



Universidad de Concepción  
Dirección de Postgrado  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Programa de Doctorado en Ingeniería Agrícola  
con mención en Recursos Hídricos en la Agricultura

## **Optimización del tratamiento de drenaje ácido de minas en reactores biológicos con intercambio difusivo**

Tesis para optar al grado de Doctor en Ingeniería Agrícola con mención  
en Recursos Hídricos en la Agricultura

NORMA RAQUEL PÉREZ PELÁEZ  
CONCEPCIÓN-CHILE  
2015

Profesor Guía: Dr. Johannes de Bruijn  
Departamento de Agroindustrias  
Facultad de Ingeniería Agrícola  
Universidad de Concepción

### **Resumen**

Los desechos masivos de minas (relaves, depósitos de lastre o estériles, y pilas de lixiviación) constituyen un peligro potencial para el medio ambiente, principalmente cuando los residuos contienen minerales que al oxidarse generan el drenaje ácido de minas (DAM). En Chile predomina la extracción de cobre, y algunos yacimientos se encuentran en lugares expuestos a precipitación y deshielo, condiciones ambientales que favorecen la formación y dispersión de DAM. Particularmente, algunas minas de cobre generan DAM con elevadas concentraciones de cobre, sulfato y aluminio. Los tratamientos biológicos pasivos para DAM basados en consorcios bacterianos reductores de sulfato son atractivos para la etapa de cierre de los proyectos mineros, porque utilizan mezclas de sólidos orgánicos como fuente de energía y no consumen reactivos químicos. Sin embargo, los sistemas de tratamiento biológico tradicionales presentan limitaciones. Sus tasas volumétricas de reacción son relativamente bajas y, por lo tanto, sólo se utilizan para tratar DAM con bajas concentraciones de metales y pH moderadamente ácidos. Por lo mismo, requieren además de grandes superficies. Una forma de aumentar la reactividad de los reactores bioquímicos es utilizar sustratos orgánicos finos en nuevos diseños de reactores que proporcionan vías preferenciales para el flujo, como los reactores de intercambio difusivo. Se espera que estos sistemas permitan minimizar los problemas de taponamiento por acumulación de precipitados, faciliten además la recuperación de metales valiosos, y provean protección de la toxicidad de los metales a los consorcios bacterianos.

## Capítulo 1

Con el propósito de encontrar un prototipo de reactor con intercambio difusivo eficiente, en esta tesis se realizaron experimentos para optimizar el tratamiento de DAM, a través de la composición y distribución del material reactivo, del porcentaje de espacio conductivo y del inóculo.

Primero, se evaluaron tres sustratos celulósicos finos (fibras de celulosa forestal, aserrín deslignificado y celulosa microcristalina) como componentes de la mezcla reactiva. Se obtuvieron las siguientes tasas de reducción de sulfato: 58,2 mg/L-d, 32 mg/L-d y 73 mg/L-d, respectivamente. Los experimentos se realizaron con dos drenajes con elevada concentración de hierro (750 mg/L y 1080 mg/L) y en presencia/ausencia de cultivos de bacterias reductoras de sulfato y celulolíticas. Las mezclas con fibras y celulosa microcristalina presentaron mayores tasas de reducción de sulfato (aumento de tasas en 14,1 mg/L-d y 27,5 mg/L-d respectivamente) en presencia de los inóculos. Luego se seleccionó la celulosa en fibras como sustrato para tratar un DAM proveniente de una mina de cobre, con elevadas concentraciones de este metal. Sólo a la mayor razón sustrato/DAM (concentración inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  disuelto =  $27,5 \pm 4,9$  mg/L) fue posible tratar este afluente en un reactor discontinuo, obteniéndose una baja tasa de reducción de sulfato (13,10 mg/L-d).

Segundo, se validó el concepto de reactor biológico de intercambio difusivo, operando durante 531 días un reactor tipo barrera permeable con dos tipos de drenaje. Se alimentó durante 108 días con un drenaje sintético con zinc (200 mg/L) y sulfato (3300 mg/L) a pH 4,9. Posterior a esto, durante 423 días se cambió la concentración de metales (Hierro: 450 mg/L; Zinc: 100 mg/L; Níquel: 10 mg/L; y Cobre: 5 mg/L) y el pH del afluente se