

II. Biolixiviación de un mineral refractario procedente de la mina El Zancudo (Titiribí, Antioquia)

Julio César Pérez Ríos*

En el artículo sobre biocemento se refirieron detalladamente las características de estas bacterias no basadas en el ciclo de Krebs^{*1}. Se identifican los factores necesarios para aislar, adaptar y reproducir el thiobacillus ferrooxidans, thiobacillus thiooxidans y sulfolobus acidularius; éstas viven de la oxidación del hierro y el azufre. En estos mecanismos de ataque la M representa el metal asociado al azufre.

La jarosita es un mineral de procedencia biogénica que la bacteria deja en su lecho de muerte. Las cepas fueron obtenidas de los nichos de aguas del frente de explotación.

Mecanismos de ataque

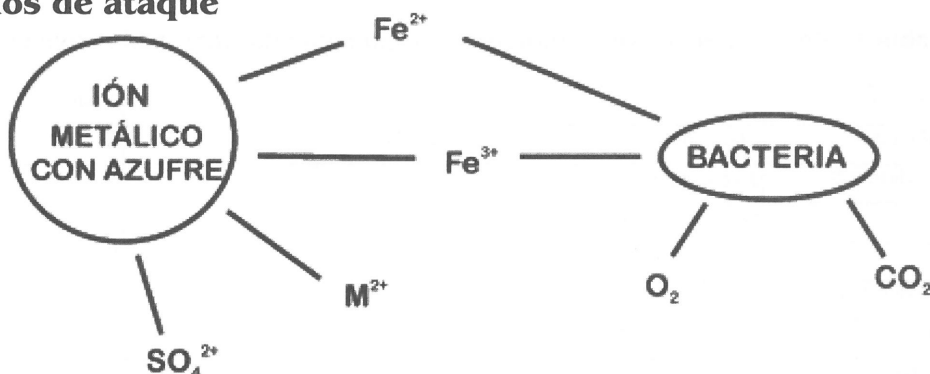


Figura 1. Lixiviación biológica directa

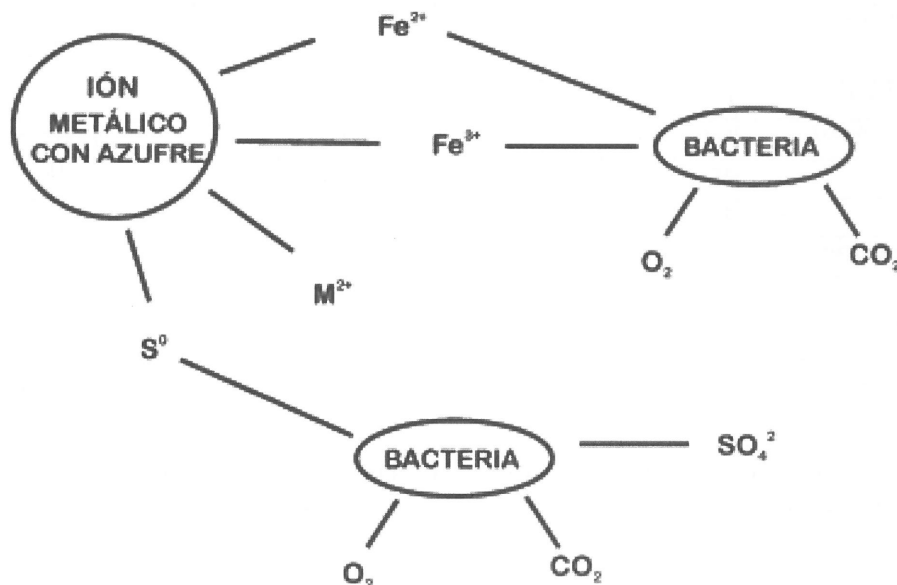


Figura 2. Lixiviación biológica indirecta

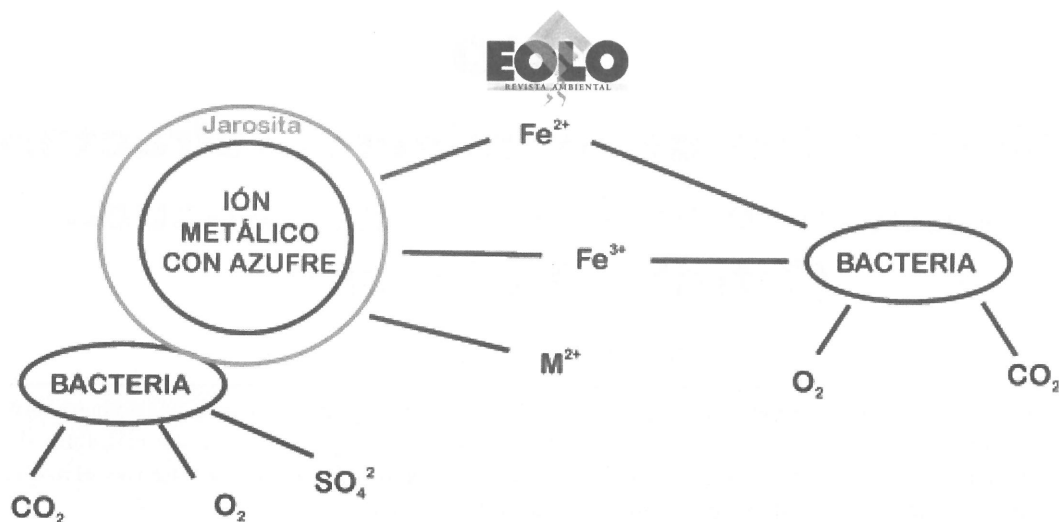


Figura 3. Lixiviación biológica indirecta

En la Tabla 1 se resumen todas las posibles reacciones químicas y biológicas que se presentan durante la lixiviación bacteriana de minerales con contenido de hierro y azufre

Tabla 1. Posibles reacciones biológicas y químicas durante la biolixiviación

Mecanismo	Reacción		Modo
Directo	$\text{ZnS} + 2\text{O}_2$	ZnSO_4	Biológica
Indirecto S	$\text{ZnS} + 2\text{Fe}^{3+}$	$\text{Zn}^{2+} + \text{S}^0 + 2\text{Fe}^{2+}$	Química
	$2\text{Fe}^{2+} + \frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	$2\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	Biológica
	$\text{S}^0 + 1.5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$	H_2SO_4	Biológica
Indirecto Fe	$\text{ZnS} + 8\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{ZnSO}_4 + 8\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}^+$	Química
	$8\text{Fe}^{2+} + 2\text{O}_2 + 8\text{H}^+$	$8\text{Fe}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	Biológica
Directo	$\text{CuFeS}_2 + 4.25\text{O}_2 + \text{H}^+$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{Fe}^{3+} + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	Biológica
