



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



Estudio de la remoción de nutrientes y cationes  
polivalentes con lodo granular aeróbico: mecanismos y  
optimización de estrategias operacionales.

Study of nutrients and polyvalent cations removals with  
aerobic granular sludge: mechanisms and optimal  
operation strategies



**Víctor Gabriel Guzmán Fierro**

Tesis presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción  
para optar al grado de doctor en Ciencias de la Ingeniería con mención en  
Ingeniería Química

Profesora guía: Marlene Doris Roedel von Bennewitz

Profesora co-guía: Juan José Gallardo Rodríguez

**Noviembre, 2022**

**Concepción, Chile**

## Resumen

Los lodos granulares aerobios (AGS) están a la vanguardia del tratamiento biológico de las aguas residuales. La eliminación de carbono y nitrógeno mediante AGS se clasifica como un proceso de biodegradación. Por un lado, no se ha estudiado el tamaño de los gránulos como técnica de rutina para evaluar el proceso de biodegradación. Por otro lado, recientemente se ha estudiado el AGS como material adsorbente para el tratamiento de aguas residuales. De hecho, se ha estudiado la asimilación de contaminantes catiónicos mediante mecanismos de biosorción y bioacumulación. Los mecanismos de los AGS son adecuados para el tratamiento de aguas residuales complejas. De hecho, varios estudios han demostrado la eliminación de contaminantes catiónicos polivalentes casi exclusivamente para sustratos sintéticos, sin determinar la participación de los mecanismos de bioacumulación y biosorción.



En este trabajo, se utilizó un enfoque experimental para establecer la eficiencia de los gránulos aerobios para eliminar cationes polivalentes por biosorción y bioacumulación, y para analizar su capacidad para reducir el contenido de nitrógeno y materia orgánica por biodegradación en aguas residuales industriales complejas, así como el efecto de la distribución del tamaño granular en su rendimiento.

Para estudiar la biodegradación se utilizaron AGS producidos con digestato anaeróbico de estiércol avícola y lixiviados de relleno sanitario; mientras que los AGS generados con lixiviados de relleno sanitario se utilizaron para examinar la biosorción y la bioacumulación. La calidad del efluente se evaluó mediante las eficiencias de eliminación de nitrógeno y demanda química de oxígeno (DQO) en

los reactores. Se cuantificaron los gránulos para el análisis metabólico, físico, químico y de comunidades bacterianas. En particular, se estudió la biosorción de cobre mediante la optimización del proceso y la determinación del paso limitante a través del análisis de la transferencia de masa interna y externa, así como la interacción con los sitios activos.

La eliminación anaeróbica de nitrógeno de AGS se predijo a través del diámetro medio con menos de un 11% de error. Además, la tasa de sedimentación granular aumentó con el diámetro de los gránulos con una correlación lineal ( $R^2 > 0,98$ ). Así, el tamaño de los gránulos puede seleccionarse mediante el control de la velocidad de sedimentación. Además, un proceso de dos pasos compuesto por (1) un reactor de digestión anaeróbica (AD) y (2) un reactor AGS eliminó el 76,9% y el 78,3% de la materia orgánica y el nitrógeno, respectivamente, cuando la primera unidad fue operada en una configuración hidrolítica. Además, los mecanismos de biosorción y bioacumulación del AGS representaron el 53 y el 47% de los cationes asimilados del lixiviado de relleno sanitario, respectivamente. El 93% del cobre asimilado del lixiviado de relleno sanitario fue por el mecanismo biosorción del AGS. La optimización de la biosorción de cobre mediante una metodología de superficie de respuesta mostró que para la mayor eliminación de cobre los parámetros como la concentración de lodos, el pH y el tiempo de contacto fueron  $1 \text{ g TS L}^{-1}$ , 6 pH y 6 h, respectivamente. La adsorción en los sitios activos dominó la transferencia de masa de cobre en el AGS.

Se ha demostrado la utilidad del tamaño de los gránulos para predecir la actividad de eliminación anaeróbica de nitrógeno. Además, se ha demostrado la eficacia del

uso de AGS no sólo para la eliminación de nutrientes de aguas residuales industriales complejas, sino también para utilizar AGS como material biosorbente capaz de recuperar varios cationes valiosos, como los metales de cobre. La implementación exitosa de esta tecnología contribuirá a maximizar su potencial en el tratamiento de efluentes industriales.

