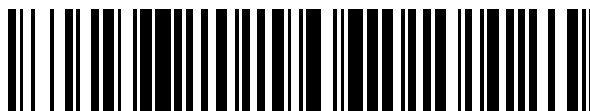


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 522 969**

51 Int. Cl.:

C22B 3/08 (2006.01)

C22B 3/10 (2006.01)

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: **25.06.2009** **E 09793440 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.08.2014** **EP 2313534**

54 Título: **Un método de tratamiento de un mineral de sulfuro**

30 Prioridad:

29.06.2008 ZA 200804653

14.04.2009 ZA 200902517

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

19.11.2014

73 Titular/es:

BHP BILLITON SA LIMITED (100.0%)

6 Hollard Street

2001 Johannesburg, ZA

72 Inventor/es:

RAUTENBACH, GEORGE, FREDERICK;

DAVIS-BELMAR, CAROL, SUSAN y

DEMERGASSO, CECELIA, SUSANA

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 522 969 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

Un método de tratamiento de un mineral de sulfuro

5 **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere a un método de tratamiento de un mineral de sulfuro o un sulfuro mixto y mineral de óxido para la recuperación del contenido metálico. De aquí en adelante, la invención se describe con referencia, en concreto, a la recuperación de cobre. Esto es únicamente a modo ilustrativo, y no limitante, de los principios de la invención que se pueden usar para la recuperación de otros metales básicos tales como el níquel de minerales de sulfuro de níquel, por ejemplo, pentlandita y millerita, y el cinc de minerales de sulfuro de cinc.

Estado de la técnica

15 El documento US 2008/0026450 describe un método de recuperación de cobre a partir de menas de sulfuro de cobre que contienen calcopirita, en el que la lixiviación se lleva a cabo por medio de una bacteria oxidante del azufre resistente a los iones cloruro en una solución de lixiviación que tiene una concentración de iones cloruro de 6 g/l a 18 g/l y un pH en el intervalo de 1,6 a 2,5.

20 Se sugiere que, con dicho método, se potencia la velocidad de lixiviación del cobre mediante el ajuste de la concentración de iones cloruro de la solución de lixiviación. Además, como el azufre se convierte en ácido sulfúrico, se puede evitar una reducción significativa de la velocidad de lixiviación que, de lo contrario, sería producida por las superficies de recubrimiento de azufre de la mena de sulfuro de cobre.

25 En el documento US2007/0202584, se desvela un enfoque similar al anterior, pero limitado al uso de un microorganismo específico.

Un aspecto sobre el que no se pronuncian las solicitudes de patente anteriormente mencionadas, y que se ignora en gran medida en la técnica anterior, es que la presencia de cobre libre en forma de Cu^2 es generalmente tóxica para los microorganismos que se usan en los procesos de biolixiviación. El efecto tóxico del cobre en los organismos relacionados con la biolixiviación es especialmente grave en presencia de iones cloruro. Esto reduce la eficacia de la recuperación de metal.

35 El documento AU 2002254782 describe un método de biolixiviación de un mineral de sulfuro en una solución con un contenido de cloruro en exceso de 5.000 ppm y a una temperatura en exceso de 10 °C usando al menos una bacteria seleccionada entre las depositadas en virtud de los números de acceso DSM14175 y DSM14174.

A pesar de dicha divulgación, la limitada tolerancia a la sal de las bacterias significa que, en muchos casos, todavía se requieren grandes volúmenes de agua dulce en las operaciones de procesamiento de minerales por biolixiviación. Además, a temperaturas relativamente bajas, por ejemplo de hasta 45 °C, la lixiviación de la calcopirita generalmente es ineficaz.

La invención se refiere a un método de biolixiviación que presenta una mayor eficacia y que se puede poner en marcha en condiciones de alto contenido de iones cloruro.

45 **Objeto de la invención**

La invención, en un aspecto, se basa en el sorprendente descubrimiento de que el uso de un consorcio de microorganismos halófilos o halotolerantes oxidantes del hierro y oxidantes del azufre tiene lo que se cree que es una relación comunalista que mejora el proceso de biolixiviación. Por razones que no se comprenden totalmente en la actualidad, parece que los microorganismos del consorcio participan en una relación simbiótica en la que un microorganismo obtiene cierto beneficio mientras que el otro o los otros microorganismos, sea cual sea el caso, no se ven afectados en gran medida. En la práctica, esto se traduce en una mejora de la eficacia de biolixiviación en determinadas condiciones definidas.

55 En particular, la invención proporciona un método de tratamiento de un mineral de sulfuro o sulfuro mixto y mineral de óxido que incluye la etapa de biolixiviación del mineral en una solución de iones cloruro con un consorcio de cultivo mixto y que se caracteriza porque:

- 60 a) el contenido de iones cloruro está en el intervalo de 1.500 ppm a 30.000 ppm;
- b) la solución contiene al menos uno de los siguientes: aluminio, magnesio y sodio;
- c) la temperatura de la solución es superior a 10 °C;
- d) el pH de la solución está en el intervalo de 1 a 3; y
- e) el consorcio de cultivo mixto contiene, al menos, una cepa de *Leptospirillum ferriphilum*, que es una cepa Sp-Cl depositada en DSMZ con el número de acceso DSM22399, y un microorganismo oxidante de azufre que es halófilo o halotolerante, consorcio que aumenta la velocidad de oxidación del hierro ferroso.

El contenido de iones cloruro puede estar en el intervalo de 5.000 ppm a 30.000 ppm.

5 Cuando se aplica el método a un proceso de lixiviación en pila, la temperatura de la solución en la pila puede estar en el intervalo de 10 °C a 60 °C o ser incluso superior. Por lo general, la temperatura está en el intervalo de 25 °C a 45 °C.

10 El consorcio se puede inocular en la pila de cualquier manera apropiada. En una forma de la invención, el consorcio se añade por medio de irrigación.

Al menos un microorganismo incluido en el consorcio se puede cultivar en uno o más reactores de acumulación. Se puede hacer uso, por ejemplo, de una pluralidad de reactores cada uno de los cuales se usa para la acumulación de inóculos del respectivo microorganismo que es activo en un determinado intervalo.

15 La inoculación puede tener lugar por lotes (de manera discontinua) o de manera continua.

20 Cuando la inoculación se lleva a cabo de manera continua, el inoculante, derivado del consorcio, pueden tener una concentración celular de 10^6 células/ml a 10^{10} células/ml. Por lo general, la concentración de células es de entre 10^7 células/ml y 10^9 células/ml.

Los reactores de acumulación se pueden emplear en un lugar que esté cerca de la pila. Se puede rociar aire en cada reactor y al aire se puede añadir dióxido de carbono. La administración de suplementos de dióxido de carbono puede estar en el intervalo del 0,1 % al 5 % v/v.

25 La inoculación se puede llevar a cabo para mantener el recuento de células en la pila en un valor de 10^6 a 10^{11} células por tonelada de mena.

30 En una variante de la invención, un inóculo de cada reactor, en lugar de que vaya directamente desde el reactor a la pila, se dirige a un estanque que está aireado, y en el que se almacena y mantiene el inóculo. Luego se añade el inóculo del estanque a la pila cuando sea necesario.

35 En una segunda variante de la invención, el inóculo, por ejemplo, de uno o más reactores de acumulación, se añade a la mena triturada junto con ácido, según sea necesario, y la mena inoculada se añade a la pila según sea necesario.

40 En otra forma de la invención, se emplea una pila que es relativamente pequeña en comparación con la pila principal en una configuración de circuito cerrado. Se usa el inóculo procedente de uno o más reactores de acumulación o del estanque de inóculos al que se hace referencia para irrigar la pila pequeña. Se vuelve a hacer circular la solución de lixiviación desde la pila pequeña hacia la pila pequeña que actúa de este modo como generador de inóculo. La mena de la pila pequeña, a la que se han unido los microorganismos activos por sí solos, se añade a la pila principal para introducir los microorganismos activos en la pila principal.

