

# **USO DE MICROORGANISMOS EN MINERIA: ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS PARA SU APLICACION**

José A. Gálvez, Sergio A. Vardaro, José A. Cantero, Cecilia López, Lucas Caride,  
Fernando Lucero.

*Bioprocesos, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza Argentina.*

*e-mail: [jose.galvez@ingenieria.uncuyo.edu.ar](mailto:jose.galvez@ingenieria.uncuyo.edu.ar)*

**Biominería es el término genérico utilizado para describir tecnologías que utilizan sistemas biológicos (principalmente microorganismos procarióticos) para facilitar la extracción y recuperación de metales de minerales de baja ley y de materiales de desecho por oxidación de los compuestos refractarios, transformándolos en solubles.**

**Principales usos: Cu, U, Fe, Zn, Co, Ni, Au, A**

**Disminuir el contenido de S en petróleo y carbón**

**Extraer metales del fuel oil y combustibles derivados del petróleo**

**Se pueden tratar asimismo efluentes mineros, industriales, residuos sólidos y electrónicos**

## Ventajas

los principales microorganismos involucrados en los procesos de oxidación de minerales son autótrofos, lo que contrasta con las operaciones de fundición que emiten grandes cantidades de CO<sub>2</sub>.

Opera a presión atmosférica y a temperaturas relativamente bajas.

No se requiere una fuente de calor externa ya que la oxidación de los minerales de sulfuro es un proceso exotérmico

## Desventajas

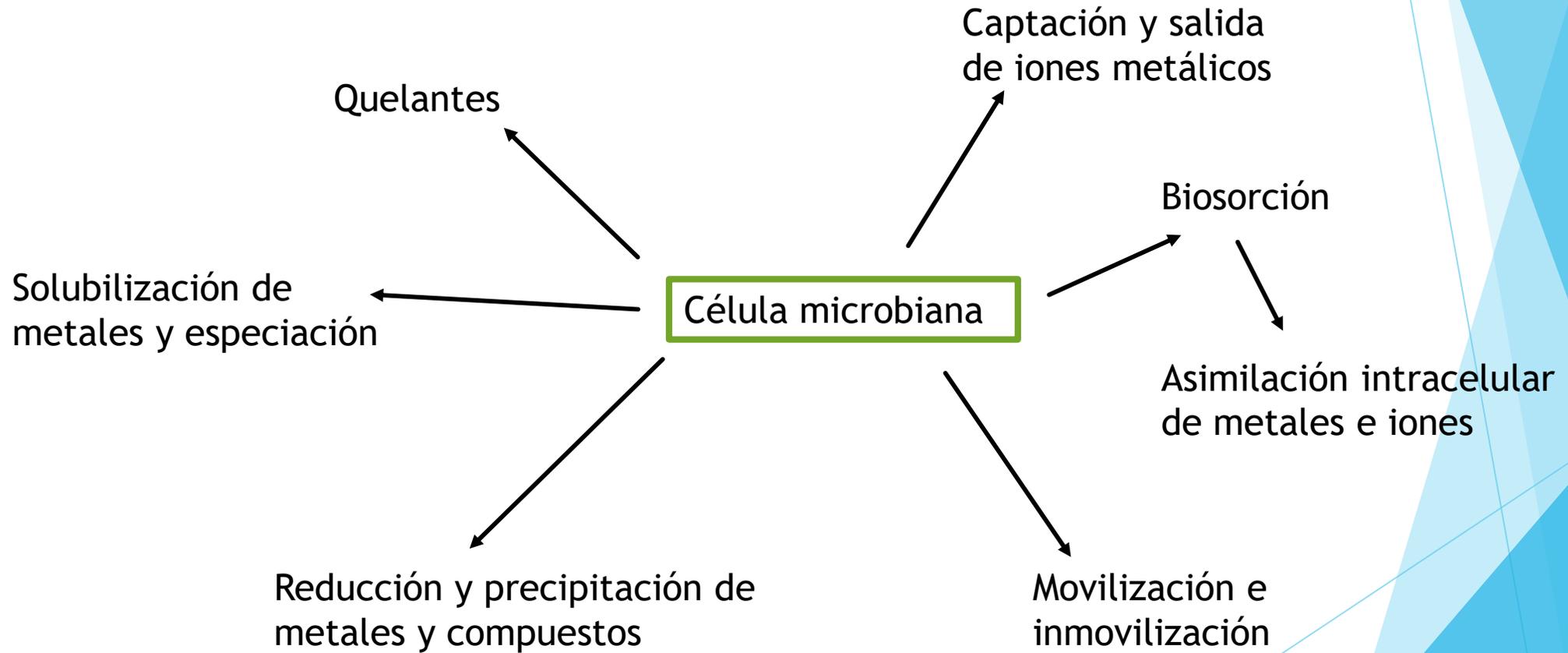
tiempo prolongado requerido para obtener niveles económicos de extracción de metales,