Indirecto S	$\text{CuFeS}_2 + 4\text{Fe}^{3+}$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{S}^0 + 5\text{Fe}^{2+}$	Química
	$5\text{Fe}^{2+} + \frac{5}{2}\text{O}_2$	$5\text{Fe}^{3+} + \frac{5}{2}\text{H}_2\text{O}$	Biológica
	$2\text{S}^0 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{SO}_4$	Biológica
Indirecto Fe	$\text{CuFeS}_2 + 16\text{Fe}^{3+} + 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Cu}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 17\text{Fe}^{2+} + 16\text{H}^+$	Química
	$17\text{Fe}^{2+} + \frac{17}{4}\text{O}_2 + 17\text{H}^+$	$17\text{Fe}^{3+} + \frac{17}{2}\text{H}_2\text{O}$	Biológica
Directo	$\text{FeS}_2 + \frac{15}{4}\text{O}_2 + \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$	$\text{Fe}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$	Biológica
Indirecto S	$\text{FeS}_2 + 2\text{Fe}^{3+}$	$3\text{Fe}^{3+} + 2\text{S}^0$	Química
	$3\text{Fe}^{2+} + \frac{3}{4}\text{O}_2$	$3\text{Fe}^{3+} + \frac{3}{2}\text{H}_2\text{O}$	Biológica
	$2\text{S}^0 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	$2\text{H}_2\text{SO}_4$	Biológica
Indirecto Fe	$\text{FeS}_2 + 14\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	$15\text{Fe}^{2+} + 2\text{SO}_4^{2-} + 16\text{H}^+$	Química

Con este trabajo de investigación de prefactibilidad metalúrgica realizado en el laboratorio de Química Analítica de la Universidad Nacional de Colombia (sede Medellín), se optó al título de Ingeniero químico. Se investigó una tecnología y su competitividad respecto de otros medios de pretratamientos existentes para minerales de características refractarias.

Se les denomina refractarios ya que no se pueden obtener bajo la cianuración convencional; este oro se halla encapsulado o adherido a la matriz pirítica y sólo puede ser recuperado si se ataca el mineral que lo contiene.

Por la fuerte refractariedad que presentan los minerales auro-argentíferos procedentes de la mina El Zancudo (explosiones Cateador y Chisperos), a la extracción convencional del oro, se les cataloga como minerales complejos refractarios.