45 En una variante de la invención, una solución de lixiviación intermedia, es decir, una solución que se extrae de la pila y que no se somete a un proceso de recuperación de metal, y residuo de refinado generado haciendo pasar una solución de lixiviación cargada para que realice un drenaje desde la pila a través de un proceso de recuperación de metal, se vuelve a hacer circular hacia la pila para aumentar el recuento de células activas de la pila. La solución intermedia puede tener un recuento de células de 10^4 células/ml a 10^8 células/ml. El residuo de refinado puede tener un recuento de células similar. Se puede añadir ácido al residuo de refinado según sea necesario. Se puede rociar la pila con aire suplementado con dióxido de carbono, por ejemplo, 0,03 a 2,0 CO₂ v/v, y preferentemente aproximadamente 0,1 CO₂ v/v.

50 La invención se presta a la recuperación de un metal básico, tal como cobre, níquel o cinc a partir de minerales de sulfuro o de sulfuro mixto y de óxido que contienen el metal. En el caso concreto del cobre, se ha observado que ciertos microorganismos solo tienen una tolerancia limitada a niveles incluso relativamente bajos de cobre libre en solución. Por consiguiente, como el cobre se lixivia en una solución por la acción microbiológica, el proceso de lixiviación se convierte en autolimitante.

55 En las condiciones anteriormente mencionadas, la invención se caracteriza además, preferentemente, por que los microorganismos tienen una tolerancia al cobre en exceso de 0,5 g/l. Un límite superior de la tolerancia al cobre es de al menos 6 g/l, pero, preferentemente, los microorganismos son tolerantes a concentraciones de cobre tan altas como de 20 g/l.

60 El método de la invención también puede aplicarse a un proceso de lixiviación en tanque. En este caso, la biolixiviación puede tener lugar a una temperatura en el intervalo de 25 °C a 55 °C y, dependiendo de los microorganismos del consorcio, normalmente a una temperatura en el intervalo 30 °C a 45 °C.

El tanque puede incluir un agitador.

El consorcio se puede inocular directamente en el tanque o se puede añadir a la solución de cloruro. La solución de cloruro se puede añadir a o mezclar con un concentrado del mineral, que luego se suministra al tanque.

Al menos uno de los microorganismos incluidos en el consorcio de cultivo mixto se puede adaptar con el fin de aumentar la tolerancia del consorcio al cloruro y al cobre.

El consorcio de cultivo mixto puede incluir, al menos, los siguientes microorganismos: bacterias oxidantes de azufre halófilas o tolerantes a los cloruros (por ejemplo, *Acidithiobacillus* o *Thiobacillus* sp.) y Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum*.

El solicitante ha determinado que la cepa Sp-Cl, que es acidófila y resistente a los cloruros, es adecuada para la biolixiviación de minerales de sulfuro en entornos de alto contenido de cloruro y metales solubles. El organismo fue aislado de una solución de lixiviación cargada de la mina de Minera Spence S.A., de la región de Antofagasta de Chile. La cepa Sp-Cl del organismo *Leptospirillum ferriphilum* se depositó como un cultivo puro en la Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ) con el número de acceso DSM 22399 el 2 de marzo de 2009. La cepa Sp-Cl es una bacteria autótrofa y quimiolitótrofa oxidante del hierro con la capacidad de desarrollarse en hierro ferroso como única fuente de energía en ausencia de compuestos de azufre reducidos a altas concentraciones de cloruro y metales solubles.

La cepa Sp-Cl oxida el hierro en un cultivo puro o en un cultivo mixto con una bacteria resistente a cloruros acidófila u oxidante de azufre halófila.

Kinnunen y Punakka [2004] evaluaron la tolerancia al cloruro de lo que se estableció como un cultivo mixto dominado por *Leptospirillum ferriphilum*. Los autores publicaron velocidades de oxidación del hierro significativamente reducidas a [Cl⁻] de 10 g/l y una inhibición completa a 20 g/l, en comparación con la velocidad de oxidación del hierro obtenida en ausencia de iones cloruro. Sin embargo, el documento no proporciona ninguna evidencia que apoye que la especie de *Leptospirillum ferriphilum* domine en el cultivo mixto o que indique si una cepa de *Leptospirillum ferriphilum* es realmente responsable de catalizar la oxidación del hierro de los resultados presentados en presencia de iones cloruro. Además, no se hizo referencia a las velocidades de oxidación del hierro ni a la inhibición microbiana en presencia de cloruro y cobre soluble.

Las únicas cepas autótrofas, acidófilas, tolerantes a los cloruros, oxidantes del hierro descritas hasta la fecha, de las cuales el solicitante tiene conocimiento, pertenecen al género *Thiobacillus*, específicamente al grupo de la especie *prosperus*: - *Thiobacillus prosperus* [Huber y Stetter, 1989]. Dichos organismos tienen una necesidad inherente de cloruro para su crecimiento óptimo (halófilos). El grupo de *Thiobacillus prosperus* (cepa tipo, cepa V6 y otras cepas presentes como cultivos mixtos) [Huber y Stetter, 1989; Simmons y Norris, 2004; Norris 2007; Davis-Belmar *et al.*, 2008] son bacterias acidófilas, oxidantes del hierro y oxidantes del azufre, halotolerantes, capaces de crecer hasta [Cl⁻] de 28 g/l en hierro ferroso (con tetrionato) y hasta [Cl⁻] de 36 g/l en presencia de piritita como un cultivo mixto con *Acidithiobacilli* oxidantes del azufre [Simmons y Norris, 2004]. Estos organismos requieren la suplementación de un compuesto de azufre reducido, probado específicamente solo en tetrionato, para un buen crecimiento en el hierro ferroso como la única fuente de energía [Davis-Belmar *et al.*, 2008; Simmons y Norris, 2002]. No se han descrito niveles de tolerancia ni alta resistencia a metales aplicables a la biolixiviación, específicamente a concentraciones de cobre superiores a 1 g/l⁻¹, u otras impurezas (por ejemplo, aluminio), para estos organismos [Davis-Belmar *et al.*, 2008].

Las bacterias que pertenecen a los géneros *Thiobacillus*/*Halothiobacillus*, *Thioalkalimicrobium* y *Thiomicrospira* [Kelly y Wood, 2000; Sorokin *et al.*, 2001] son las que más se relacionan filogenéticamente con el grupo de *Thiobacillus prosperus* y no con la especie *Acidithiobacillus* (se requiere una reclasificación del género *Thiobacillus*). En contraste con las cepas de tipo *Thiobacillus prosperus*, estos organismos quimiolitótrofos oxidan compuestos de azufre inorgánicos en condiciones alcalinas con solución salina y, por lo tanto, no pueden prosperar en condiciones ácidas ni utilizar el hierro ferroso como única fuente de energía.

