



Optimización de la purificación de ácido succínico

Autores:

Daniel Chiribón
Florencia Pereira
Ignacio Giménez
Lucía Castro
Melisa Rodríguez

Proyecto de grado presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República en cumplimiento parcial de los requerimientos para la obtención del título de Ingeniero Químico.

Tutores:

Roberto Kreimerman
Soledad Gutiérrez

Colaborador:

Agustín Porley

Montevideo, Uruguay
2024

Descargo de Responsabilidad (Disclaimer)

Este informe de Proyecto de Grado ha sido desarrollado como parte de un ejercicio didáctico en el marco del programa de Ingeniería Química en Facultad de Ingeniería, UdelaR. El objetivo principal de este proyecto es demostrar la capacidad del estudiante para aplicar los conocimientos y habilidades adquiridos durante su formación académica.

La Propiedad Intelectual del presente informe pertenece a la Universidad de la República y los autores y tutores, de acuerdo con la Ordenanza de los Derechos de la Propiedad Intelectual de la Universidad de la República (Res. Nº 91 de C.D.C. de 8/III/1994 – D.O. 7/IV/1994).

Aviso legal: Los contenidos, conclusiones y recomendaciones presentadas en este informe son resultado del trabajo académico del estudiante, basados en datos y supuestos disponibles hasta la fecha de finalización del proyecto. La institución y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad alguna por la exactitud, integridad o actualidad de la información proporcionada.

Este informe está destinado únicamente para fines educativos y de evaluación dentro del ámbito académico del programa de Ingeniería Química. No debe interpretarse como un asesoramiento profesional, técnico o especializado en ninguna materia.

Advertencia de uso: Cualquier lectura, interpretación o aplicación de los resultados y conclusiones de este informe por parte de terceros, queda bajo su propia responsabilidad. La institución, los autores y los supervisores del proyecto no asumen responsabilidad por cualquier pérdida, daño o consecuencia que pudiera surgir directa o indirectamente del uso de la información proporcionada en este informe.

Los resultados presentados en este informe pueden estar sujetos a limitaciones y restricciones derivadas de la naturaleza didáctica del proyecto, incluyendo, pero no limitándose a la disponibilidad de recursos, tiempo y alcance del ejercicio.

Se prohíbe cualquier reproducción, distribución o divulgación total o parcial de este informe sin el consentimiento expreso por escrito de los autores y de la institución.

Quien continúa con la lectura de este informe, acepta y comprende los términos y condiciones establecidos en este descargo de responsabilidad.

Fecha: Julio 2025

RESUMEN EJECUTIVO

El presente anteproyecto tiene como objetivo estudiar la viabilidad económica, financiera, técnica y ambiental de la optimización del proceso de purificación del ácido succínico, a partir del caldo de fermentación obtenido mediante la fermentación de glucosa de origen lignocelulósico, proveniente de residuos de aserraderos ubicados en las inmediaciones de la ciudad de Rivera.

El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, el agotamiento de los recursos fósiles y la creciente rigurosidad de la legislación ambiental han impulsado la transición hacia una economía bio-basada, en la cual los recursos renovables constituyen la base del desarrollo industrial. En este contexto, el ácido bio-succínico se posiciona como una alternativa prometedora. Su potencial ha sido reconocido por organismos internacionales de Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea, que lo han identificado como uno de los intermediarios químicos más relevantes para ser producido mediante rutas biotecnológicas, destacando sus ventajas tanto ambientales como económicas.

A nivel global, la producción actual de ácido bio-succínico ronda las 50.000 toneladas anuales, y se proyecta un crecimiento sostenido en los próximos años. Si se logra alcanzar una competitividad adecuada en términos de costos, se estima que la producción podría superar las 700.000 toneladas anuales hacia el año 2030.

Los procesos de separación y purificación del ácido bio-succínico representan uno de los principales desafíos técnicos y económicos para su producción a escala industrial. Se estima que estas etapas pueden llegar a representar más del 60 % del costo total de producción.

El estudio se centra en una planta con capacidad de purificar 12 kton anuales de ácido succínico, considerando un precio de venta de US\$ 2.500/ton, determinado por las condiciones del mercado. Para cada etapa del proceso se relevaron distintas alternativas tecnológicas: microfiltración y centrifugación para la remoción celular; nanofiltración y carbón activado para la remoción de color; evaporación y destilación al vacío para concentración.

Para este ejercicio se compararon los siguientes métodos de separación: Tecnología de membranas, Electrodialisis, Cristalización directa, Extracción reactiva, Columnas de intercambio iónico (Cromatografía), Cristalización Reactiva y Precipitación. Analizando los rendimientos y purezas obtenidas, se realiza la evaluación más profunda entre la Electrodialisis y Extracción reactiva, quienes cuentan con más de un 99,0% de pureza obtenida y una eficiencia superior al 85%.

Por último, para concluir el proceso, se puede optar por cristalización y uso de solventes para la purificación final y se debe pasar por un proceso de secado para su envasado y transporte a destino final.

Tras la comparación técnica y económica, se seleccionó la electrodialisis, la cual, además de ofrecer una eficiente separación de los componentes del caldo de fermentación, proporciona ventajas en términos de seguridad operacional, al no requerir el uso de solventes ni productos químicos peligrosos para la salud humana o el medio ambiente. El proceso final, consta de un banco de Microfiltración y Nanofiltración para remoción de células biológicas y proteínas, luego la Electrodialisis propiamente dicha para la separación del ácido succínico, un Evaporador para concentración del producto en el caldo, un Cristalizador para obtener el producto sólido, que pasará por Centrífuga para una remoción inicial del agua, para luego ser secado en un Secador Rotativo.

Dentro de los costos operativos, el costo del caldo de fermentación, la materia prima del proceso, valuada en US\$ 1000 por tonelada, significa el mayor costo para la producción, ya que ocupa más del 80% de este. Luego la mano de obra, aunque muy lejano, ocupa aproximadamente el 5%, considerando las 30 personas requeridas para la correcta operación de la planta, y en un tercer escalón, la energía eléctrica, principalmente por el uso en la Electrodiálisis, ocupa el 2,8%. Otros valores que hacen al costo de producción son las amortizaciones (3,4%), el mantenimiento (1,6%), el uso de combustibles y lubricantes (1,3%) y envases (1,1%).

La inversión inicial total se estima en aproximadamente US\$ 7,55 millones en caso de utilizar exclusivamente capital propio, y en US\$ 7,85 millones si se recurre a una modalidad de capital mixto, donde la institución financiera aportaría un 56% del costo total. Con un trabajo de 330 días al año, 24 horas, con una recepción de 17,66 ton/h de caldo a un precio de US\$ 1000 por tonelada, y una producción de 1480 kg/h de ácido sólido secado, vendido a un precio de US\$ 2500 por tonelada, en el primer caso, la tasa interna de retorno se proyecta en 58 %, con un período de repago de aproximadamente 2 años y 4 meses. En el escenario con capital mixto, la tasa interna de retorno aumenta a un 95 %, y el período de repago se reduce a aproximadamente 1 año y 9 meses.

Palabras claves: ácido succínico, electrodiálisis, purificación, optimización.