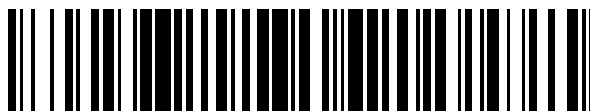


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 460 592**

51 Int. Cl.:

C22B 3/18 (2006.01)

C22B 15/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.08.2000 E 09180136 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.01.2014 EP 2224022**

54 Título: **Oxidación bacteriana mejorada de menas y concentrados de sulfuro**

30 Prioridad:

03.09.1999 AU PQ265199

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

13.05.2014

73 Titular/es:

**BIOHEAP LIMITED (100.0%)
48 LAKE STREET
NORTHBRIDGE, WA 6003, AU**

72 Inventor/es:

**HUNTER, COLIN JOHN;
WILLIAMS, TAMSIN LISA;
CHEUNG, LEO WAI-CHIU;
CONNORS, ELENA;
GILDERS, ROSS DAVID y
PURKISS, SIMON ANTHONY ROGER**

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 460 592 T3

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

Oxidación bacteriana mejorada de menas y concentrados de sulfuro

5 La presente invención se refiere a la oxidación bacteriana mejorada de menas y concentrados de sulfuro que usa un cultivo bacteriano mixto.

El procedimiento de oxidación bacteriana de la presente invención tiene aplicación particular en la oxidación bacteriana de menas y concentrados que contienen calcopirita.

10

TÉCNICA ANTERIOR

15 La oxidación bacteriana se ha usado durante varios años en el procesamiento con éxito de menas y concentrados de arsenopirita, pirita, pirrotita, covelita y calcosita, la única excepción a este procesamiento ha sido la oxidación de menas y concentrados de calcopirita (CuFeS_2).

20 Las mezclas de bacterias de la técnica anterior usadas para facilitar la oxidación de menas y concentrados de sulfuro, distintos de menas y concentrados de calcopirita, usan una variedad de conjuntos de bacterias. Por ejemplo, el cultivo bacteriano mixto empleado por Gencor Limited de Sudáfrica comprende predominantemente *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans*. Los cultivos de Gencor consisten en una población mixta de bacterias mesófilas, que funcionan en el intervalo de temperatura de 35°C a 45°C (Dew y Miller, 1997).

25 Además, la solicitud de patente finlandesa n.º 953488 de Gencor Limited da a conocer el uso de *Thiobacillus ferrooxidans*, *Thiobacillus thiooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* para alcanzar la oxidación a un pH de preferiblemente 3 con una mena triturada preferiblemente hasta menos de 6 mm.

30 El cultivo bacteriano utilizado por BacTech (Australia) Pty Ltd, véase por ejemplo la patente estadounidense 5429659, es un cultivo bacteriano moderadamente termófilo que funciona en el intervalo de temperatura de 46°C a 50°C. El cultivo se ha designado "M4" por Barrett *et al* (1988) y se ha descrito por Nobar *et al* (1988) (Brierley y Brans 1994).

35 El procedimiento MINBAC desarrollado por Mintek - Anglo American Corporation con sede en Randburg, Sudáfrica, utiliza un cultivo bacteriano mixto mesófilo que comprende *Thiobacillus ferrooxidans/Leptospirillum ferrooxidans* (Brierley y Brans 1994).

El documento US 4.888.293 da a conocer cultivos bacterianos de *Thiobacillus thiooxidans*, *Thiobacillus ferrooxidans* y *Leptospirillum ferrooxidans* usados para oxidar sulfuros multimetálicos.

40 Los cultivos bacterianos usados actualmente no pueden producir resultados comercialmente aceptables para calcopirita sin molienda ultrafina ($p_{80} < 20 \mu\text{m}$) de la mena o el concentrado para facilitar la oxidación bacteriana ni el uso de tiempos de lixiviación muy largos para alcanzar la oxidación. Tiempos de más de 100 días no son poco frecuentes.

45 Las tendencias actuales están moviéndose hacia el uso de mayores temperaturas para fomentar la oxidación férrica. Sin embargo, las altas temperaturas empleadas llevan a tener que enfriar tras la oxidación y proporcionar reactores compuestos de materiales especializados, por ejemplo acero inoxidable de grado quirúrgico. Ambas circunstancias aumentan el coste de un funcionamiento de este tipo.

50 El procedimiento de la presente invención tiene como un objetivo del mismo vencer los problemas mencionados anteriormente asociados con la técnica anterior, o al menos proporcionar una alternativa útil a ellos.