todavía dependen de la voladura y molienda de cuerpos minerales.

la biolixiviación in situ que tiene éxito en rocas permeables, no se puede aplicar a todos los yacimientos.

conocimiento limitado que aún se tiene de las vías metabólicas y la cinética, tanto microbiana como química lo que limita la optimización del proceso

# INTERACCIÓN MICROORGANISMOS Y MINERALES



## CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MICROORGANISMOS DEGRADADORES DE MINERALES

Se han informado diferentes cepas microbianas en ambientes mineros y se han aislado de lixiviados, muestras de agua de mina, muestras de minerales y drenaje ácido de mina.

Aunque las condiciones ambientales generalmente se describen como extremas y duras debido a valores de pH tan bajos como 3,6 y altas concentraciones de metales de hasta 200 g/L, estos sistemas muestran altos niveles de diversidad microbiana, incluidas bacterias, hongos y algas.



# CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MICROORGANISMOS IMPLICADOS

## Bacterias:

**Consorcio de bacterias Gram-negativas. Estos son los oxidantes de hierro y azufre.**

- a) crecen autotróficamente fijando  $\text{CO}_2$  de la atmósfera
- b) obtienen su energía usando hierro ferroso o compuestos de azufre inorgánico reducido (algunos usan ambos) como donante de electrones, y generalmente usan oxígeno como aceptor de electrones
- c) son acidófilos y crecen en ambientes de pH bajo (pH. 1.4 a 1.6 es típico)
- d) son notablemente tolerantes a una amplia gama de iones metálicos.
- e) Son de los géneros *Acidithiobacillus* (oxidan hierro y azufre), *Leptospirillum* (oxidan el hierro), entre otros

