

## Pauta Tarea 2

**Profesor: Tomás Vargas**  
Auxiliar: Kharla Bolomey  
Ayudante: Eduardo Matus

### **P1.-** Cinética en Biolixiviación

- Determine la velocidad de lixiviación del  $MS$  en moles  $\text{CuS/L} \cdot \text{h}$  para estas condiciones. Especifique la razón  $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$  que se establece en este caso.
- Determine la velocidad de lixiviación del  $MS$  en moles  $\text{CuS/L} \cdot \text{h}$  en las mismas condiciones del caso **a)**, pero para el caso en que la concentración de bacterias fuera 10 veces mayor (ósea  $c_X = 0.05 \text{ C-mol/L}$ ). Especifique la razón  $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$  que se establece en este caso.
- Determine la velocidad de lixiviación del  $MS$  en moles  $\text{CuS/L} \cdot \text{h}$  en las mismas condiciones del caso **b)**, pero si debido a la pasivación del mineral el valor de  $\alpha_{MS}$  se ha reducido a  $\alpha_{MS} = 0.1$ . Especifique la razón  $[\text{Fe}^{3+}]/[\text{Fe}^{2+}]$  que se establece en este caso.

### Caso a)

En un proceso de biolixiviación, el ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) se genera mediante la oxidación del ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) bajo acción microbiana. La velocidad de consumo de este último ion se expresa como sigue:

$$-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}} = \frac{q_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{max}} c_X}{1 + K \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}} \quad (1)$$

Por otro lado, la cinética de la lixiviación férrica de un sulfuro  $MS$  ocurre de acuerdo a la siguiente expresión:

$$+r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{chem}} = \frac{v_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{max}} \alpha_{MS} [\text{MS}]}{1 + B \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]}} \quad (4)$$

Donde la cinética de disolución de  $MS$  está expresada como  $+r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{chem}}$ , que es la velocidad de  $\text{Fe}^{2+}$  producido durante la reacción de lixiviación.

En estado estacionario, se cumple la igualdad entre la generación de  $\text{Fe}^{2+}$  y su consumo en la lixiviación del mineral:

$$-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}} = +r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{chem}} \quad (2)$$

Resolviendo esta igualdad:

$$\frac{q_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{max}} c_X}{1 + K \frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}} = \frac{v_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{max}} \alpha_{MS} [\text{MS}]}{1 + B \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]}} \quad (3)$$

Por simplicidad, a la razón  $\frac{[\text{Fe}^{3+}]}{[\text{Fe}^{2+}]}$  se le llamará  $R$ . Luego, substituyendo valores conocidos:

$$\frac{0,016}{1 + 0,08 \cdot R} = \frac{0,0525}{1 + 150 \cdot R^{-1}} \quad (4)$$

Resolviendo la ecuación cuadrática para  $R$ :

$$0,0042 \cdot R^2 + 0,0365 \cdot R - 2,4 = 0 \quad (5)$$

Luego,  $R_1 = 19,95$  y  $R_2 = -28,64$ . Como se trata de una razón de concentraciones la solución es  $R_1$ . Finalmente, la razón entre la concentración del ion férrico y ferroso es 19,95.

Ahora, bien es sabido que la relación molar entre la covelina y el ion ferroso es 1:2, respectivamente. Dicha relación se puede utilizar para calcular la velocidad demandada, por lo que primeramente se calcula la velocidad  $-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}}$ . Reemplazando los datos, se tiene lo siguiente:

$$-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}} = \frac{3,2 \cdot 0,005}{1 + 0,08 \cdot 19,95} = 6,16 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{mol Fe}^{2+}}{\text{L} \cdot \text{h}} \right] \quad (6)$$

Finalmente, por la estequiometría ya mencionada, se tendrá que la velocidad de lixiviación de  $\text{CuS}$  es la mitad, es decir,  $3,08 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{mol CuS}}{\text{L} \cdot \text{h}} \right]$ .

## Caso b)

Este caso es análogo al caso a), sin embargo, ahora se quiere analizar qué ocurre si la concentración de bacterias es 10 veces mayor, es decir,  $0,05 \text{ C} - \text{mol/L}$ .

Repitiendo los pasos, se llega a la siguiente ecuación cuadrática para  $R$ :

$$0,0042 \cdot R^2 - 0,1075 \cdot R - 24 = 0 \quad (7)$$

Luego,  $R_1 = 89,46$  y  $R_2 = -63,87$ . Como se trata de una razón de concentraciones la solución es  $R_1$ . Finalmente, la razón entre la concentración del ion férrico y ferroso es 89,46.

Por lo tanto, la velocidad  $-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}}$  es de  $1,9 \cdot 10^{-2} \left[ \frac{\text{mol Fe}^{2+}}{\text{L} \cdot \text{h}} \right]$ . Finalmente, la velocidad de lixiviación del mineral es de  $9,5 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\text{mol CuS}}{\text{L} \cdot \text{h}} \right]$ .

Como comentario adicional, es válido cuestionarse por qué aumenta la velocidad de lixi-

viación al incrementar la concentración de biomasa ( $c_X$ ). Este fenómeno puede explicarse por la mayor disponibilidad de microorganismos, que catalizan la oxidación de  $\text{Fe}^{2+}$  a  $\text{Fe}^{3+}$ , incrementando la concentración de este último ion en solución. Sin embargo, es importante considerar que a concentraciones muy altas de biomasa podrían surgir efectos limitantes, como la disminución de nutrientes para las bacterias o la formación de películas orgánicas que dificulten la difusión de reactivos hacia el mineral.

## Caso c)

Finalmente, en el caso c), el factor  $\alpha_{MS}$  se reduce a 0,1 y los demás parámetros se mantienen en relación al caso b). Luego, se procede de forma análoga, donde la siguiente ecuación cuadrática para  $R$  es:

$$4,2 \cdot 10^{-4} \cdot R^2 - 0,1548 \cdot R - 24 = 0 \quad (8)$$

Luego,  $R_1 = 486,12$  y  $R_2 = -117,55$ . Como se trata de una razón de concentraciones la solución es  $R_1$ . La razón entre la concentración del ion férrico y ferroso es 486,12.

Por lo tanto, la velocidad  $-r_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{bio}}$  es de  $4,01 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{mol Fe}^{2+}}{\text{L}\cdot\text{h}}]$ . Finalmente, la velocidad de lixiviación del mineral es de  $2,0 \cdot 10^{-3} [\frac{\text{mol CuS}}{\text{L}\cdot\text{h}}]$ .