradación del revestimiento, se puede usar un agente aglutinante para mejorar la integridad del revestimiento. Sin embargo, los agentes aglutinantes pueden interferir con el acceso del microorganismo del biotratamiento a algo del material sólido que va a ser biotratado, incrementando así el tiempo necesario para que el procedimiento de biotratamiento alcance el punto final deseado.

El espesor del revestimiento de material sólido sobre la pluralidad de sustratos gruesos es preferiblemente menor de aproximadamente 1 mm para asegurar que el microorganismo que está siendo usado en el biotratamiento tenga acceso adecuado a todo el material sólido que está siendo biotratado. Los revestimientos más gruesos incrementarán la capacidad del biorreactor, pero la tasa a la cual avanza el procedimiento de biotratamiento será más lenta debido al acceso limitado del microorganismo que está siendo usado a las partículas subyacentes del material sólido. Para hacer uso completo de la capacidad del biorreactor mientras se asegura un acceso adecuado de microorganismos, el espesor del revestimiento de material sólido debe ser mayor que aproximadamente 0,5 mm y menor que aproximadamente 1 mm. Cuando está usando sustrato de roca o ladrillo, éste se traducirá en una carga de material sólido de aproximadamente 10 a 30% en peso.

El reactor de superficie no agitado se forma apilando una pluralidad de los sustratos revestidos en una pila o en un tanque. El apilamiento mediante transportador reducirá al mínimo la compactación de los sustratos revestidos dentro del reactor. Sin embargo, se pueden emplear otros medios de apilamiento.

Preferiblemente, el reactor es inoculado con el (los) microorganismo(s) que se va a usar en el procedimiento de biotratamiento mientras que la pluralidad de sustratos revestidos están siendo apilados para formar un reactor de superficie no agitado o inmediatamente después de la formación del reactor. Alternativamente, si el (los) microorganismo(s) que se va(n) a emplear en el procedimiento de biotratamiento funciona(n) mejor en una escala de pH particular, el pH del reactor se puede ajustar antes de la inoculación como es bien conocido en la técnica.

Los microorganismos que son útiles en el procedimiento de biotratamiento de la presente invención son los mismos microorganismos que se han usado tradicionalmente para degradar un compuesto no deseado en particular procedimientos de biodegradación y biooxidación existentes. Por ejemplo, bacterias acidófilas o autotróficas tales como *tiobacillus*, *ferrooxidans*, *Leptospirillum*, *ferrooxidans* y *Sulfolobus*, se pueden usar para biooxidar minerales de sulfuro en la desulfurización de carbón mineral o en aplicaciones de biooxidación de mineral de sulfuro refractario. Otras bacterias que son útiles en estas aplicaciones están dentro del alcance de la técnica. De manera similar, con respecto a las aplicaciones de remedio de suelos, los microorganismos que se deben emplear son los mismos que aquellos empleados actualmente en procedimientos de regeneración biológica presentes tales como formación de composta, manejo de suelo, biodegradación de suspensión y remedio biológico en pila. Los expertos en la técnica podrán determinar fácilmente cuáles microorganismos son aplicables para los diversos compuestos no deseados que pueden ser retirados del material sólido usando el procedimiento de conformidad con la presente invención.

Una vez que el reactor es inoculado con un microorganismo apropiado, las condiciones tales como pH, temperatura, suministro de nutrientes y contenido de humedad dentro del reactor serán supervisadas y mantenidas en todo el biotratamiento para promover el crecimiento del microorganismo al grado más completo posible. A medida que el microorganismo crece en el reactor, el reactor es transformado a un biorreactor que tiene un área de superficie muy grande que biodegradará o biooxidará el compuesto no deseado en un tiempo mucho más corto y a un grado mucho mayor que los procedimientos de biotratamiento intermitentes o discontinuos estáticos tradicionales tales como bioblanqueado o biolixiviación en pila, formación de composta y labrado de suelo.

El reactor también se puede proveer de tubos de aire perforados a través de los cuales se puede soplar o extraer aire como se conoce en la técnica. El que se sople o se jale aire a través del reactor dependerá del bioprocedimiento específico que ocurre dentro del reactor, y dicha selección también está dentro del alcance de la técnica.

El procedimiento de biotratamiento debe dejarse proceder hasta que el compuesto no deseado en el material sólido se degrade a una concentración deseada. En el caso de aplicaciones de regeneración de suelo, este típicamente dependerá de reglamentaciones gubernamentales que definen el nivel aceptable de un contaminante en particular. En aplicaciones de desulfurización de carbón mineral, la cantidad de azufre residual que se deja permanecer en el carbón mineral también dependerá en gran medida de las reglamentaciones ambientales, porque cuando el carbón mineral que contiene azufre es quemado producirá bióxido de azufre como un subproducto. Por lo tanto, la cantidad de azufre que se deja permanecer en el carbón mineral debe ser menor que el que violaría las reglamentaciones ambientales cuando se ha quemado el carbón mineral. Desde luego, esto dependerá hasta cierto grado del equipo empleado en la planta de coxión de carbón mineral en donde se utilizará el carbón mineral biotratado. Con respecto a la biooxidación de minerales o concentrados de sulfuro refractario, la cantidad de mineral de sulfuro que se deja permanecer en el mineral estará determinada por la cantidad que debe ser biooxidada para lograr recuperaciones económicas de los valores de metal deseados a partir de mineral o concentrado.

Después de que el compuesto no deseado se ha reducido a una concentración deseada, el biorreactor se puede desdoblar y el material sólido biotratado se puede separar de los substratos gruesos. Después de la separación del material sólido biotratado, los substratos gruesos se pueden volver a usar. Después de uno o más usos en el procedimiento de biotratamiento, una película del microorganismos usado en el procedimiento de biotratamiento se desarrollará sobre los substratos. Esta biopelícula tendrá la ventaja de adaptación a cualesquiera materiales tóxicos o inhibidores que estén presentes en el material sólido que está siendo procesado. Por lo tanto, es mejor separar el material sólido biotratado de tal manera que no elimine ni separe completamente la biopelícula que se ha acomodado sobre los substratos gruesos. La biopelícula también es una forma eficiente de inocular el siguiente revestimiento de material sólido aplicado a los substratos gruesos. Finalmente, la adaptación del microorganismo después de haber pasado por el procedimiento muchas veces también acelerará la tasa a la cual el microorganismo biodegrada o biooxida el compuesto no deseado en el material sólido que está siendo procesado.

La presente invención se describirá ahora con detalle en conexión con un número de posibles modalidades que se pueden emplear en el procedimiento de minerales de sulfuro refractario.

La segunda modalidad de la presente invención se describe en conexión con las Figuras 1 y 2: La Figura 1 ilustra un diagrama de flujo de procedimiento para liberar y recuperar valores de metal precioso a partir de minerales de sulfuro refractarios que portan un metal precioso. Para propósitos de describir el procedimiento ilustrado en la Figura 1, el concentrado de mineral de sulfuro 22 usado en la presente modalidad se produce a partir de un mineral de sulfuro refractario que contiene oro. Por lo tanto, el metal precioso recuperado en la presente modalidad es oro. Sin embargo, como lo entiende un experto en la técnica, también se pueden liberar y recuperar otros metales preciosos, tales como platino y plata, a partir de minerales de sulfuro refractario usando el procedimiento ilustrado en la figura 1. Una combinación de metales preciosos también se puede recuperar usando el procedimiento de conformidad con la presente invención si el cuerpo del mineral de sulfuro refractario usado para producir el concentrado de mineral de sulfuro 22 contiene más de un metal precioso.

De conformidad con el diagrama de flujo del procedimiento mostrado en la Figura 1, se añade una pluralidad de substratos 20 y un concentrado de mineral de sulfuro 22 a un tambor giratorio 24. Preferiblemente, el concentrado de mineral de sulfuro 22 está en forma de suspensión y la pluralidad de substratos 20 están secos cuando se añaden al tambor giratorio 24 para mejorar la adhesión entre los substratos 20 y el concentrado 22. Opcionalmente, se puede añadir un agente aglutinante polimérico al tambor giratorio 24, aunque no es necesario. A medida que el tambor

ES 2 309 987 T3

giratorio 24 gira, los sustratos 20 añadidos al tambor 24 son revestidos con el concentrado de mineral de sulfuro húmedo para formar sustratos revestidos 39. Los sustratos revestidos 39 son después apilados para formar una pila estática 26.

5 Usando una suspensión de concentrado en el procedimiento de revestimiento, se elimina la necesidad y costo de secar el concentrado después de su producción. El concentrado 22 y la pluralidad del sustrato 20, sin embargo, se pueden añadir al tambor giratorio 24 en el estado seco, en cuyo caso después de que se añade la mezcla al tambor 26, se rocía con agua a una solución ácida acuosa, preferiblemente conteniendo iones férricos, para hacer que el concentrado se pegue a los sustratos. El beneficio de usar una solución ácida acuosa que contiene iones férricos para
10 unir el concentrado a la superficie de los sustratos es que empezará a oxidar químicamente el concentrado de mineral de sulfuro. También, ésta es ácida, de modo que reducirá el pH de los sustratos revestidos 39 en la preparación para biooxidación. La desventaja de usar dicha solución ácida es que incrementará el costo del equipo usado para formar los sustratos revestidos 39 debido a que se debe diseñar para ser resistente a ácido.

15 El concentrado de mineral de sulfuro 22 está compuesto de una pluralidad de partículas de sulfuro de metal fino 40 que tiene oro finamente diseminado y posiblemente otros valores de metal precioso ocluidos dentro del mismo. El concentrado de mineral de sulfuro 22 también contendrá típicamente partículas finas de arena u otro material de ganga 42 a partir del mineral de sulfuro refractario del cual se obtiene el concentrado 22. Como resultado, cada uno de los sustratos revestidos 39 será revestido con las partículas de sulfuro metálico 40 y las partículas finas 42 como
20 se ilustra en la Figura 2.

La integridad de los sustratos revestidos 39 será suficiente para evitar que un gran número de bloqueos se formen en los canales de flujo dentro de la pila 26 mientras las partículas de sulfuro metálico 40 sobre la superficie de los sustratos revestidos 39 están siendo biooxidadas. Dichos bloqueos reducen el flujo de oxígeno y la migración de
25 bacterias dentro de la pila y reducen así la velocidad de biooxidación.

Debido a que las partículas de sulfuro metálico 40 son hidrofóbicas, tienden a pegarse a los sustratos secos 20 sin el uso de un agente aglutinante tal como un auxiliar de aglomeración polimérico. Sin embargo, esto supone que las partículas de sulfuro metálico 40 son de un tamaño apropiado. Por lo tanto, si el concentrado 22 contiene una
30 concentración adecuada de partículas de sulfuro metálico 40, el concentrado 22 permanecerá suficientemente adherido a los sustratos revestidos 39, aún sin el uso de un agente aglutinante, para permitir que los sustratos revestidos 39 sean manipulados mientras que se están apilando sobre la pila 26 o colocando en tanques 45, lo que se describe más adelante en conexión con la modalidad ilustrada en la Figura 5. Además, los sustratos revestidos 39 deben retener su integridad en todo el procedimiento de biooxidación. Cuando se forman sustratos revestidos 39 sin el uso de
35 agente aglutinante, por lo tanto, es importante usar un concentrado de mineral de sulfuro que tenga una concentración adecuada de partículas de sulfuro de metal y un tamaño de partículas apropiado.

Aunque se puede usar un agente aglutinante polimérico y posiblemente mejoraría la integridad de los sustratos revestidos 39, el uso de dichos agentes incrementará el costo de operación del procedimiento.
40

Por lo menos dos factores actúan contra el uso de un concentrado del mineral de sulfuro 22 que tiene una concentración muy alta de partículas de sulfuro metálico 40. Primero, el costo de producir concentrado 22 es típicamente proporcional a la concentración de partículas de sulfuro metálico. De esta manera, a medida que la concentración de partículas de sulfuro metálico 40 en el concentrado 22 incrementa, el costo de producir concentrado 22 también
45 incrementará. El costo añadido de producir grados de concentrado muy altos 22 puede no ser desviado por la mejora en incrementos en carga de sulfuros metálicos o integridad de los sustratos revestidos 39. Segundo, a medida que el grado de concentrado incrementa, la cantidad de partículas de sulfuro metálico 40 que permanecen con la fracción final del mineral de sulfuro refractario incrementarán. Debido a que estas partículas de sulfuro metálico contienen valores de metal preciosos ocluidos, cualquiera partículas de sulfuro metálico 40 que permanecen en el final del mineral disminuirán la velocidad de recuperación total para el procedimiento.
50

Considerando los factores anteriores, el concentrado de mineral de sulfuro 22 deberá contener por lo menos 20% en peso de sulfuros metálicos para asegurar características de control adecuadas e integridad durante la biooxidación. Sin embargo, preferiblemente el concentrado contendrá por lo menos aproximadamente 40% en peso de sulfuros metálicos, y muy preferiblemente por lo menos aproximadamente 70% en peso. Típicamente, el concentrado 22 contendrá
55 entre el 40 y 80% en peso de sulfuros metálicos.

En general, a medida que el tamaño de partícula del concentrado de mineral de sulfuro 20 disminuye, más rápido procederá el procedimiento de biooxidación. Tamaños de partícula más pequeños también tienden a dar por resultado
60 grados de concentrado mejorados. Esto se debe a que es típicamente más fácil separar las partículas de sulfuro metálico 40 de la masa de material de ganga a medida que el tamaño de partícula de mineral es reducido. Por lo tanto, el concentrado de mineral de sulfuro 22 preferiblemente tiene un tamaño de partícula menor que aproximadamente 250 micras. Partículas mayores de 250 micras (μm) pueden no adherirse a sustratos 20 muy bien sin el uso de un agente aglutinante. Además, a menos que el mineral de sulfuro refractario del cual se produce el concentrado
65 22 es molido a por lo menos 100% pasando a 250 micras, es difícil obtener una buena separación de partículas de sulfuro metálico 40 de la masa de material de ganga durante la concentración. Esto es especialmente cierto si se usa una flotación para formar el concentrado 22, ya que partículas mayores de 250 micras no flotan muy bien. Por otro lado, si el tamaño de partículas del concentrado 22 es menor que aproximadamente 38 micras a 25 micras,

ES 2 309 987 T3

las partículas de concentrado tenderán a aglutinarse entre sí durante el procedimiento de revestimiento en lugar de formar un revestimiento relativamente uniforme sobre sustrato revestido 39. Estas aglutinaciones de concentrado pueden bloquear el flujo de aire y la migración de bacterias durante la biooxidación, reduciendo así la velocidad de biooxidación en la pila.

Preferiblemente, el tamaño de partícula de concentrado 22 es de aproximadamente 100% pasando 106 micras a 75 micras. Las partículas en esta escala de tamaño se adhieren bien a los sustratos 20, y las mejoras en incrementos que se pueden lograr en la velocidad de biooxidación y el grado de concentrado con tamaños de partículas más finos son nuevamente justificados por los costos de trituración añadidos para producirlos.

El concentrado de mineral de sulfuro 22 se puede producir a partir de cualquier cuerpo de mineral de sulfuro refractario que tiene metal precioso que es minado usando técnicas bien conocidas en la técnica y que no necesariamente se explican con detalle aquí. La producción de concentrado 22, sin embargo, incluirá típicamente la trituración y molienda del mineral de sulfuro refractario a un tamaño de partícula apropiado seguido de una o más separaciones por gravedad o una o más flotaciones de sulfuro.

Algunos cuerpos de mineral de sulfuro refractario potenciales pueden ser de un grado suficiente que no se requiera la concentración. Dichos cuerpos minerales pueden incluir partes finales o pilas de desecho en minas existentes. Cuando se procesan estos tipos de materiales, el concentrado de mineral de sulfuro solo necesita ser transportado al sitio de la instalación de la biooxidación y posiblemente cierta trituración adicional para lograr el tamaño de partícula deseado.

Con respecto a la concentración de oro, el procedimiento en conformidad con la presente modalidad se puede realizar económicamente aun cuando el concentrado 22 contenga tan poco como 5 g Au/ton de concentrado (o un valor económico equivalente de otros valores de metal precioso). Este número desde luego variará en gran medida con base en el costo de producción del concentrado 22 y el precio predominante del oro. Como lo reconocerá un experto en la técnica, sin embargo, las autoclaves tradicionales o los biorreactores de tanque agitado no pueden aproximarse a procesar económicamente un concentrado de mineral de sulfuro que te tenga dicha concentración baja de oro.

Se pueden usar muchos materiales diferentes para sustratos 20. Los sustratos preferidos incluyen partículas de mineral de sulfuro refractario grueso, roca de lava, grava, roca estéril que incluye un componente de carbonato mineral. Los sustratos 20 también pueden ser objetos hechos por el hombre tales como bolsas de plástico, estiroesponja recirculada, neumáticos molidos y similares. El propósito de los sustratos 20 es proveer un soporte con un área de superficie relativamente grande sobre la cual el concentrado 22 puede radicar durante el procedimiento de biooxidación. El área de superficie de cada sustrato 20 en efecto actúa como un biorreactor de superficie pequeña durante la biooxidación. Por lo tanto, cuando un gran número de sustratos revestidos 39 se apilan en la pila 26 para biooxidación, se crea un biorreactor de superficie no agitado que tiene un área de superficie muy grande.

El área de superficie total del biorreactor o pila 26 se puede incrementar reduciendo el tamaño de partícula de los sustratos 20, mostrando sustratos que tenga una morfología de superficie áspera no uniforme y/o incrementado el número de sustratos revestidos 39 apilados sobre la pila 26. La ventaja de incrementar el área de superficie total de los sustratos 20 dentro de la pila 26 es que la cantidad de concentrado 22 que se puede cargar sobre los sustratos 20 incrementa en forma proporcional, lo que a su vez hace que incremente la cantidad de concentrado 22 que se puede biooxidar en una pila particular 26.

La escala de tamaño de partícula preferida para sustratos 20 es nominalmente de alrededor de +0,62 cm a aproximadamente -2,5 cm con partículas menores de 0,3 cm retiradas mediante tamizado o por cualquier otro método. Sin embargo, también se pueden usar sustratos 20 que tienen un tamaño de partícula hasta de aproximadamente +600 μm . Aunque la carga incrementada se logra con tamaños de partícula de sustratos más pequeños, el flujo de aire, el flujo de fluido y la disipación de calor incrementados se logran con tamaños de partículas más grandes. La escala de tamaño nominal del +0,62 a -2,5 cm provee un buen compromiso entre la carga de concentrado y el aseguramiento de flujo de aire, flujo de fluido y disipación de calor adecuados.

Los sustratos 20 son preferiblemente cargados con mucho concentrado 22 durante el procedimiento de revestimiento que es posible para aumentar al máximo el producto del procedimiento. La cantidad de concentración 22 que se puede cargar sobre sustratos 20 dependerá del tamaño de partícula y morfología de superficie de los sustratos 20. Los sustratos gruesos 20 y el concentrado de mineral de sulfuro 22 por lo tanto se añadirían a un tambor giratorio 24 en cantidades suficientes para aumentar al máximo la cantidad de concentrado de mineral de sulfuro 22 cargado sobre cada sustrato 39 mientras se reduce al mínimo la formación de aglomerados de las partículas de concentrado de mineral de sulfuro. Pueden formarse grumos o aglomerados de las partículas del concentrado de mineral de sulfuro 22 si el tamaño de partícula del concentrado es muy fino, como se mencionó anteriormente, o si se añade una cantidad excesiva del concentrado al tambor 24. Para asegurar una carga adecuada de los sustratos 20 evitando simultáneamente la formación de aglomerados de las partículas del concentrado, preferiblemente aproximadamente 10 a 30% en peso del concentrado se añade al tambor giratorio 24, lo cual dará como resultado una carga de aproximadamente 10 a 30% en peso de concentrado 22 sobre los sustratos revestidos 39.