Descripción de las figuras

La invención se describe en mayor profundidad por medio de ejemplos con referencia a las figuras adjuntas en las que:

la Figura 1 presenta la secuencia parcial de ADNr 16S y un análisis filogenético basado en el algoritmo del método de unión al vecino y la distancia evolutiva, indicada como sustituciones de nucleótidos por pares de bases (barra de escala);

la Figura 2 es una representación en diagrama de bloques de un proceso de biolixiviación en pila, con las posibles variaciones del mismo, realizado de acuerdo con los principios de la invención;

la Figura 3 es una representación esquemática de un proceso de biolixiviación en tanque realizado de acuerdo con los principios de la invención;

la Figura 4 es una ilustración gráfica de la ecuación de Nernst que demuestra la relación del porcentaje de hierro oxidado (Fe^{3+}) y el potencial de solución (milivoltios frente a la celda de referencia de $\text{Ag}/\text{AgCl}/\text{KCl}$ 3 M a 25 °C); la Figura 5 tiene tres gráficos que presentan los parámetros de funcionamiento y las condiciones físicas/químicas de un sistema biorreactor alimentado con concentrado de cobre continuo (tanque de alimentación, biorreactor primario y secundario) empleado para el crecimiento de un consorcio mixto usado como inóculo en el método de la invención ;

la Figura 6 ilustra los resultados del análisis de PCR en tiempo real realizado en el consorcio desarrollado en el sistema biorreactor de la Figura 5;

la Figura 7 demuestra la capacidad de oxidación deL hierro de un cultivo mesófilo de biolixiviación en un intervalo de concentraciones de cloruro de 0 a 12 g/l en medios de cultivo que contienen 3 g/l de hierro ferroso;

la Figura 8 muestra la capacidad de oxidación de hierro de la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* en un intervalo de concentraciones de cloruro de 0 a 12 g/l en medios de cultivo que contienen 3 g/l de hierro ferroso;

la Figura 9 presenta la capacidad de oxidación del hierro de la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* en presencia de una cepa oxidante de azufre en un intervalo de concentraciones de iones cloruro de 0 a 30 g/l en medios de cultivo que contienen 3 g/l de hierro ferroso;

la figura 10 ilustra los resultados de un análisis de PCR en tiempo real realizado en la condición de 21 g/l de Cl, mostrada en la Figura 9, tras aproximadamente 11 días de incubación, y

la Figura 11 demuestra la capacidad de oxidación del hierro de la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* como un cultivo mixto en presencia de 5 g/l de Cu^{2+} , 12 g/l de Cl^{-1} y 3 g/l Fe^{2+} .

Descripción detallada de la invención

En base de la filogenia del ADNr 16S (Figura 1), la cepa Sp-Cl pertenece al género *Leptospirillum*, especie *ferriphilum* (grupo II de *Leptospirillum*). La secuencia de ADNr 16S se agrupa en un subgrupo diferente del grupo II de *Leptospirillum* sin representantes cultivados conocidos.

La cepa Sp-Cl aislada, denominada Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum*, se depositó como cultivo puro en la Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH (DSMZ) con el número de acceso DSM 22399 el 2 de marzo de 2009.

La Figura 2 ilustra un proceso de lixiviación en pila implantado con el consorcio al que se hace referencia. Se construye una pila 30 a partir de mena aglomerada en los lechos cortos 32 y 34 usando técnicas convencionales. Se inyecta aire 36 a través de un ventilador 38 en un colector 40 de una zona inferior de la pila. Se añade dióxido de carbono procedente de una fuente 42 a una velocidad controlada, normalmente CO_2 al 0,1 % v/v, a la corriente de aire.

Opcionalmente, se vuelve a hacer circular una solución de pila intermedia 44 (SPI) recogida en lecho corto 32 hacia un sistema de irrigación 46 situado sobre la pila. Se somete la solución de lixiviación cargada 48 (SLC) recogida en el lecho corto 34 a un proceso de extracción en disolvente (ED)/extracción electrolítica (EE) 50 para recuperar el contenido de cobre de la solución de lixiviación cargada sobre los cátodos 52.

La Tabla 1 muestra como ejemplo algunas especies químicas de la solución de lixiviación cargada de un proceso de biolixiviación en pila que contiene iones cloruro, siendo los cationes predominantes en el circuito de lixiviación el aluminio, magnesio, sodio, hierro y cobre.

Tabla 1

Análisis ICP de solución de lixiviación de un proceso de biolixiviación en pila		
Elemento		ICP de la solución de lixiviación cargada
Cloruro	g/l	7,09
Sulfato	g/l	28,38
Cinc	mg/l	25
Arsénico	mg/l	3,88
Aluminio	g/l	1,36
Cadmio	mg/l	0,7
Calcio	mg/l	456
Bario	ppb	30
Magnesio	mg/l	822

Análisis ICP de solución de lixiviación de un proceso de biolixiviación en pila		
Estroncio	mg/l	1,2
Sodio	g/l	3,08
Estaño	ppb	50
Potasio	mg/l	209
Vanadio	mg/l	1,59
Hierro	mg/l	799
Litio	mg/l	15
Cobalto	mg/l	3,61
Cobre	g/l	5,05
Níquel	mg/l	0,98
Manganeso	mg/l	25

El residuo de refinado del proceso 50 se recoge en un estanque 54 y se le añade ácido sulfúrico 56, según sea necesario. Al menos parte del residuo de refinado 58, que tiene una concentración de células de 10^4 a 10^8 células/ml, se recicla hacia el sistema de irrigación 46.

5 Se puede hacer uso de una o más técnicas para garantizar la obtención de un volumen adecuado del consorcio, con un recuento de células aceptable.

10 Una primera posibilidad es hacer uso de al menos un reactor de acumulación en el que se cultive el consorcio. En dicha técnica, se introduce un concentrado 60 a una pluralidad de reactores de acumulación con inóculo 62A a 62E, en los que se lleva a cabo el cultivo del consorcio. Los reactores pueden funcionar a diferentes temperaturas, según proceda, para lograr la propagación óptima del consorcio. Cada reactor se puede agitar según sea apropiado por medio del respectivo impulsor 64A a 64E. El aire 66 se dirige a una zona inferior de cada reactor, y se añade dióxido de carbono 68 al aire para aumentar al máximo y controlar la acumulación de inóculo en cada reactor. El dióxido de carbono está presente en el intervalo del 0,1 % al 5 % v/v.

15 El inóculo 70 se extrae de cada reactor, según se requiera, para inocular la pila. El inóculo se puede añadir a intervalos regulares de manera discontinua, pero se añade preferentemente a una velocidad controlada y continua. La concentración celular del inóculo depende del funcionamiento de cada reactor y de cualquier dilución que pueda tener lugar, pero normalmente está en el intervalo de 10^7 a 10^{10} células/ml, estando un valor preferido en el intervalo de 10^7 a 10^9 células/ml. En este sentido, es un objetivo mantener el recuento de células de la pila en el intervalo de 10^6 a 10^{12} células/tonelada de mena.

20 En otro enfoque, el inóculo 72 de uno o más de los reactores se dirige hacia un estanque de inóculo 74 que está aireado (76). El estanque es un estanque de almacenamiento y mantenimiento y, en caso necesario, el inóculo 78, por lo general, con una concentración de células de 10^5 a 10^8 células/ml, se dirige hacia el sistema de irrigación.

25 En otra variación, el inóculo 78, ya sea del estanque o de cualquiera de los reactores, se dirige a una pila pequeña separada 80 que funciona en condiciones de circuito cerrado. Se recoge la solución de drenaje procedente de la pila en un estanque de 82 y bien se vuelve a hacer circular directamente hacia la pila, o se almacena y se mantiene en el estanque de inoculación 74. La mena 84 que contiene el inóculo se separa de la pila 80 y luego se aglomera con la mena en la pila 30 para ayudar a mantener la población del consorcio de la pila a un nivel apropiado.

30 También es posible dirigir el residuo de refinado 58 y la solución de lixiviación intermedia 44, o una mezcla de los mismos, al sistema de irrigación para mantener el recuento de células de la pila.

35 En un enfoque diferente mostrado en la parte superior derecha de la Figura 2, se usa el inóculo 86 de uno o más de los reactores 68 para inocular mena triturada 88, que se aglomera en un proceso 90. Se añade ácido sulfúrico 92 a la mena, y se introduce la mena inoculada y aglomerada 94 en la pila 30 según sea necesario.

40 La Figura 3 representa el uso del consorcio en una aplicación de lixiviación en tanque. Se dota un reactor 100 de un agitador 102 y un anillo de inyección de aire 104. Se introduce una solución del concentrado de sulfuro 106 que se va a lixiviar en el tanque de una manera controlada. Se añade una solución salina 108 que contiene nutrientes bien a una línea de alimentación 110 que se extiende desde la fuente de concentrado al tanque o directamente al concentrado 106. Se introduce una solución 112 que contiene el consorcio, preparada fuera del proceso, en la

solución del tanque, según sea apropiado, para lograr un recuento de células deseado. Se inyectan aire 114 y dióxido de carbono 116 en el tanque a través de un sistema de inyección 118 situado en una zona inferior del tanque, según es necesario.

