

ESTUDIO DE LA SUSTENTABILIDAD DEL BIOPROCESO DE PRODUCCIÓN DE XILITOL

PROFESOR ASESOR: DR. JUAN GABRIEL SEGOVIA HERNÁNDEZ

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Descripción general

El Xilitol es un alcohol de azúcar-alcohol pentahidroxiado presente en cantidades menores a 405 mg en algunas frutas y vegetales, se usa como edulcorante en alimentos ya que tiene un poder endulzante comparado con la sacarosa, y puede ser digerido en el cuerpo humano sin involucrar insulina. En la industria farmacéutica se usa como agente anticariogénico y para reducir el riesgo de otitis media.

El xilitol se puede obtener por un proceso químico, o bien, un proceso de fermentación; cada uno con sus ventajas y desventajas. La vía química para obtener xilitol incluye reducción de xilosa en un proceso de hidrogenación entre 80 y 140 °C y presión superior a 50 atm. Este proceso es costoso y produce compuestos secundarios, por lo que la síntesis con microorganismos que produzcan xilosa reductasa y xilitol deshidrogenasa son una alternativa para la obtención de xilitol.

El proceso químico requiere de varias etapas de purificación, porque únicamente puede ser utilizado xilosa para la reducción química.

Las fuentes renovables de carbono se pueden usar como materia prima para la obtención de xilosa vía fermentación, por ejemplo, los residuos madereros y agrícolas con alto contenido de lignocelulosa, el componente estructural más importante de las plantas está formado por hemicelulosa, lignina y celulosa. La hemicelulosa contenida en la biomasa lignocelulósica está usualmente en el rango de 20-35%.

El rendimiento general del xilitol es aproximadamente 50-60% del total de xilanos contenidos en la hemicelulosa de la madera (Granström, Izumori, & Leisola, 2007)

El xilitol es uno de los endulzantes de mayor demanda en el mundo, y aunque tiene más de 20 años en el mercado, su reciente éxito se debe a la creciente tendencia por los alimentos light.

El consumo mundial de xilitol aproximadamente es de 160 mil toneladas métricas en 2013, valor de mercado de 670 millones de dólares EE.UU. y se espera que alcanzar 242 mil toneladas métricas para 2020 equivalente a US\$1 billón con un CAGRS (Tasa de Crecimiento Anual Compuesto, por sus siglas en inglés) de más del 6% en valor y volumen. (Radiant Insights, 2019)

Sólo a nivel mundial, Asia produce el 50% del xilitol total y el resto de la producción es por Europa, Estados Unidos y Australia. (Tabla 1. Rao, Gallagher, Fish, & Prakasham, 2012)

Asia del pacífico es el mayor consumidor de xilitol. En Asia, China tiene el mayor mercado de xilitol y la próxima India también se proyecta que tendrá un mercado de más rápido crecimiento. (Radiant Insights, 2019)

La industria de las gomas de mascar tiene mayor mercado de xilitol en comparación con otras industrias y se encontró con consumió el 80% en 2010 y se estima un consumo de 163 mil toneladas métricas para 2020 con un 67% del consumo global de xilitol. (Radiant Insights, 2019). Las gomas de mascar como Gross y Wrigley usan únicamente xilitol para la manufactura de gomas de mascar libres de azúcar. DuPont,

Cargill, CSPC, Shengxue, Glucosa, Ingredion, Mitsubishi Shoji Food tech se encontró que son los principales proveedores de xilitol en el mercado, otros importantes vendedores incluyen a ZuChem, Hagszhou Shouxin Biological Technology, Novagreen, Tata Chemicals, Roquette Frres and Thomason Biotech. (Radiant Insights, 2019)