Al formar los sustratos revestidos 39, es deseable mantener el contenido de humedad del concentrado 22 dentro de la escala de 5 a 30% en peso. Si el contenido de humedad del concentrado está por debajo de 5% en peso, el

concentrado no se adherirá adecuadamente a los sustratos, y si el contenido de humedad excede el 40% en peso, la suspensión de concentrado será muy poco densa como para formar un revestimiento lo suficientemente grueso sobre el sustrato. Esto podría limitar la cantidad de concentrado que se adherirá a los sustratos 20.

Aunque se pueden usar otros medios de construcción de pila, se prefiere el apilado mediante transportador. El apilado mediante transportador minimiza la compactación de los sustratos revestidos dentro de la pila. Otros medios de apilado tales como vaciado por un extremo con una hoja de empuje o el vaciado superior pueden llevar a regiones de flujo de fluido reducido dentro de la pila debido a la compactación aumentada y a la degradación de los sustratos revestidos.

Si se desea, la pila 26 puede ser provista con tuberías perforadas 27 conectadas a una fuente de suministro de aire (no mostrada) para aumentar el flujo de aire dentro de la pila. Al aumentar el flujo de aire dentro de la pila 26 aumentará la velocidad de biooxidación y mejorará la velocidad a la cual el calor es disipado desde la pila. Más aún, debido a los grandes canales de aire y de fluido entre los sustratos revestidos 39, la fuente de suministro de aire conectada a las tuberías perforadas 27 puede ser un soplador de bajo costo en lugar de un compresor más caro.

La pila 26 es inoculada preferiblemente con una bacteria capaz de biooxidar partículas de sulfuro de metal 40 mientras son apilados los sustratos revestidos 39 sobre la pila 26 o inmediatamente después de la formación de la pila 26 o después de que el pH de la pila 26 haya sido disminuido a menos de 2,5. Las siguientes bacterias pueden usarse en la práctica de la presente invención:

Thiobacillus ferrooxidans; *Thiobacillus thiooxidans*; *Thiobacillus organoparus*; *Thiobacillus acidophilus*; *Lep-tospirillum ferrooxinas*; *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*; *Sulfolobus acidocaldarius*; *Sulfolobus BC*; *Sulfolobus solfataricus* y *Acidianus brierleyi* y similares.

Estas bacterias están disponibles de American Type Culture Collection o de colecciones de cultivos similares. El que una o más de las bacterias anteriores y la bacteria en particular seleccionada para usarse en el presente procediendo dependerá de factores tales como el tipo de mineral que este siendo procesado y las temperaturas esperadas en la pila 26 durante la biooxidación. Sin embargo, estos criterios de selección están dentro del conocimiento de aquellos expertos en la técnica y no necesitan describirse en detalle aquí. La bacteria más común y más preferida para la biooxidación es *Thiobacillus ferrooxidans*.

Durante la biooxidación de las partículas de sulfuro de metal 40 revestidas sobre la superficie de los sustratos revestidos 39, se pueden suministrar soluciones nutrientes microbianas e inoculantes adicionales a través de un sistema de aspersión 28. Las adiciones de estas soluciones de mantenimiento del biolixiviante se harán típicamente en respuesta a ciertos indicadores de rendimiento usados para controlar el progreso del procedimiento de biooxidación.

La tasa de biooxidación se controla preferiblemente a lo largo del procedimiento de biooxidación en base a indicadores de rendimiento seleccionados tales como la velocidad de solubilización en arsénico, hierro o azufre, o la velocidad de oxidación de los sulfuros que pueden ser calculada a partir de los mismos. Otros indicadores del rendimiento de biooxidación que pueden usarse incluyen medir el pH, la acidez titulable y el Eh de la solución.

Preferiblemente, la solución de biolixiviación que se percola a través de la pila es reunida en el desagüe 29 y reciclada a la parte superior de la pila 26. Esto lleva al mínimo la cantidad de agua fresca requerida por el procedimiento de biooxidación. Además, debido a que la solución de biolixiviación será ácida y contendrá una alta concentración de iones férricos, su reaplicación a la parte superior de la pila 26 es ventajosa para el procedimiento de biooxidación. Sin embargo, la solución efluente generada al inicio del procedimiento de biooxidación también contendrá concentraciones significativas de metales de base y pesados, incluyendo componentes que llevan a la inhibición microbiana. Al acumularse los materiales inhibidores en la solución de biolixiviación, el procedimiento de biooxidación es retrasado. De hecho, la reciclización continua de una solución de biolixiviación sin tratamiento puede llevar a una acumulación de materiales inhibidores suficientes como para detener el procedimiento de biooxidación.

Para llevar al mínimo la acumulación de materiales inhibidores y de esta manera su efecto en el procedimiento de biooxidación, la solución de biolixiviación puede ser tratada en el circuito de ácido 30 antes del reciclado para retirar los materiales inhibidores cuando su concentración se vuelva accesiva. Un método para acondicionar la solución de biolixiviación antes de reciclarla comprende elevar su pH por encima de 5, retirar cualquier precipitado que se forme y después disminuir su pH adecuado para la biooxidación usando una porción no tratada de la solución de biolixiviación u de otra solución ácida. Dicho procedimiento de acondicionamiento se describe en la solicitud de patente de estadounidense U.S. No. de serie 08/547,894, presentada el 25 de octubre de 1995 por Kohr y otros, la cual está incorporada en la presente a manera de referencia.

La solución de biolixiviación tenderá a ser muy ácida en la presente invención. Esto es debido a que el concentrado que tiene una concentración relativamente alta de minerales de sulfuro de metal está siendo biooxidado en lugar de un mineral entero. Como resultado, el procedimiento de biooxidación de acuerdo con la presente invención tenderá a producir grandes cantidades de ácido en exceso. Es decir, el procedimiento producirá más ácido del que se pueda reciclar prácticamente a la parte superior de la pila 26. Este ácido en exceso debe ser desechado o usado para otros propósitos. Un uso posible para el exceso de ácido es en un procedimiento de lixiviación de mineral de óxido de cobre, porque el ácido sulfúrico es un lixivante efectivo para minerales de óxido de cobre. Sin embargo, la solución

de ácido sulfúrico producida como un subproducto del presente procedimiento también contendrá típicamente una alta concentración de iones férricos. Esto también lo hace un lixiviante efectivo para algunos minerales de sulfuro de cobre tales como la calcocita. El ion férrico en la solución ácida oxida químicamente los minerales de sulfuro de cobre para causar su disolución. De esta manera, el exceso de ácido que provenga del presente procedimiento se puede

5 usar benéficamente en una operación de lixiviación de cobre para evitar los costos de neutralización asociados con el desecho, reduciendo simultáneamente los costos de ácido para la operación de lixiviación de cobre.

Después de que la reacción de biolixiviación ha alcanzado un punto final económicamente definido, es decir, después de que las partículas de sulfuro de metal 40 sobre la superficie de los sustratos gruesos 20 son biooxidadas

10 hasta un grado deseado, la pila es desbaratada y el concentrado biooxidado 22 es separado de los sustratos gruesos 20. Sin embargo, antes de desbaratar la pila, ésta será típicamente drenada y después lavada con chorros de agua repetidos. El número de ciclos de lavado empleados se determina típicamente por medio de un elemento marcador adecuado tal como hierro y el pH del afluente de lavado.

15 La separación se puede lograr colocando los sustratos revestidos 39 sobre un tamiz y después rociando agua a los sustratos revestidos. En forma alternativa, los sustratos revestidos pueden ser agitados en agua usando un tambor giratorio.

Después de la separación, el oro es extraído del concentrado biooxidado 22. Esto se puede lograr usando un

20 número de técnicas bien conocidas en la técnica. Sin embargo, típicamente el concentrado biooxidado será lixiviado con un lixiviante tal como cianuro en un procedimiento de carbono en pulpa o de carbono en lixiviante. En estos procedimientos, el lixiviante disuelve el oro liberado u otros valores de metal precioso que son después absorbidos sobre carbón activado como es bien conocido en la técnica.

25 Si se usa cianuro como el lixiviante, el concentrado necesitará ser neutralizado antes de la lixiviación. Para evitar la necesidad de la neutralización, se puede usar tiourea como el lixiviante para extraer el oro del concentrado biooxidado. El procedimiento de extracción con tiourea se puede mejorar ajustando el Eh de la solución de biolixiviación usando metabisulfito de sodio, como se describe en la patente de E.U.A. No. 4,561,947, la cual está incorporada en la presente a manera de referencia. Si se usa tiourea como el lixiviante, se usa preferiblemente una resina sintética en lugar de

30 carbón activado para adsorber de la solución lixiviante los valores de metal precioso disueltos.

Después de que el oro liberado u otros valores de metal preciso son extraídos del concentrado biooxidado, el concentrado biooxidado es llevado a una pila de desecho o residuos 36 y el oro es recuperado a partir del carbón o la resina sintética usando técnicas bien conocidas en la técnica.

35

Los sustratos gruesos 20 que han sido separados de los concentrados biooxidados pueden ser reciclizados al tambor giratorio para un nuevo revestimiento de concentrado de mineral de sulfuro 22. Los sustratos 20 pueden volverse a usar, siempre y cuando retengan su integridad mecánica. Si se usan partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas para sustratos 20, éstas son procesadas preferiblemente en cierto punto, preferiblemente después de uno a tres

40 ciclos, para recuperar valores de oro liberados.

Como se ilustra en la figura 2, los sustratos de mineral de sulfuro refractario gruesos 20 contendrán partículas de sulfuro de metal 40 que contengan oro y otros valores de metal precioso ocluidos. Después de uno a tres ciclos a través del procedimiento, muchas de las partículas de sulfuro de metal 40 dentro de los sustratos de mineral grueso

45 20 serán biooxidadas parcialmente. En lugar de continuar reciclando los sustratos de mineral gruesos en esta situación y de permitir que los valores de oro liberados se vayan sin recuperar, los sustratos de mineral se pueden procesar para recuperar sus valores de oro. Esto se logra preferiblemente moliendo los sustratos de mineral grueso en el circuito de molienda 32 hasta un tamaño de partícula adecuado para permitir que las partículas de sulfuro de metal sean separadas del grueso del material de ganga. Un concentrado 22 de las partículas de sulfuro de metal 40 a partir de los sustratos de

50 mineral grueso molidos, es producido posteriormente en el concentrado de sulfuro 34. Preferiblemente, el concentrado de sulfuro 34 es una celda de flotación y los sustratos de mineral grueso biooxidados son molidos hasta un tamaño adecuado para la flotación del sulfuro y el revestimiento sobre los sustratos 20. El concentrado 22 producido a partir de los sustratos de mineral molido es después combinado con el suministro del concentrado de mineral de sulfuro 22 a partir del cual éste es revestido sobre una segunda pluralidad de sustratos gruesos 20 y añadido a una nueva pila 26 para la biooxidación adicional.

55

El residuo de la flotación que proviene del concentrador de sulfuro 34 debe ser tratado en el procedimiento de extracción de oro junto con el concentrado biooxidado 22 que proviene de la pila 26. El residuo de flotación contendrá un número de partículas de sulfuro de metal completa o parcialmente oxidadas que no flotaron. Estas partículas oxidadas

60 contendrán valores de oro significativos, y muchos de estos valores de oro ya habrán sido liberados y pueden ser lixiviados fácilmente del residuo de flotación usado cianuro o tiourea. Después de la lixiviación, el residuo de flotación es desechado junto con el concentrado biooxidado que ha pasado la extracción de oro en la pila de desecho o residuo 36.

Los sustratos de mineral grueso de sulfuro refractario 20 que han pasado por el procedimiento de biooxidación se pueden procesar alternativamente simplemente mediante molienda, seguida por la lixiviación. Sin embargo, este procedimiento alternativo dará como resultado una menor recuperación total, porque muchas de las partículas de sulfuro de metal 40 dentro de los sustratos de mineral grueso no serán oxidadas lo suficiente como para liberar sus valores de oro atrapados.

65

Con respecto a la selección del material para los sustratos 20, existen varias ventajas en usar partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas.

Primero, el cuerpo de mineral de sulfuro refractario que está siendo extraído típicamente tendrá que pasar por varios pasos de trituración y molienda antes de lograr un tamaño de partícula adecuado para producir el concentrado 22. Como resultado, los sustratos de mineral de sulfuro refractario grueso pueden ser retirados o separados de una etapa adecuada del procedimiento de trituración, lo cual hace a las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas una fuente poco costosa de sustratos 20.

Segundo, como se ilustra en la figura 2 y se describe anteriormente, si se usa mineral de sulfuro refractario grueso como el material del sustrato, éste contendrá partículas de sulfuro de metal 40. Estas partículas de sulfuro de metal serán biooxidadas parcialmente durante el procedimiento de biooxidación, y, si las partículas de mineral gruesas son recicladas a lo largo del procedimiento varias veces, las partículas del sulfuro de metal 40 se volverán eventualmente lo suficientemente biooxidadas como para permitir la recuperación de sus valores de metal precioso.

Una tercera ventaja, la cual está en cierta forma relacionada con la segunda, es que una fracción de las partículas de sulfuro de hierro o de otro sulfuro de metal 40 en el mineral de sulfuro refractario son tan finas que no flotarán muy bien en el proceso de concentración. Al usar partículas gruesas para los sustratos 20 estas partículas de sulfuro de metal muy finas serán oxidadas químicamente durante el tiempo por el ion férrico en el biolixiviante. Después, cuando las partículas de mineral gruesas sean eventualmente molidas y puestas a flotar para producir un concentrado de partículas de sulfuro de metal, las partículas de sulfuro de metal finas oxidadas acabarán en los residuos de flotación. Debido a que los residuos de flotación son lixiviados con cianuro u otro lixiviante, se recuperan los valores de oro liberados a partir de estas partículas de sulfuro muy finas. Por otra parte, si las partículas de mineral gruesas no fueran usadas como sustratos 20 antes de la molienda y a flotación, las partículas de sulfuro de metal muy finas acabarían todavía en los residuos de flotación cuando se produzca el concentrado 22. Sin embargo, debido a que estas partículas de sulfuro muy finas no pueden ser parcialmente biooxidadas en este punto, sus valores de oro ocultos no pueden ser recuperados mediante lixiviación.

Una cuarta ventaja de usar mineral grueso de sulfuro refractario como los sustratos 20, es que las partículas de sulfuro de metal en el material de soporte biooxidado flotarán más fácilmente después de la biooxidación. Esto es debido a que la superficie de las partículas de sulfuro de metal es alterada mediante el procedimiento de biooxidación. De esta manera, después de que el material de soporte de mineral grueso haya sido reusado varias veces y de que haya sido molido y puesto a flotar para producir un concentrado de mineral de sulfuro, se pueden lograr resultados de flotación mejorados.

Si las partículas de mineral gruesas contienen también un componente mineral de carbonato, existe una quinta ventaja en usar partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas como los sustratos gruesos 20. Los minerales de carbonato tienden a consumir mucho ácido. Como resultado, los minerales que contienen estos minerales han requerido tradicionalmente mucho acondicionamiento del ácido antes de la biooxidación. El acondicionamiento del ácido de estos minerales se requiere para remover o reducir el componente de mineral de carbonato antes de la biooxidación para que la reacción de biooxidación pueda tener lugar. Y aunque las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas tienden en general a biooxidarse muy lentamente -comúnmente tomando hasta nueve meses o más- si se incluyen lotes de minerales de carbonato en el mineral, sin preacondicionamiento, las partículas de mineral gruesas podrían no biooxidarse nunca. Sin embargo, en el procedimiento de acuerdo con la presente invención, las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas que contienen minerales de carbonato pueden usarse ventajosamente para los sustratos 20. Durante el procedimiento de biooxidación, el ácido producido a partir de la biooxidación del concentrado 22 sobre la superficie de los sustratos de mineral gruesos neutralizará lentamente los minerales de carbonato en los sustratos. Un sustrato del procedimiento de neutralización es el dióxido de carbono, el cual pueden usar las bacterias autotróficas usadas en la presente invención como una fuente de carbono para llevar a cabo la síntesis metabólica. Por lo tanto, la producción de dióxido de carbono promoverá el crecimiento de las bacterias en la pila 26, lo cual a su vez aumenta la velocidad de biooxidación del concentrado 22. De esta manera, usando un mineral grueso que contenga minerales de carbonato para el material de soporte 20, el mineral grueso será neutralizado lentamente para la biooxidación futura, y el crecimiento de bacterias en la pila 26 será promovido. Un beneficio concomitante, como se mencionó anteriormente, será la biooxidación de las partículas de sulfuro no flotables muy finas que están en el mineral grueso.

Como aquellos expertos en la técnica lo reconocerán, las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas usadas para los sustratos 20 no tienen que originarse a partir del mismo cuerpo de mineral como el usado para producir el concentrado 22. De hecho, en algunas situaciones, puede ser beneficioso usar un concentrado 22 que provenga de un cuerpo mineral y sustratos de mineral gruesos 20 que provengan de otro. Por ejemplo, un cuerpo de mineral puede ser concentrado fácilmente o ya tener las características deseables de un concentrado y otro cuerpo de mineral puede tener una alta concentración de minerales de carbono. En tal situación, sería ventajoso usar el primer cuerpo del mineral para producir el concentrado 22 y el segundo cuerpo de mineral para producir los sustratos 20. De esta manera, el mineral que proviene del segundo cuerpo de mineral puede ser neutralizado en preparación para la biooxidación, mejorando simultáneamente los resultados de la biooxidación del concentrado a partir del primer cuerpo de mineral. En forma similar, si un cuerpo de mineral contiene una alta concentración de sulfuros de metal que sean difíciles de hacer flotar, se pueden obtener resultados de flotación mejorados usando primero el mineral como sustratos minerales gruesos 20 en el procedimiento de acuerdo con la presente invención.

ES 2 309 987 T3

Otros materiales preferidos para los substratos 20 incluyen roca de lava, grava y minerales que contengan carbonato que contengan roca gruesa. Estos tipos de substratos se usarán típicamente cuando el cuerpo de mineral de sulfuro refractario que este siendo extraído sea una pila de desecho o una pila de residuos, y, como resultado, el mineral haya pasado ya a través de la trituración y la molienda.

Una ventaja de usar roca de lava es que está tiene una morfología de superficie muy áspera y no uniforme que aumenta el área de superficie total de los substratos 20 para un tamaño de partícula en particular. De esta manera, para cierto tamaño de partícula, se puede cargar de lava con más concentrado que otros substratos que tengan una superficie mas lisa.

La grava, aunque tiene típicamente una superficie no muy lisa, es un material de substrato poco costoso. La roca gruesa contiene minerales de carbonato es ventajosa, porque liberará lentamente dióxido de carbono mientras el ácido que proviene del procedimiento de biooxidación neutraliza los minerales de carbonato como se explicó anteriormente. Este tipo de substrato se podría volver a usar preferiblemente en el procedimiento sólo si continúa liberando dióxido de carbono durante el procedimiento de biooxidación.

Se describirá ahora una tercera modalidad de la presente invención en relación con la figura 3. El procedimiento de acuerdo con la presente modalidad es esencialmente una variación de la modalidad descrita en relación con la figura 1. En consecuencia, los artículos similares tienen los mismos números de referencia y se entenderá que la descripción y consideraciones expresadas con respecto a estos artículos en relación con la figura 1 se aplican igualmente a la presente modalidad.

Al igual que con la segunda modalidad, el procedimiento de acuerdo con la presente modalidad se puede usar para liberar y recuperar valores de metal precioso a partir de un mineral de sulfuro refractario portador de metal precioso. Sin embargo, para los propósitos de la presente descripción, se asume que el concentrado de mineral de sulfuro 22 es producido a partir de un mineral de sulfuro refractario portador de oro.