5 Las etapas de tratamiento del mineral llevadas a cabo antes de la fase de biolixiviación y posteriormente a la misma para recuperar el contenido de metal de la solución de lixiviación no se muestran para dichos aspectos, pero son conocidas en la técnica.

10 La Figura 5 demuestra la capacidad de crecimiento del consorcio en un sistema basado en reactores, al que se hace referencia en la Figura 2, a una concentración celular de entre 10^7 y 10^9 células/ml a 10-12 g/l de Cl^- y una concentración de iones de cobre superior a 5 g/l en un tiempo de retención aproximado en el reactor de 4 días, manteniendo además un potencial redox superior a 600 mV (Ag/AgCl) en los reactores primario y secundario. Los reactores primario y secundario se mantuvieron a una temperatura de aproximadamente 35 °C y un pH, incluyendo el del tanque de alimentación, de entre 1 y 2. Se trató un concentrado de sulfuro de cobre en el sistema reactor y sirvió como fuente principal de los valores de cobre solubles presentados.

15 La Figura 6 ilustra los resultados de los análisis de PCR en tiempo real realizados en el consorcio usado en el método de la invención para establecer la concentración de células en una muestra de una solución de biolixiviación. La concentración celular del consorcio procede de las respectivas concentraciones de las cepas que se incluyen en el consorcio, en concreto, de la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* y una cepa oxidante de azufre.

20 Las Figuras 7 y 8 muestran los resultados de los ensayos en matraz oscilante que se llevaron a cabo para comparar la capacidad de oxidación del hierro de un cultivo mesófilo normal, obtenido mediante un biorreactor de concentrado de cobre, con el cultivo puro de la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* a diferentes concentraciones de una mezcla de cloruro de sodio y cloruro de magnesio y 1 g/l de Cl^- . El cultivo normal de biolixiviación mostró una inhibición profunda entre 0 y 2,4 g/l de Cl^- , sin que se observara actividad a las concentraciones de iones cloruro ensayadas superiores a 4,8 g/l (Figura 7) durante un período de crecimiento de 11 días. La Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* no mostró inhibición (oxidación del hierro completa en menos de 8 días) entre 0 y 12 g/l Cl^- .

25 La Figura 9 ilustra además, a través de ensayos en matraz oscilante, la capacidad de oxidación del hierro del consorcio usado en la presente invención frente a un aumento de la concentración de una mezcla de cloruro de magnesio, cloruro de sodio y cloruro de aluminio (0-30 g/l Cl^-). El consorcio demostró la capacidad de oxidación total del hierro a hasta 12 g/l en menos de 11 días, observándose actividad microbiana hasta 30 g/l Cl^- en comparación con el control negativo.

30 La Figura 10 confirma que la cepa Sp-Cl de *Leptospirillum ferriphilum* es el organismo que cataliza la oxidación del hierro a las altas concentraciones de cloruro evaluadas en la Figura 9.

35 La Figura 11 incide en la resistencia al cloruro del consorcio y la alta tolerancia al cobre en presencia de cloruro, obteniéndose velocidades de oxidación del hierro notables (en menos de 150 horas) a 12 g/l y 5 g/l de Cu^{2+} . Las muestras para los ensayos en matraz oscilante de oxidación del hierro (inóculo al 10 % a los medios) se inocularon con cultivo procedente del biorreactor secundario mostrado en la Figura 5. Los ensayos de oxidación del hierro se realizaron durante un período de funcionamiento del sistema biorreactor.

REIVINDICACIONES

1. Un método de tratamiento de un mineral de sulfuro o sulfuro mixto y mineral de óxido que incluye la etapa de biolixiviación del mineral en una solución de iones cloruro con un consorcio de cultivo mixto y que **se caracteriza porque:**
 - a) el contenido de iones cloruro está en el intervalo de 1.500 ppm a 30.000 ppm;
 - b) la solución contiene al menos uno de los siguientes: aluminio, magnesio y sodio;
 - c) la temperatura de la solución es superior a 10 °C;
 - d) el pH de la solución está en el intervalo de 1 a 3; y
 - e) el consorcio de cultivo mixto contiene, al menos, una cepa de *Leptospirillum ferriphilum*, que es una cepa Sp-CI depositada en DSMZ con el número de acceso DSM22399, y un microorganismo oxidante de azufre que es halófilo o halotolerante, consorcio que aumenta la velocidad de oxidación del hierro ferroso.
2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el contenido de iones cloruro se encuentra en el intervalo de 5.000 ppm a 30.000 ppm, y la temperatura está en el intervalo de 25 °C a 45 °C.
3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos un microorganismo del consorcio se cultiva en al menos un reactor de acumulación.
4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el mineral se inocula con un inoculante que tiene una concentración de células del consorcio de entre 10⁷ células/ml y 10⁹ células/ml para mantener un recuento de células en el mineral de 10⁶ a 10¹¹ células por tonelada de mena.
5. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que un inóculo del reactor se dirige a un estanque que está aireado, y en el que se almacena y mantiene el inóculo, y el inóculo del estanque se añade al mineral.
6. Un método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el inóculo del reactor se añade a mena triturada junto con ácido y la mena inoculada se añade al mineral.
7. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el consorcio se produce en un generador de inóculos, y la mena, a la que los microorganismos del consorcio están unidos, se añade al mineral.
8. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que una solución de lixiviación intermedia, que se extrae del mineral y que no se somete a un proceso de recuperación de metal, y residuo de refinado, producido haciendo pasar una solución de lixiviación cargada que drena desde el mineral a través de un proceso de recuperación de metal, se vuelven a hacer circular hacia el mineral para aumentar el recuento de células activas del mineral.
9. Un método de acuerdo con la reivindicación 1 usado para la recuperación de cobre del mineral, en el que los microorganismos del consorcio tienen una tolerancia al cobre en exceso de 0,5 g/l.
10. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que al menos uno de los microorganismos incluidos en el consorcio de cultivo mixto está adaptado a aumentar la tolerancia del consorcio al cloruro y al cobre.
11. Microorganismo aislado que es la cepa Sp-CI de *Leptospirillum ferriphilum* depositada en DSMZ con el número de acceso DSM22399.

> Secuencia de ADNr 16S parcial de la cepa Sp-CI de *Leptospirillum ferriphilum*

tAACacatgcaagtcgcagctgaaaggggagcaatccccggtagggtaggcaaacgggtgagtaagacatgggtgatcta
ccctggagatggggatataccctccgaaaggggggcaataccgaatagagtcgggtccgtggaaggggacgggggaaagg
gaggccctctggaacaagcttccgctcctggtgagagccatggcccacagctagttggtagggtaaaaggccacaaaggc
gacgacgggtagctggcttgagaggacaaccagccacactggcactgagacacgggacagactcctacgggaggcagcag
tgaggaaatattgagcaatgggggcaacctgacgcagcaacgcccgggtgtgggaaggaaggcttccgggtgttaaaccact
tttggccgggacgaaaagggggctcagaaatccggcgttcgatgacggtaccgggagaaataagccacggctaacctctgtg
ccagcagccgcggttaagacagagggtggcaagcgttggtccggagtaactggggcgtaaagagtctgtagggtgttctgcaag
tctttgtgtgaaaggccgtggcttaaccatgggaatgccaaaggagctggcagactggagggtgggagagggaagcgggaat
ttctgtgtgagcgggtggaatgctgtagatatacgaagggaggcccggtggcgaaggcggcttccctggacagccctgacac
tgagagacgaaagcgtgggagcaaacaggattagataccctggtagtccacgcctaaacgatgggtactaagtgtggga
gggttaaaccctcccggtccgcagccaaagcagtaagtaaccggcctggggagtacggccgcaagggtgaaactcaaggga
attgacgggggcccgcacaagcgggtgtgcatgtggttttaattcgacgcaacgcgaagaaccttacctgggcttgacata
ccgcgagtagggaaactgaaaggggacgcacgggttcagtcgggaagcgggaacaggtgctgcatggctgtctgacgtcgt
gcccgtgagggtgtgggttcagtcgcgaacgagcgaacccctcgccctctgttggccacggggtcatgcccggcactctga
ggggactgccagcgacaagttggaggaaggagaggatgacgtcaagtcacatggcccttatggcaggggccacacgt
gcaacaatggccggtacagacggatgcgagaccgagagggtggagcaaatccgagaagacgggtcccagttcggattgagg
tctgcaactcgacctcatgaagtcggaatcgtagtaattcggcgaaattctggcattcaat