55 La discusión anterior de la técnica anterior pretende facilitar solamente una comprensión de la presente invención. Debe apreciarse que la discusión no es un reconocimiento o admisión de que cualquier material mencionado fuese parte del conocimiento general común en Australia en la fecha de prioridad de la solicitud.

60 En toda esta memoria descriptiva, a menos que el contexto requiera lo contrario, la palabra "comprender", o variaciones tales como "comprende" o "que comprende", se entenderá que implican la inclusión de un número entero o grupo de números enteros declarados pero no la exclusión de ningún otro número entero o grupo de números enteros.

65 En toda la memoria descriptiva, una mena se considera material que se ha retirado del terreno y no recibe ningún tratamiento para aumentar la concentración del metal. Un concentrado se produce haciendo pasar una mena a través de un procedimiento de tratamiento, generalmente gravedad o flotación, con el fin de aumentar la concentración de metales deseados y disminuir el volumen de material que se trata posteriormente para recuperar

aquellos metales deseados.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

5 Según la presente invención, se proporciona un procedimiento para la oxidación bacteriana de menas y concentrados de sulfuro, caracterizado porque la mena o el concentrado se lixivia con un cultivo bacteriano mixto a una temperatura de entre 45 y 65°C, y a un pH de entre aproximadamente 0,8 y 2,2, según la reivindicación 1.

10 Preferiblemente, la mena o el concentrado se lixivia con el cultivo bacteriano mixto en una lixiviación en pilas, lixiviación en tanques, lixiviación en cubas o lixiviación en montones.

Aún preferiblemente, la mena o el concentrado es una mena o un concentrado o bien de un metal común, o bien de un metal precioso o bien del grupo del platino. La mena o el concentrado de sulfuro contiene preferiblemente calcopirita.

15 La mena o el concentrado puede lixivarse preferiblemente a un tamaño molido o triturado de hasta y mayor de P_{80} 90 μm . Aún preferiblemente, el tamaño molido o triturado es de entre aproximadamente P_{80} 75 μm y P_{80} 90 μm .

20 El cultivo bacteriano mixto comprende *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Thiobacillus caldus* y *Thiobacillus ferrooxidans*. El cultivo bacteriano mixto se adapta en primer lugar a la mena o el concentrado particular. El procedimiento de adaptación comprende preferiblemente la adición de tanto una muestra de la mena o el concentrado como el cultivo bacteriano mixto a un recipiente de lixiviación, y lixiviar la suspensión resultante hasta que el nivel del metal elegido como objetivo atribuible a la disolución o bien alcanza el 100% o bien alcanza una meseta.

25 Se ajusta preferiblemente el pH de la suspensión de adaptación a un pH de entre aproximadamente 1,6 y 1,8.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

30 La presente invención se describirá a continuación, solamente a modo de ejemplo, con referencia a la figura adjunta, en la que:

35 - la figura 1 es una representación fotográfica de los resultados en gel desnaturalizante en gradiente para seis muestras del cultivo bacteriano mixto de la presente invención, tratados por tres métodos diferentes.

DESCRIPCIÓN

40 Con el fin de producir un cultivo que pueda procesar menas y concentrados de calcopirita se buscó un cultivo bacteriano autóctono para un mineral de calcopirita. Los cultivos bacterianos autóctonos son normalmente superiores a cultivos aislados modificados ya que el cultivo autóctono ya se ha adaptado a las toxinas y componentes del mineral relacionado con una mena particular dando como resultado cepas bacterianas más eficaces y flexibles.

45 Se cultivaron y se sometieron a prueba cultivos bacterianos autóctonos para menas de calcopirita para determinar su capacidad para oxidar tanto su mena/concentrado nativo como otras menas y concentrados de calcopirita. Durante este programa de trabajo se produjo un cultivo a partir de un concentrado de calcopirita (CuFeS_2) obtenido a partir de una mena de metal común encontrada en Nuevo Brunswick, Canadá. Tras el aislamiento del cultivo bacteriano, se han realizado pruebas del cultivo tanto en su mena y concentrado nativos, como en una variedad de otras menas y concentrados. Han tenido lugar adiciones al cultivo original ya que, durante las pruebas del cultivo de diferentes materiales, cualquier bacteria nativa que pueda funcionar a los parámetros de la prueba y que puede funcionar de manera competitiva con el cultivo introducido no sólo ha sobrevivido sino que se ha desarrollado en el entorno. De esta manera se ha incorporado al cultivo cualquier bacteria nativa para la mena o el concentrado que esté sometiéndose a prueba. Además, el cultivo ha crecido satisfactoriamente a diferentes temperaturas que oscilan entre 40°C y 65°C y a niveles variables de acidez con niveles de pH que oscilan entre 0,8-2,2. Han tenido lugar pruebas satisfactorias del cultivo tanto en reactores de tanque removido, agitado, aireado como en columnas con aireación para facilitar la lixiviación en columna. Pruebas satisfactorias del cultivo tuvieron lugar a una variedad de temperaturas y sobre una variedad de menas y concentrados.