De acuerdo con la presente modalidad, una pluralidad de substratos 20 son revestidos con un concentrado de mineral de sulfuro 22 en un tambor giratorio 24 para producir una pluralidad de substratos revestidos 39. La pluralidad de substratos revestidos 39 son después apilados para formar la pila 26, la cual se usa como un gran biorreactor de superficie no agitado.

Las diferentes consideraciones mencionadas anteriormente en relación con los substratos 20, los concentrados de mineral de sulfuro 22, la formación de substratos revestidos 39 y la formación de la pila 26, son todas igualmente aplicables aquí.

Después de que la pila 26 es formada, ésta es inoculada con una bacteria biooxidante para iniciar el procedimiento de biooxidación. Mientras procede el procedimiento de biooxidación, se puede añadir concentrado de mineral de sulfuro adicional 22 a la parte superior de la pila 26. Una ventaja de añadir concentrado de mineral de sulfuro adicional 22 a la parte superior de la pila 26 a lo largo del procedimiento de biooxidación es que la cantidad de concentrado procesada en la pila puede aumentar antes de derribarse o desmoronarse y reconstruirse. Además, si se usa mineral de sulfuro refractario grueso para los substratos 20, el concentrado 22 tenderá a biooxidarse más rápidamente que las partículas de sulfuro de metal 40 encontradas en el mineral grueso. De esta manera, añadiendo concentrado 22 adicional a la parte superior de la pila 26, el grado de biooxidación de los substratos de mineral gruesos puede ser aumentado antes de desbaratar la pila. Además, añadiendo el concentrado de mineral de sulfuro 22 a la parte superior de la pila 26, el ácido y los iones férricos producidos durante esta biooxidación emigrarán hacia la parte inferior de la pila, en donde el crecimiento bacteriano pueden ser inhibido debido a las toxinas que no hayan sido eliminadas mediante lavado del mineral, al iniciar el procedimiento de biooxidación, o debido a la falta de oxígeno. Como resultado, la biooxidación del concentrado de mineral de sulfuro y de los substratos minerales gruesos procederá incluso si el crecimiento bacteriano no es favorecido en esta región.

Existe otra ventaja de añadir concentrado de mineral de sulfuro 22 a la parte superior de la pila 26 después de que ésta haya estado siendo sometida a la biooxidación durante algún tiempo, porque dichas adiciones aumentarán la velocidad de biooxidación en la pila. En las etapas posteriores de la biooxidación de los substratos revestidos 39, la mayoría de los sulfuros expuestos y reactivos ya habrán sido oxidados, dando como resultado una disminución en la tasa de biooxidación. Esta disminución en la tasa de biooxidación puede llevar a una caída en los niveles de hierro y a un aumento en el pH dentro de la pila 26. La adición de concentrado de mineral de sulfuro reactivo fresco 22 a la parte superior de la pila 26 puede volver a iniciar un procedimiento de biooxidación activo debido a los altos niveles férricos producidos a partir de la biooxidación del concentrado añadido, los cuales a su vez aumentarán la lixiviación química indirecta del concentrado de mineral de sulfuro 22 revestido sobre los substratos 20 y de las partículas de sulfuro de metal incrustadas en los substratos de mineral gruesos 20.

El concentrado fresco 22 se puede añadir a la parte superior de la pila 26 hasta que los canales de flujo dentro de la pila comiencen a taparse con el concentrado y el residuo biooxidado que proviene del concentrado.

Una segunda variación en la presente modalidad diferente de la figura 1, es con respecto a cómo los valores de metal precioso son recuperados a partir de la pila después de la biooxidación. En la presente modalidad, en lugar de descomponer o desmoronar la pila y después de separar el concentrado biooxidado de la pila para la extracción

del oro, el oro es extraído del concentrado biooxidado -y si se usa un sustrato de mineral grueso, a partir de los sustratos- lixiviando directamente la pila con un lixivante de metal precioso. Preferiblemente, el lixivante es uno que funcione a un pH bajo, tal como tiourea, para que la pila no necesite ser neutralizada antes de la lixiviación. Más aún, usando tiourea u otro lixivante compatible con ácido, los valores de oro liberados pueden ser extraídos de la pila intermitentemente. Por ejemplo, la pila 26 puede ser biooxidada durante un período, los valores de oro liberados extraídos con un lixivante adecuado y después al procedimiento de biooxidación reiniciado. Se añade preferiblemente un concentrado fresco 22 a la parte superior de la pila 26 en forma de suspensión con el reinicio del procedimiento de biooxidación.

El oro se extrae de la pila 26 permitiendo primero que la solución de biolixiviación sea drenada de la pila hacia el circuito de ácido 30 siguiendo un grado de biooxidación deseado. Después de que la pila es drenada, un lixivante compatible con ácido tal como tiourea es bombeado desde el suministro de lixivante 38 hacia el sistema aspersor 28 en donde es dispersado sobre la pila 26. Al percolarse el lixivante a través de la pila, disuelve valores de oro liberados del concentrado mineral de sulfuro 22 y los sustratos de mineral grueso. El lixivante cargado se reúne entonces en el desagüe 29 en donde es desviado del circuito de ácido hacia un procedimiento de remoción o separación de oro 44 que comprende preferiblemente adsorber al oro disuelto sobre carbón activado o una resina sintética. El lixivante estéril es entonces reciclado hacia el suministro de lixivante 38 y el oro es recuperado a partir del carbón activado o la resina sintética cargados. Los procedimientos para evaporar los valores de oro absorbidos a partir de carbón activado y de resina sintética son bien conocidos en la técnica y no necesitan ser descritos en la presente.

En la figura 4 se ilustra un procedimiento de acuerdo con una cuarta modalidad de la presente invención.

La figura 4 ilustra un procedimiento para liberar y recuperar valores de metal a partir de un mineral de sulfuro. Ya que el procedimiento en conformidad con la presente modalidad tiene ciertas similitudes con la modalidad descrita en conexión con la figura 1, los artículos similares tienen los mismos números de referencia. Más aún, se entenderá que la descripción y consideraciones expresadas con respecto a estos artículos en conexión con la figura 1 son iguales a los de la presente modalidad.

De acuerdo con la presente modalidad, se produce primero un concentrado de mineral de sulfuro 22 a partir de un mineral de sulfuro. El concentrado 22 está comprendido de una pluralidad de partículas de sulfuro de metal finas 40 y partículas finas de arena u otro material de ganga 42.

Se pueden usar muchos minerales de sulfuro diferentes para producir el concentrado mineral de sulfuro 22. Entre los principales minerales de sulfuro que se pueden tratar en el presente procedimiento están los minerales de sulfuro que contienen minerales de sulfuro de metales de base tales como cobre, zinc, níquel, hierro, molibdeno, cobalto o uranio. Los valores de metal de interés en estos minerales están presentes en la porción de metal de las partículas de mineral de sulfuro en el mineral. Por lo tanto, los valores de metal que son liberados y recuperados dependerán de los minerales de sulfuro específicos presentes en el concentrado 22 producido a partir del mineral. Por ejemplo, si el mineral de sulfuro usado para producir el concentrado 22 contiene calcocita, bornita y/o calcopirita, entonces los valores de metal recuperados serán aquellos de cobre. Por otra parte, si el concentrado 22 es un concentrado de esfalerita, los valores de metal recuperados serán aquellos de zinc.

Después de que el concentrado 22 es producido, un concentrado mineral de sulfuro 22 es después revestido sobre una pluralidad de sustratos 20 para formar sustratos revestidos 39. Esto se logra como se describe en relación con la figura 1, añadiendo una pluralidad de sustratos secos 20 y una suspensión del concentrado 22 a un tambor giratorio 24, o, alternativamente, añadiendo una pluralidad de sustratos secos 20 y el concentrado 22 al tambor giratorio 24 y después rociando la mezcla con una solución acuosa. La pluralidad de sustratos revestidos 39 producidos en el tambor giratorio 24 son apilados para formar la pila 26, la cual forma un gran biorreactor de superficie no agitado.

Las diferentes consideraciones descritas anteriormente en relación con los sustratos 20, los concentrados minerales de sulfuro 22, la formación de sustratos 39 y la formación de la pila 26 son todos igualmente aplicadas aquí.

Después de que la pila 26 es formada, la pila es inoculada con una bacteria biooxidante para iniciar el proceso de biooxidación. Al biooxidarse las partículas de sulfuro de metal 40 en el concentrado 22, la porción de metal de las partículas de sulfuro se disuelve en la solución de biolixiviación mientras se percola a través de la pila. Después de que la solución de biolixiviación se percola a través de la pila, ésta es reunida en el desagüe 29. La solución de biolixiviación es después procesada para recuperar uno o más valores de metal de base deseados retirándolos de la solución de biolixiviación usando técnicas bien conocidas en la técnica.

Después de la recuperación de los valores de metal deseados a partir de la solución de biolixiviación, la solución puede ser procesada en el circuito de ácido 30 para retirar o separar cualquier exceso de toxinas como se describió en relación con la figura 1 y después reaplicada a la parte superior de la pila 26.

Una vez que la reacción de biooxidación ha alcanzado un punto final económicamente definido, que es después de que las partículas de sulfuro de metal 40 sobre la superficie de los sustratos gruesos 20 son biooxidizadas hasta un grado deseado, la pila es desbaratada y el concentrado biooxidado es separado de los sustratos gruesos 20. El concentrado biooxidado es después desechado en una pila de desechos o de desperdicios 36. Debe ser entendido, sin embargo, que aunque la presente modalidad ha sido descrita en términos de liberar y recuperar valores de metal

de base a partir de una porción de metal de las partículas de sulfuro de metal 40 en el concentrado mineral de sulfuro 22, las partículas de sulfuro 40 también pueden incluir valores de metal precioso ocluidos. Por lo tanto, después de la biooxidación del concentrado 22, cualesquiera valores de metal precioso que sean liberados en el concentrado 22 se pueden extraer y recuperar como se describe en relación con la figura 1 antes del desecho del concentrado biooxidado.

Los substratos gruesos 20 que han sido separados del concentrado biooxidado pueden ser reciclizados al tambor giratorio para un nuevo revestimiento de concentrado de mineral de sulfuro 22. En forma alternativa, si las partículas de mineral de sulfuro gruesas se usan para los substratos 20, son procesadas preferiblemente después de uno o más ciclos a lo largo el procedimiento para formar un concentrado de mineral de sulfuro de cualesquiera partículas de sulfuro de metal 40 que permanezcan sin oxidar en los substratos de mineral gruesos. El concentrado de mineral de sulfuro 22 es producido a partir de los substratos minerales gruesos biooxidados como se describe en relación con la segunda modalidad.

Un procedimiento de acuerdo con una quinta modalidad de la presente invención se ilustra en la figura 5. El procedimiento ilustrado en la figura 5 es para liberar y recuperar valores de metal precioso a partir de minerales de sulfuro refractario portadores de metales preciosos usando un biorreactor no agitado. El procedimiento comprende producir un concentrado 22 de partículas de sulfuro de metal 40 a partir del mineral de sulfuro refractario que está siendo procesado. El concentrado 22 es después revestido sobre una pluralidad de substratos gruesos 20 para formar substratos revestidos 39 usando un tambor giratorio 24 como se describe en relación con la segunda modalidad. Después de la formación, los substratos revestidos 39 son colocados en un tanque 45 para la biooxidación. Al biooxidar los substratos 39 en el tanque 45 se crea un gran biorreactor de superficie no agitado que tiene un área de superficie muy grande. De esta manera, el tanque 45 toma el lugar de la pila 26 en el procedimiento de acuerdo con la segunda modalidad. En consecuencia, las diferentes consideraciones descritas anteriormente en la segunda modalidad con respecto a los substratos 20, los concentrados de mineral de sulfuro 22, la formación de substratos revestidos 39 y la formación de la pila 26, son todos igualmente aplicables a la biooxidación de substratos revestidos 39 en el tanque 45 en la presente modalidad.

Durante la biooxidación del concentrado 22 sobre los substratos revestidos 39 se añaden soluciones de mantenimiento biolixiviantes al tanque desde la parte superior usando cualesquiera de un número de técnicas bien conocidas. La solución biolixivante que se percola a través del tanque es drenada el tanque y procesada en el circuito de ácido 30 como se describe en relación con la figura 1 antes de volverla a usar en el procedimiento.

Se puede soplar aire en el tanque durante el procedimiento de biooxidación para mejorar los niveles de oxígeno en el biorreactor y para mejorar la disipación de calor. Se sopla aire preferiblemente en el tanque 45 a través de una serie en tubos perforados 46 que están conectados a un soplador (no mostrado).

Si se desea, se puede añadir concentrado 22 adicional a la parte superior de los substratos revestidos 39 en el tanque 45 a lo largo del procedimiento de biooxidación. Como se describió anteriormente en relación con la tercera modalidad, añadiendo un concentrado adicional al biorreactor durante el procedimiento de biooxidación, la velocidad de biooxidación dentro del biorreactor se puede mantener a un nivel alto a lo largo del procedimiento de biooxidación.

Una ventaja de usar el tanque 45 en lugar de la pila 26 para el biorreactor, es que éste hace más fácil la separación del concentrado 22 biooxidado de los substratos 20. Después de que el concentrado 22 es biooxidado hasta un punto final deseado, la separación del concentrado biooxidado de los substratos se logra llenando el tanque con agua, y después drenando rápidamente el tanque. El concentrado biooxidado será portado por el agua de drenado. Este procedimiento se puede repetir varias veces para mejorar los resultados de la separación. El tanque 45 está también equipado preferiblemente con un tamiz en el fondo del tanque que tiene un tamaño de malla que es menor que el tamaño de los substratos, pero mayor que el tamaño de partícula del concentrado para ayudar en el procedimiento de separación.

Después de la separación, el concentrado biooxidado es lixiviado con un lixivante de metal precioso para extraer el oro liberado u otros valores de metal precioso. Los valores de oro disueltos son después recuperados del lixivante poniendo en contacto la solución con carbón activado o una resina sintética. Preferiblemente, la lixiviación se lleva a cabo en presencia de carbón activado o de una resina sintética para que los valores de oro disueltos sean inmediatamente separados de la solución mientras son disueltos. El oro absorbido sobre el carbón activado o las resinas sintéticas puede ser recuperado usando técnicas bien conocidas en la técnica.

Una vez que los valores de metal precioso han sido extraídos del concentrado biooxidado, el concentrado puede ser desechado en una pila de desechos o de desperdicios 36.

Al igual que en la segunda modalidad, los substratos gruesos 20 que han sido separados de los concentrados biooxidados pueden ser reciclizados al tambor giratorio para un nuevo revestimiento de concentrado de mineral de sulfuro 22. Los substratos 20 pueden volver a usarse, siempre y cuando retengan su integridad mecánica. Si se usan partículas de mineral de sulfuro refractarias gruesas como substratos 20, se procesan preferiblemente en cierto punto, preferiblemente después de uno a tres ciclos, para recuperar los valores de oro liberados. Esto se logra de la misma manera que la descrita en relación con la segunda modalidad.

Se describirá ahora otro aspecto de la presente invención. En este aspecto de la invención, se describe un procedimiento para recuperar valores de metal precioso a partir de un concentrado de minerales de sulfuro refractario portadores de metales preciosos. El procedimiento comprende (a) distribuir un concentrado comprendido de minerales de sulfuro refractario finos sobre la parte superior de una pila de material de soporte grueso (b) biooxidar el concentrado de minerales de sulfuro refractario; (c) lixiviar valores de metal precioso a partir de los minerales de sulfuro refractario biooxidados con un lixiviante y (d) recuperar valores de metal precioso de lixiviante.

Un concentrado de minerales de sulfuro refractario portadores de metales preciosos se preparará típicamente a partir de un mineral de sulfuro refractario que porte metales preciosos. El concentrado se puede preparar a partir de dichos minerales usando técnicas bien conocidas de separación por gravedad o de flotación. Aunque la separación por gravedad es más barata, la flotación es el método de separación que más se prefiere debido a la selectividad del procedimiento. El colector más frecuentemente usado para concentrar minerales de sulfuro en un procedimiento de flotación es el xantato. Los procedimientos de flotación de xantato son bien conocidos por aquellos expertos en la técnica y no necesitan ser descritos en detalle en la presente.

Preferiblemente, el tamaño de partícula del concentrado es tal que 80 a 90% del concentrado es de menos de 100 a 45 μm . Muy preferiblemente, 80 a 90% del concentrado es de menos de aproximadamente 150 μm a aproximadamente 100 μm .

Sin embargo, el tamaño óptimo puede variar con diferentes tipos de minerales. En general, el operador deberá inclinarse por un tamaño de partícula que permita la separación óptima en el procedimiento de concentración y que provea una velocidad óptima de biooxidación contra los costos aumentantes de la molienda fina adicional.

Cuanto más pequeño sea el tamaño de partícula de los minerales de sulfuro dentro del concentrado, mas rápidamente se oxidará el concentrado durante la biolixiviación. Sin embargo, la velocidad de biooxidación más rápida no siempre justifica los costos de energía añadidos asociados con la molienda fina de un mineral o un concentrado de flotación.

Con el procedimiento de acuerdo con el presente aspecto de la invención, el costo de dejar biooxidar al concentrado sobre la pila es mínimo. Por lo tanto, un período de biooxidación ligeramente mas largo puede ser justificado para evitar tener que incurrir en gastos relacionados con moliendas adicionales. A este respecto, el presente procedimiento tiene una ventaja sobre los procedimientos de molino. En los procedimientos de molino, el concentrado de mineral de sulfuro debe ser molido muy finamente para asegurar altas velocidades de biooxidación para que el biorreactor pueda procesar la mayor cantidad de concentrado posible en un período de tiempo tan corto como sea posible para mantener la economía del procedimiento.

Después de que el concentrado de mineral de sulfuro es formado, este es distribuido sobre la parte superior de una pila de material de soporte. Preferiblemente, el concentrado es distribuido sobre la parte superior de una pila en una forma de suspensión para que el concentrado pueda ser conducido por medio de tuberías directamente hacia la pila sin haber tenido que ser secado primero. La densidad de pulpa del concentrado debe ser ajustada para que el concentrado fluya bien, y no se deslave simplemente a través de la pila de material de soporte. Debido a que las partículas del mineral de sulfuro son hidrofóbicas, tenderán a adherirse al material de soporte en lugar de emigrar completamente a través de la pila si se soluciona el material de soporte adecuado. Tampoco debe representar un problema el bloqueo de los canales de flujo si se selecciona un tamaño adecuado del material de soporte.

El propósito del material de soporte es el de capturar y retener los minerales de sulfuro mientras migran lentamente hacia abajo a través de la pila para que el material de soporte actúe como un biorreactor de área de superficie grande. Por esta razón se prefieren los materiales de soporte que tienen un alto grado de porosidad o una superficie áspera, toda vez que estos tipos de superficie tenderán a capturar y retener al concentrado. Cuanto más concentrado pueda soportar la roca de soporte sin el bloqueo de los canales de flujo, mejor. Los materiales de soporte que se pueden usar en la práctica del presente aspecto de la invención incluyen roca de lava, grava o roca estéril que contengan cantidades pequeñas de carbonato mineral como una fuente de CO_2 para las bacterias biooxidantes. Otros sustratos gruesos adecuados incluyen ladrillo, bloque de hormigón y escoria. La roca de lava es un material de soporte particularmente preferido debido a su aspereza y alto grado de porosidad.

El material de soporte que contiene una pequeña cantidad de carbonato mineral es benéfico no sólo por el CO_2 que produce, sino que también es benéfico porque ayudará a regular el pH de la solución ácida producida como resultado del procedimiento de biooxidación. Esto hará más fácil controlar el pH del biorreactor durante el procedimiento de biooxidación.

