



## Obtención de xilitol a partir de residuos de biomasa forestal previo a su combustión.

### Proyecto Industrial.-

Agosto 2015

Instituto de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería.- Udelar

#### *Tutores:*

Prof. Ing.: Norberto Cassella  
Prof. Ing.: Darío Huelmo

#### *Estudiantes:*

Castro Caraballo, Gastón  
Ferrari Rebollo, Camila  
Rodríguez Quinele, Verónica  
Torres Amespil, Marcia  
Torres Brunengo, Martín

## Resumen Ejecutivo

El presente proyecto tiene como objetivo la producción de xilitol a partir de residuos de biomasa forestal previo a su combustión, con la finalidad de satisfacer un porcentaje de la demanda mundial. Se valoriza de esta forma la hemicelulosa, componente de la madera que actualmente es incinerado a pesar de su bajo poder calorífico.

El xilitol ( $C_5H_{12}O_5$ ), es un polialcohol natural de cinco átomos de carbono. Su consumo se ha incrementado en los últimos años debido, entre otras cosas, a que tiene un poder edulcorante similar al de la sacarosa pero menor valor energético, siendo utilizado principalmente por las personas diabéticas. Por otro lado, cuenta con la ventaja de ser anticariogénico y además tiene un sabor agradable aún después de haber sido ingerido, por lo que es empleado asiduamente en las industrias de goma de mascar y pasta de dientes.

El mercado mundial de xilitol se estima en 161.500 toneladas métricas, valoradas en EE.UU. en U\$S 670 millones en 2013 y espera llegar a 242.000 toneladas valoradas en EE.UU. en U\$S 1000 millones en 2020. El 50% es producido en Asia mientras que el resto de la producción proviene de Europa, Estados Unidos y Australia. Actualmente el precio de venta del xilitol en el mercado se puede estimar en 5000 U\$S/tonelada, FOB Shanghai. En Uruguay, la demanda de xilitol es muy variable. Las mayores importaciones proceden de China, principalmente para uso farmacéutico (Laboratorio Santa Elena S.A.) y como edulcorante para alimentos (L & G S.A.). En base a datos de la DNA del Ministerio de Economía y Finanzas (República Oriental del Uruguay) la demanda en el país de xilitol fue de aproximadamente 1,3 ton en el 2013.

El xilitol obtenido en este emprendimiento se exportará a EE.UU, país donde se encuentran los mayores índices de mortalidad por diabetes. En cuanto a la demanda mundial se supuso que el mercado se encuentra en equilibrio, de esta manera, el valor de la demanda se asume igual al de la oferta.

En cuanto a la localización de la planta, ésta se ubica en el departamento de Rivera, específicamente en el predio perteneciente a la planta cogeneradora BIOENER situada junto al aserradero URUFOR. De esta manera se reducen los costos asociados a la logística de la obtención de la materia prima.

BIOENER recibe los residuos forestales del aserradero y, mediante su combustión en caldera, se obtiene vapor, que al pasar por una turbina genera energía eléctrica para su consumo y para vender a UTE. También se genera vapor de extracción, el cual es brindado a URUFOR para cubrir su consumo. Para el presente emprendimiento, se recibe la materia prima, se le hace el tratamiento correspondiente y es posteriormente prensada para ser enviada a BIOENER.

Este emprendimiento está en el marco de una biorrefinería forestal integrada, por lo que se utilizan parte de los servicios de BIOENER como el vapor y el agua sin afectar negativamente su economía ya que se cubren los costos asociados. Es importante destacar también, que la masa de madera utilizada para este proyecto (la parte que contiene las hemicelulosas) debe ser repuesta de manera que no se vea modificada la generación de energía de BIOENER. Entre los factores claves para el éxito de ésta propuesta se encuentran: lograr procesos eficaces para minimizar los costos totales en la producción de xilitol y mantener una composición adecuada de la biomasa para su combustión en caldera con un funcionamiento ininterrumpido y una integración efectiva de la energía.

La obtención de xilitol puede llevarse a cabo por medios químicos o biotecnológicos. El xilitol puede ser producido químicamente en la industria reduciendo la D-xilosa. Este proceso se lleva a cabo a muy altas temperatura y presión y además requiere D-xilosa pura. Por otro lado la

bioproducción del xilitol se ha vuelto potencialmente atractiva teniendo en cuenta que las condiciones del proceso no son extremas y que no exige un sustrato puro, sino que se puede trabajar con una mezcla de azúcares, como es el caso del hidrolizado de las hemicelulosas. Esto disminuye el gasto de energía y los costos de purificación. Es por esto que en el presente proyecto se estudió la obtención de xilitol por vía bioquímica.