60 El cultivo bacteriano mixto de la presente invención consiste en una variedad de bacterias oxidantes de hierro, sulfuro y azufre que pueden trabajar a temperaturas de hasta 65°C y a intervalos de pH de entre 0,8 y 2,5. El cultivo bacteriano mixto puede incluir, pero no se limita a, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Thiobacillus caldus*, *Thiobacillus ferrooxidans* y varias especies bacterianas aún no identificadas. El cultivo bacteriano mixto de la presente invención se ha depositado en los Laboratorios Analíticos del Gobierno Australiano bajo el número de registro NM99/07541.

65

Ejemplo

Antes de someter a prueba ningún material, en primer lugar se adapta el cultivo bacteriano madre al material de interés. Esto se facilita colocando 2700 ml de disolución OK modificada (sulfato de amonio 1,0 g/l, ortofosfato de dipotasio 0,5 g/l, sulfato de magnesio heptahidratado 0,16 g/l, pH 1,6 – 1,8) en un reactor de tanque removido, aireado, agitado calentado hasta la temperatura requerida. Al medio OK modificado se le añade una muestra de 150 g de material de prueba molido ($P_{80} < 45 \mu\text{m}$) y se ajusta el pH hasta entre 1,6 y 1,8 usando ácido sulfúrico concentrado si es necesario. En esta suspensión se introducen 300 ml de muestra de suspensión del inóculo madre. Se airea el reactor agitado a una velocidad de 1 l/min/l de suspensión. Se continúa con la adaptación hasta que el nivel de metales relevantes atribuible a la disolución o bien alcanza el 100% o bien alcanza una meseta. Se someten a ensayo las muestras de disolución para determinar los niveles de metal en disolución mediante el uso de un ICP, en el que el pH apropiado de la suspensión se ajusta con ácido sulfúrico concentrado de manera que el pH es de entre 1,6 y 1,8. Además de niveles de metal atribuibles a la disolución, se monitoriza adicionalmente el progreso de la adaptación/prueba según su potencial de óxido-reducción (ORP), concentración ferrosa y concentración de oxígeno disuelto (DO).

Una vez que se ha adaptado el cultivo al material de interés, se usa como inóculo para pruebas adicionales en reactor de tanque removido, aireado, agitado o como inóculo para pruebas en pilas o columnas. Se diluye adicionalmente el inóculo bacteriano adaptado mediante la adición de una disolución nutritiva ácida-básica que contiene sulfato de amonio, ortofosfato de potasio y sulfato de magnesio. La concentración de estos nutrientes en disolución puede variar entre pruebas de laboratorio y funcionamiento comercial y entre diferentes funcionamientos comerciales. En todos los casos se monitoriza el progreso de oxidación mediante los niveles de metales atribuibles a la disolución, pH, ORP, concentración ferrosa y contenido en DO.

Se sometió a prueba el cultivo bacteriano mixto de la presente invención en una gama de muestras que portaban calcopirita de diversas ubicaciones alrededor del mundo. La tabla 1 a continuación ilustra la mineralogía y procedencia de los concentrados y las menas de calcopirita sometidos a prueba usando el cultivo bacteriano de la presente invención.

30

TABLA 1

Muestra	Mineralogía	Procedencia
A	Concentrado de cobre de calcopirita.	EE.UU.
B	Concentrado de molibdeno con bajos niveles de cobre en calcopirita.	Canadá
C	Concentrado que comprende predominantemente calcopirita (35%) y cubanita (17%) con menos cantidades de pirrotita (10%) y cantidades minoritarias de pentlandita (3%) y esfalerita (3%)	Canadá
D	Concentrado de cobre-níquel en el que el cobre está presente como, tanto calcopirita (18,5 – 28,5%) como cubanita (15,8 – 30,8%). El níquel está presente como pentlandita (17,7 - 10,4%) y reemplazado ocasionalmente como violarita.	EE.UU.
E	Tres concentrados de cobre que consisten en calcopirita, pirita y cantidades minoritarias de bornita.	Canadá
F	Concentrado de cobre que consiste en calcosita (14%), calcopirita (10%), bornita (1%) y pirita (1%).	Sudáfrica
G	Las muestras i y iii son muestras de mena y la muestra ii es una muestra de concentrado. Los minerales de sulfuro son predominantemente pentlandita, calcopirita y pirrotita.	Australia Occidental