Con respecto a la selección de un tamaño apropiado del material de soporte, existen varios intereses competentes que deben ser considerados. Los materiales de soporte de diámetro más pequeño tienen una mayor área de superficie y de esta manera aumentan el área efectiva del biorreactor creado por la pila de material de soporte. Sin embargo, un material de soporte de diámetro más pequeño puede ser más costoso dependiendo de la cantidad de molienda requerida para producir el tamaño deseado. Además, el material de soporte de diámetro más pequeño puede ser sometido a más bloqueo de los canales de flujo fluido por el concentrado que se añade a la parte superior de la pila. Un material de soporte más grande permitirá formar pilas más altas sin el riesgo de que los canales de flujo se tapen.

Típicamente, el material de soporte tendrá más de aproximadamente 0,62 cm de diámetro y menos de aproximadamente 2,54 cm de diámetro. Preferiblemente, el material de soporte tiene más de 0,95 cm de diámetro y menos de aproximadamente 1,9 cm de diámetro. Un material de soporte que tenga un diámetro de aproximadamente 1,27 cm será el tamaño óptimo.

Para biooxidar el concentrado, la pila es inoculada con bacterias u otros microbios capaces de biooxidar los minerales de sulfuro en el concentrado. Dichos tratamientos microbianos son bien conocidos en la técnica. Las bacterias que se pueden usar para este propósito incluyen *Thiobacillus ferrooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans* y *Thiobacillus thiooxidans*. *Thiobacillus ferrooxidans* es un microorganismo especialmente preferido para los procedimientos de biooxidación.

Si la solución de biolixiviación es reciclada, se pueden necesitar pasos precautorios para evitar que los materiales tóxicos se acumulen en la solución reciclada y la velocidad de biooxidación no sea retrasada significativamente. El procedimiento descrito en la solicitud de patente estadounidense U.S. No. de Serie 08/329,002, presentada el 25 de octubre de 1994, se puede usar para asegurar que los materiales inhibidores no se acumulen al grado de que se vuelvan dañinos para el procedimiento de biooxidación.

Después de que el concentrado de sulfuro refractario es biooxidado suficientemente, los valores de metal precioso liberados puede ser lixiviados con un lixivante de tiourea o cianuro. El cianuro es el lixivante preferido aun a pesar de que el pH de la pila debe ser primero elevado antes de la lixiviación. Una ventaja de la tiourea es que no es tóxica para los microorganismos biooxidantes. Como resultado, se pueden llevar a cabo lixivaciones intermitentes para disolver los valores de metal precioso liberados y después puede ser reanudado el procedimiento de biooxidación.

Los valores de metal precioso disueltos pueden recuperarse a partir de lixivante usando técnicas bien conocidas por aquellos expertos en la técnica, tales como los procedimientos de carbón de lixiviación y de carbón en columna.

Otra ventaja del presente procedimiento es que se puede usar como un procedimiento continuo añadiendo intermitentemente un concentrado fresco o nuevo a la parte superior de la pila. La ventaja de añadir concentrado fresco a la parte superior de la pila es que una vez que la pila es establecida y que la biooxidación está ocurriendo rápidamente, el concentrado fresco puede ser añadido para mantener la alta velocidad de biooxidación dentro de la pila sin tener que desbaratar la pila para procesar el material biooxidado.

Debido al capital y costos de operación relativamente bajos de procedimiento de acuerdo con el presente aspecto de la invención, se puede usar para procesar económicamente concentrados de un grado mucho más bajo, y como resultado minerales de grado más bajo, que en un procedimiento de biooxidación de molino. Además, distribuyendo el concentrado de minerales de sulfuro refractario portadores de metales preciosos sobre la parte superior de una pila de material de soporte, se asegura un buen flujo de fluido (tanto de aire como de líquido) dentro de la pila.

Se describirá ahora otro aspecto de la presente invención. En este aspecto a la invención, se provee un procedimiento para recuperar valores de metal de base a partir de minerales de sulfuro. Dichos minerales incluyen, a manera de ejemplo, calcopirita, esfalerita, minerales de sulfuro de níquel y minerales de sulfuro de uranio. El procedimiento de acuerdo con este aspecto de la invención comprende (a) formar un concentrado de mineral de sulfuro que comprenda partículas de sulfuro de metal finas; (b) distribuir el concentrado sobre la parte superior de una pila de material de soporte grueso; (c) biooxidar el concentrado y (d) recuperar valores de metal a partir de la solución usada para biooxidar los minerales de sulfuro de metal. Debido al hecho de que este procedimiento, al igual que el procedimiento descrito en relación con el aspecto anterior de la invención para procesar concentrados de minerales de sulfuro portadores de metales preciosos, usa una pila de material de soporte grueso para el biorreactor, sus costos de capital y operativos son menores que los de una operación de biolixiviación de molino. Sin embargo, debido al buen flujo de aire en la pila, la velocidad de biooxidación de los minerales de sulfuro es bastante alta y puede alcanzar a la que se observaría en una operación tipo molino.

Dependiendo del mineral de sulfuro a partir del cual se obtiene el concentrado, los valores de metal de base que puede recuperarse según el procedimiento de acuerdo con el presente aspecto de la invención, incluyen cobre, zinc, níquel y uranio.

Los parámetros y consideraciones del procedimiento de acuerdo con el presente aspecto de la invención son muy parecidos a aquellos establecidos anteriormente para el aspecto anterior de la invención para procesar concentrados portadores de metales preciosos de minerales de sulfuro refractario.

Sin embargo, la principal diferencia entre los dos procedimientos, es que los valores de metal de base de interés en el presente procedimiento se disuelven durante el proceso de biooxidación. Como resultado, los valores de metal son recuperables directamente de la solución usada para biooxidar al concentrado de minerales de sulfuro de metal. La técnica usada para extraer los valores de metal de interés a partir de biolixivante dependerá de metal específico de interés. Como aquellos en la técnica reconocerán inmediatamente, dichas técnicas pueden incluir la extracción con disolvente, cementación con hierro y precipitación a través de ajustes de pH. La extracción con solvente es un método particularmente preferido para remover cobre de la solución de biolixiviación.

Al igual que con el procedimiento de acuerdo con el aspecto anterior de la invención, el presente procedimiento se puede llevar a cabo de un modo continuo añadiendo concentrado en una base intermitente. Por ejemplo, el concentrado se puede añadir en una base diaria o semanal. Como se describió anteriormente, dichas adiciones asegurarán que la velocidad de biooxidación permanezca alta para el concentrado que es distribuido sobre la pila y que ha emigrado a través de la pila.

Como reconocerá un experto en la técnica, el procedimiento de acuerdo con el presente aspecto de la invención se puede combinar con el procedimiento de acuerdo con el aspecto previo de la invención para recuperar valores de metal precioso a partir de un concentrado de minerales de sulfuro refractario. Esto es debido a que los valores de metal de base que provienen de los minerales de sulfuro refractario se disolverán inherentemente en la solución de bioxiviación durante el proceso de biooxidación liberando simultáneamente valores de metal precioso ocultos contenidos en los minerales de sulfuro. Estos valores pueden entonces ser recuperados si se desea usando las técnicas descritas anteriormente.

Habiendo descrito las modalidades preferidas de la invención, se amplificarán más varios aspectos de la invención en los siguientes ejemplos. Dichas ampliaciones están diseñadas para ilustrar la invención descrita en la presente, y no para limitar a la invención a los ejemplos establecidos.

20 Ejemplo 1

Se trituró una muestra de mineral de oro grado inferior (3,4 ppm) que se sabe es refractario a la lixiviación con cianuro debido a los sulfuros. El mineral fue entonces separado en una fracción de -0,62 cm (47,4% en peso) y una fracción de -0,31 cm (resto). La fracción de -0,31 cm fue entonces molida adicionalmente hasta un 95% pasado un tamiz de 75 μm para ayudar a producir un concentrado de pirita refractario mediante flotación.

Se añadió agua a la muestra molida hasta que ésta alcanzó una densidad de pulpa de 30%. La pulpa de mineral fue después ajustada a un pH de 10 y tratada con Na_2SiO_3 a 6 kg/ton de mineral durante 12 horas para separar el material de arcilla. El mineral de arcilla se separó como la fracción que no se sedimentó después de 12 horas.

Debido a que las arcillas pueden ocasionar problemas con la flotación, se añadió un paso que permite que el material no arcilloso se sedimente para separar la fracción de arcilla antes de hacer flotar la muestra.

La fracción de arcilla estaba por debajo del 3% del peso total del mineral, pero contenía casi un 5% de oro en el mineral. La separación y flotación subsiguiente de la fracción de arcilla produjo una fracción de peso muy pequeño (0,1% del peso total del mineral), pero contenía más de 17 ppm de oro. La lixiviación con cianuro del residuo de flotación de arcilla extrajo más del 76% del oro contenido en el mismo. La cantidad total de oro contenida en el residuo de flotación de arcilla era de 1.08 ppm.

Antes de la flotación, la fracción principal de mineral molido (+5 μm a -75 μm) fue acondicionada con CaSO_4 a 2.0 kg/ton durante diez minutos mezclando en una celda de flotación Wemco. Esto fue seguido por 10 minutos de mezclado con xantato a 100 g/ton, lo cual fue entonces seguido por 5 minutos de mezclado con Dowfirth D-200 a 50g/ton. La muestra fue entonces puesta a flotar durante 20 minutos a una densidad de pulpa de 30%. Cuatro kg de la fracción principal se procesaron en 8 lotes separados de 500 g cada uno. Los concentrados de sulfuro obtenidos a partir de estas flotaciones fueron recogidos y combinados y se volvieron a poner a flotar en una columna.

Se recogieron tres fracciones, el residuo de la flotación con Wemco, el residuo de la flotación en columna y el concentrado de sulfuro; cada una de estas fracciones fue secada y pesada. El residuo de la flotación con Wemco fue 35,4% en peso del peso total del mineral y contenía 1,88 ppm de oro. La lixiviación con cianuro de esta fracción produjo 67% de su oro. Esto fue mayor que la recuperación mediante la lixiviación con cianuro del mineral completo, la cual fue del 63%. El residuo de la columna contenía 3,56 ppm de oro. La recuperación de oro a partir de esta fracción mediante la lixiviación con cianuro fue del 76,6%.

El concentrado de sulfuro pesaba 753 g, lo cual representó 8,8% de mineral total (fracciones de +0,31 cm y -0,31 cm). El análisis de una fracción pequeña del concentrado indicó que contenía 6,5 ppm de oro. Esta fracción fue revestida sobre el 47,4 por ciento en peso del mineral de +0,31 cm. El concentrado de pirita seco fue esparcido sobre la superficie del mineral grueso girando en un tambor giratorio a 30 rpm mientras se rociaba una mezcla de 2.000 ppm de ion férrico y 1% de Nalco #7534, el cual es un auxiliar de aglomeración. El pH de la solución era de 1,8.

La mezcla del concentrado sobre el soporte de mineral grueso fue colocada en una columna de 7,62 cm. Se introdujeron aire y líquido desde la parte superior. La columna fue inoculada con 10 ml de la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* a un D.O. de 2,6 o aproximadamente $1,1 \times 10^{10}$ de bacteria por ml.

Las bacterias fueron cultivadas en una solución nutriente ácida que contenía 5 g/l de sulfato de amonio y 0,83 g/l de sulfato de magnesio heptahidratado. El pH de la solución se mantuvo en la escala de 1,7 a 1,9 mediante el ajuste con ácido sulfúrico (H_2SO_4). La solución contenía también hierro a 20 g/litro en forma de sulfato férrico y ferroso.

ES 2 309 987 T3

Las bacterias se añadieron a la parte superior de la columna después de que el pH fue ajustado a pH 1,8. El líquido introducido a la parte superior de la columna a lo largo del experimento tenía un pH de 1,8; con sales de 0,2 x 9 K y 2.000 ppm de ácido férrico. El grado de oxidación con hierro se determinó mediante el análisis de la solución que eluía de la columna menos el hierro introducido por la alimentación de 2.000 ppm de férrico.

La composición del medio de sales de 9 k normal para *T. ferrooxidans* se enlista a continuación. Las concentraciones están provistas en gramos/litro.

(NH ₄) SO ₄	5
KCl	0.17
K ₂ HPO ₄	0.083
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.833
Ca (NO ₃) · 4 H ₂ O	0.024

La anotación sales de 0,2 x 9 k indica que la resistencia de la solución de sal de 9 k estaba al 20% de la del medio de sal de 9 k normal o standard.

Después de 60 días la cantidad de hierro lixiviada fuera de la columna indicaba que aproximadamente 50% de la pirita había sido biooxidada. El experimento fue detenido y la mezcla se separó en un fracción de +600 µm y una fracción de -600 µm. Cada fracción fue molida a 95% menos 75 µm y después lixiviada con una solución de 500 ppm de cianuro en un análisis de balanceo de botella de 96 horas. Se añadió carbón activado a la prueba de balanceo de botella para absorber cualquier oro disuelto.

La recuperación de oro de la fracción de -600 µm fue de 83,7%. el material de -600 µm tenía un valor de oro máximo aumentado de 8,87 ppm debido a la pérdida del peso de la pirita. La fracción gruesa de +600 µm, por otra parte, tuvo una recuperación de oro de 57% y valor de oro máximo de 2,24 ppm. Esto indicó que la pirita concentrada que fue revestida sobre el exterior de la roca gruesa y se había biooxidado más rápido que la fracción gruesa de la roca.

Ejemplo 2

Se llevó a cabo otra prueba comparativa. En este ejemplo se compararon las tasas de biooxidación de las fracciones de tamaño de mineral. El mineral, el cual fue provisto por Ramrod Gold Corporation, se trituró a 1,9 cm. La fracción de mineral de -0,31 cm se separó y se usó para formar un concentrado. La muestra de mineral tenía menos de 2,7 g de oro por tonelada de mineral (2,7 ppm). La muestra contenía tanto arsenopirita como pirita. El concentrado se hizo mediante molienda de bola de 5 kg del mineral de -0,31 cm hasta que pasó las -75 µm, el mineral molido con bola fue entonces puesto a flotar con xantato para formar un concentrado de pirita. Antes de la flotación la arcilla fue separada sedimentando con Na₂SiO₃ a 6 kg/ton de mineral durante 8 horas o más. La flotación se llevó a cabo en lotes pequeños de 500 g cada uno en una celda de flotación de laboratorio Wemco. Se usó amilxantato de potasio como un colector a una concentración de 100 g/ton junto con sulfuro de sodio a 1,5 kg/ton y Dowfroth D-200 a 50 g/ton. El concentrado de pirita constituyó 4,5% del peso de la fracción de mineral de -0,31 cm. Sin embargo, esta fracción de mineral contenía más del 80% del oro y la pirita para el mineral molido. El concentrado contenía aproximadamente 17,4% de hierro, 15,7% de azufre y aproximadamente 40 ppm de oro. El mineral de +0,31 cm contenía 0,9% de hierro y 0,18% de azufre.

Una muestra de 140 g de este concentrado fue revestida sobre 560 g de un mineral grueso de +0,31 cm. El concentrado se añadió como un polvo seco al mineral grueso. La mezcla fue entonces girada en un tambor de plástico pequeño a 30 rpm para esparcir el concentrado seco sobre el soporte de roca. Líquido que contenía 2.000 ppm de ion férrico y 1% de Nalco #7534 fue rociado sobre la mezcla hasta que todo el concentrado fue revestido sobre la roca. El pH del líquido se mantuvo a 1,8. Se calculó que la cantidad de líquido usada era entre 5 y 10 por ciento del peso de mineral grueso y el concentrado. La mezcla de concentrado de 700 g sobre substratos de mineral gruesos se colocó en una columna de 7,62 cm. La altura del mineral después de haber sido colocado en la columna era de aproximadamente 12,7 cm. Se introdujo aire y líquido desde la parte superior de la columna. La columna de concentrado revestido sobre substratos de mineral grueso fue inoculada con aproximadamente 10 ml de bacterias a un D.O. de 2,0 ó aproximadamente 8 x 10⁹ bacterias por ml.

Las bacterias fueron un cultivo mezclado de *Thiobacillus ferrooxidans*, que fueron originalmente iniciadas con cepas de ATCC #19859 y 33020. Las bacterias fueron cultivadas en una solución nutriente ácida que contenía 5 g/l de sulfato de amonio y 0,83 g/l de sulfato de magnesio heptahidratado. El pH de la solución se mantuvo en la escala de 1,7 a 1,9 ajustando con ácido sulfúrico (H₂SO₄). La solución también contenía hierro a 20 g/litro en forma de sulfato férrico y ferroso.

ES 2 309 987 T3

Las bacterias se añadieron a la parte superior de la columna después de que el pH se fue ajustando a pH 1,8. El líquido introducido a la parte superior de la columna a lo largo del experimento tenía un pH de 1,8 con sales de 0,2 x 9 k y ion férrico de 2,000 ppm. El grado de oxidación con hierro se determinó mediante el análisis de la solución que eluía fuera de la columna menos el hierro introducido por la alimentación de férrico de 2,000 ppm.

Este mineral era bajo en sulfuros y tenía una concentración de menos del 1% de su peso. Haciendo un concentrado sobre la roca gruesa a 20% en peso, la concentración tanto de la pirita como del oro podría ser aumentada por encima de diez veces. Esto aumentó la velocidad de biooxidación como se observa en las figuras 6 y 7 sobre aquella para el mineral completo. Este procedimiento no sólo expuso más pirita al aire y al agua, sino que también aumentó la cantidad de ion férrico y ácido generados por volumen unitario de mineral en el modelo de columna para una pila.

La figura 6 muestra la cantidad de oxidación determinada por el porcentaje de hierro lixiviado tanto para el concentrado de pirita de este mineral en un mineral grueso de +0,31 cm, como para el mineral completo mismo. Como lo muestra la gráfica, el procedimiento de concentrado fue biooxidado a aproximadamente 40% en los primeros 30 días y más del 65% en los primeros 60 días. Mientras que el mineral completo solo fue biooxidado a 24% en 84 días. Las tasas diarias de biooxidación promedio se muestran en el cuadro 7. Las tasa diaria promedio más alta del concentrado revestido fue de 1,8% por día comparada con una velocidad diaria promedio de sólo 0,5% para el mineral completo. Como lo ilustra la figura 7, la muestra de concentrado revestida no tardó tanto para comenzar a biooxidar la muestra. Esto significa que el procedimiento de concentrado revestido es más propenso a lograr una biooxidación completa en un tiempo razonablemente corto.

El siguiente cuadro 1 muestra los puntos de datos específicos graficados en las figuras 6 y 7 para el procedimiento de concentrado sobre mineral grueso y para el procedimiento de mineral completo que se llevaron a cabo para establecer una comparación.

Después de 68 días el concentrado revestido sobre la columna de mineral grueso fue recogido. El material biooxidado fue separado en una fracción de más de 180 μ m y una fracción de menos de 180 μ m. El peso del material fino había aumentado de 140 g a 150 g. La cantidad total de hierro removida del sistema durante los 68 días de biooxidación fue de 21,5 g, lo cual representa 46 g de pirita. El peso de la roca gruesa disminuyó en 54 g. Se cree que esto se debió al desbaratamiento de la roca en material más fino debida al procedimiento de biooxidación. El peso total después de la biooxidación fue de 656 g, lo cual era 44 g menos que el material de partida. Esto encajó bien con los 46 g de pirita oxidada calculados.