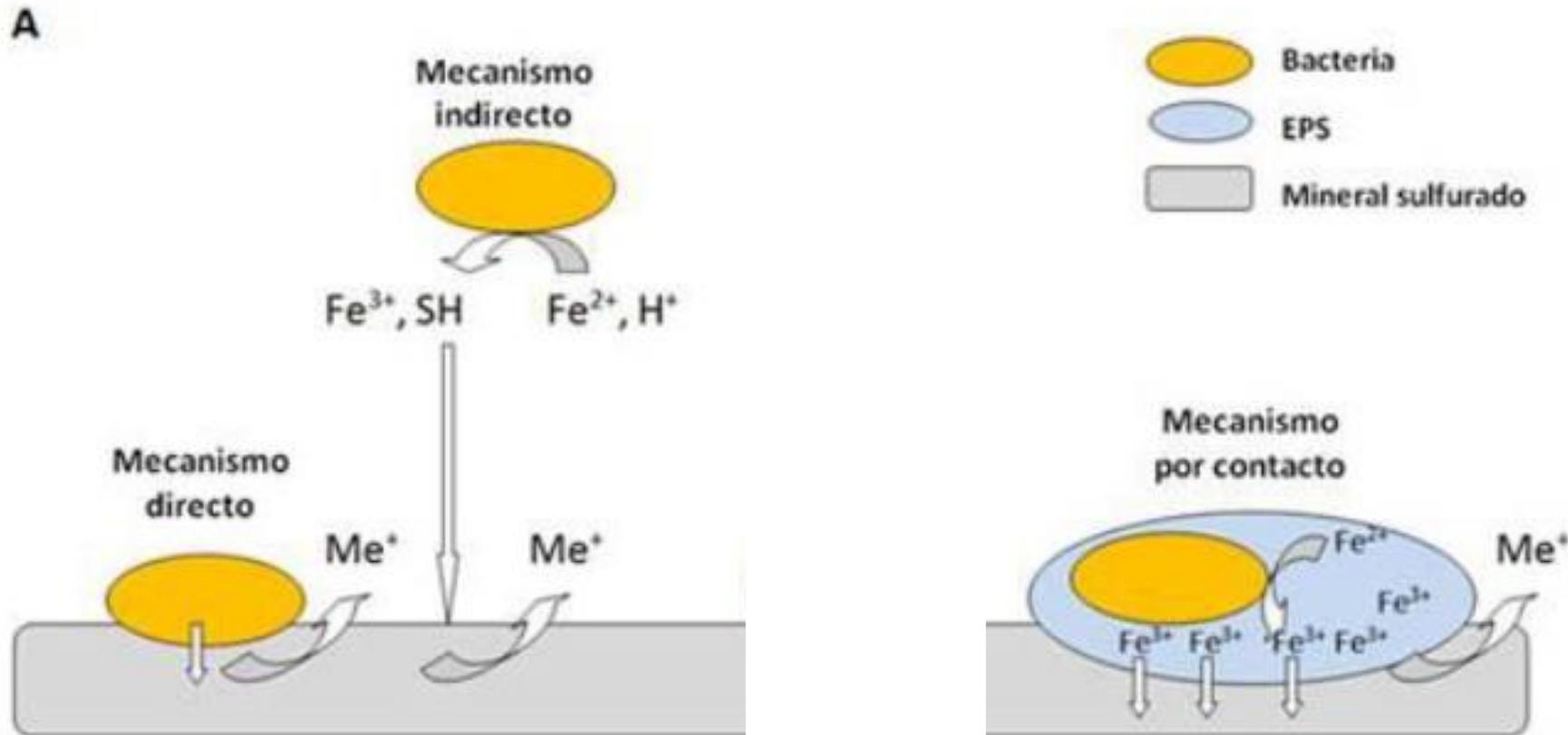


## Hongos

- a) Los hongos que se desarrollan en un medio neutro o alcalino son útiles cuando se trata de lixiviar metales de calizas, carbonatos, calcretas y fosfatos.
- b) Para el resto de los minerales se pueden utilizar hongos acidófilos que prosperan a pH 3. Los hongos más interesantes son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Clamidiosporum*, entre otros

## MECANISMOS FUNDAMENTALES DE LIXIVIACIÓN ASISTIDA POR BACTERIAS DE LA OXIDACIÓN DE MINERALES SULFURADOS

Originalmente, un modelo con dos mecanismos diferentes involucrados simultáneamente en la lixiviación asistida por bacterias de minerales de sulfuro. Luego se incorporó el concepto de Exopolisacárido



## **BIOPROCESAMIENTO DE MINERALES – CARACTERÍSTICAS**

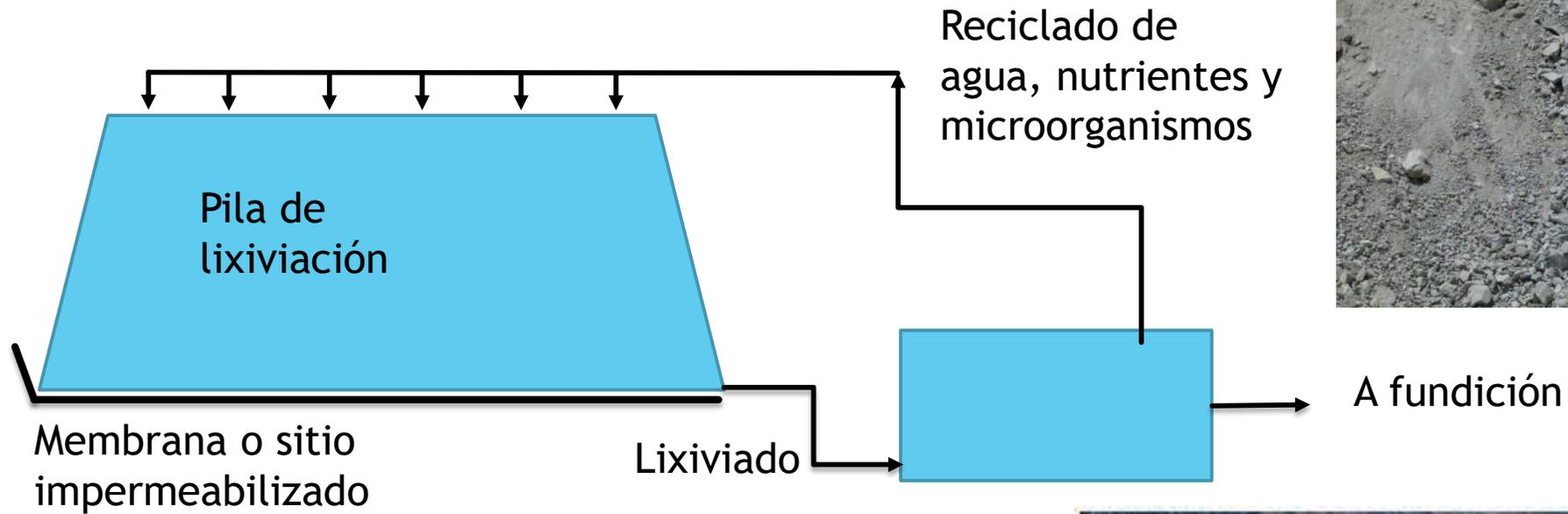
- 1. Biolixiviación**
- 2. Biorreducción**
- 3. Biosorción**
- 4. Beneficio de minerales inducido por microbios**