Procedimiento de prueba general

Se llevaron a cabo todas las pruebas sobre muestras de mineral en reactores de tanque aireado, agitado. Cada prueba tenía una densidad de sólidos del 10% p/v y se aireó mediante burbujeo a una velocidad de 1 l de aire por minuto por litro de suspensión en el reactor. Se compensaron las pérdidas por evaporación debido al calentamiento y la aeración de la suspensión antes de muestrear las pruebas. Esto se efectuó mediante la adición de agua del grifo. Se prepararon todas las suspensiones en un medio nutritivo propietario con un pH de partida de 1,0. El muestreo implicaba someter a ensayo la disolución para determinar hierro, cobre y otros iones de metal relevantes. Además, también se monitorizaron y registraron el potencial de óxido-reducción (ORP), pH, hierro ferroso y niveles de oxígeno disuelto. Se usó la liberación de cobre para monitorizar el progreso de la prueba y la prueba se consideró como finalizada una vez que ésta alcanzó una meseta estable o alcanzó aproximadamente el 100% del cobre atribuible a la disolución. Una vez finalizada, se filtraron a presión las pulpas, se sometió a ensayo el baño de lixiviación final y se lavó la torta de filtración con agua acidificada y se secó. Se pesó la torta de filtración seca y se sometió a ensayo el residuo con el fin de llevar a cabo un equilibrio metalúrgico.

En la tabla 2 se resumen y se presentan los resultados del análisis de cabeza, análisis del tamaño de partícula y los resultados tras la oxidación.

TABLA 2

Muestra	Análisis de cabeza				T °C	Días de lixiviado	Resultados tras la lixiviación
	Análisis del tamaño de partícula	% de Fe	% de Cu	% de S ^{total}			% de Cu lixiviado
A	P ₈₁ <90 μm	28,60	29,40	32,1	48	36	96,6
B	P ₈₅ <90 μm	2,85	1,95	37,6	48	20	96,9
C	P ₈₀ <75 μm	27,30	20,97	27,37	48	22	98,0
D	P ₈₀ <75 μm	26,30	12,80	25,1	48	27	95,0
E i	P ₈₄ <75 μm	15,00	2,87	13,9	48	28	99,3
E iii	P ₇₈ <75 μm	26,6	4,62	34,4	48	28	99,3
F	P ₈₀ <43 μm	6,79	28,5	10,2	60	14	95,3
G	P ₈₀ <75 μm	17,8	1,18	7,88	48	14	98,8
G ii	P ₈₀ <75 μm*	45,1	6,82	34,8	50	10	98,0
G iii	P ₈₀ <75 μm	18,2	0,1	3,11	50	8	97,3
H	P ₈₀ <75 μm*	23,8	19,7	36,7	48	15	99,2

*granulometría nominal del concentrado "tal como se recibe".

5 Se han hecho crecer varias muestras del cultivo bacteriano adaptado de la presente invención a temperaturas que oscilan entre 35°C y 65°C, se han retirado muestras de cada uno de los cultivos y se han preparado para su identificación usando secuenciación de ARNr 16S. Se realizó la preparación de las muestras antes de la secuenciación del ARN usando tres métodos diferentes. Los métodos usados y los resultados obtenidos a partir de la secuenciación de ARNr 16 son tal como sigue.

10

Métodos

Se sometieron a prueba seis muestras (designadas SN 45, SN 45, PO 45, SS 45 RH 14K, y 014A).

15 Se mezclaron las muestras en un sacudidor manual a máxima velocidad durante 30 minutos y se procesaron tal como sigue:

20 A. Sacudida. Se sedimentaron de inmediato 500 μl de la muestra sacudida sobre filtros de fibra de vidrio (#30 Sliexer y Schuell, Keene, NH) en un microtubo de 1,5 μl mediante centrifugación a 14 Krpm durante 4 minutos. Se retiró con cuidado el sobrenadante y se lavó dos veces el material sedimentado en 1 ml de agua de calidad para cultivo tisular.

25 B. Fast Prep. Se retiraron de inmediato 500 μl y se homogenizaron usando una máquina Savant BIO 101 Fast Prep (BioCan Scientific) a velocidad 4 durante 20 segundos. Se sedimentaron y lavaron los homogeneizados tal como se describió anteriormente.

30 C. Sobrenadante. Tras la sacudida, se permitió que las muestras reposaran durante 5 minutos para permitir que la materia particulada se depositase en el fondo de los tubos. Luego se sedimentaron y lavaron 500 μl del sobrenadante tal como se describió anteriormente.