CUADRO 1

Procedimiento de Concentrado			Procedimiento de Mineral Completo		
# de días	% de Fe lixiviado	% Fe/día	# de días	% de Fe lixiviado	% Fe/día
0	0.0	0.00	0	0.0	0.00
9	8.4	0.93	13	0.2	0.01
16	18.5	1.11	21	2.5	0.29
20	25.5	1.76	28	5.1	0.38
23	31.0	1.82	35	8.6	0.50
28	37.5	1.30	42	11.7	0.44
33	41.7	0.84	49	13.8	0.29
37	46.1	1.10	56	15.9	0.31
43	51.8	0.95	62	18.4	0.42
51	60.7	1.11	70	21.5	0.39
58	66.7	0.86	77	23.1	0.23
65	70.9	0.60	84	24.3	0.16

ES 2 309 987 T3

Dos muestras del material de $-180\ \mu\text{m}$ y una muestra del material de $+180\ \mu\text{m}$ se lixiviaron con cianuro. Para lixiviar las muestras se hicieron rollos de botella durante 96 horas, y el lixivante se mantuvo a 500 ppm de cianuro. La roca de soporte de mineral grueso de $+180\ \mu\text{m}$ fu molida a 95% $-75\ \mu\text{m}$ antes de hacer el balanceo de botella. Todos los balanceos de botella se hicieron con carbón activado en la solución de lixiviación.

El análisis de sulfuro de la fracción de menos $180\ \mu\text{m}$ después de 68 días de biooxidación mostró que la muestra todavía contenía 8,8% de sulfuros lo cual era el 56% del nivel de partida. Esto fue una oxidación porcentual más baja que la indicada por el hierro lixiviado durante el experimento de columna. La recuperación de oro aumentó a 84,3% para la fracción de alto grado (38 ppm) - $180\ \mu\text{m}$ y de 79,5% para la fracción de bajo grado (3 ppm) + $180\ \mu\text{m}$. Este es un aumento substancial a partir de la recuperación de 45,6% del mineral no oxidado.

Ejemplo 3

Se usó una muestra de 70% de mineral de oro de menos de $75\ \mu\text{m}$ a partir de una mina en República Dominicana para hacer un concentrado de flotación de sulfuro. La muestra de mineral se obtuvo de la pila de desechos en la mina que ya había sido lixiviada con cianuro. La muestra de mineral todavía contenía valores de oro de más de 2 g por tonelada que estaban ocluidos dentro de los sulfuros y que no eran directamente lixiviables con cianuro.

Para formar el concentrado de sulfuro se molieron adicionalmente varios kilos de esta muestra a 95% menos $75\ \mu\text{m}$. La muestra molida fue después hecha flotar para formar el concentrado de sulfuro. La flotación se llevó a cabo en lotes pequeños de 500 g cada uno en una celda de flotación Wemco de laboratorio. Antes de la flotación, la muestra de mineral molida se ajustó a una densidad de pulpa de 30%. La suspensión de mineral fue después mezclada con 1,5 kg/ton de sulfuro de sodio (Na_2S) durante 5 minutos a un pH de 8,5. Después se añadió amil xantato de potasio como un colector a 100 g/ton. y se mezcló durante 5 minutos. Después se añadieron 50 g/ton. de Dowfroth D-200 y se mezcló durante 5 minutos. Finalmente se introdujo aire para producir concentrado de sulfuro que contenía 17,4% de hierro y 19,4% de sulfuro en peso y 14 g de oro por tonelada de concentrado. Una pluralidad de substratos revestidos fueron entonces hechos revistiendo 140 g del concentrado de sulfuro sobre 560 g de roca de granito de + 0,31 cm a -0,62 cm. El concentrado se añadió como un polvo seco a la roca de granito. La mezcla fue entonces girada en un tambor de plástico pequeño a 30 rpm para esparcir la pirita seca sobre el material de soporte. Un líquido que contenía 2,000 ppm de ion férrico y 1% de auxiliar de aglomeración Nalco #7534 fue rociado sobre la mezcla hasta que todo el concentrado de sulfuro fue revestido sobre la roca de granito humedecida. La solución se mantuvo a un pH de 1,8. La roca gruesa en este caso no tenía valores de hierro o de oro. Sin embargo, la roca contenía una pequeña cantidad de carbonato mineral que tendía a mantener el pH alto al principio, pero que también proveyó CO_2 como una fuente de carbono para las bacterias.

Los 700 g de roca revestida con concentrado se colocaron en una columna. Una solución de sales de 0,2 x 9K y ión férrico de 2.000 ppm que tenía un pH de 1,6 se introdujo a través de la parte superior de la columna a una velocidad de flujo de aproximadamente 300 ml/día. Después se inoculó la columna con 10 ml de bacterias al igual que en el ejemplo 2. Después de que el pH del substrato de roca revestido con concentrado se ajustó a un pH de 1,8, el pH del afluente se fijó a 1,8. También se introdujo aire a través de la parte superior de la columna.

La figura 8 ilustra gráficamente el porcentaje de biooxidación determinado por el porcentaje de hierro lixiviado a partir del concentrado. El porcentaje diario promedio de biooxidación se calculó y se enlista en el cuadro 2 y se ilustra gráficamente en la figura 9. El porcentaje de biooxidación se determinó dividiendo el hierro total removido entre el hierro total contenido en el concentrado. La tasa de biooxidación fue lenta para iniciar al ajustar el pH y las bacterias acumularse y adaptarse. Sin embargo, después de aproximadamente dos semanas la tasa aumentó rápidamente y alcanzó un máximo después de 30 días. Para este tiempo, casi el 50% del hierro total había sido biooxidado. El procedimiento continuó con un decremento gradual al consumirse la pirita restante. Después de 64 días casi el 97% del hierro había sido biooxidado. Incluso con el concentrado casi completamente biooxidado y la tasa descendiendo cerca del fin del procedimiento, la tasa diaria promedio era todavía de casi 1%/día. Después de 70 días se detuvo la biooxidación. El concentrado biooxidado se separó en una fracción de más de $180\ \mu\text{m}$ y una fracción de menos $180\ \mu\text{m}$. El peso del concentrado biooxidado había disminuido de 140 g a 115 g. La cantidad total de hierro separada del sistema durante los 70 días de biooxidación fue de 25,9 g, lo cual representa 55,5 g de pirita. El peso de la roca de granito disminuyó por 98,8 g. Se pensó que esto se debía a una descomposición del carbonato de calcio en la roca por el ácido, así como la descomposición de la roca en un material más fino. El peso total disminuyó por 123,3 g, lo cual fue 67,8 g más de lo predicho por la biooxidación de la pirita sola.

ES 2 309 987 T3

CUADRO 2

	Tiempo en días	% de Bioox.	% de Bioox./ Día
5	5	2.590	0.288
	15	10.270	1.100
10	22	24.970	2.100
	27	37.250	2.450
	32	49.700	2.490
15	36	58.610	2.230
	42	68.580	1.660
	50	82.580	1.750
20	57	90.870	1.180
	64	96.820	0.850

La muestra de material de $-180\ \mu\text{m}$ se lixivió con 500 ppm de cianuro en un balanceo de botella durante 96 horas. La roca de granito de $+180\ \mu\text{m}$ también fue lixiviada con 500 ppm de cianuro para determinar cuánto oro podía ser adherido a la roca de soporte en un procedimiento que usó roca estéril como un sustrato de soporte. El análisis del material de $-180\ \mu\text{m}$ mostró que todavía contenía 9,7% de sulfuro, lo cual indicó sólo aproximadamente 50% de oxidación.

La extracción de oro fue de 77% a partir de la fracción de $-180\ \mu\text{m}$. Este oro fue recuperado de un material de oro que ya había sido lixiviado con cianuro, demostrando así que el procedimiento de acuerdo con la presente invención es aplicable incluso a minerales que hasta la fecha se han considerado desecho. Y aunque cualquier recuperación sería una mejora sobre el procedimiento actualmente practicado en la mina, el procedimiento de acuerdo con la presente invención fue capaz de recuperar 77% del oro en lo que antes se consideraba desechos.

La lixiviación con cianuro de la roca de soporte de granito mostró que había levantado 0,15 ppm de oro, lo cual fue 3,4% del oro total.

Ejemplo 4

Se preparó una muestra de un mineral de sulfuro refractario que portaba oro y que había sido triturada a 80% pasando 0,62 cm, para probarla como roca de soporte. El mineral provenía de la mina de los Estados Occidentales localizada en Nevada, y contenía una alta concentración de minerales de carbonato en forma de piedra caliza. El material fino (menos de 0,31 cm) fue separado para permitir un buen flujo de aire. Una muestra de cuatro kilos de la roca de $+0,31\ \text{cm}$ a $-0,62\ \text{cm}$ fue revestida con un kilogramo de un concentrado de pirita que portaba oro provisto por otra compañía minera. El revestimiento fue formado colocando los sustratos de mineral grueso y el concentrado seco en un tambor giratorio pequeño y rociando la mezcla con un líquido que contenía 2.000 ppm de ion férrico y 1% de auxiliar de aglomeración Nalco #7534 hasta que todo el concentrado de sulfuro fue revestido sobre la roca de granito humedecida.

El análisis de hierro de ambas muestras mostró que el concentrado contenía 210 gramos de hierro y los cuatro kilogramos de roca de soporte contenían 42,8 gramos de hierro.

Los cinco kilogramos de sustratos de mineral grueso revestidos fueron colocados en una columna de 7,62 cm. Para iniciar el proceso de biooxidación, una solución que tenía un pH de 1,3 y que contenía 2.000 ppm de iones férricos se pasó a través de la columna a aproximadamente un litro por día. Después de siete días, el pH de la solución que salía de la columna era de menos de 2,5. En este punto la columna fue inoculada con 10 ml de un cultivo de bacterias *Thiobacillus ferrooxidans* (como en el ejemplo 2) y el pH de la solución de alimentación se elevó a un pH de 1,8. Después de un total de quince días la columna estaba generando ácido a un pH de 1,7 y un Eh de 700 mV. El progreso del proceso de biooxidación fue seguido midiendo el hierro que se lixiviaba fuera de la columna de mineral nominal de 0,62 cm revestido con concentrado. Estos datos se compararon con los datos de un experimento que usaba el mismo concentrado revestido sobre una muestra de roca estéril. Las velocidades de lixiviación en ambos caso se comparan en forma de gráfica en la figura 10. El hecho de que el experimento de los Estados Occidentales fuera ligeramente más rápido sugiere que la roca de soporte de mineral grueso se estaba oxidando también hasta cierto grado.

El experimento de columna de los Estados Occidentales duró un total de 74 días y lixivió un total de 166 gramos de hierro fuera del sistema, o 66% del hierro total tanto en el concentrado como en la roca de soporte. Casi todo el

ES 2 309 987 T3

hierro fue lixiviado del concentrado, pero otra parte provino de la roca de soporte. El peso del concentrado cambió de 1,000 gramos a 705,8 gramos después de la biooxidación. Los cuatro kilogramos de la roca de soporte de mineral grueso de los Estados Unidos Occidentales disminuyó a 3695,5 gramos, lo cual corresponde a una pérdida de 304,5 gramos o 7,6% de su peso después de la biooxidación. La disminución en peso de la roca de soporte de mineral grueso se debió a una combinación de la biooxidación de su pirita, a la lixiviación ácida del carbonato en el mineral y a la abrasión física del mineral.

Los 705,8 gramos de concentrado biooxidado, que provenían originalmente de otra mina en Nevada, se probaron para la extracción de oro usando una prueba de balanceo de botella de cianuro. La recuperación de oro antes de la biooxidación fue de 46%. Después de la biooxidación aumentó a 86%. Esta misma recuperación de oro se logró biooxidando el concentrado hasta el mismo grado sobre material de soporte de grava.

El consumo de ácido del mineral de los Estados Occidentales se midió antes y después de su uso como una roca de soporte para la biooxidación. La cantidad de ácido sulfúrico requerida para bajar el pH a 2 antes de la biooxidación fue de 31,4 g por 100 g de mineral. La cantidad de ácido requerida para bajar el pH a 2 después de la biooxidación fue de 11 g por 100 g de mineral. Esto se significaría que aproximadamente 20% en peso de la roca de soporte fue neutralizado con ácido durante los 74 días de biooxidación. Esto fue mayor que la pérdida de 7,6% en peso de la roca de soporte. Esto puede deberse a un precipitado formándose sobre la roca después de la biooxidación o la variación de muestra a muestra en la piedra caliza de porcentaje.

Se pueden sacar varias conclusiones a partir de esta prueba. Primero, un proceso de biooxidación de pH bajo puede ocurrir sobre la superficie de un mineral de carbonato alto. Segundo, con el material de soporte de +0,31 cm a -0,62 cm, el proceso de neutralización por el ácido de pH 1,8 fue lo suficientemente lento como para que el carbonato en el mineral no fuera completamente removido todavía después de 74 días. El proceso de neutralización ácida lento es benéfico para las bacterias porque la neutralización de la piedra caliza en el mineral proveerá el CO₂ necesario para la fuente de carbono de las bacterias biooxidantes. Tercero, el soporte de mineral grueso fue beneficiado a partir del procedimiento porque se biooxidaron sulfuros no flotables mas pequeños en el mineral de Estado Occidental.

En base a la cantidad de neutralización que ocurrió en aproximadamente 2 meses del soporte del mineral grueso de +0,31 cm a -0,62 cm, una roca de soporte de mineral grueso de +0,62 cm a -1,9 cm sería la mejor para un procedimiento a gran escala. Con el soporte de mineral grueso más grande tomaría 90 a 120 días en un procedimiento de biooxidación de pila para lograr hacer el mejor uso de la neutralización de la piedra caliza y para biooxidar los sulfuros flotables más pequeños en la roca de soporte de mineral grueso. El tiempo que toma biooxidar el revestimiento de sulfuro esparcido sobre el exterior del soporte de mineral grueso, es generalmente de menos de 90 días. Por lo tanto, el soporte de mineral grueso se puede usar varias veces antes de ser molido y hecho flotar para fabricar un concentrado de pirita para la biooxidación sobre la superficie de una roca de soporte de mineral grueso.

Antes de la biooxidación, se hicieron dos intentos para producir un concentrado mediante la flotación del mineral de los Estados Occidentales. Un método usó únicamente xantato y produjo solo una pequeña recuperación de oro (menos del 12%) en el concentrado de pirita. El residuo de esta flotación todavía contenía 4,0 g Au/ton. La extracción del residuo de esta flotación con cianuro solo recuperó 17% del oro restante en el residuo.

Un segundo intento en flotación usó queroseno diáfano para hacer flotar un concentrado de carbono, seguido por xantato para producir un concentrado de pirita. El peso combinado de estos concentrados equivalía a 18% en peso del mineral, lo cual fue el doble del 7,4% en peso del concentrado producido usando solo xantato. La recuperación de oro combinada para ambos concentrados aumento a 53,8% del oro. El residuo de esta flotación disminuyo a 2,12 g/ton en oro. La extracción del residuo con cianuro recupero solo 34,5% del oro restante en el residuo después de la flotación de ambos concentrados.

El tercer intento en flotación se llevo a cabo con el mineral de los Estados Occidentales después de haber sido usado como una roca de soporte para la biooxidación en el presente ejemplo. Los substratos de mineral de +0,31 cm a -0,62 cm fueron molidos a -75 μ m y después hechos flotar usando xantato como un colector. Esto formó un concentrado de pirita de 33,4 g Au/ton y 7,9% del peso original del mineral. El residuo de esta flotación contenía 1,09 g Au/ton. La recuperación del oro en el concentrado de pirita fue de 72,4%. La extracción con cianuro del residuo de 1,09 g/ton recuperó 48,7% del oro para producir un residuo final de 0,56 g/ton.

El concentrado de pirita de 33,4 g Au/ton. fue biooxidado en un experimento de matraz de agitación. Después de la biooxidación, la extracción con cianuro había aumentado a 99% de recuperación de oro. Este resultado mostró que este concentrado era pirita que contenía oro que podía ser biooxidado junto con otro concentrado en el procedimiento de sustrato revestido.

Como se puede observar a partir de los resultados de flotación contenidos en el siguiente cuadro 3, haciendo flotar el mineral de los Estados Occidentales después de haberlo usado como un material de soporte para la biooxidación, se produjo más fácilmente un concentrado de pirita de alto grado, y el residuo de flotación fue menos refractario a la extracción con cianuro. Esto pudo haberse debido a un cambio químico en la pirita durante los 74 días en las condiciones altamente férricas y de bajo pH de la biooxidación. En forma alternativa, los sulfuros no flotantes pudieron haber sido hechos menos refractarios mediante una combinación de oxidación férrica y bacteriana.

ES 2 309 987 T3

CUADRO 3
Resultados de flotación

	1ra flotación de pirita	2da. flotación	3ra. Flotación después de la biooxidación
molienda	-75 μ m	-75 μ m	-75 μ m
reactivos por flotación	xantato Dowfroth	Pet. Diáfano NaSiO ₃ xantato Dowfroth	NaS, CuSO ₄ xantato Dowfroth
% en peso de conc. de pirita	7.4%	3.2%	7.9%
% en peso de conc. de carbono	-	14.8%	-
% en peso total de la conc.	7.4%	18.0%	7.9%
grado de conc.	6.4 g/t	26.4 g/t	33.4 g/t
% de oro en conc.	11.3%	53.8%	72.4%
Oro en residuo antes de CN	4.0 g/t	2.12 g/t	1.09 g/t
Oro en residuo después de CN	3.32 g/t	1.39 g/t	0.56 g/t
Recuperación de oro a partir de la lixiviación con CN	17.2%	34.5%	48.7%
Recuperación total combinada	26.4%	69.2%	85.4%
Grado máximo de muestra probada	4.18 g/t	3.77 g/t	3.64 g/t

Ejemplo 5

Se fijaron dos pruebas de biolixiviación simultáneas para probar la tasa de biooxidación de un concentrado de pirita de mineral portador de oro. La primera prueba consistió de un experimento tipo columna para simular un procedimiento de lixiviación de pila y la segunda consistió de un experimento con matraz de agitación para simular un procedimiento de tanque agitado.

El concentrado de partida para ambas pruebas se obtuvo de la mina Jamestown en Tuolumne Country, California. La mina es propiedad de Sonora Gold corporation y se encuentra a lo largo del sistema de vetas de filón madre. El concentrado se produjo usando un procedimiento de flotación de xantato y contenía 39,8% de sulfuros y 36,6% de hierro. Los minerales de sulfuro dentro del concentrado consistían principalmente de pirita. El análisis de tamaño mostró que más del 76% de las partículas del concentrado eran más pequeñas que 75 μ m. El concentrado tenía una alta concentración de oro (aproximadamente 70 g por tonelada de concentrado) y se sabía que era refractario a la lixiviación de cianuro.

ES 2 309 987 T3

El porcentaje de biooxidación en cada una de las pruebas se determinó mediante el análisis de la concentración de hierro en todas las soluciones removidas de la columna, o en el caso del experimento con matraz, la concentración de hierro en la solución más cualquier solución de hierro separada.

Un cultivo de *Thiobacillus ferrooxidans* se usó para biooxidar el concentrado de mineral de sulfuro en cada una de las pruebas. El cultivo de *Thiobacillus ferrooxidans* inició originalmente con capas de ATTC #19859 y 33020. El cultivo fue hecho en una solución nutritiva ácida que tenía un pH de 1,7 a 1,9 y que contenía 5 g/l de sulfuro de amonio ((NH₄)₂SO₄), 0,833 g/l de sulfuro de magnesio heptahidratado (MgSO₄·7H₂O) y 20 g/l de hierro en forma de sulfuro ferroso y férrico. El pH de la solución se ajustó a la escala anterior usando ácido sulfúrico (H₂SO₄).

Antes de la aplicación del cultivo a las muestras de prueba, el cultivo mezclado de bacterias oxidantes de mineral de sulfuro fue cultivado hasta una densidad de células de 40x10⁹ a 1x10¹⁰ células por ml.

