



UNIVERSIDAD DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA  
COORDINACION DOCENTE

## **IQ-525 BIOHIDROMETALURGIA**

8 U.D

(3-2-3)

REQUISITOS : IQ46B/Autor  
CARÁCTER : Electivo

### **OBJETIVOS**

General: Aprendizaje de los fenómenos físicos, químicos y biológicos involucrados en los procesos biohidrometalúrgicos.

Específicos: Aprendizaje de los fundamentos geológicos, mineralógicos, biológicos e hidrometalúrgicos de la biolixiviación, biosorción de metales y reducción de sulfato en aguas de mina.

Aplicación de los fundamentos al análisis y diseño conceptual de procesos típicos de biolixiviación de minerales y tratamientos de aguas residuales de mina.

### **CONTENIDOS:**

### **N1 de Clases**

#### **A FUNDAMENTOS**

##### **1- Introducción**

**1**

Generalidades, perspectiva histórica, estudio de casos y aspectos ecológicos.

##### **2- Fundamentos geológicos y mineralógicos**

**4**

2.1 Definiciones: yacimiento mineral, recursos y reservas, metales principales.

2.2 Caracterización de yacimientos y minerales: tipo de yacimientos metálicos, génesis y evolución de los yacimientos metálicos, asociaciones mineralógicas. Análisis mineralógicos de microscopía, difracción y microsonda.

2.3 Ciclos biogeoquímicos: ciclos naturales (atmósfera-agua-sedimentos), ciclo del azufre y ciclo de los metales (Cu, Fe, Au).

### 3. Fundamentos biológicos

10

- 3.1 Microorganismos: hongos, levaduras, bacterias y algas.
- 3.2 Bioenergética de los microorganismos: organismos aeróbicos, anaeróbicos, autotrofos, heterotrofos, fotosintéticos y quimiosintéticos.
- 3.3 Crecimiento de microorganismos: curva logística, modelo de Michaelis-Menten y parámetros de Monod. Recuento de microorganismos.
- 3.4 Microorganismos de importancia en biolixiviación: *A. ferrooxidans*, *A. thiooxidans*, *Leptosirillum ferrooxidans*, *Sulfobacillus thermosulfidooxidans*, *Sulfolobus acidocaldarius* y *Metallosphaera sedula*, etc.
- 3.5. Generación de aguas ácidas de minas. Tratamientos biológicos aplicados a efluentes mineros.
- 3.6. Fundamentos de los procesos de biosorción, bioacumulación, biomineralización y bioprecipitación de metales. Polímeros extracelulares que forman complejos con metales. Biosorción de metales por hongos, levaduras, algas, bacterias y cianobacterias. Procesos de reducción de sulfatos en aguas de mina.

### 4 Fundamentos hidrometalúrgicos

9

- 4.1 Propiedades del agua, soluciones de electrolitos y sus interacciones con solutos: Actividad del agua y solutos. Dependencia de la fuerza iónica. Teoría simple y extendida de Debye-Huckel. Entropía y entalpía de solvatación. Estabilidad de las fases sólidas.
- 4.2 Termodinámica: Constantes de equilibrio y potenciales estándar. Diagramas Eh-pH. Aplicación a lixiviación de minerales y precipitación de sulfuros. Cálculo de equilibrios en soluciones acuosas y especiación de aguas de mina.
- 4.3 Electroquímica: cinética, sobrepotencial y polarización. Potencial estándar, de equilibrio y potencial redox.
- 4.4 Corrosión: diagramas de Evans, corriente y potencial de corrosión. Aplicaciones en la disolución de sulfuros minerales.
- 4.5 Cinética de lixiviación de minerales: modelos empíricos y fenomenológicos. Efectos galvánicos. Estructura, cristalinidad, y propiedades electrónicas de los minerales. Rol de iones catalíticos. Leyes empíricas de velocidad de reacción, transferencia de materia por difusión, convección y migración. Mecanismos de reacción y cinética, procesos de disolución electroquímica.

### B PROCESOS BIOHIDROMETALURGICOS (APLICACIONES)

#### 5- Procesos de biolixiviación

6

- 5.1 Fundamentos de Ingeniería.

- 5.2 Ingeniería fundamental de algunos procesos: (1)- Producción de sulfato férrico y bacterias en reactores. (2)- Biolixiviación de concentrados de oro refractario en reactores. (3)- Lixiviación de minerales de cobre y oro en pilas. (4)- Lixiviación de minerales residuales de cobre en botaderos.
- 5.3 Factibilidad económica de procesos de biolixiviación. Costos de inversión y operación.

**TOTAL**

**30**

### **ACTIVIDADES**

Las materias del curso se expondrán oralmente en clases de cátedra (2 sesiones/semana) más una clase auxiliar para trabajar en un proyecto y actividades de laboratorio. El proyecto corresponde a la realización de un diseño conceptual de un proceso de biolixiviación de minerales o un proceso de tratamiento de aguas residuales de mina.

### **EVALUACIÓN**

El curso se evaluará mediante 2 controles, un examen y un proyecto.

### **BIBLIOGRAFÍA**

"BioHydroMetallurgy". Giovanni Rossi. McGraw-Hill, Germany, 1990.

"Biosorption of Heavy Metals". Volesky B. CRC Press, Boca Raton, 1990.

"Corrosion Engineering", M.G. Fontana, McGraw Hill International Editions, 1987.

"Hydrometallurgical Extraction and Reclamation". Eric Jackson. Ed. Ellis Horwood Limited, Great Britain, 1986.

"Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects". D.J. A. Von Zyl, I.P.G. Hutchison, J.E. Kiel, AIME, 1988.

"Metal Extraction by Bacterial Oxidation of Minerals". Eds: J. Barrett, M.N. Hughes, G.I. Karavaiko and P.A. Spencer. Ellis Horwood Series in Inorganic Chemistry. Ellis Horwood Limited. Great Britain, 1993.

"Microbiologia General". Hans G. Schlegel. Editorial Omega, Barcelona, 1979.

"Microbiology Essentials and Applications". Larry McKane and Judy Kandel. McGraw-Hill, Inc. Singapore, 1986.

"Microbial Mineral Recovery". H. L. Ehrlich. Mc. Graw-Hill, New York, 1990.

"Solution Mining: Leach and Fluid Recovery of Materials". Robert W. Bartlett. Gordon and Breach Science Publishers, Reading, U.K., 1992.