35 Se extrajo el ARN de todas las muestras usando una matriz InstaGene (BioRad, Hercules, CA) de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Se determinó la concentración de ARN mediante espectrofotometría uv (A₂₆₀) y se añadieron 50 ng a la mezcla de reacción de PCR con una concentración final de ion magnesio 2 mM, dNTP 100 uM, 0,32 μM de cada cebador y 0,625 unidades de polimerasa Taq Gold. Se usaron los cebadores universales p515f y p806r (Relman 1993) para amplificar un segmento de aproximadamente 300 pb del gen de ARN ribosómico 16S. Se modificó el cebador directo con una secuencia rica en GC de 40 pb que termina la migración del producto amplificado a diversas concentraciones de urea/formamida dentro de un gel desnaturalizante en gradiente (Sheffield *et al.* 1989; Muyzer *et al.* 1993). Se cortaron bandas de interés de los geles desnaturalizantes y se sometió el producto amplificado purificado a una secuenciación en ciclo usando la extensión del instrumento Big Dye Terminator del cebador inverso usando las condiciones recomendadas (PE Applied Biosystems). Se realizó la determinación de la secuencia en un analizador genético 310 (PE Applied Biosystems). Se llevaron a cabo comparaciones de secuencias usando la herramienta de búsqueda de alineación local básica (BLAST; Altschul *et al.* 1990).

45 Resultados

Cada uno de los tres métodos de procesamiento de muestras dio como resultado un perfil diferente para la misma

muestra, tal como se muestra en la figura 1. Se seleccionaron nueve bandas predominantes para la secuenciación. Los segmentos de 300 pb secuenciados tenían la correspondencia más cercana con secuencias parciales del gen de ARNr 16S de las especies bacterianas enumeradas en la columna de resultado de BLAST. Se tendría que secuenciar un segmento 16S más grande para una identificación más precisa.

En la tabla 3 se muestra un sumario de los resultados de búsqueda de BLAST para los segmentos secuenciados de gen de ARNr 16S de 300 pares de bases. Los números en paréntesis hacen referencia al % de homología entre los desconocidos y sus correspondencias más cercanas.

TABLA 3

Banda	secuenciado desde	banda con la misma movilidad	Resultado de BLAST
1	SM45-fast prep	SN45-sacudida, C1 (1998)-sacudida C/C (1998)-sacudida	<i>Sulfobacillus thermosulfidooxidans</i> (98%)
2	C1 (1998)-sacudida	SM45-fast prep SN45-sacudida C/C (1998)-sacudida	<i>Sulfobacillus thermosulfidooxidans</i> (98%)
3	SN45-sobrenadante	014A-sacudida	<i>Streptococcus salvivarius</i> (100%) <i>Streptococcus thermophilus</i> (100%)
4	014A (50°C)-sacudido	SN45-sobrenadante	<i>Streptococcus salvivarius</i> (100%) <i>Streptococcus thermophilus</i> (100%)
5	RH 14K (60°C)-sacudida		<i>Caulobacter</i> sp. (99%) <i>Asticcacaulis exentricus</i> (99%) <i>Asticcacaulis biprothecum</i> (99%) <i>Pseudomonas echinoides</i> (97%) <i>Sphingomonas paucimobilis</i> (98%)
6	014A (50°C)-sacudida		<i>Pseudomonas echinoides</i> (98%) <i>Sphingomonas trueperi</i> (97%) <i>Caulobacter</i> sp. (97%) <i>Asticcacaulis biprothecum</i> (97%)
8	RH14K (60°C)-sobrenadante	PO45-fastprep/sacudida/sobrenadante SS45-sobrenadante	Bacteria sin identificar (97%) Bacteria oxidante de Fe<ll> desnitrificante (97%)
9	014A (50°C)-sobrenadante	SN45-fastprep/sacudida/sobrenadante SM45-fastprep 014A sacudida	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i> (96%)

Se prevé que puedan omitirse o sustituirse especies bacterianas en el cultivo mixto esbozado anteriormente con el fin de facilitar su funcionamiento a diferentes temperaturas. Por ejemplo, *Thiobacillus tioxidans*, una bacteria oxidante de azufre, puede sustituirse por *Thiobacillus caldus* a temperaturas inferiores.

Se prevé que los materiales para los que puede usarse el cultivo bacteriano mixto de la presente invención para su tratamiento incluyan menas y concentrados de metal común (cobre, níquel, cobalto, zinc, etc.), menas y concentrados de metal precioso (oro y plata) y menas y concentrados de metal del grupo del platino (PGM). Se prevé adicionalmente que el cultivo pueda usarse en una oxidación de lixiviación en pilas, lixiviación en tanques, lixiviación en cubas o lixiviación en montones.