El experimento de columna fue iniciado inoculando una muestra de 150 g de concentrado con aproximadamente 10⁸ células por gramo de concentrado. Esto se logró añadiendo tres mililitros de bacterias a 50x10⁹ células por mililitro para la muestra de 150 g de concentrado de pirita. Los 150 g de la suspensión de concentrado de pirita fueron entonces vaciados en una columna de 7,62 cm por 1,83 metros llenada aproximadamente a la mitad con 3 litros de roca de lava de 95 cm. Se eligió el material de soporte de roca de lava porque tiene una área de superficie alta y se adapta bien a la condición ácida concentrada durante la biooxidación.

Durante la inoculación y las adiciones de solución subsecuentes, el concentrado de pirita no se deslavó de la columna. La mayoría del concentrado de pirita se mantuvo en los primeros 30 cm de la roca de lava. Se introdujeron aire y líquido a través de la parte superior de la columna. La solución de biolixiviación fue recirculada hasta que el pH de la columna fue rebajado a aproximadamente 1,8. Después de que la biooxidación se inició dentro de la columna, se alimentó en esta una solución de sales de 0,2 x 9 k que tenía un pH de 1,8 y que contenía 2000 ppm de hierro, principalmente en la forma férrica. Las 2.000 ppm de hierro se sustrajeron de todos los análisis de hierro en la solución que salía de la columna.

Después de 26 días de biooxidación, aproximadamente 35% del hierro en el concentrado de pirita había sido oxidado. En este punto, la prueba se convirtió en una prueba de procedimiento continuo añadiendo 3 g de concentrado nuevo a la columna cada día. Después de 9 días más, la velocidad de adición de pirita se aumentó a 6 g por día.

El experimento de matraz se inició al mismo tiempo que el experimento de columna. Para iniciar el experimento, se inoculó una muestra de 50 g del concentrado de pirita con 1 mililitro del cultivo de bacterias. El concentrado de pirita se añadió después a 1 litro de solución de sales de 0,2 x 9 k que tenía un pH de 1,8 en un matraz de agitación grande. No sólo se inoculó el concentrado con las mismas bacterias, sino que también fue inoculado con el mismo número de células por gramo.

Se introdujo aire a la solución de biolixiviación mediante la agitación orbital del matraz a aproximadamente 250 rpm. La solución se retiró del matraz de vez en cuando para evitar que la concentración férrica se hiciera mucho más alta que la de la columna.

Cuando el experimento de columna se convirtió en un procedimiento continuo el día 26, el experimento de matraz también se convirtió en una prueba continua añadiendo 1 g de concentrado de pirita por día al matraz. Después de 9 días más, la cantidad de concentrado añadida se aumentó a 2 g por día.

Después de 58 días, se detuvieron las adiciones de pirita tanto al experimento de matraz como al de columna. Tanto la columna como el matraz fueron entonces dejados biooxidar 20 días adicionales. En este punto, el concentrado en la columna estaba oxidado aproximadamente un 76%, y el concentrado en el matraz oxidado aproximadamente un 89%. La columna fue entonces lixiviada durante 10 días con tiourea para extraer el oro liberado. La tiourea extrajo sólo aproximadamente 30% del oro. Sin embargo, después de 3 días de haber regresado de nuevo a las adiciones de la solución de sales de 0,2 x 9 k que tenía un pH de 1,8 y que contenía 2.000 ppm de hierro férrico, el Eh y la concentración de hierro del efluente de la columna aumentó. Esto indicó que la tiourea no era tóxica para las bacterias y que las extracciones con tiourea se podían hacer de una vez sin matar a las bacterias.

La figura 11 muestra la cantidad de biooxidación contra el tiempo en días para ambas pruebas de biolixiviación de concentrado de columna y de matraz. La frase "lixiviación con TU" en la figura 8 significa lixiviación con tiourea. Los datos usados para preparar la figura 8 se tabulan en los cuadros 4 y 5 al final de este ejemplo.

Como se indicó anteriormente, el matraz estaba diseñado para simular un procedimiento de tanque agitado. Cuando la prueba de matraz fue convertida a un procedimiento continuo añadiendo pirita cada día, se intentó simular un procedimiento a gran escala en el cual se introduce pirita nueva en una base intermitente a un tanque de biooxidación rápida que contenga una gran cantidad de bacterias que se haya adaptado al mineral. La adición diaria a la columna se hizo para probar la posibilidad de un procedimiento continuo en el cual un concentrado de minerales de sulfuro portadores de metales preciosos sea continua o intermitente añadido a la parte superior de una pila comprendida por un concentrado de biooxidación distribuido sobre una pila de material de soporte tal como roca de lava.

Como lo demuestran las pruebas anteriores, las velocidades de biooxidación no fueron significativamente diferentes entre las pruebas de columna y de matraz. El inicio de la biooxidación fue un poco más lento en la prueba de

ES 2 309 987 T3

columna. Esto pudo haberse debido a un retraso de tiempo de aproximadamente 10 días para bajar el pH de la columna a 1,8. La tasa de biooxidación en la columna se elevó después para ser la misma que la del matraz. Más tarde en el experimento la tasa comenzó a disminuir de nuevo. Esto pudo haberse debido a una falta de mezclado de la pirita fresca con la pirita en biooxidación. Sin embargo, las tasas de biooxidación entre las dos pruebas fueron lo suficientemente cercanas como para demostrar la viabilidad del procedimiento de acuerdo con la presente invención. La viabilidad del presente procedimiento es especialmente atractiva en vista de los costos operativos y de capital mucho más bajos de un procedimiento de pila, comparados con un procedimiento de tanque agitado.

CUADRO 4

Datos de la prueba de biooxidación de columna

	Tiempo en días	G. de hierro añadidos a la columna	G. totales de hierro removidos	G. de bioox.de pirita basada en hierro	Conc. de hierro en g./l
15	0	54.400	2.830	5.200	1.884
	15	54.400	5.500	10.100	2.840
	20	54.400	12.617	23.180	4.704
	23	54.400	14.480	26.620	4.976
20	26	55.540	19.230	34.620	9.088
	27	56.630	20.430	36.070	9.432
	28	57.720	22.329	38.700	9.800
	29	58.800	23.987	40.800	6.400
	30	59.900	25.176	42.000	5.964
25	31	61.000	27.075	44.380	5.876
	32	62.070	28.337	45.650	6.508
	33	63.160	29.285	46.360	6.212
	34	64.250	30.257	47.080	4.900
	35	65.340	31.824	48.700	7.224
30	36	69.700	32.970	47.300	5.428
	37	69.700	34.066	48.900	5.265
	38	74.050	35.184	47.500	5.620
	39	74.050	36.302	49.000	
	40	76.230	37.420	49.100	5.120
35	41	78.410	38.425	49.000	5.000
	42	80.590	39.453	48.900	5.024
	43	82.760	40.744	49.200	5.536
	44	84.940	42.172	49.600	5.808
	45	89.300	43.602	48.800	5.964
40	46	89.300	45.032	50.400	
	47	91.480	46.462	50.800	5.976
	48	93.660	47.932	51.180	6.200
	49	95.836	49.650	51.800	6.896
	50	98.014	50.582	51.600	7.328
45	51	100.192	52.142	52.040	8.240
	53	104.548	55.591	53.170	9.664
	54	106.726	58.012	54.360	8.052
	55	108.896	59.835	64.950	8.288
	56	111.066	61.571	55.440	8.200
	57	113.236	63.136	55.760	7.304
50	58	115.406	65.370	56.640	8.384
	59	115.406	67.640	58.610	8.484
	61	115.406	70.806	61.350	8.208
	62	115.400	72.344	62.690	7.128
55	63	115.400	72.777	63.930	6.776
	64	115.400	75.013	65.000	5.852
	65	115.400	76.169	66.000	5.728
	66	115.406	77.325	67.000	5.728
	68	115.406	79.668	69.030	5.748
	69	115.406	80.468	69.730	4.668
60	70	115.400	81.043	70.220	4.740
	71	115.400	81.828	70.904	4.856
	72	115.400	82.716	71.674	5.064
	73	115.400	83.781	72.590	4.804
	75	115.400	84.975	73.630	4.488
65	76	115.400	85.609	74.180	4.112
	90	115.400	87.170	75.533	2.892
	93	115.400	88.754	76.900	3.476

ES 2 309 987 T3

CUADRO 5

Datos de biooxidación en matraz

	Tiempo en días	% de bioox. en matraz por hierro
5		
10	0	4.930
	15	18.890
	21	29.850
	26	37.400
15	28	39.790
	36	45.370
	44	46.890
20	47	52.310
	49	54.510
	51	58.380
	54	62.010
25	56	62.630
	58	65.400
	63	72.110
30	69	81.410
	72	83.300
	75	89.440
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para biotratar un material sólido para separar un compuesto no deseado usando un biorreactor de superficie no agitado, comprendiendo, el citado procedimiento, las etapas de:
 - a. recubrir la superficie de una pluralidad de sustratos gruesos que tienen un tamaño de partícula de más de aproximadamente 0,3 cm con un material sólido a ser biotratado, formando con ello una pluralidad de sustratos gruesos recubiertos, teniendo, dicho material sólido a ser biotratado, un tamaño de partícula de menos de aproximadamente 250 μm y conteniendo un compuesto no deseado;
 - b. formar un reactor de superficie no agitado, apilando dicha pluralidad de sustratos gruesos recubiertos, en una pila, o colocando dicha pluralidad de sustratos gruesos recubiertos en un tanque, teniendo, dicho reactor, un volumen en vacío mayor que, o igual a, aproximadamente un 25%;
 - c. inocular dicho reactor con un microorganismo capaz de degradar el compuesto no deseado en dicho material sólido para formar así un biorreactor de superficie no agitado; y
 - d. biotratar dicho material sólido, en dicho biorreactor, hasta que dicho compuesto no deseado, en dicho material sólido, se degrade hasta una concentración deseada.
2. Un procedimiento, según la reivindicación 1, que comprende adicionalmente los pasos de:
 - e. separar dicho material sólido biotratado de dicha pluralidad de sustratos gruesos, después de que dicho compuesto no deseado se haya degradado hasta dicha concentración deseada; y
 - f. repetir las etapas a - d, usando dicha pluralidad de sustratos gruesos.
3. Un procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en donde, el citado compuesto no deseado, es un contaminante orgánico.
4. Un procedimiento, según la reivindicación 3, en donde, el citado material sólido, es tierra.
5. Un procedimiento, según la reivindicación 4, en donde, el citado contaminante orgánico es por lo menos uno seleccionado a partir del grupo consistente en aceite residual, grasa, turbo-combustible (turbosina), combustible diésel, petróleo crudo, benceno, tolueno, etilbenceno, xileno, hidrocarburos poliaromáticos (PAH), aromáticos polinucleares (PNAs), pentaclorofenol (PCP), bifenilos policlorados (PCBs), creosota, pesticidas, 2,4,6,-trinitrotolueno (TNT), hexahidro-1,3,5,-trinitro-1,3,5-triazina (RDX), octahidro-1,3,5,7-tetranitro-1,3,5,7-tetrazocina (HMX), N-metil-N-2,4,6-tetranitroanilina y nitrocelulosa (NC).
6. Un procedimiento, según la reivindicación 3, 4 ó 5, en donde, la citada pluralidad de sustratos gruesos, están compuestos por plástico.
7. Un procedimiento, según la reivindicación 1 ó 2, en donde, el citado compuesto no deseado, es un mineral de sulfuro.
8. Un procedimiento, según la reivindicación 7, en donde, el citado material sólido, es carbón mineral.
9. Un procedimiento, según la reivindicación 8, en donde, la citada pluralidad de sustratos gruesos, están compuestos por partículas gruesas de carbón mineral.
10. Un procedimiento, según la reivindicación 7, en donde, el citado material sólido, es un mineral de sulfuro refractario.
11. Un procedimiento, según la reivindicación 10, en donde, la citada pluralidad de sustratos gruesos, están compuestos por partículas de mineral de sulfuro refractario, grueso.
12. Un procedimiento, según las reivindicaciones 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 ó 10, en donde, la citada pluralidad de sustratos gruesos, se compone de por lo menos un material seleccionado a partir del grupo consistente en roca, roca de lava, grava, roca que contiene minerales de carbonato, ladrillo, bloques de hormigón y escoria.
13. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12, en donde, los sustratos gruesos, tienen un tamaño de partícula nominal de más de, o igual a, aproximadamente 0,6 cm y de menos de, o igual a, aproximadamente 2,54 cm.
14. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 13, en donde, la cantidad de material sólido revestido sobre dicha pluralidad de sustratos gruesos, es de aproximadamente un 10% a aproximadamente un 30%, en peso.

ES 2 309 987 T3

15. Un procedimiento, según una cualesquiera de las reivindicaciones 1 - 14, en donde, el citado material sólido, tiene un tamaño de partícula que es mayor de, o igual a, aproximadamente 25 μm .

5 16. Un procedimiento, según una cualesquiera de las reivindicaciones 1 - 14, en donde, el citado material sólido, tiene un tamaño de partícula nominal que es mayor de, o igual a, 75 μm y menor de, o igual a, 106 μm .

17. Un procedimiento, según la reivindicación 1, en donde, la citada etapa de biotratamiento comprende por lo menos una de las siguientes: suministrar al biorreactor los nutrientes necesarios para mantener el crecimiento del microorganismo, mantener el contenido de humedad del biorreactor por encima de un nivel deseado, soplar aire dentro
10 del biorreactor a través de tuberías perforadas, manteniendo el pH del biorreactor dentro de una escala predeterminada y manteniendo la temperatura del biorreactor dentro de una escala predeterminada.

18. Un procedimiento, según una cualesquiera de las reivindicaciones 1 - 17, en donde, el espesor del recubrimiento de dicho material sólido, sobre la citada pluralidad de sustratos, es de menos de aproximadamente 1 mm.
15

19. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 1 - 18, en donde, el citado volumen en vacío, es de más de, o igual a, aproximadamente un 35%.

20. Un procedimiento, según una cualesquiera de las reivindicaciones 1 - 19, en donde, un porcentaje de no más del 5%, en peso, de dichos sustratos gruesos, miden menos de 0,3 cm.
20

21. Un procedimiento, según la reivindicación 1, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie de los citados sustratos, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, hasta que se biooxida una cantidad deseada de las citadas partículas finas de sulfuro de metal, en el citado concentrado de mineral de sulfuro, y se liberan los valores de metal de interés.
25

22. Un procedimiento, según la reivindicación 21, en donde, el reactor de superficie no agitado, se forma procediendo a apilar la pluralidad de sustratos gruesos recubiertos con concentrado, en una pila, y comprendiendo además, el procedimiento, las etapas de:
30

e. desmoronar la pila, después de que las partículas de sulfuro de metal recubiertas sobre la superficie de la pluralidad de sustratos gruesos, se biooxiden, hasta un grado deseado;
35

f. separar las partículas finas de sulfuro de metal biooxidadas, de la pluralidad de sustratos gruesos; y

g. repetir las etapas a - d, usando la pluralidad de sustratos gruesos.

23. Un procedimiento, según la reivindicación 21, en el que el reactor de superficie no agitado, se forma procediendo a colocar la pluralidad de sustratos gruesos recubiertos con concentrado, en un tanque, y comprendiendo además, el procedimiento, las etapas de:
40

e. separar las partículas de sulfuro de metal biooxidadas, de la pluralidad de sustratos gruesos; y
45

f. repetir las etapas a - d, usando la pluralidad de sustratos gruesos.

24. Un procedimiento, según la reivindicación 21, en donde, la pluralidad de sustratos gruesos, comprenden partículas de mineral, gruesas, que contienen partículas de sulfuro de metal.
50

25. Un procedimiento, según la reivindicación 24, que comprende, además, las etapas de:

e. separar las partículas de sulfuro de metal biooxidadas, de la pluralidad de sustratos gruesos, después de que las partículas de sulfuro de metal revestidos sobre la superficie de la pluralidad de sustratos gruesos se hayan biooxidado en un grado deseado;
55

f. moler la pluralidad de sustratos gruesos, hasta un tamaño de partícula suficiente como para permitir la separación de las partículas de metal, a partir de los mismos;

g. producir un segundo concentrado de mineral de sulfuro compuesto por partículas de sulfuro de metal, finas, a partir de la pluralidad de sustratos gruesos molidos;
60

h. recubrir una segunda pluralidad de sustratos gruesos, con el segundo concentrado;

i. formar una segunda pila, usando la segunda pluralidad de sustratos revestidos; y
65

j. biooxidar el segundo concentrado de partículas finas de sulfuro de metal.

ES 2 309 987 T3

26. Un procedimiento, según la reivindicación 24 ó 25, en donde, las partículas de mineral, gruesas, contienen también carbonato mineral.

5 27. Un procedimiento, según la reivindicación 21, 22, ó 23, en donde, el material usado para dicha pluralidad de substratos gruesos es por lo menos un material seleccionado del grupo consistente en roca de lava, grava y roca, que contiene carbonato mineral.

10 28. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 27, en donde, los valores de metal de interés, son valores de metal de base, de la porción de metal de las partículas de sulfuro de metal.

15 29. Un procedimiento, según la reivindicación 1, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, ocluidos, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie del citado substrato grueso, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, hasta que se biooxida una cantidad deseada de las citadas partículas finas de sulfuro de metal, en el citado concentrado de mineral de sulfuro, y se liberan los valores de metal de interés, comprendiendo adicionalmente, el procedimiento, las etapas de:

20 e. contactar las partículas finas de sulfuro de metal biooxidado, con un lixiviante de metal precioso, para disolver con ello valores de metal precioso procedentes de las partículas finas de metal de sulfuro de metal, biooxidadas; y

f. recuperar valores de metal precioso procedentes del lixiviante.

25 30. Un procedimiento, según la reivindicación 29, en donde, el reactor de superficie no agitado, se forma procediendo a apilar la pluralidad de substratos gruesos recubiertos con concentrado, en una pila, y comprendiendo además, el procedimiento, las etapas de:

30 g. desmoronar la pila, después de que las partículas de sulfuro de metal recubiertas sobre la superficie de la pluralidad de substratos gruesos, se biooxiden, en un grado deseado; y

h. separar las partículas finas de sulfuro de metal, biooxidadas, de la pluralidad de substratos gruesos, previamente a ponerlas en contacto con el lixiviante.

35 31. Un procedimiento, según la reivindicación 30, el cual comprende adicionalmente la repetición de las etapas a - f, utilizando una pluralidad de substratos que se hayan separado de las partículas finas de sulfuro de metal biooxidado.

40 32. Un procedimiento, según la reivindicación 30 ó 31, en donde, el procedimiento de separar las partículas de sulfuro de metal biooxidadas de la pluralidad de substratos gruesos comprende colocar la pluralidad de substratos gruesos recubiertos con concentrado, sobre un tamiz, y después rociar con agua.

45 33. Un procedimiento, según la reivindicación 30 ó 31, en donde, el procedimiento para separar las partículas de sulfuro de metal biooxidadas, de la pluralidad de substratos gruesos, comprende el voltear la pluralidad de substratos gruesos revestidos con concentrado, en un tambor.

34. Un procedimiento, según la reivindicación 29, en donde, el reactor de superficie no agitado, se forma procediendo a colocar la pluralidad de substratos gruesos recubiertos con concentrado, en un tanque y, el procedimiento, comprende, además, la etapa de:

50 g. separar las partículas finas de sulfuro de metal, biooxidadas, de la pluralidad de substratos gruesos, antes de ponerlas en contacto con el lixiviante.

55 35. Un procedimiento, según la reivindicación 34, el cual comprende, adicionalmente, la repetición de las etapas a - f usando la pluralidad de substratos gruesos que se hayan separado de las partículas finas de sulfuro de metal biooxidadas.