Los óxidos de hierro y el cuarzo presentes en el mineral de trabajo no se descomponen por acción de las soluciones de cianuro; los otros minerales presentes en una buena proporción, pueden disolverse en tales soluciones (pirrotita, minerales de antimonio y arsénico). Estos minerales son fácilmente solubles en las soluciones mencionadas; y además de impedir la disolución del oro, son cianicidas, es decir, consumen cianuro y oxígeno. Hasta hace unas pocas décadas se evitaba este tipo de procesamiento de los minerales arriba mencionado. Sin embargo, en los últimos años, la investigación del tratamiento de minerales complejos se está adelantando en muchos lugares del mundo, y en la actualidad la tecnología que se impone para estos minerales refractarios y pobres es la biolixiviación.

En este trabajo se explora el método de tratamiento previo descrito anteriormente (biolixiviación) y se compara con el método de cianuración convencional (solución alcalina), tratado o no de antemano, y se logra superar considerablemente respecto a estos dos métodos en más de un 35%. En el tratamiento previo con biolixiviación del mineral nunca alcanzó las condiciones adecuadas para obtener porcentajes de recuperación altas respecto de las anteriores; lo determinante en este punto fue averiguar la prefactibilidad metalúrgica para colas de minerales de oro refractarios, en gamas «gruesas» con tamaños de colas de concentración gravimétrica (sin remolienda de colas).

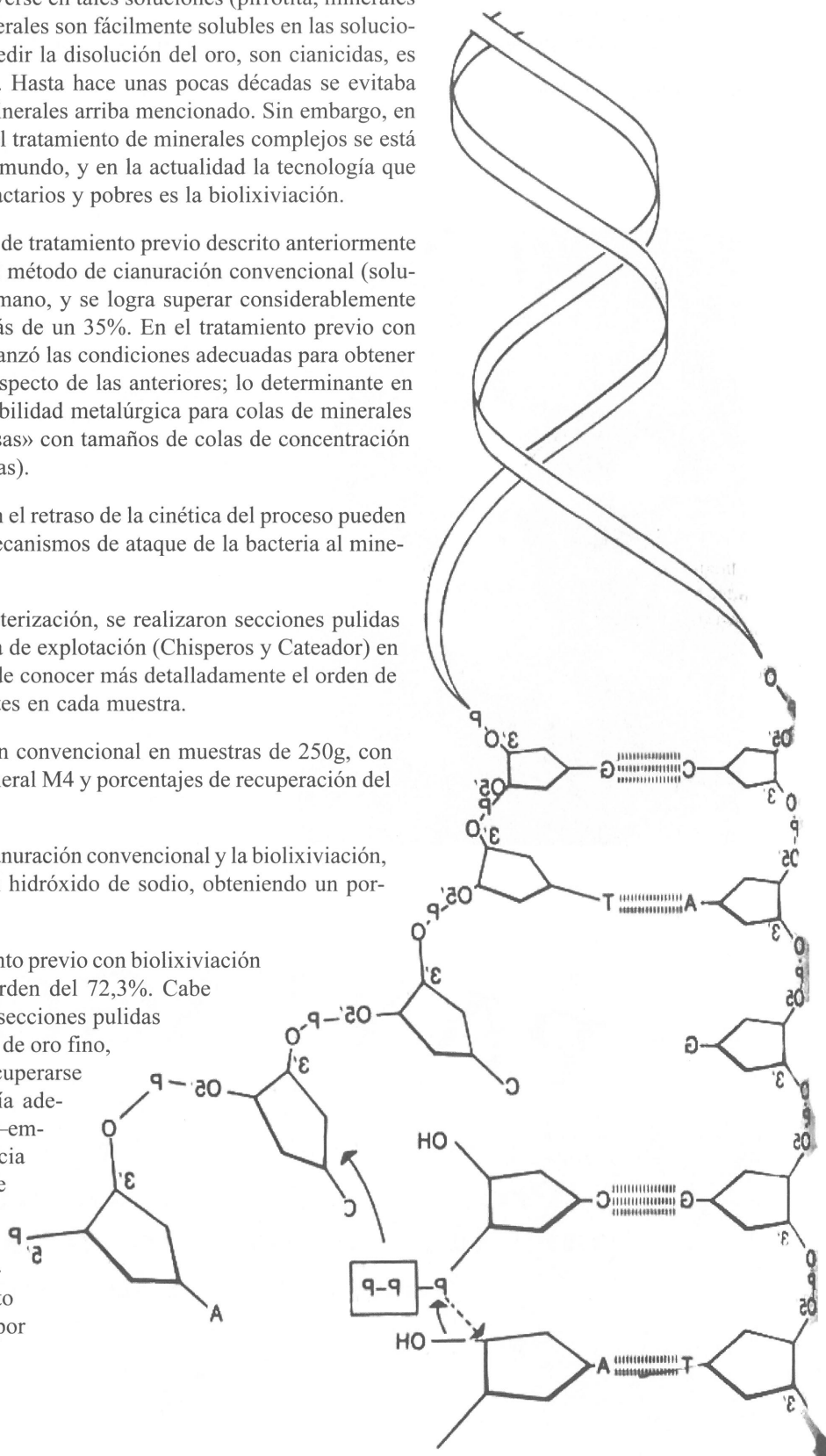
Los posibles factores que influyen en el retraso de la cinética del proceso pueden ser optimizados para acelerar los mecanismos de ataque de la bacteria al mineral.