## **VARIABLES OPERATIVAS E INTERFERENCIAS**

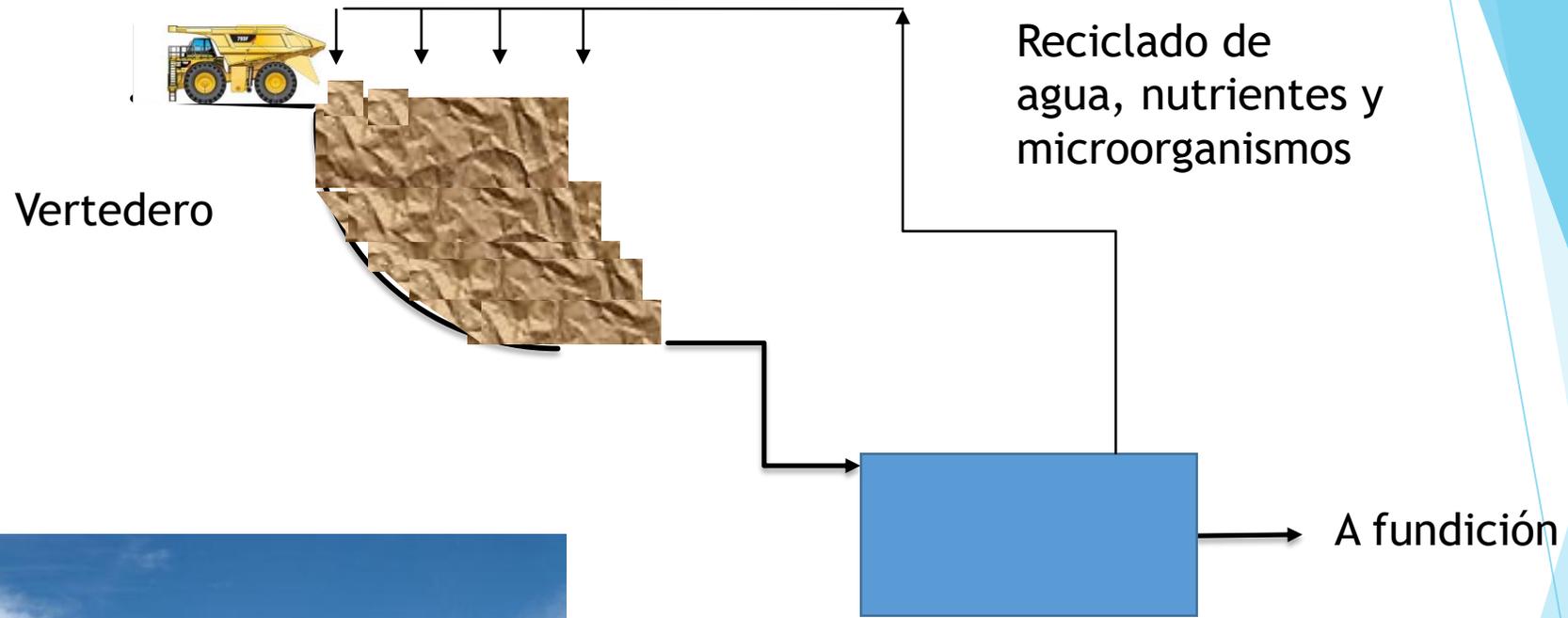
- 1. Tipo de mineral y del sistema de tratamiento, compuestos tóxicos**
- 2. Tipo de microorganismos que van a afectar el mineral y el pH sistema de tratamiento.**
- 3. Aporte de oxígeno u otro aceptor de electrones**
- 4. Control de temperatura**
- 5. Aporte de nutrientes y otros elementos**
- 6. Grado de trituración o molienda**