La lixiviación en pilas es con diferencia el procedimiento bacteriano utilizado más comúnmente para recuperar cobre a partir de los minerales de cobre secundarios oxidados más fácilmente tales como covelita y calcosita. El procedimiento implica apilar mena triturada sobre un lecho impermeable preparado especialmente. Se diseña el lecho de manera que el líquido enriquecido que drena de la pila se acumula en un punto desde el que se drena a un estanque de acumulación. Se recuperan los metales de la disolución de líquido enriquecido por medio de cualquiera de precipitación, extracción con disolvente y/o extracción por vía electrolítica.

Con el fin de que tenga lugar una lixiviación en pilas satisfactoria es esencial mantener la integridad de la pila. El factor principal que determina la estabilidad de las pilas es el tamaño de triturado de la mena. La trituración de la mena debe tener lugar hasta una medida en la que la mena sea suficientemente fina para permitir una buena percolación del lixivante a través de la pila sin que tenga lugar una canalización excesiva mientras que también se mantienen espacios vacíos esenciales para la buena dispersión de aire y el drenaje del lixivante. Si la mena se tritura de manera demasiado fina la percolación a través de la pila puede ser muy lenta. Habrá insuficientes espacios vacíos y se producirá un drenaje ineficaz de la pila dando como resultado un encharcamiento en la pila y un alto nivel freático. Si por otro lado el tamaño de la mena es demasiado grueso, el drenaje de la pila será rápido y el nivel de metales en disolución será bajo, además la estructura de la pila puede perderse a medida que la mena se descompone a través de procesos biológicos y químicos. En muchos casos se aglomera la mena triturada con

aglutinantes, ácido sulfúrico y agua antes del apilamiento, siendo el resultado un tamaño de partícula y una distribución de ácido más uniformes por toda la pila.

5 Antes de apilar la pila, habitualmente se coloca una capa de drenaje sobre el lecho, ésta se compone generalmente de roca no reactiva tal como cuarcita y garantiza un drenaje adecuado del líquido enriquecido. Se irrigan las pilas con líquido bacteriano acidificado que actúa como lixivante para la lixiviación del cobre a partir de la mena. Las bacterias empleadas en la lixiviación en pilas son generalmente aeróbicas y por tanto requieren oxígeno. Éste puede introducirse de manera forzada en la pila por medio de sopladores de baja presión o puede succionarse aire al interior de la pila debido a un efecto chimenea que se produce a medida que las bacterias oxidan la mena y generan calor.

15 El procedimiento Geocoat es una variación de la lixiviación en pilas y se ha comercializado por la empresa estadounidense Geobiotics. El procedimiento implica producir un concentrado a partir de la mena sulfídica, recubrirlo en roca triturada, clasificada por dimensiones y producir una pila que puede someterse a oxidación bacteriana.

20 La lixiviación en montones es muy similar a la lixiviación en pilas y se reserva generalmente para menas de menor ley. A menudo la lixiviación en montones se considerará como un procedimiento que acompaña a la lixiviación en pilas en vez de un proyecto independiente en sí mismo. Esencialmente, donde se extraiga y se acumule roca residual o de baja ley de cualquier manera, con poca preparación previa del terreno, puede extraerse algo de valor del material. La bacteria autóctona estará presente en la pila y todo lo que se requiere es estimular su actividad. Esto se realiza mediante la adición de ácido y nutrientes a la disolución de irrigación, tal como con la lixiviación en pilas. La diferencia está en el coste.

25 Se realizará poca o ninguna trituración antes del apilamiento. Solamente se realizará la preparación justa del lecho. No habrá aireación forzada.

30 Puede considerarse la lixiviación en cubas como algo intermedio entre la lixiviación en pilas y la lixiviación en tanques en cuanto al coste, la sofisticación y la eficiencia. Es un procedimiento en el que el material que va a tratarse se sumerge completamente en la disolución de lixiviación pero no se agita, al menos no en una medida significativa, aunque puede tener lugar algo de agitación debido al aire y/o flujo de disolución. El procedimiento tiene la ventaja, con respecto a la lixiviación en pilas o montones, de que se consigue la humectación completa de las superficies del mineral y se evita la canalización. También pueden manejarse mejor los tamaños de trituración más finos en una cuba, aunque existe todavía un límite con respecto a la finura impuesto por la necesidad de permeabilidad tanto del aire como de la disolución. Más allá de este límite, se hace necesario suspender el material en la disolución. Si las cubas van a usarse solamente una vez, pueden construirse como presas alineadas, inclinadas en una esquina para permitir la circulación y recuperación del líquido de lixiviación. Las cubas de múltiples usos necesitarían ser de una construcción más robusta tal como hormigón o ladrillo. La aireación se daría mediante una tubería sumergida o de lo contrario puede efectuarse drenando intermitentemente la cuba y permitiendo que se arrastre aire al interior de la mena mediante el nuevo líquido de tratamiento.