Debido a la importancia de la caracterización, se realizaron secciones pulidas mineralógicas del mineral de la zona de explotación (Chisperos y Cateador) en varios frentes de trabajo, con el fin de conocer más detalladamente el orden de abundancia de los minerales presentes en cada muestra.

Se realizaron pruebas de cianuración convencional en muestras de 250g, con granulometrías de 200 mallas de mineral M4 y porcentajes de recuperación del orden del 50%.

A manera de comparación entre la cianuración convencional y la biolixiviación, se utilizó un tratamiento previo con hidróxido de sodio, obteniendo un porcentaje de recuperación del 55%.

Con cianuración seguida de tratamiento previo con biolixiviación se alcanzó una recuperación del orden del 72,3%. Cabe anotar que se hizo el análisis de las secciones pulidas donde se encontró una diseminación de oro fino, ultrafino y atómico, imposible de recuperarse dada la inexistencia de la tecnología adecuada. Mientras ACE Development—empresa canadiense dueña de la licencia de exploración y explotación desde 1998— reportó reservas estimadas entre 65 y 75 gramos de oro por tonelada, con el análisis de las secciones pulidas se estimó un rendimiento de entre 800 y 1200 gramos de oro por tonelada. ♦



* Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Asesoró y proporcionó las cepas de la bacteria calcificante para el proyecto ganador del Premio Corona Pro Arquitectura, Convocatoria Estudiantil 2000-2001. Su trabajo de grado, que obtuvo mención meritoria fue publicado en la revista que publica el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España.

* Ingeniero químico de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. LperezriKenzop@yahoo.com



*El autor se refiere a su artículo (et al) "Las bacterias no basadas en el ciclo de Krebs y su aplicación en el tratamiento de residuos orgánicos residenciales", Rev. Amb. **ÉOLO**, No. 9, Año 2004, pp. 21-22. Esta adenda al artículo, inicialmente referido sólo a la bacteria calcificante, obedece a una constatación realizada con el articulista respecto al antiguo propietario de la mina aludida: Carlos Coriolano Amador Fernández (1835-1919), protagonista de primer orden de la historia empresarial colombiana. En esta segunda parte, Julio César Pérez nos relata, con la narrativa propia de la ingeniería química, la forma como la empresa canadiense ACE Development –dueña de la licencia de exploración y explotación– está recuperando oro fino, ultrafino y atómico con métodos distintos a la cianuración convencional, insuficiente para lograrlo. Lo que enlaza la presente investigación con el hombre que llegaba a Medellín, procedente de París con el primer auto traído a Colombia el mismo día que estalló la Guerra de los Mil Días, es la carencia actual de una tecnología apropiada para extraer partículas de oro inferiores a 50 micras y los esfuerzos investigativos para establecerla; como en su época y circunstancias lo persiguiera nuestro celeberrimo pionero, autodidacta en derecho comercial y minero, y quien llegara a ser el empresario más acaudalado del país al finalizar el siglo XIX, fruto de su temeraria incursión sin precedentes en el sector minero del país, en el cual sentó las bases de una administración sistemática hasta alcanzar su máximo desarrollo mediante la aplicación de avanzada tecnología alemana para la extracción de oro y plata. La empresa minera de El Zancudo, situada en Titiribí, Antioquia, en la década de 1880 ya era la empresa más grande –Cervecería Bavaria incluida– de cuantas hubieran existido hasta entonces en Colombia. Los experimentos empresariales y fabriles de este visionario le procuraron laboratorio y taller de práctica a numerosos ingenieros de la Escuela de Minas de Medellín, a técnicos y trabajadores empíricos para sentar los fundamentos de la industrialización del país a comienzos del siglo XX.

(N. del e.)

PANTAGORA

**"Propiciando la asociatividad
para la sostenibilidad ambiental
y humana en la tierra"**

Calle 46 B No. 69-39,
Teléfono: 260 02 37