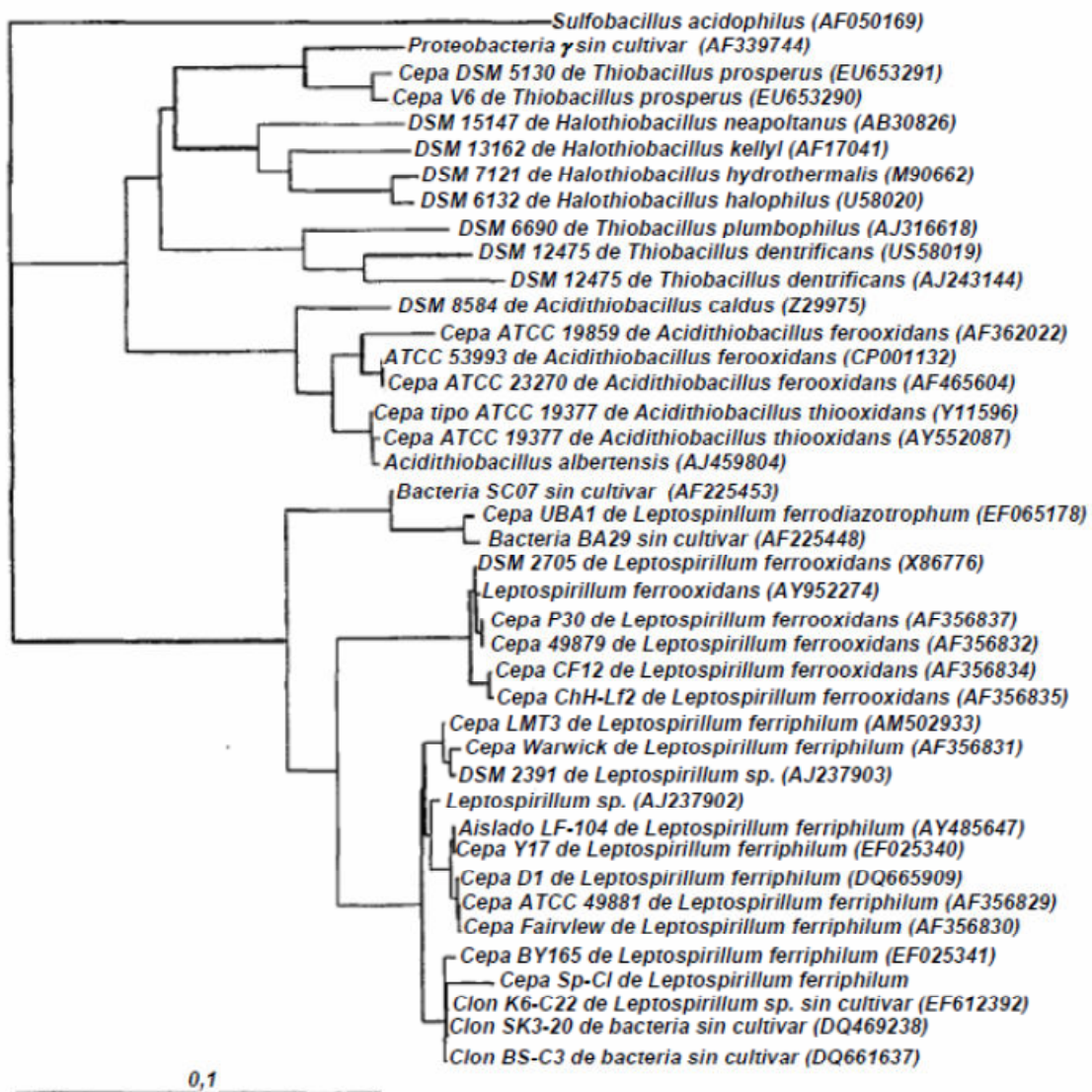
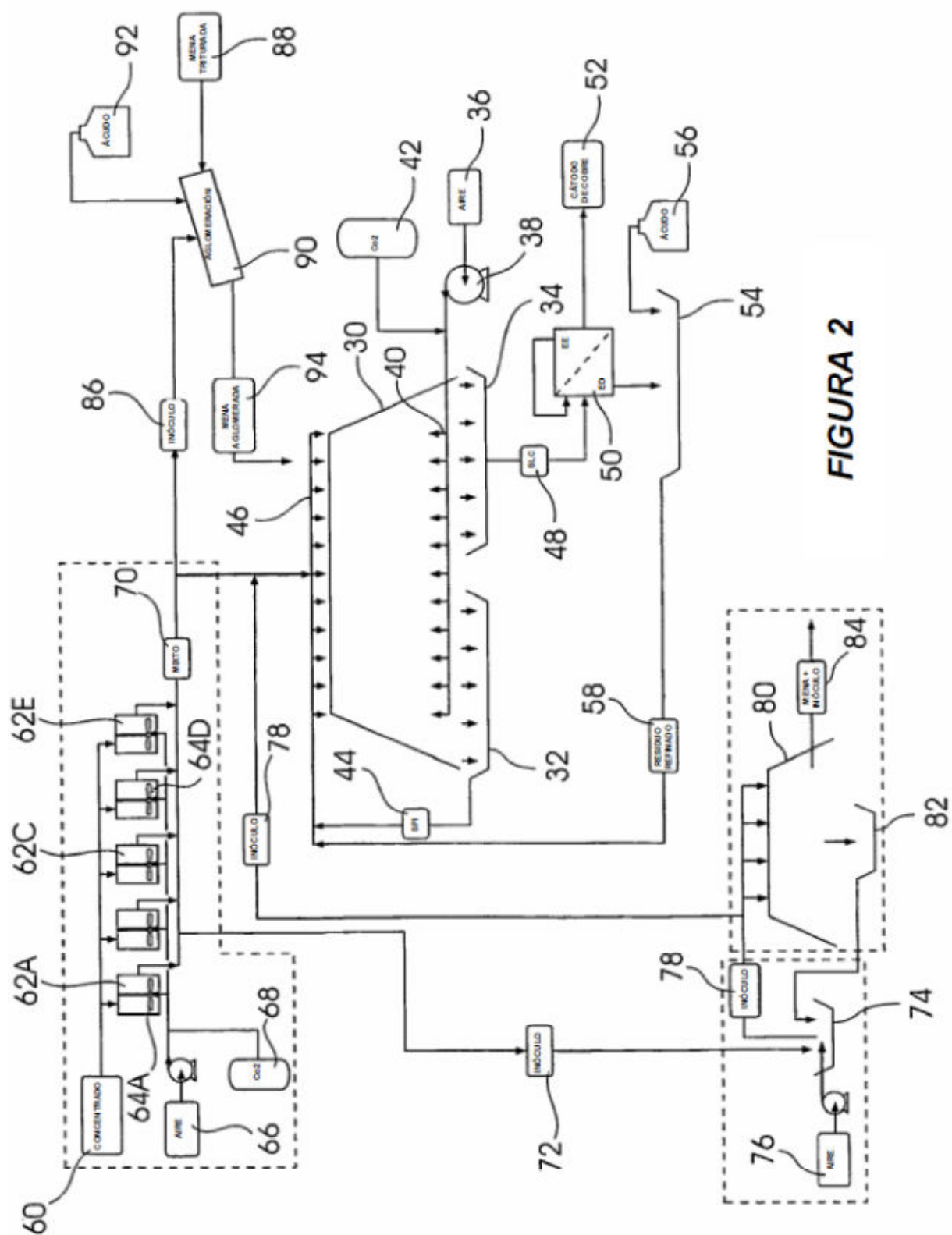