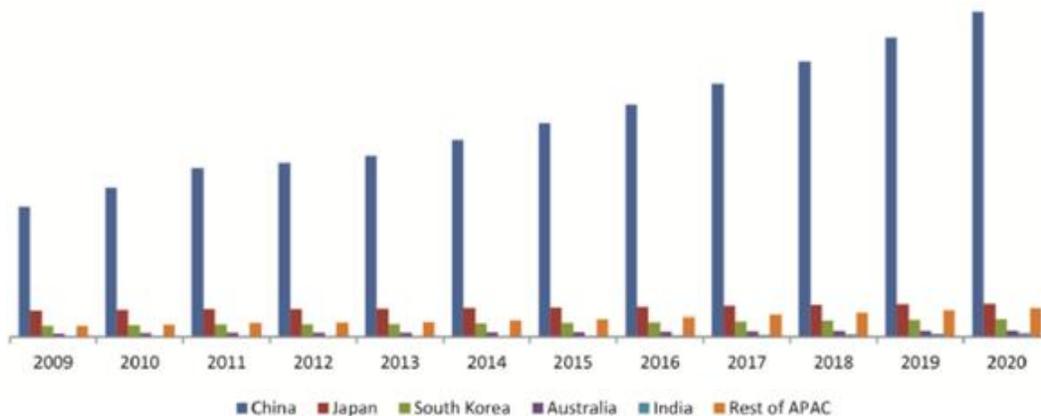


Figura 1. Mercado de xilitol en Asia del pacífico (2009-2020) en toneladas métricas.

Industrialmente, el xilitol se fabrica mediante hidrogenación catalítica de xilosa en un proceso trifásico, en presencia de un catalizador metálico, rane y níquel el más utilizado. Su producción se lleva a cabo en un baño a altas presiones de hidrógeno y temperaturas relativamente altas. (D.Y., y otros, 2015)

A partir de la hemicelulosa de la biomasa, es aproximadamente el 50–60% la conversión de xilanos a xilitol o 8–15% de la materia prima inicial. Realizarlo desde la xilosa pura, el proceso alcanza hasta un 98% de rendimiento.

La elección del material crudo, el cual tiene relativamente un alto contenido de xilanos y está disponible en grandes cantidades, es importante. El contenido de xilanos puede variar dependiendo de la planta, la fracción usada, recolección, almacenamiento, métodos y condiciones de pretratamiento.

La ruta química obtiene grandes rendimientos de xilitol pero encuentra una barrera, el gran consumo de energía debido al trabajo a altas temperaturas, la aplicación de la presión para la hidrogenación de la xilosa y la etapas de separación y purificación de xilitol. La alta sensibilidad del catalizador requerido para la reacción también incrementa el costo de la producción. El alto precio del xilitol en el mercado es debido a todos estos factores.

3.1. Ruta química para la obtención de xilitol

Etapas

La producción industrial del xilitol por la ruta química ocurre en cuatro etapas fundamentales: (1) hidrolisis ácida de la biomasa lignocelulósica; (2) obtención de la xilosa pura (en forma cristalina o en solución) por separación del hidrolizado y purificación; (3) hidrogenación catalítica de xilosa a xilitol a alta temperatura y presión de hidrogeno; y (4) cristalización y purificación del xilitol.

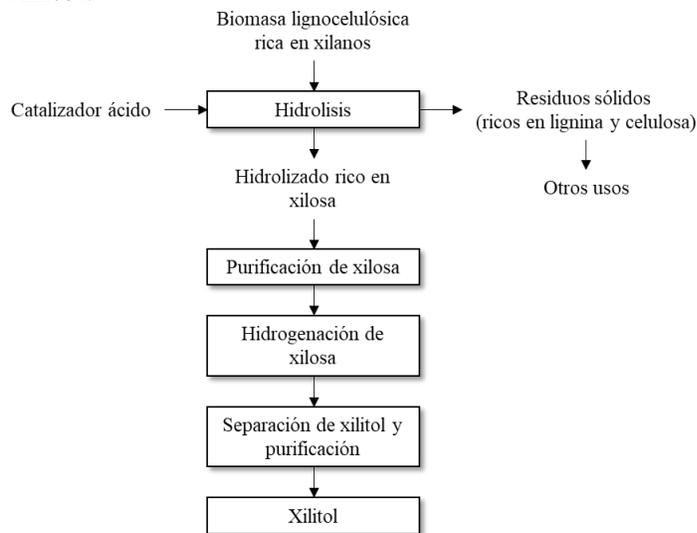


Figura 2. Principales etapas para la producción de xilitol por la ruta química

En los últimos años se ha mostrado que algunos procesos base biomasa pueden consumir más energía o pueden ser más contaminantes que las rutas químicas convencionales. Por lo tanto un punto fundamental en Ingeniería Química es analizar la sustentabilidad de los bioprocesos en tres rubros: impacto ambiental, seguridad inherente y salud ocupacional.

