

RESUMEN

En esta tesis se estudian diversos aspectos vinculados a la remoción química de nutrientes por precipitación como estruvita incluyendo el modelado de los equilibrios químicos involucrados, los modelos de flujo y el crecimiento y características de los cristales en condiciones de fluidización.

El diseño y seguimiento de un reactor de precipitación de estruvita para remover nutrientes requiere conocer el producto de solubilidad de la estruvita para predecir la eliminación potencial, conocida la composición química del agua residual de partida y establecidas las condiciones de precipitación. A su vez, las condiciones de sobresaturación del agua residual, impactan en los mecanismos y la cinética de crecimiento de los cristales de estruvita. En este trabajo, se desarrolla un modelo termodinámico de precipitación de estruvita capaz de predecir la eliminación potencial de fósforo a partir de aguas residuales utilizando la energía libre de Gibbs como función objetivo, mediante una técnica de optimización híbrida. El potencial del producto de solubilidad de la estruvita, se determina a partir de los resultados de un modelo termodinámico validado con soluciones sintéticas y aplicado con éxito en efluentes reales. Se demuestra que los impactos relativamente bajos de las constantes de formación de los complejos MgPO_4^- y $\text{MgH}_2\text{PO}_4^+$, que coexisten en el sistema de precipitación de estruvita, justifican por qué muchos modelos basados en el equilibrio químico presentan precisiones razonables, incluso utilizando valores muy distintos de estas constantes. El intervalo de confianza del producto de solubilidad de la estruvita se estima en: 13.12-13.30. El modelo se utiliza para estudiar la influencia de la relación molar Mg/P y del pH a la precipitación de estruvita a partir de corrientes con concentraciones de fósforo como ortofosfato (P-OP) y nitrógeno amoniacal típicas del sobrenadante separado de la digestión anaerobia de lodos procedentes de la remoción biológica de nutrientes, donde la incorporación de un reactor de estruvita resulta atractiva.

En este trabajo, se demuestra que es posible lograr la adsorción de P-OP y de fósforo orgánico sobre partículas de estruvita. Se comprueba que

es posible alcanzar concentraciones de P-OP soluble residual muy inferiores al límite definido por la termodinámica de la precipitación y, que es posible remover fósforo orgánico y P-OP en conjunto en un sistema de precipitación-adsorción. Ante las dificultades para remover fósforo orgánico por métodos convencionales, y atendiendo a las exigencias de cumplimiento de normas de vertido de fósforo total y P-OP, es que estos resultados resultan sumamente relevantes.

En esta tesis, se verifica que una descripción de la tasa de precipitación de estruvita que no incluya mecanismos de nucleación o aglomeración de los cristales puede resultar precisa en sistemas que involucren nucleación moderada. Sin embargo, cuando las tasas de nucleación son altas, la descripción de la precipitación mediante una cinética global que no involucre la descripción individual de los fenómenos asociados a la precipitación resulta inadecuada. La constante cinética de crecimiento cristalino, en condiciones de baja nucleación y expresada por unidad de superficie del lecho de estruvita, se estimó en un reactor de laboratorio de lecho fluidizado operando en transitorio y en estado pseudo-estacionario, presentando un valor de 1.95 ± 0.24 dm/h.

En este trabajo, se consideran tres modelos de flujo sólido - líquido reportados en la literatura, a los que se incorporan el modelo termodinámico previamente desarrollado, así como la constante cinética específica de área superficial estimada. Estos modelos se utilizan para simular distintas condiciones de operación y evaluar su impacto en los perfiles de fósforo, en las eficiencias de remoción y en la granulometría de la estruvita obtenida.

Palabras claves:

nutrientes, reactor de lecho fluidizado, estruvita, modelado.