FIGURA 1



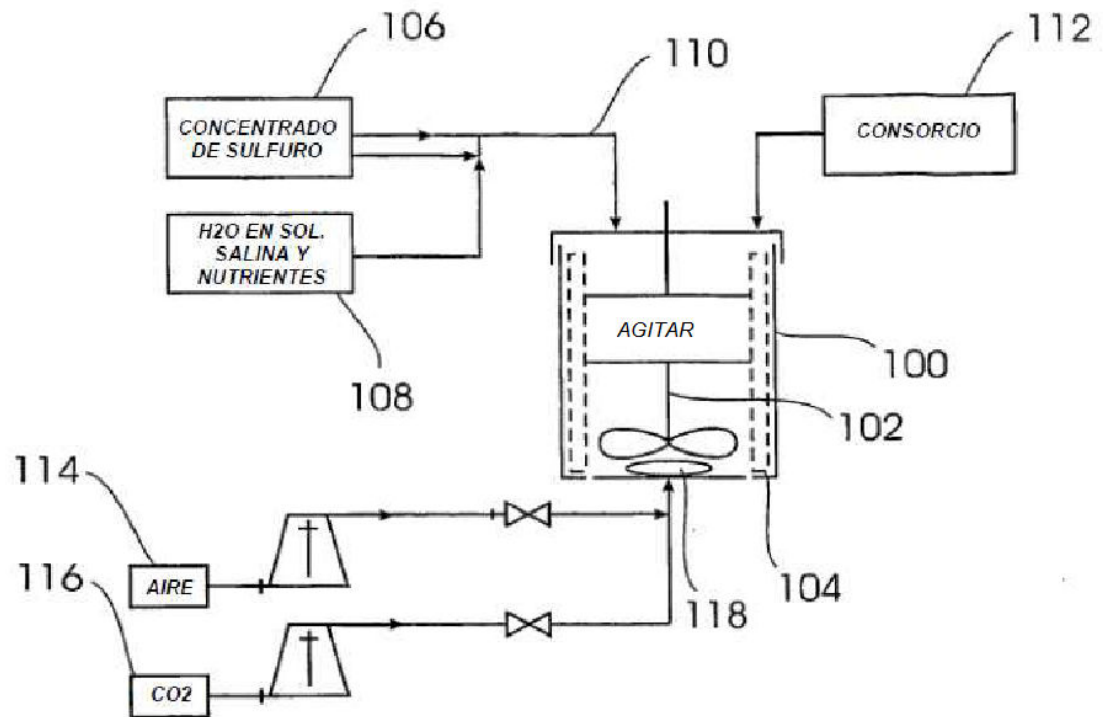


FIGURA 3

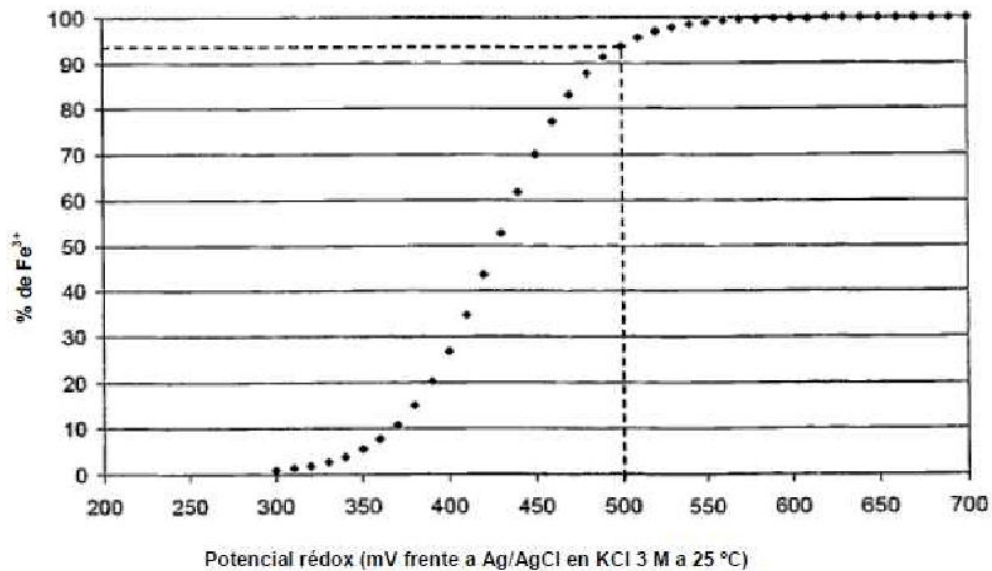


FIGURA 4

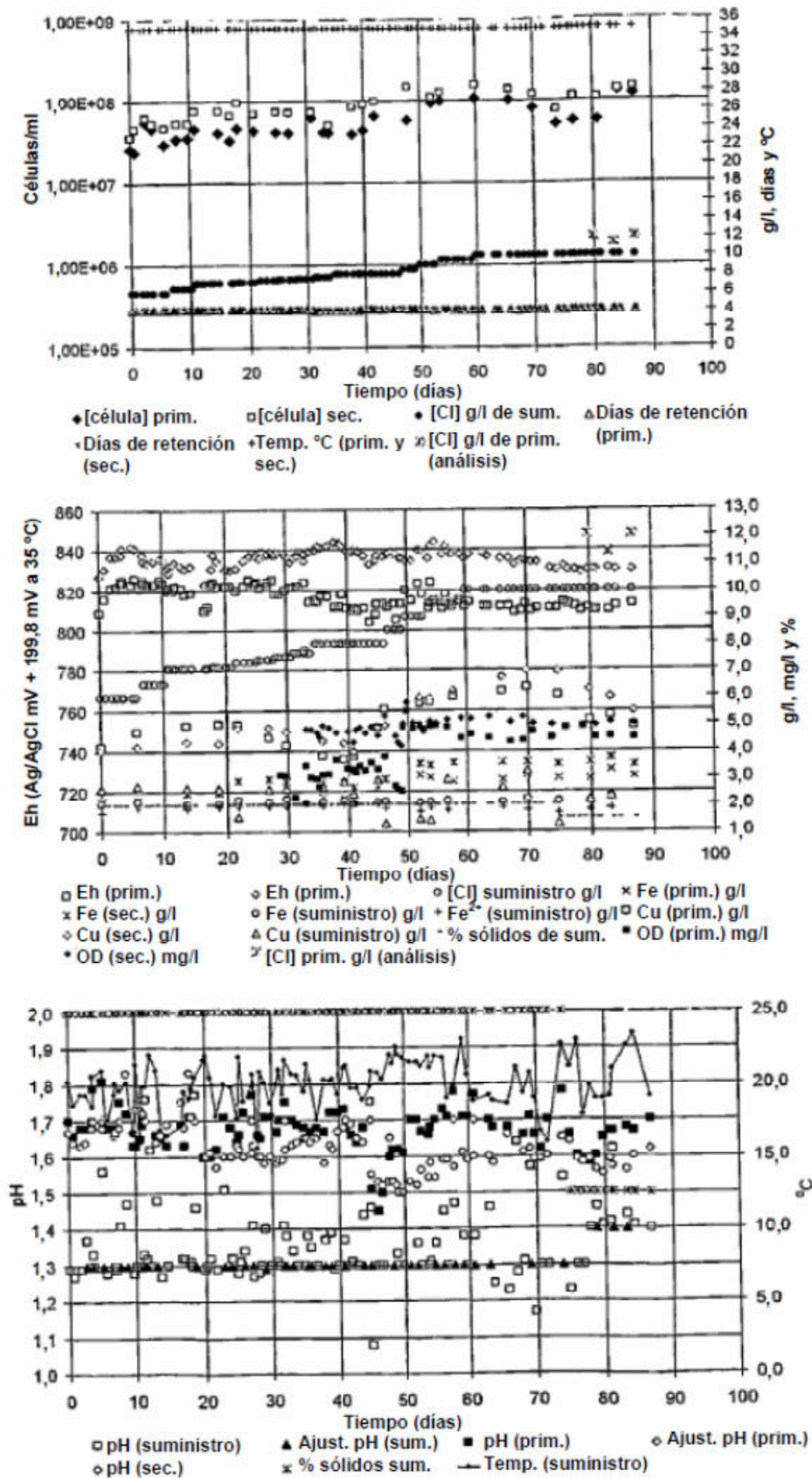


FIGURA 5

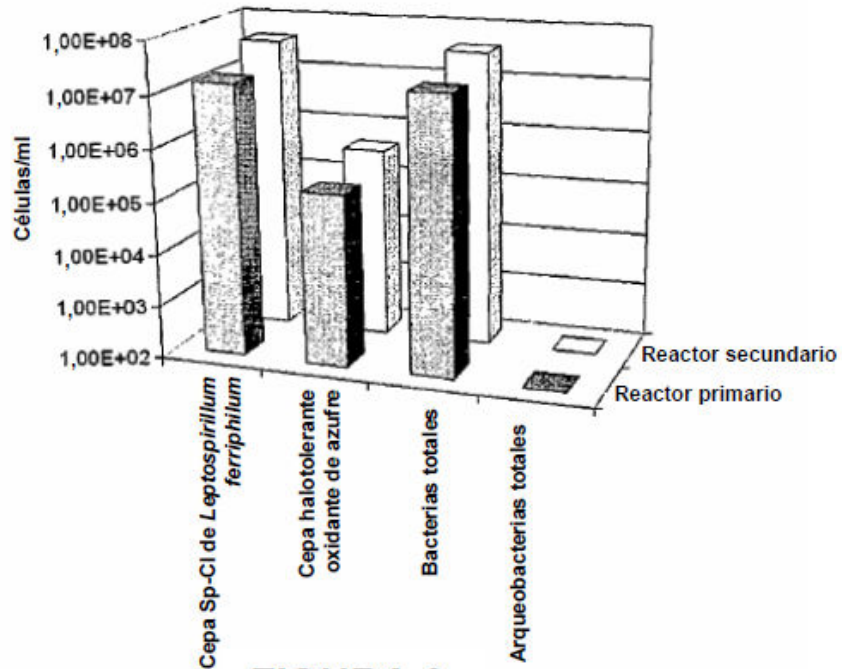