40 La lixiviación en tanques, tal como sugiere el nombre, implica la lixiviación bacteriana de suspensiones de mineral aireadas en tanques agitados. Gencor fue el primero en aplicar la tecnología y ahora está bien desarrollada para el tratamiento de oro. Se prevé que la tecnología sea muy similar para biolixiviación de metal común, pero hasta la fecha no se ha desarrollado comercialmente un sistema para cobre.

45 Los resultados disponibles indican que puede esperarse que los costes relacionados con la molienda ultrafina del concentrado ($P_{80} < 30 \mu\text{m}$) hagan que los costes de inversión y de explotación sean demasiado altos.

50 El procedimiento de la presente invención puede funcionar en un amplio intervalo de temperaturas, llevando de ese modo a una reducción en los costes asociados con el enfriamiento de sistemas de oxidación bacteriana. El procedimiento puede además oxidar todas las formas de calcopirita, y a tamaños de trituración para los que no es necesario incurrir en costes de inversión y de explotación significativos.

55 Se considera que las modificaciones y variaciones que sean evidentes para el experto en la técnica se encuentran dentro del alcance de la presente invención.

BIBLIOGRAFÍA

60 Altschul, S.F., W. Gish, W. Miller, E.W. Myers, y D.J. Lipman. 1990. Basic local alignment search tool. J. Mol. Bio. 215: 403-410.

Brierley C.L. y R Brans, 1994 - Selection of BacTech's Thermophilic Bio-Oxidation Process for Youanmi Mine, en Biomine 94, Conference Proceeding Perth Western Australia. Sección 5.

65 Barrett, J., Hughes, M.N., Ewart, D.K. y Poole, R.K., 1988 - The isolation and characterisation of a moderately

thermophilic mixed culture of autotrophic bacteria: application of the oxidation of refractory gold concentrates. Perth Gold 88, Randol International Ltd, Golden, Colorado, pág. 148 150.

5 Dew, D.M. y D.M. Miler, 1997 - The BioNIC Process; Bioleaching of Mineral Sulphide Concentrates For Recovery of Nickel, en IBS Biomine '97, Conference Proceedings, Sydney, p M7.1.0 - M7.1.9.

10 Muyzer, G.E. C. DeWall, y AG. Uitterlinden, 1993. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction amplified genes coding for the 16s rRNA Appl. Environ. Microbiol. 59: 695-700.

15 Nobar, AM., Ewart, D.K., Alsaffar, L., Barrett, J., Hughes M.N. y Poole, R.K., 1988 -Isolation and characterisation of a mixed microbial community from an Australian mine: application to the leaching of gold from refractory ores, Biohydrometallurgy (P.R. Norris y D.P. Kelly, eds), Science and Technology Letters, Kew Surrey, R.U., pág. 530-531.

20 Relman, DA 1993. Universal bacterial 16s rRNA amplification and sequencing, págs. 489-495. En D.H. Persing, T.F. Smith, F.C. Tenover, y J. White (eds) Diagnostic Molecular Biology Principles and Applications - 1993. American Society for Microbiology, Washington, DC.

20 Sheffield, V.C., D.R. Cox, L.S. Lerman, y R.M. Myers. 1989. Attachment of a 40 base pair G+C rich sequence (GC-clamp) to genomic RNA fragments by polymerase chain reaction results in improved detection of single base changes. Proc.Natl.Acad.Sci EE.UU. 86:232-236.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para la oxidación bacteriana de menas y concentrados de sulfuro, **caracterizado porque** la mena o el concentrado se lixivia con un cultivo bacteriano mixto operativo a través de un intervalo de temperatura de entre 45 y 65°C y a un pH de entre 0,8 y 2,5, habiéndose adaptado el cultivo bacteriano a la mena o al concentrado antes de la lixiviación, y en el que el cultivo bacteriano mixto comprende *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Thiobacillus caldus* y *Thiobacillus ferrooxidans*.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el pH es de entre 0,8 y 2,2.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o reivindicación 2, **caracterizado porque** la mena o el concentrado se lixivia con el cultivo bacteriano en una lixiviación en pilas, lixiviación en tanques, lixiviación en cubas o lixiviación en montones.
- 15 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la mena o el concentrado es o bien de un metal común, o bien un metal precioso o bien un metal del grupo del platino.
- 20 5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** la mena o el concentrado de sulfuro contiene calcopirita.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la mena o el concentrado se lixivia a un tamaño molido o triturado mayor de P₈₀ 75 µm.
- 25 7. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque** el tamaño molido o triturado es mayor de P₈₀ 90 µm.
- 30 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento de adaptación comprende la adición de tanto una muestra de la mena o del concentrado como el cultivo bacteriano mixto a un recipiente de lixiviación, y lixiviar la suspensión de adaptación resultante hasta que el nivel del metal elegido como objetivo atribuible a la disolución o bien alcanza el 100% o bien alcanza una meseta.