60 36. Un procedimiento, según la reivindicación 34 ó 35, en donde, el procedimiento de separar las partículas finas de sulfuro de metal biooxidadas, de la pluralidad de substratos gruesos, comprende llenar el tanque con una solución acuosa y, después, drenar rápidamente el tanque, para de esta forma portar las partículas de sulfuro de metal biooxidadas, hacia fuera del tanque, en la solución acuosa.

37. Un procedimiento, según la reivindicación 29, en donde, la pluralidad de substratos gruesos, comprende partículas de mineral de sulfuro refractario, gruesas, que tienen valores de metal precioso ocluidos dentro de las partículas de sulfuro de metal.

65 38. Un procedimiento, según la reivindicación 37, el cual comprende adicionalmente las etapas de:

g. separar las partículas finas de sulfuro de metal, biooxidadas, de la pluralidad de substratos gruesos, antes ponerse en contacto con el lixiviante;

ES 2 309 987 T3

h. moler la pluralidad de sustratos gruesos, hasta un tamaño de partícula suficiente como para permitir la separación de las partículas finas de sulfuro de metal, de los mismos;

5 i. producir un segundo concentrado de mineral de sulfuro, compuesto por partículas de sulfuro de metal, finas, procedentes de la pluralidad de sustratos gruesos molidos;

j. recubrir una segunda pluralidad de sustratos gruesos con el segundo concentrado;

10 k. formar un segundo reactor de superficie no agitado, apilando la segunda pluralidad de sustratos gruesos recubiertos, en una pila, o colocando la segunda pluralidad de sustratos gruesos recubiertos, en un tanque;

l. biooxidar el segundo concentrado de partículas finas de sulfuro de metal;

15 m. poner en contacto el segundo concentrado biooxidado, con el lixiviante de metal precioso, para disolver con ello los valores de metal precioso a partir del segundo concentrado biooxidado; y

n. recuperar valores de metal precioso disueltos, procedentes del segundo concentrado, a partir del lixiviante.

20 39. Un procedimiento, según la reivindicación 37, en donde, las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas, se originan a partir del mineral de sulfuro refractario portador de metal precioso, usado para producir el concentrado.

40. Un procedimiento, según la reivindicación 37, en donde, las partículas de mineral de sulfuro refractario gruesas, contienen, también, carbonato mineral.

25 41. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 29 - 36, en donde, el material usado para dicha pluralidad es sustratos gruesos, es por lo menos un material seleccionado del grupo consistente en roca de lava, grava, y roca, que contienen carbonato mineral.

30 42. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 29 - 41, en donde, el lixiviante, se selecciona entre el grupo consistente en tiourea y cianuro.

35 43. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 42, en donde, la pluralidad de sustratos gruesos, tienen un tamaño nominal de partícula, mayor de, o igual a, aproximadamente 0,6 cm, y menor de, o igual a, aproximadamente 2,5 cm.

44. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 43, en donde, la cantidad de concentrado recubierta sobre la pluralidad de sustratos gruesos, es de aproximadamente un 10% a aproximadamente un 30%, en peso.

40 45. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 44, en donde, el concentrado de mineral de sulfuro, comprende por lo menos aproximadamente un 20%, en peso, de partículas de sulfuro de metal.

45 46. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 44, en donde, el concentrado de mineral de sulfuro, comprende por lo menos aproximadamente un 40%, en peso, de partículas de sulfuro de metal.

47. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 44, en donde, el concentrado de mineral de sulfuro, comprende por lo menos aproximadamente un 70%, en peso, de partículas de sulfuro de metal.

50 48. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 44, en donde, el concentrado de mineral de sulfuro, comprende entre un 40 y 80%, en peso, de partículas de sulfuro de metal.

49. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 48, en donde, el concentrado, tiene un tamaño de partícula que es mayor de aproximadamente 25 μm .

55 50. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 49, en donde, el concentrado, tiene un tamaño de partícula que es menor de aproximadamente 106 μm .

60 51. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 49, en donde, el concentrado, tiene un tamaño de partícula de menos de aproximadamente 75 μm .

52. Un procedimiento, según una cualquiera de las reivindicaciones 21 - 51, en donde, el metal precioso recuperado, es por lo menos uno seleccionado del grupo consistente en plata, oro y platino.

65 53. Un procedimiento, según la reivindicación 1, en donde, el citado material sólido, es un concentrado de mineral de sulfuro, el cual está compuesto por partículas finas de sulfuro de metal que contienen valores de metal de interés, siendo, el citado compuesto no deseado, las citadas partículas finas de sulfuro de metal, y en donde, el citado biotratamiento del citado concentrado de mineral de sulfuro recubierto sobre la superficie del citado sustrato grueso, biooxida las citadas partículas finas de sulfuro de metal, provocando con ello la producción de un biolixiviado fuera de solución

ES 2 309 987 T3

y la disolución de la porción de las partículas de sulfuro de metal, comprendiendo adicionalmente, el procedimiento, la etapa de:

e. recuperar valores de metal precioso, a partir del biolixivante fuera de solución.

5

54. Un procedimiento, según la reivindicación 53, en donde, el concentrado de partículas de sulfuro de metal, comprende partículas de minerales de sulfuro de cobre y, el metal recuperado, es cobre.

10

55. Un procedimiento, según la reivindicación 54, en donde, el procedimiento para recuperar cobre a partir de la solución de biolixiviación, comprende por lo menos un procedimiento seleccionado de entre el grupo consistente en la extracción con disolvente, la cementación de cobre, y la recuperación electrolítica.

15

56. Un procedimiento, según la reivindicación 53, en donde, el concentrado de partículas finas de sulfuro de metal, comprende minerales de sulfuro de zinc y, el metal recuperado, es zinc; o

en donde, el concentrado de partículas de sulfuro de metal, comprende níquel y, el metal recuperado, es níquel.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

FIG. 1.

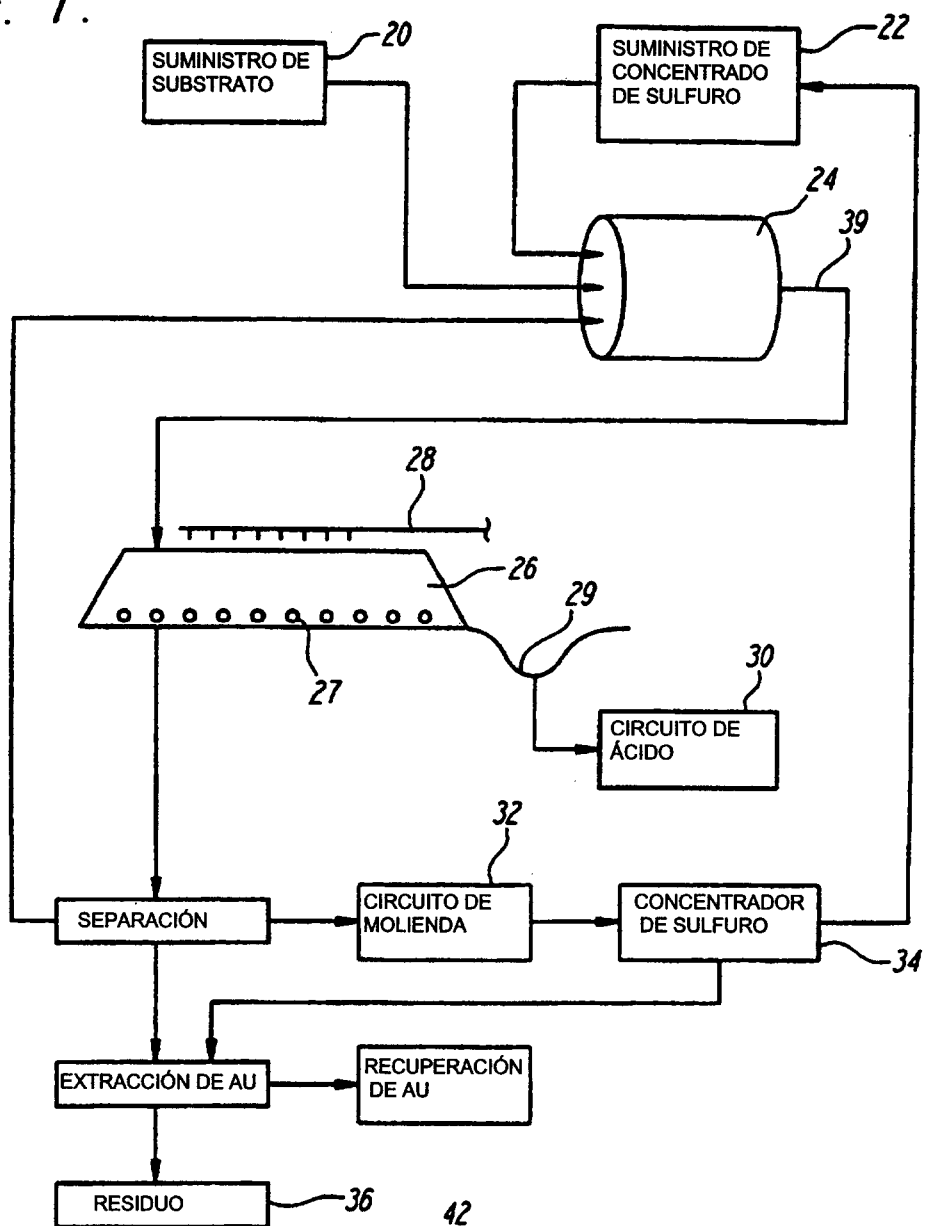


FIG. 2.

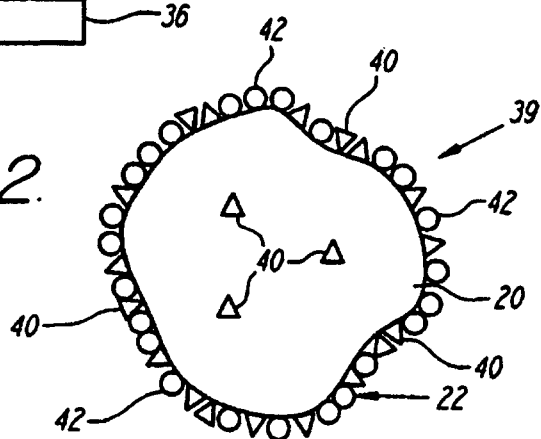


FIG. 3.

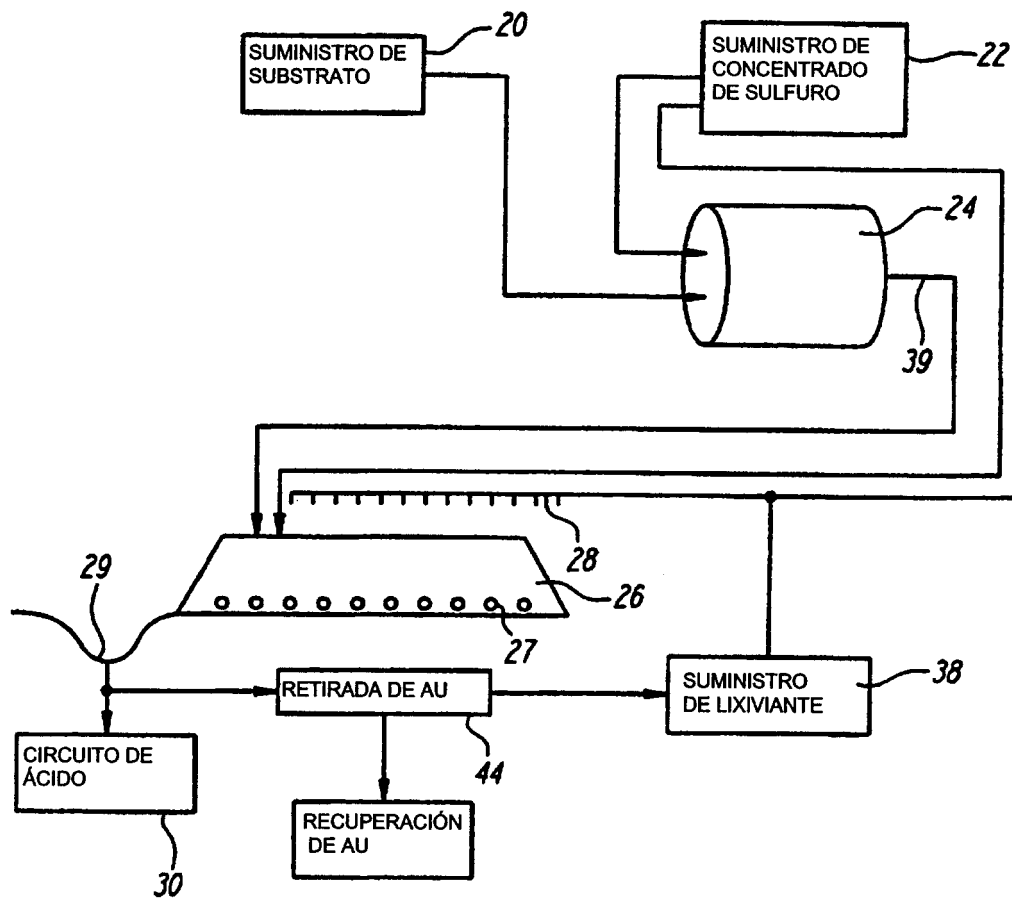


FIG. 4.

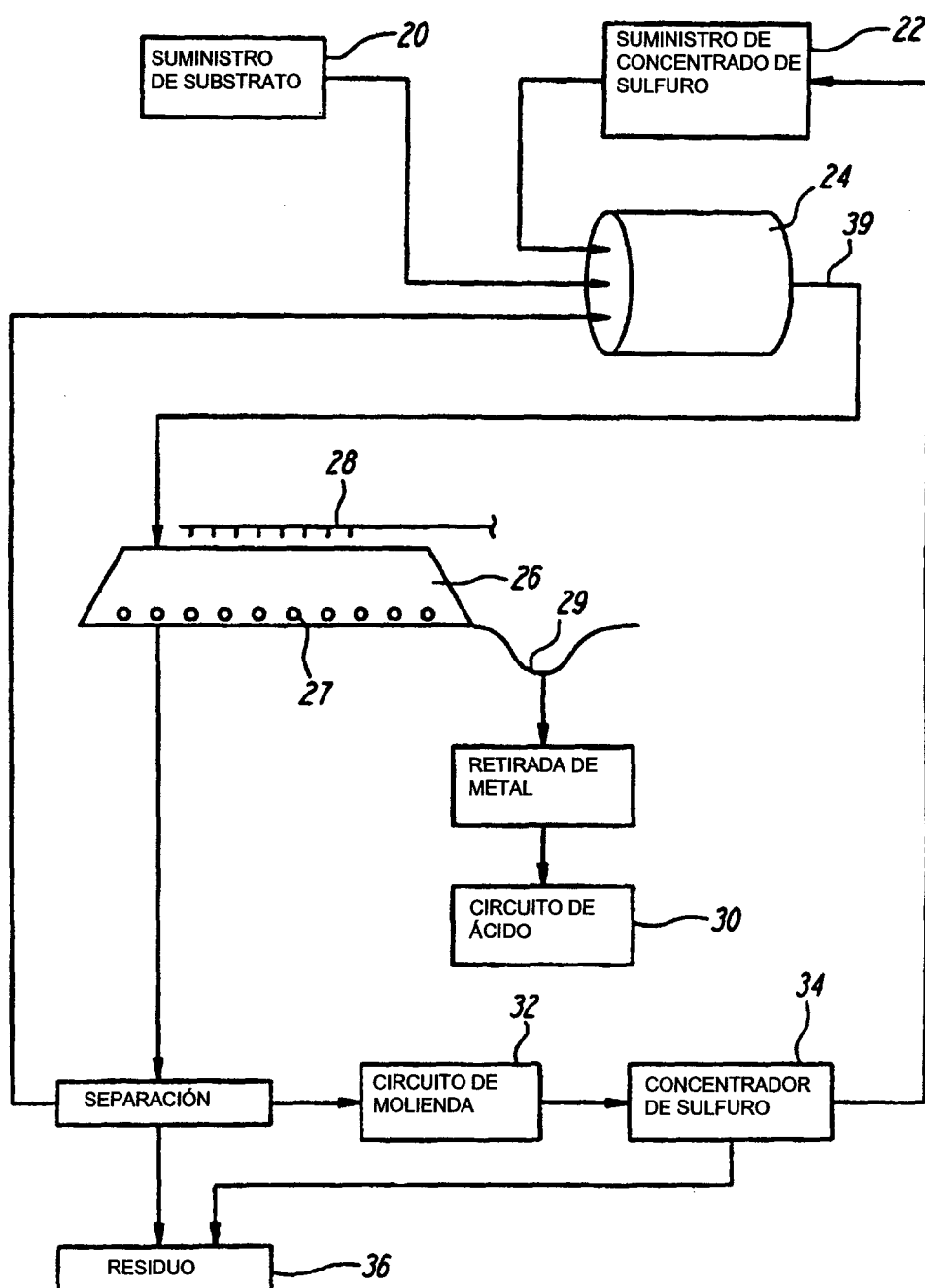


FIG. 5.

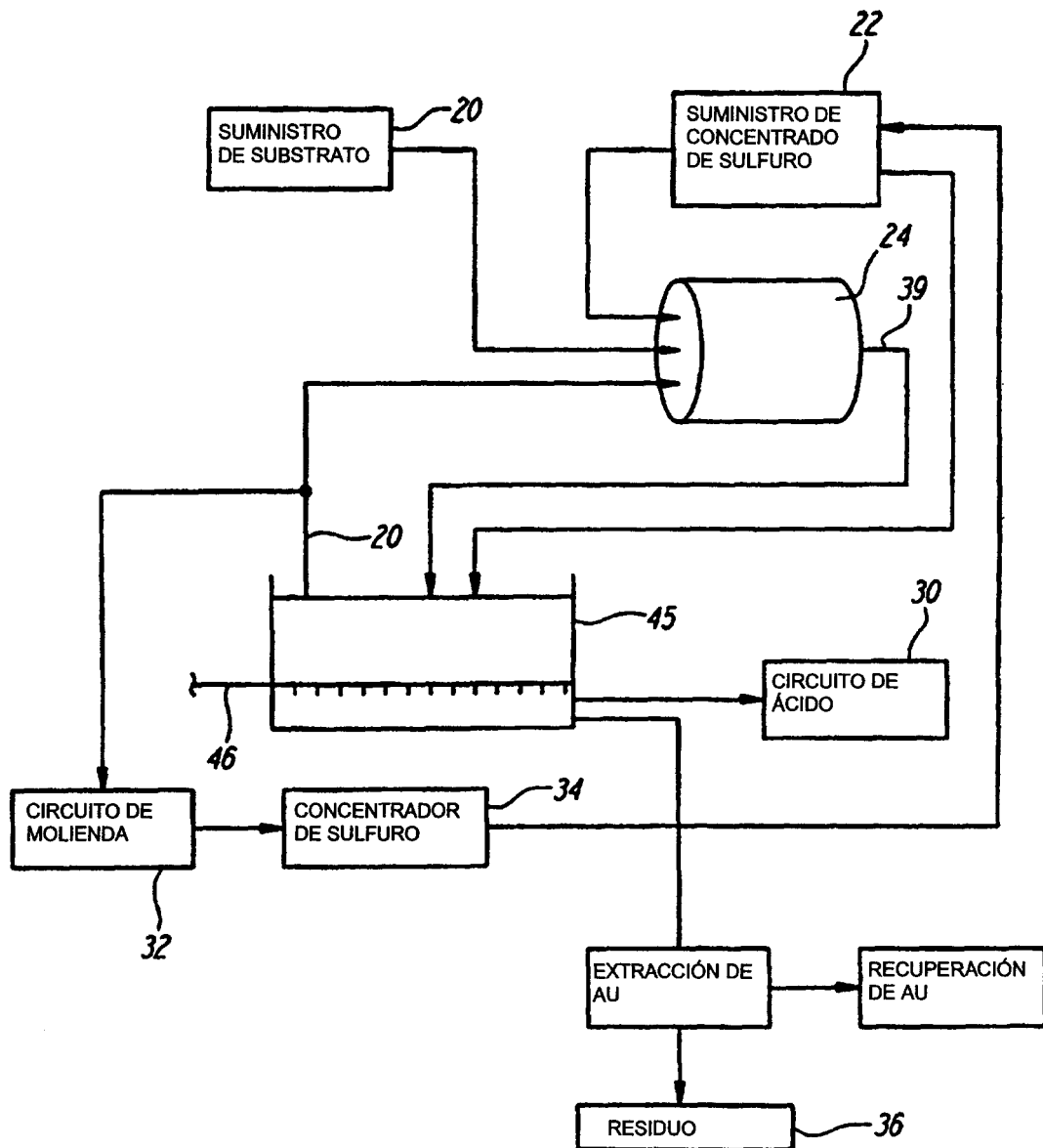


FIG. 6.