El proceso productivo comienza con la recepción y el almacenamiento de los residuos provenientes de URUFOR. Luego se realiza la extracción de las hemicelulosas mediante un pre-tratamiento con agua a 160°C durante 90 minutos.

Como consecuencia del proceso de extracción se obtienen dos corrientes, una solución acuosa conteniendo mayoritariamente las hemicelulosas y por otro lado los residuos (aserrín y chips) extraídos. Por medio de una zaranda se separan ambas corrientes, los residuos luego de ser prensados son devueltos a BIOENER para su posterior combustión. Es importante aclarar que los residuos extraídos deben ser secados antes de su combustión ya que se encuentran con el máximo porcentaje de humedad (63%). Sin embargo el poder calorífico del mismo no varía significativamente respecto al aserrín de partida, debido al aumento del mismo por unidad de masa cuando se extrae la hemicelulosa. La solución acuosa o licor se concentra para luego pasar a la etapa de hidrólisis ácida donde se obtienen los monómeros de xilosa. En la hidrólisis se generan otros productos como son el furfural, HMF y ácido acético los cuales se deben eliminar de la corriente de xilosas por ser potenciales inhibidores de la fermentación. Los procesos vinculados a la purificación del extracto son: neutralización con cal lechada, extracción líquido-líquido y destilación. En dichos procesos se obtienen productos de valor como ser yeso y lignina. Luego el extracto continúa el proceso hacia la fermentación donde se forma xilitol a partir de xilosa mediante la acción de la levadura *Candida Guilliermondii*. Se realizan procesos de separación y purificación necesarios para cumplir con los requerimientos de comercialización del producto. Entre los procesos de purificación se encuentran el microfiltrado, el pasaje del extracto por columnas de carbón activado, evaporación y cristalización. Finalmente se obtiene un producto en forma de polvo blanco cristalino con una pureza de 99% que se envasa de a 25 kg en sacos de papel multicapa con bolsa interior de polietileno.

En las condiciones mencionadas se obtienen 3600 Kg/d lo que se estima en 1300 ton/año de xilitol utilizando como materia prima 190 ton/d de residuos secos, siendo el rendimiento de extracción de hemicelulosas 58,4%. . Teniendo en cuenta estos valores se cubre un 0,8% de la demanda mundial. Como subproductos se obtienen y comercializan: ácido acético, furfural, yeso, biomasa y lignina.

Es importante destacar que los efluentes líquidos generados en la producción son de fácil tratamiento, ya que el caudal generado por día es muy bajo y solo se requiere aumentar levemente el pH mediante el agregado de soda y disminuir la temperatura, lo cual se realiza en las instalaciones de BIOENER. No se generan residuos sólidos en el proceso ya que todos los subproductos obtenidos se comercializan.

Debido a la magnitud del proyecto, se realizó un análisis detallado de la ingeniería desde la etapa de fermentación en adelante utilizándose índices para la estimación de costos de las etapas anteriores.

La inversión total para la instalación y puesta en marcha de la planta es de USD 42.000.000, que se dividen en USD 40.500.000 de inversiones amortizables y USD 1.500.000 de inversiones no amortizables.

Para el caso en que la inversión se realiza con capital particular, el proyecto resulta económicamente inviable ya que la utilidad neta disponible es negativa en los primeros años de vida útil del mismo. Es por lo anterior por lo que no realiza ni el estudio con capital mixto ni el estudio financiero para ninguno de los dos casos.

Debido a que el proyecto no es rentable desde el punto de vista económico, se analizó la alternativa de suprimir la etapa de hidrólisis ácida, aumentando la temperatura y tiempo de la etapa de autohidrólisis. Esta alternativa surge de experiencias de laboratorio en fase de desarrollo por lo que requerirá un estudio minucioso desde el punto de vista del proceso y económico. Del estudio financiero se obtiene una T.I.R. de 3,61% para capital propio y una T.I.R. de 5,03% para capital mixto. Dicha alternativa resulta en un proyecto más atractivo desde el punto de vista económico y financiero, pero debido a que se trata de un proyecto muy riesgoso, se concluye que la alternativa tampoco es rentable.

Se planteó también, como otra posible alternativa de mejora, la incorporación de otra turbina de generación. Esto es porque gran parte del vapor consumido en el presente proyecto, es el vapor de alta de BIOENER reducido a una menor presión. De esta manera, en vez de reducir los vapores de alta mediante una válvula reductora, se pasarían por la nueva turbina, utilizándose el vapor de extracción a la presión necesaria, y se generaría energía.