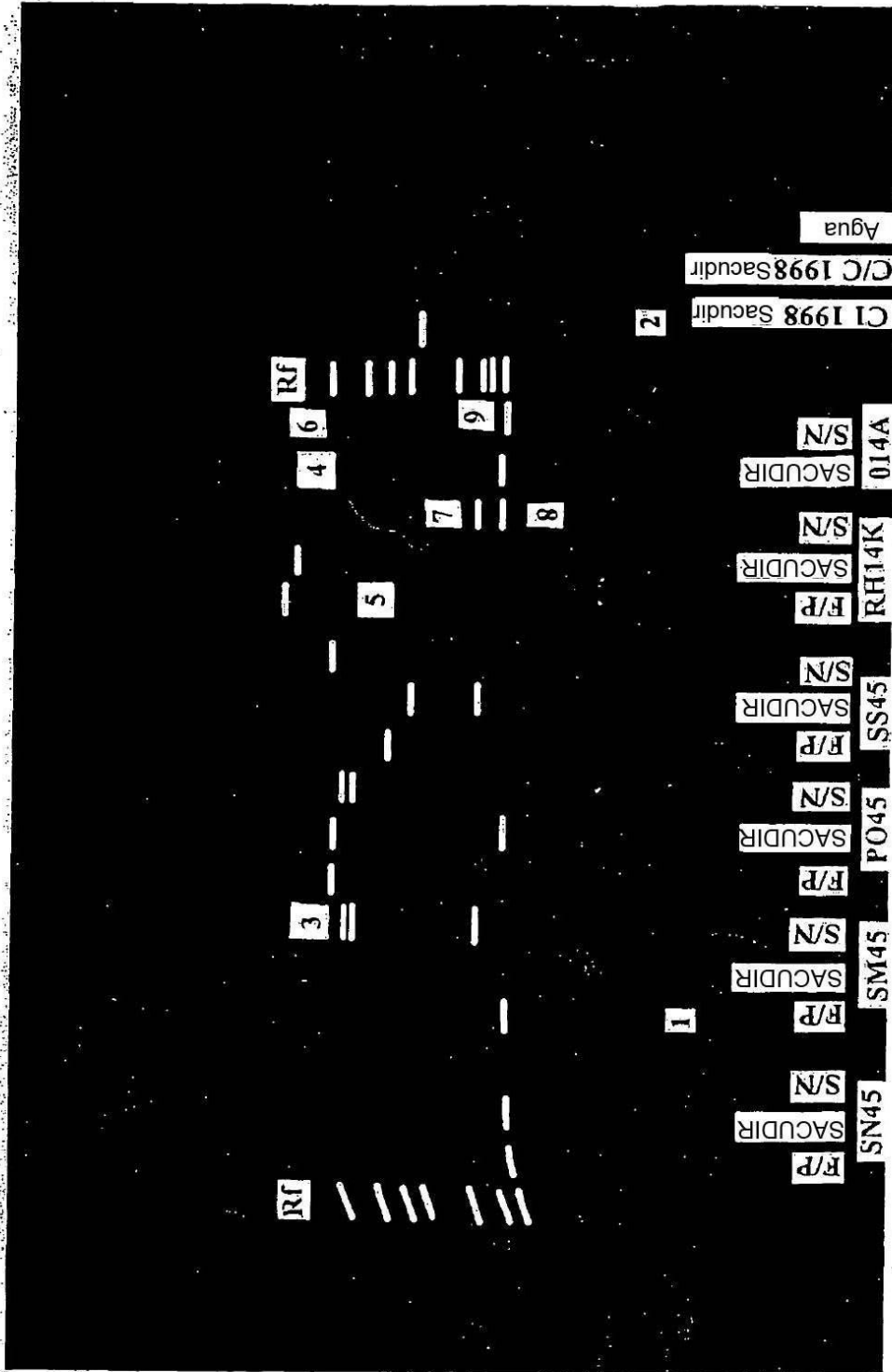


Figura 1