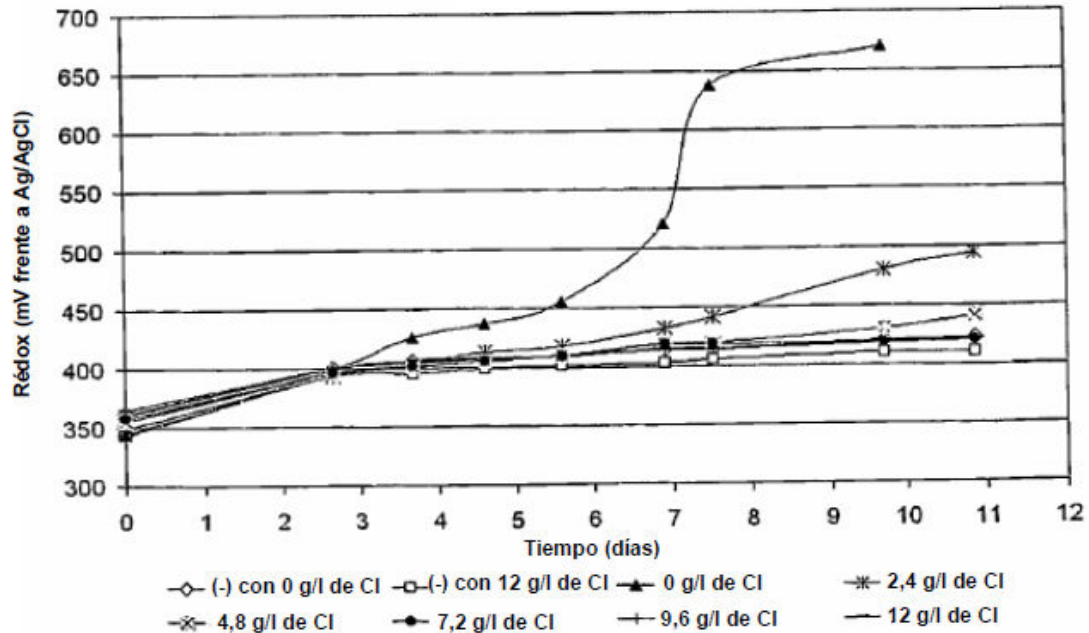


FIGURA 6



Sales de Cl	0 g/l Cl	2,4 g/l Cl	4,8 g/l Cl	7,2 g/l Cl	9,6 g/l Cl	12 g/l Cl
NaCl g/l	0,00	1,37	2,74	4,11	5,48	6,85
MgCl ₂ .6H ₂ O g/l	0,00	4,50	9,00	13,50	18,00	22,50