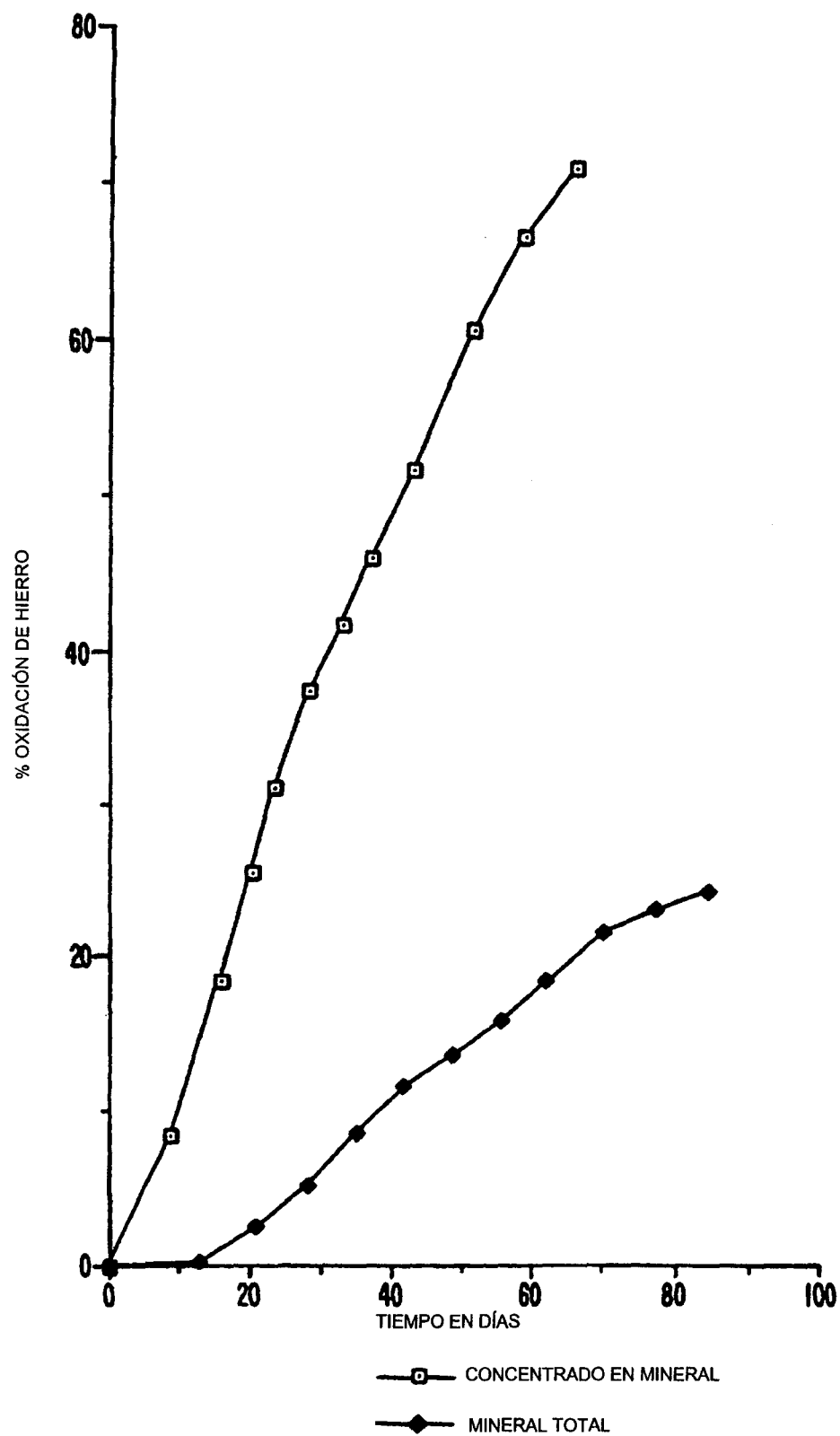


FIG. 7.

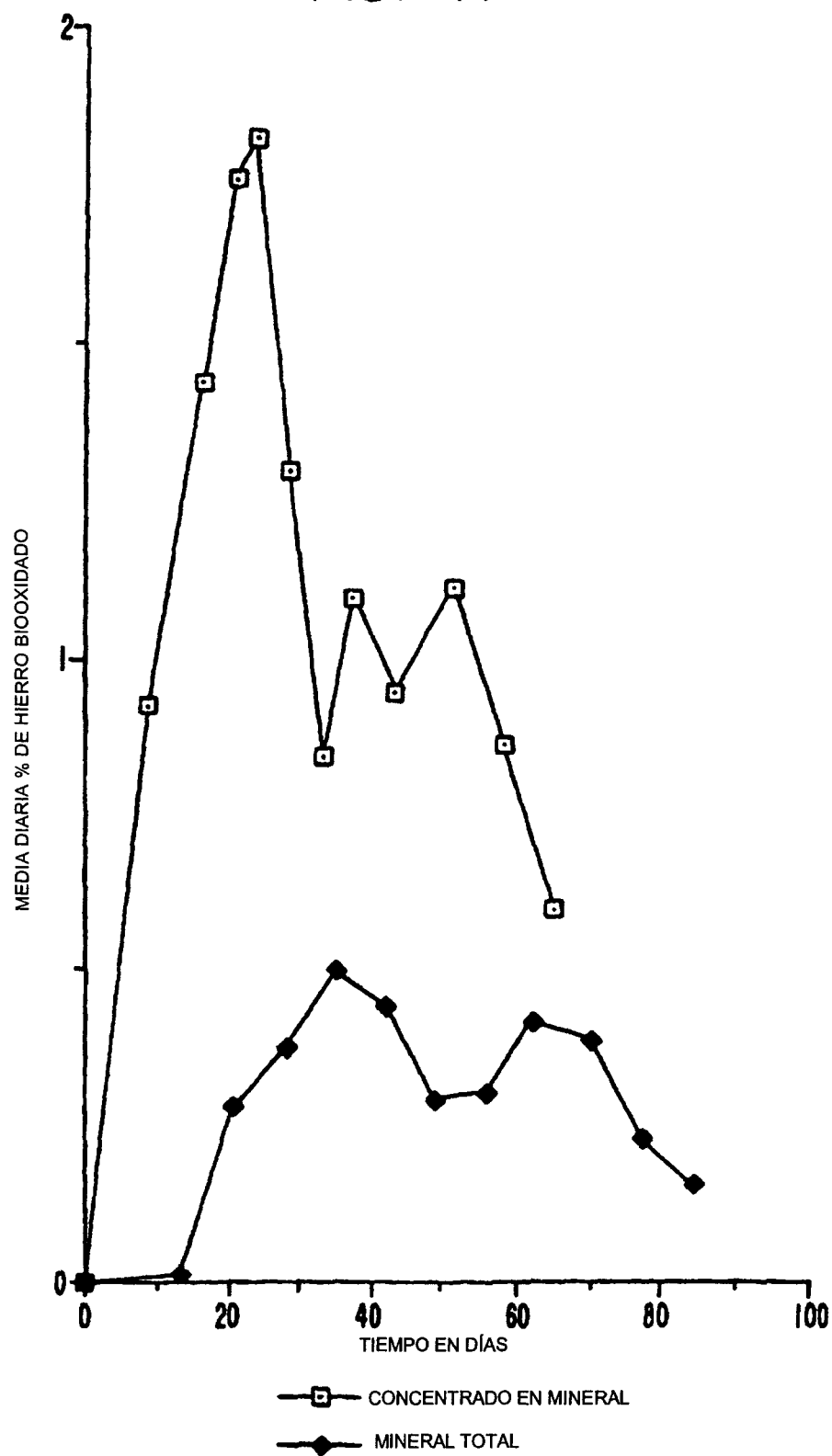


FIG. 8.

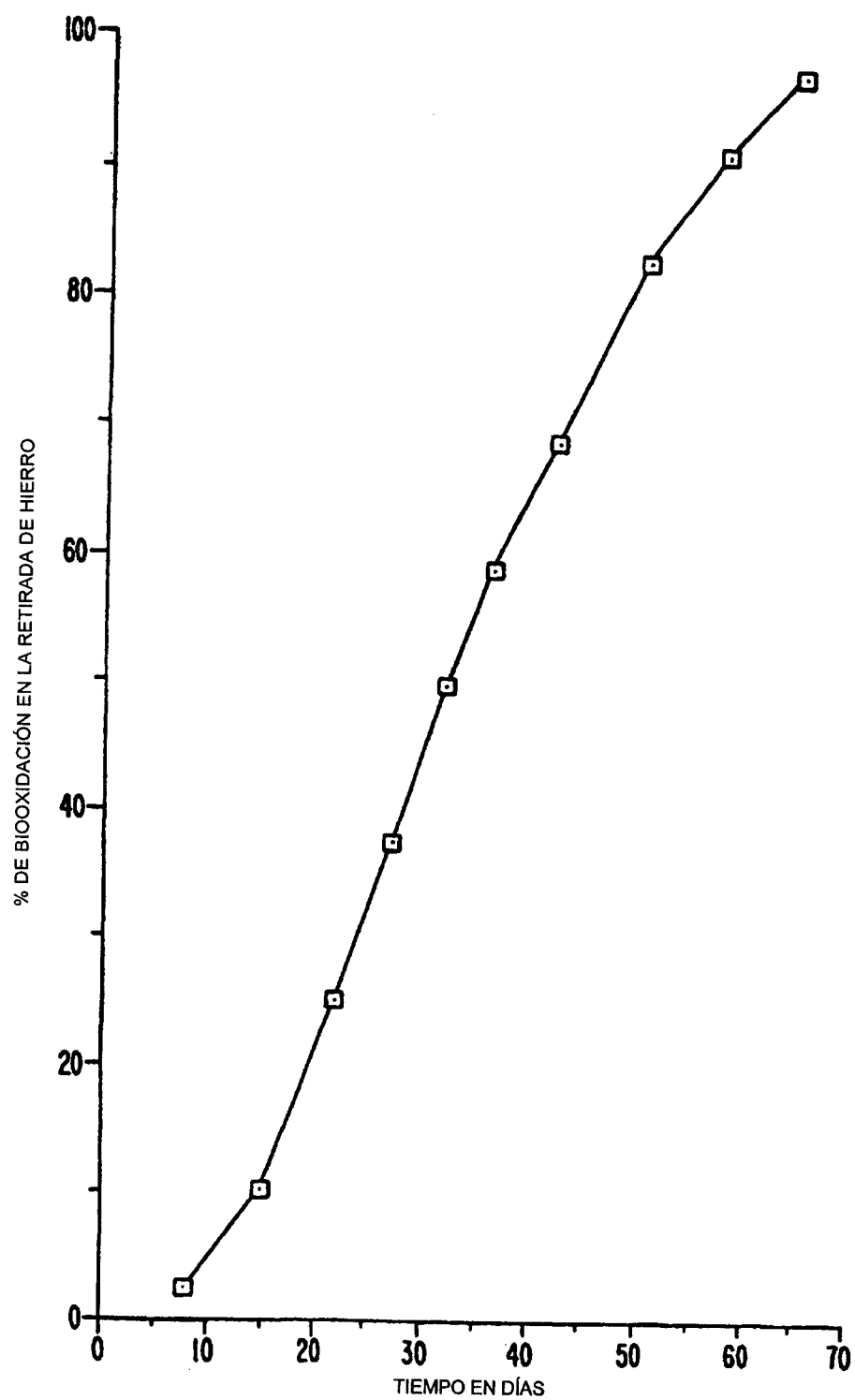


FIG. 9.

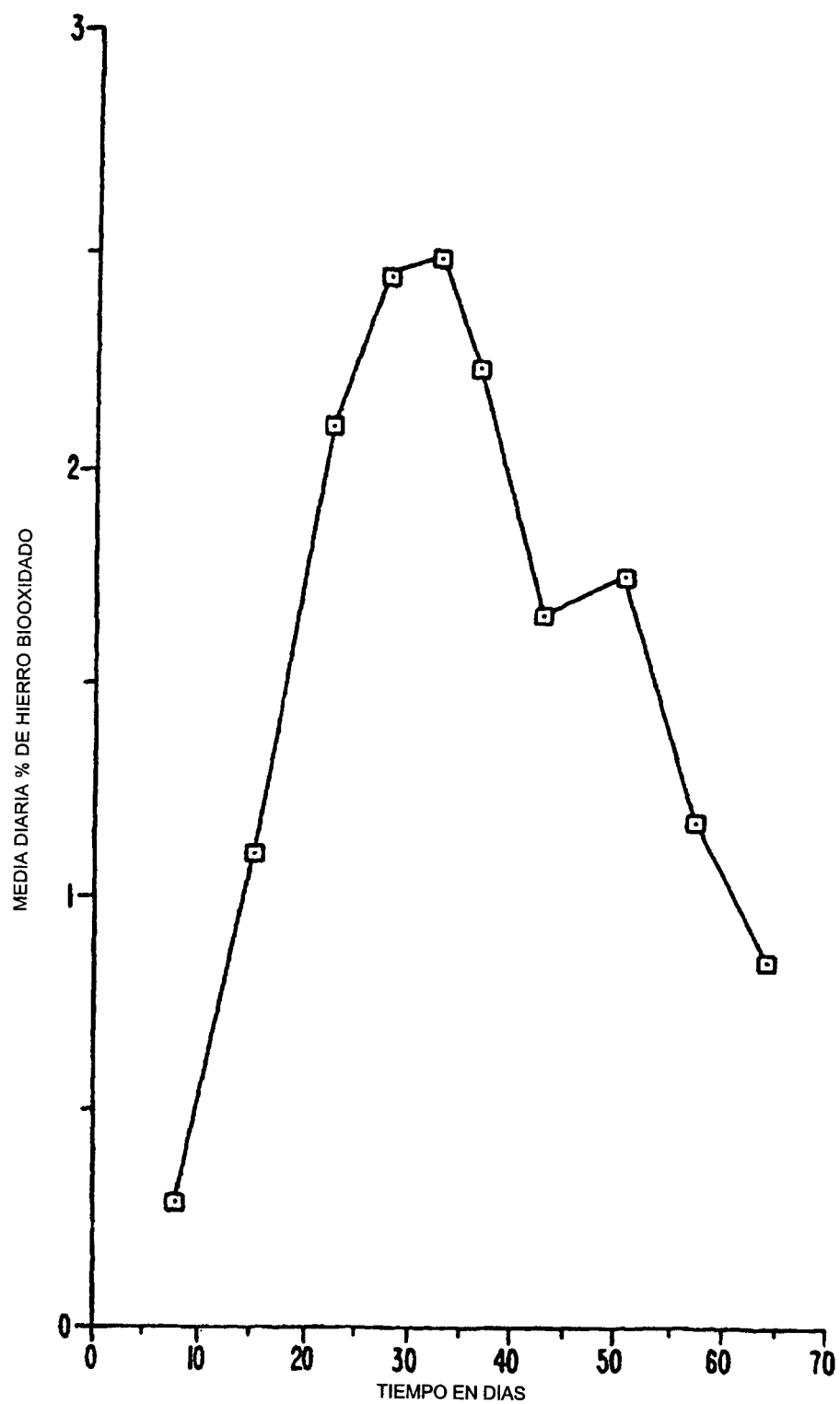


FIG. 10.

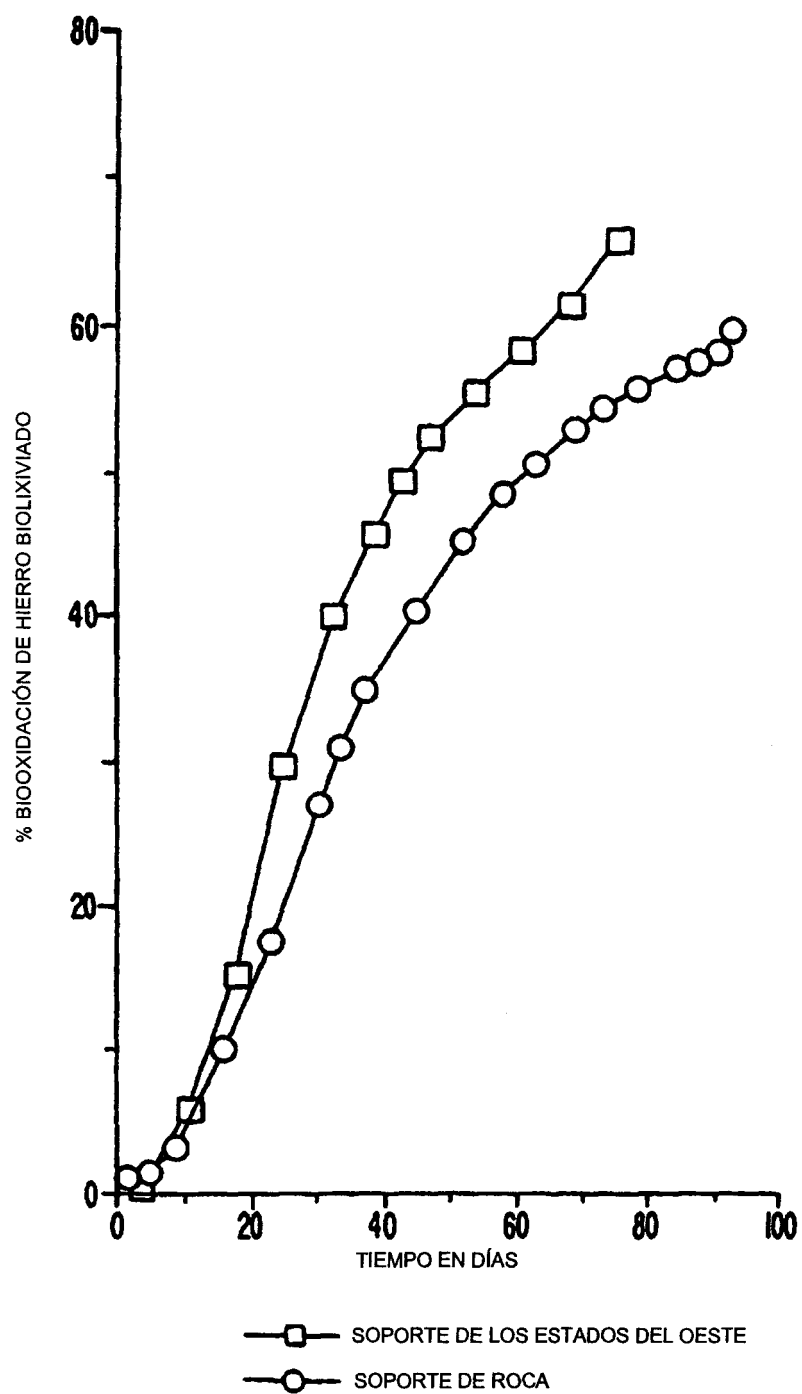


FIG. 11.

