



PRODUCCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO POR FERMENTACIÓN DE RESIDUOS FORESTALES

BALDIVIA, GONZALO
DOTTI, SEBASTIANO
FERNÁNDEZ, MAURO
NÚÑEZ, MICAELA
PAZOS, CAMILA
REYES, GUZMÁN

TUORES:
Ing. NORBERTO CASSELLA
Ing. NIKOLAI GUCHIN

INSTITUTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Proyecto Industrial

Montevideo, Mayo 2021



RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto plantea el estudio desde un punto de vista ingenieril y económico, de la implementación de una planta de producción de ácido cítrico a partir de chips de pino en territorio uruguayo.

La situación actual del sector forestal nacional está transitando un aumento de la demanda de madera de Eucalipto en comparación con la madera de Pino. Esto se debe a un amplio desarrollo a nivel industrial de la utilización de madera de Eucalipto para las plantas de celulosa. Por otro lado, la madera de pino ha ido quedando rezagada, y actualmente es utilizada en aserraderos y, en menor medida, para la producción de energía eléctrica.

Independientemente de esto, se estima que actualmente se producen en promedio 3.000.000 m³ al año de trozas de Pino, de los cuales, en caso de ser procesados por aserraderos aproximadamente un 50% corresponderían a residuos. De esto se deduce que existe una baja demanda y un exceso de oferta para los chips de pino, por lo que la disponibilidad de materia prima no sería un impedimento.

A partir de lo mencionado previamente, se destacan como principales ventajas de este proyecto, la expansión de suelos de aptitud forestal para la producción de un insumo alimenticio y el agregado de valor a los residuos forestales de pino.

El ácido cítrico es uno de los ácidos orgánicos más utilizados en el mundo por la industria alimenticia, farmacéutica y cosmetológica.

El mercado internacional se ve principalmente impulsado por países como China, el cual representa un 59% de la producción mundial de ácido cítrico. Dentro de la región, si bien no existen grandes industrias que lo producen, se registra una interesante suma de importaciones del mismo. En particular, el mercado Uruguayo es relativamente pequeño, rondando unas 758 toneladas de ácido cítrico importadas en el año 2019.

El estudio del proyecto se enfocará principalmente en el comercio exterior. Se plantea como objetivo la captación del 10% de las importaciones de los siguientes países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Estados Unidos, México y Uruguay. Con un precio de venta del ácido cítrico de 838 USD/ton.

La capacidad de producción de la planta será de 20.000 toneladas al año de ácido cítrico, siendo necesario para esto 87.500 toneladas al año de chips de pino. Se estima contar con un periodo

de inserción al mercado de 3 años: el primer año se producirán 10.000 tpy, en el segundo año 15.000 tpy, y a partir del tercer año 20.000 tpy.

Teniendo en cuenta que la planta industrial se encuentra dentro del marco de una biorrefinería se supone que será posible la comercialización de subproductos tales como yeso (sulfato de calcio) para la industria constructora y micelio como insumo para alimento animal. La producción estimada de los mismos, a partir del tercer año, es de 14.460 y 2.474 toneladas al año respectivamente. El estudio de mercado correspondiente a estos subproductos excede el alcance de este proyecto.

La planta diseñada se ubicará estratégicamente en el departamento de Tacuarembó, en un predio contiguo al aserradero Lumin, con acceso al mismo desde la ruta nacional 5. Se estima que esta industria genere un total de 51 puestos de trabajo.

La zona noreste del país concentra el 77% de la cantidad efectiva de plantaciones de *Pinus sp.* En particular, dentro del departamento de Tacuarembó, se reportaron en el período 2017-2018, un total de 62.158 hectáreas plantadas. Además, cuenta con los dos aserraderos de mayor porte dentro del territorio Uruguayo como lo son Lumin y Frutifor.

El proceso tradicional de producción de ácido cítrico consiste en tres grandes etapas: fermentación, proceso cal-sulfúrico y purificación. La etapa de fermentación se desarrolla a partir de una solución de azúcares, principalmente glucosa, con el hongo del género *Aspergillus niger*. El proceso cal-sulfúrico, como se puede deducir de su nombre, consiste en tratar el caldo post-fermentativo para la correcta separación del ácido cítrico del mismo, mediante una neutralización con cal apagada y una posterior acidificación con ácido sulfúrico. Por último, el proceso de purificación se compone de una etapa de evaporación, cristalización, centrifugación y secado, para llevar al ácido a las condiciones de venta que requiere.

En el presente proyecto se evaluaron diferentes alternativas para las etapas posteriores a la fermentación debido a que el proceso tradicional resulta en grandes consumos de cal apagada y ácido sulfúrico, y grandes producciones de yeso. La alternativa seleccionada consiste en realizar el proceso cal-sulfúrico únicamente a $\frac{2}{3}$ del caldo post-fermentativo. Una de las ventajas es la posibilidad de obtener como producto intermediario citrato dicálcico, el cual tiene una estructura cristalina más definida y se lava con mejores resultados. Pero la principal fortaleza de esta alternativa es que disminuye en $\frac{1}{3}$ las cantidades necesarias de insumos.

Debido a la materia prima a utilizar, el proceso de producción en estudio, comienza con una etapa de pretratamiento la cual es fundamental para la obtención de una solución de glucosa. Dentro

de la inmensidad de alternativas de pretratamiento de biomasa posibles, se optó por realizar una explosión con vapor seguido de una hidrólisis enzimática.

El requerimiento energético de la planta será de 50.000 MWh/año la cual podrá ser abarcada en su totalidad con la planta de generación de vapor y energía a instalar a partir de la quema de lignina obtenida como subproducto en el pretratamiento. Dicha planta producirá un total de 61.800 MWh/año, por lo que se dispondrá de un excedente de energía que se verá reflejado en un ingreso aproximado de 824.800 USD/año a partir del tercer año.

Como parte del estudio económico del proyecto se analiza la viabilidad económica y financiera del mismo. En primer lugar, se prevé una inversión total para la instalación y puesta en marcha de la planta industrial de aproximadamente 70.700.000 USD.

Para el análisis del proyecto con capital propio, con una tasa de interés del 6,5%, el mismo resulta no rentable dado que se obtiene un valor de VAN negativo de 11.250.000 USD y una TIR de 4,4%. Por otro lado, para el análisis del proyecto con capital mixto, considerando un préstamo equivalente al 50% de la inversión y una tasa de interés de préstamo del 7,5%, se obtuvo un valor de VAN negativo de 20.190.000 USD y una TIR de 3,0%.

Cabe aclarar que el cálculo del valor de inversión incluye varias aproximaciones debido a la complejidad del proceso. Esto repercute directamente en los valores de rentabilidad obtenidos. Por lo que sería deseable realizar cálculos más detallados en caso de la implementación del proyecto.

Para la evaluación del proyecto, se consideran diferentes alternativas tales como la modificación de la escala de producción y el cambio de la materia prima con el objetivo de obtener mejoras desde el punto de vista financiero. Ambas alternativas no resultan en una mejora financiera de la inversión.

En conclusión, el presente estudio analiza la viabilidad de implementar una planta de producción de 20.000 tpy de ácido cítrico a partir de chips de pino, con un proceso alternativo al tradicional para las etapas de purificación. Como principal riesgo se destaca la posibilidad de obsolescencia temprana para las tecnologías seleccionadas. De acuerdo a lo tratado anteriormente, la inversión requerida resulta en la no rentabilidad del proyecto.