# ALTERNATIVAS TECNICAS DE BIOMINERIA

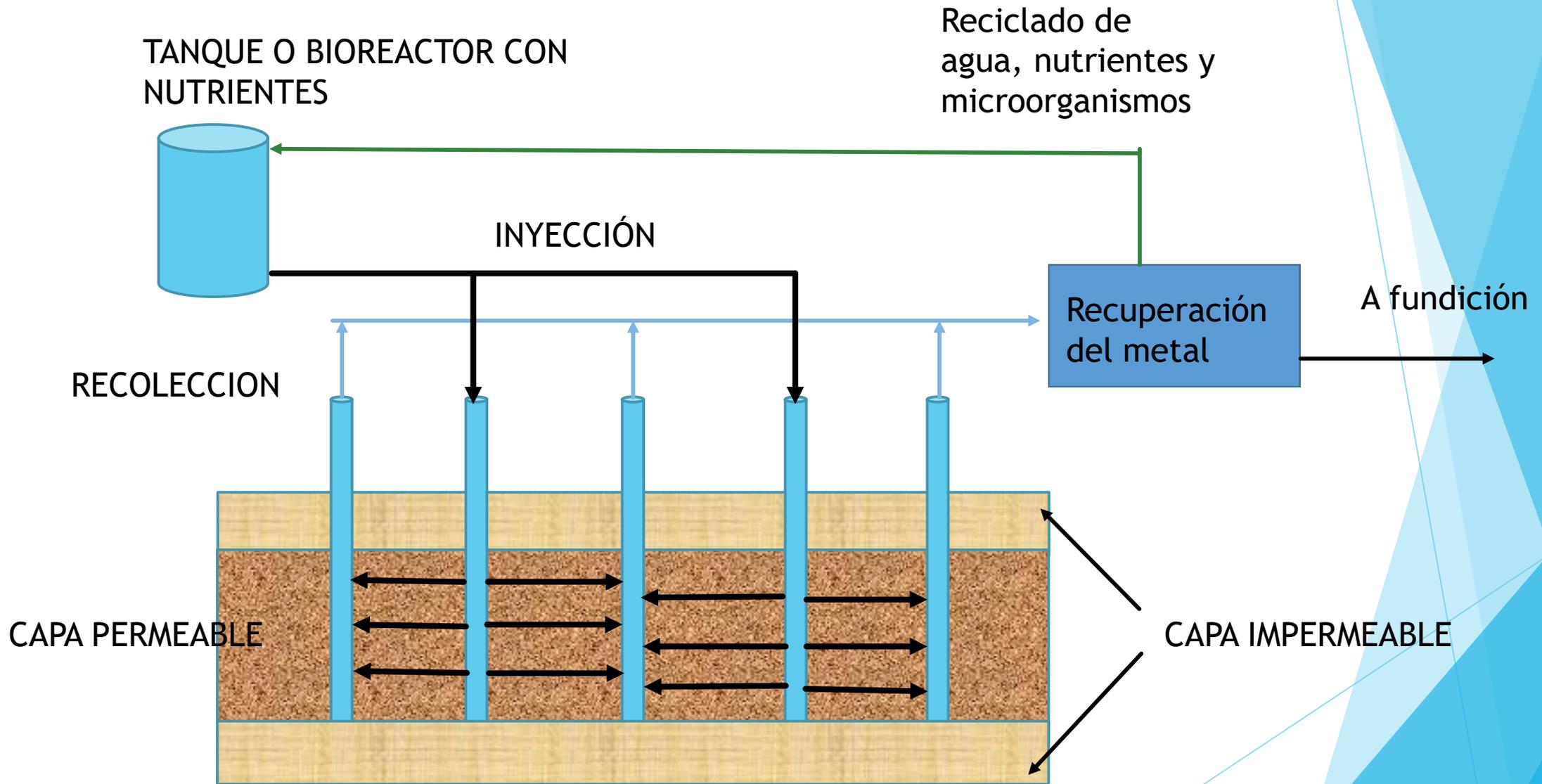
## TRATAMIENTO EN PILAS DE LIXIVIACIÓN



# RECUPERACION DE LIXIVIADOS DE VERTEDEROS



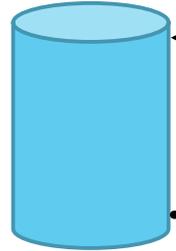
# LIXIVIACION IN SITU



# LIXIVIACION IN SITU

TANQUE O BIOREACTOR CON NUTRIENTES

Reciclado de agua, nutrientes y microorganismos



PERCOLACION

Recuperación del metal

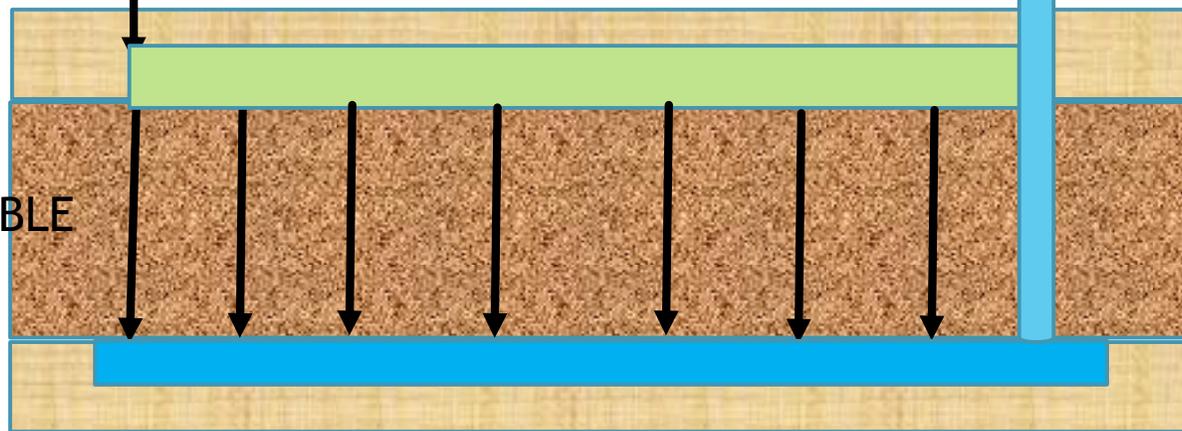
A fundición

RECOLECCION

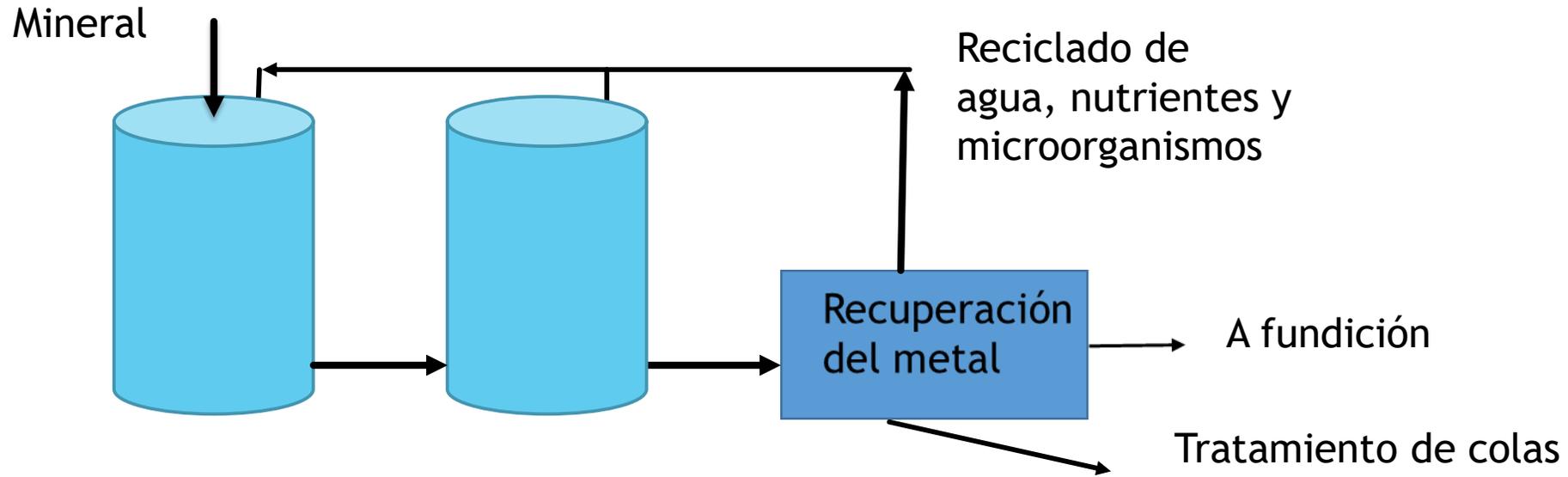
GALERIA SUPERIOR

CAPA PERMEABLE

GALERIA INFERIOR



# LIXIVIACION EN BIORREACTORES



## Tratamiento de efluentes industriales y mineros



### **Biolixiviación metales pesados de relaves mineros**

Bacterias del género *Acidithiobacillus* y *Thiobacillus*

**Lixiviación química y bacteriana de metales de una escoria de fundición:** usando S o  $Fe^{++}$  para lograr una escoria menos contaminante extrayendo el Cu

**Biolixiviación de residuos producidos en hornos de petróleo para la eliminación de Vanadio y Ni con *Acidithiobacillus ferrooxidans***