FIGURA 7

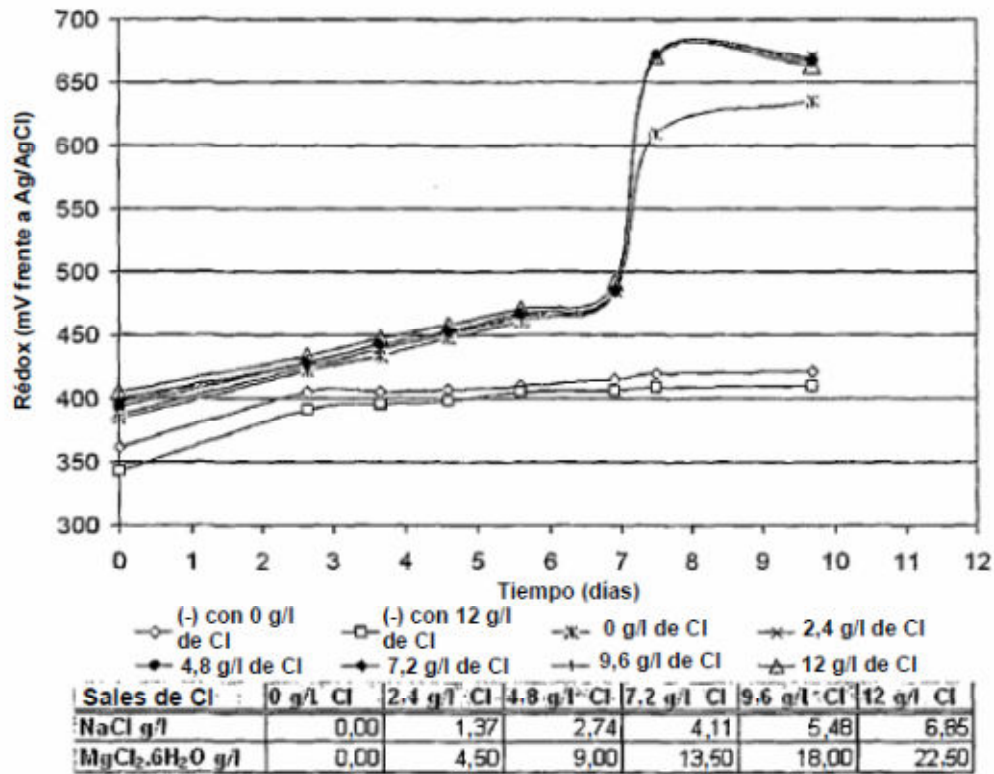


FIGURA 8

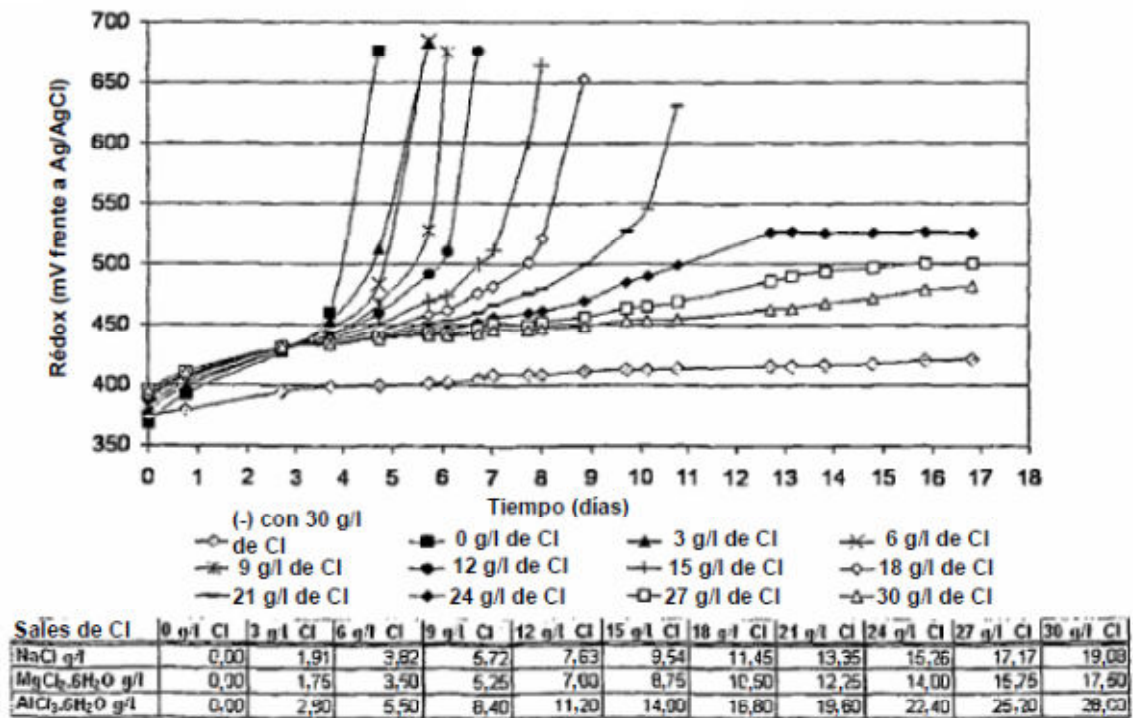


FIGURA 9

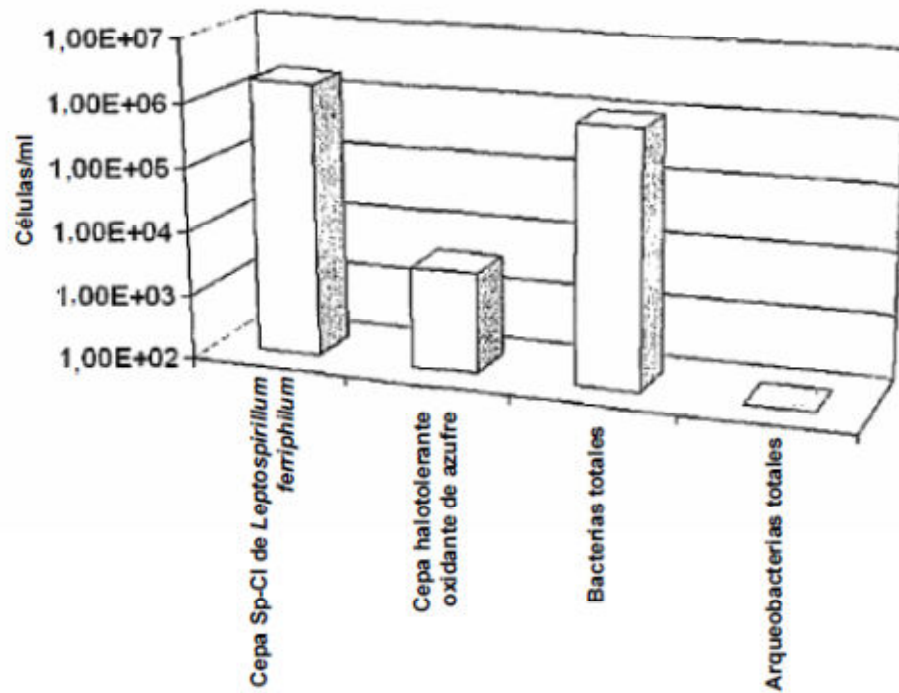


FIGURA 10

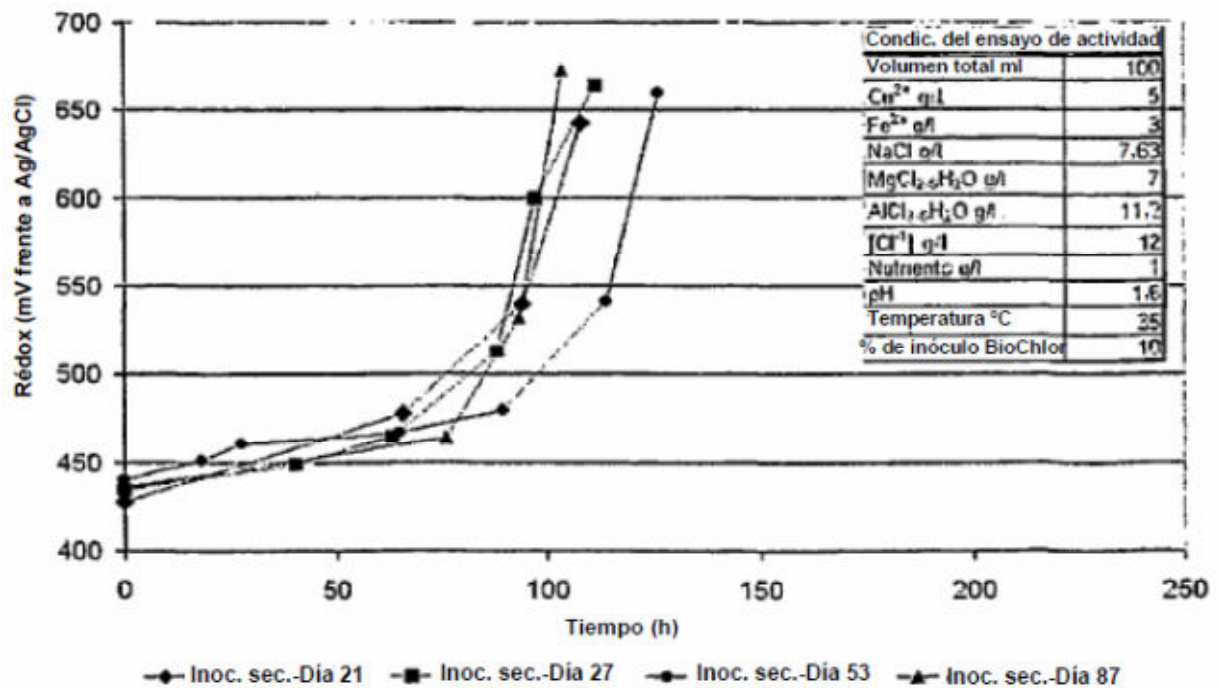


FIGURA 11