Referencias

- Aguilar, R., Ramírez, J., Garrote, G., & Vázquez, M. (2002). Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse. *Journal of Food Engineering*, 309-318.
- Arruda, M. A. (2011). Evaluation of hexosa and pentosa in pre-cultivation of *Candida guilliermondii* on the jey enzymas for xylitol production in sugarcane hemicellulosic hydrolysate. *Biodegradation*, 15-22.
- Burhan, K. H., Kresnowati, M. T., & Setiadi, T. (2019). Evaluation of Simultaneous Saccharification and Fermentation of oil Palm Empty Fruit Bunches for Xylitol Production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 559-567.
- Canilha, L., Santos, V. T., Rocha, G. J., Silva, J. B., Giuliatti, M., Silva, S. S., . . . Carvalho, W. (2011). A study on the pretreatment of a sugarcane bagasse sample with dilute sulfuric acid. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 38,1467-1475.

Carvalho, F., Silva-Fernandes, T., Duarte, L. C., & Gírio, F. M. (2009). Wheat Straw Autohydrolysis: Process Optimization and Products Characterization. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 153,84-93.

Castañón-Rodríguez, J. F., Domínguez-González, J. M., Ortíz-Muñiz, B., Torrestiana-Sanchez, B., León, J. A., & Aguilar-Uscanga, M. G. (2014). Continuous multistep versus fed-batch production of ethanol and xylitol in a simulated medium of sugarcane bagasse hydrolyzates. *Engineering in Life Sciences*, 96-107.

Mikkola, J., Salmi, T., & Sjöholm, R. (1999). *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 655-662.

Mikkola, J., Sjöholm, R., Salmi, T., & Mäki-Arvela, P. (1999). Xylose hydrogenation: Kinetic and NMR studies of the reaction mechanisms. *Catalysis Today*, 73-81.

Mikkola, J., Vaino, H., Salmi, T., Sjöholm, R., Ollonqvist, T., & Väyrynen, J. (2000). Deactivation kinetics of Mo-supported Raney Ni catalyst in hydrogenation of xylose to xylitol. *Applied Catalysis A: General*, 143-155.

Torget, R., Walter, P., M.Himmel, & Grohmann, K. (1991). Dilute-Acid Pretreatment of Corn Residues and Short-Rotation Woody Crops. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 28, 75.

Vázquez, M., Oliva, M., Téllez-Luis, S. J., & Ramírez, J. A. (2007). Hydrolysis of sorghum straw using phosphoric acid: Evaluation of furfural production. *Bioresource Technology*, 3053-3060.

Objetivo(s)

Analizar la sustentabilidad del bioproceso de producción del xilitol con base a los principios de Ingeniería Verde: impacto ambiental, seguridad inherente y salud ocupacional.

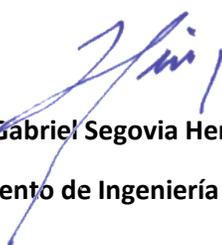
Plan de trabajo

Semana	Diseño del Bioproceso para producción de xilitol usando biomasa regional	Evaluación del impacto ambiental	Evaluación de la seguridad inherente	Evaluación de la salud ocupacional	Análisis de resultados y escritura del reporte
22 al 26 de junio	XXXXXXXXXXXX				
29 junio al 3 de julio	XXXXXXXXXXXX				
6 al 10 de julio		XXXXXXXXXXXX			
13 al 17 de julio			XXXXXXXXXXXX		
20 al 24 de julio				XXXXXXXXXXXX	

27 al 31 de julio					XXXXXXXXXX
-------------------	--	--	--	--	------------

Resultados esperados

- 1.- Estimar para un proceso de bioproducción de xilitol con base en biomasa regional su índice de impacto ambiental, basado en el eco-indicador 99.
- 2.- Estimar para un proceso de bioproducción de xilitol con base en biomasa regional su índice de seguridad inherente, basado en los principios de la química verde.
- 3.- Estimar para un proceso de bioproducción de xilitol con base en biomasa regional su índice de salud ocupacional, basado en los principios de la química verde.
- 4.- Establecer la sustentabilidad integral para un proceso de bioproducción de xilitol con base en biomasa regional de acuerdo al concepto de economía circular.



Dr. Juan Gabriel Segovia Hernández
Departamento de Ingeniería Química