**Biolixiviación de metales pesados a partir de lodos de depuradora de aguas residuales**

**Biosorción de metales a partir de los drenajes ácidos de mina: *Sacharomices* para extracción de U y Th**

# Separación de metales de Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) a partir de procesos biotecnológicos.



1. **Biolixiviación directa por actividad metabólica de las bacterias e indirecta por acción de metabolitos secundarios.**
2. **Biorreducción.**
3. **Biocianuración.**
4. **Biosorción.**

Material	Preparación del residuo	organismo	Metal lixiviado	Resultados y comentarios	Mecanismos
placas de circuitos	trituración (partículas de 100 mm) y molienda (partículas de 10 micrones a 1 mm)	acidithiobacillus thiooxidans y Ferrooxidans	Cu, Al, Zn, Pb, Sn, Cd, Au	movilización > al 90 % de Cu, Al, Zn, Pb, Sn, Cd 15% de eficiencia del proceso para la extracción del Au	Producción de ácido sulfúrico y biorreduccion cianuro biogenico
		Cromobacterium Violaceum			Acidos orgánicos (acético, oxálico, cítrico, etc.)
		Pseudomonas Putida			Biorreduccion 84 %, 96% y 60%, cobre, níquel y galio recuperados
		Aspergillus Niger			
Residuos LED		acidithiobacillus Ferrooxidans	Cu, Ni y Ga	92% de V recuperado	acidos orgánicos
convertidor LD		acidithiobacillus thiooxidans	V		7,4 - 12,5 % de Y, Eu.
		Pseudomonas Putida			
		Aspergillus Niger			
lámparas fluorescentes	consorcio de zygosaccharomyces lentusy	Y, Eu (tierras raras)			

# Conclusiones

**El uso de microorganismos es una técnica útil para procesar minerales de baja ley y residuos industriales**

**No requiere cantidades importantes de energía para oxidar minerales no lixiviar los mismos**

**Requiere un manejo cuidadoso de los fluidos que se generan para recuperar el metal**

**Es útil para tratar corrientes residuales en donde la concentración de metales es baja y hace muy costosos los métodos químicos**

**Para llevarla a cabo se requieren ensayos de laboratorio y planta piloto para determinar las variables operativas del proceso antes de llevarla a escala industrial**

**Muchas gracias  
por su atención**