



Revista EIA  
ISSN 1794-1237  
e-ISSN 2463-0950  
Año XVIII/ Volumen 18/ Edición N.36  
Junio-Diciembre de 2021  
Reia36014 pp. 1-20

Publicación científica semestral  
Universidad EIA, Envigado, Colombia

## PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE /

Pérez Sánchez, A.; Baltá García,  
J. G.; Aragon Fontes, J. C. (2021).  
Evaluación técnico-económica del  
proceso de producción de glutamato  
monosódico por la ruta fermentativa  
utilizando bagazo de caña de azúcar.  
Revista EIA, 18(36), Reia36014.  
pp. 1-20.  
<https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1489>

### ✉ Autor de correspondencia:

Pérez Sánchez, A (Amaury):  
Universidad de Camagüey.  
Correo electrónico:  
amauryps@nauta.cu

**Recibido:** 07-12-2020  
**Aceptado:** 15-05-2021  
**Disponible online:** 01-06-2021

# Evaluación técnico-económica del proceso de producción de glutamato monosódico por la ruta fermentativa utilizando bagazo de caña de azúcar.

✉ AMAURY PÉREZ SÁNCHEZ<sup>1</sup>  
JOSÉ GERARDO BALTÁ GARCÍA<sup>1</sup>  
JULIO CÉSAR ARAGON FONTES<sup>1</sup>

1. Universidad de Camagüey.

## Resumen

El glutamato monosódico (GMS) es una de los aditivos más empleados a nivel mundial en los alimentos comerciales. En el presente trabajo se efectuó la evaluación técnico-económica preliminar de una propuesta tecnológica de producción de GMS por la ruta fermentativa, empleando bagazo de caña de azúcar como materia prima principal y bajo las condiciones económicas actuales de Cuba. Para ello se empleó el simulador profesional SuperPro Designer® versión 10. La planta tiene una capacidad de producción de 3,85 toneladas de cristales de GMS por año. Será necesario invertir alrededor de USD \$ 8,75 millones para construir la planta de producción propuesta. Se obtienen Ganancias Netas anuales de USD \$ 2.004.000, un Margen Bruto de 44,91 % y un Retorno de la Inversión de 22,90 %. A partir de los resultados obtenidos del Valor Actual Neto (USD \$ 6.723.000), Tasa Interna de Retorno (25,23 %) y Período de Recuperación de la Inversión (4,37 años), se puede concluir que la planta de producción es rentable y factible desde el punto de vista económico. La propuesta tecnológica comienza a ser no rentable a partir de un valor del costo unitario del bagazo de USD \$ 45,4/kg.

**Palabras Claves:** Bagazo de caña de azúcar; Costos; Glutamato monosódico; Rentabilidad; Simulación.

# Techno-economic assessment of the monosodium glutamate production process through fermentative route using sugarcane bagasse.

## Abstract

Monosodium glutamate (MSG) is one of the most widely used additives in commercial foods worldwide. In the present work, the preliminary techno-economic evaluation of a technological proposal for the production of MSG by the fermentation route was carried out, using sugarcane bagasse as the main raw material and under the current economic conditions of Cuba. For that, the professional simulator SuperPro Designer® version 10 was used. The plant has a production capacity of 3.85 tons of MSG crystals per year. It will be necessary to invest around USD \$ 8.75 million to build the proposed production plant. Annual Net Profits of USD \$ 2,004,000, a Gross Margin of 44.91% and a Return on Investment of 22.90% were obtained. Based on the results obtained from the Net Present Value (USD \$ 6,723,000), the Internal Rate of Return (25.23%) and the Payback Time (4.37 years), it can be concluded that the production plant is profitable and feasible from the economic point of view. The technological proposal begins to be not profitable from a value of the bagasse unit cost of USD \$ 45.4/kg.

**Key Words:** *Sugarcane bagasse; Costs; Monosodium glutamate; Profitability; Simulation.*

## Introducción

Debido al su potencial para ayudar a prolongar la existencia de las reservas de combustibles fósiles, ocuparse de las amenazas planteadas por el cambio climático y permitir una mejor seguridad del suministro de energía, el uso y explotación de fuentes y recursos renovables ha atraído amplia atención en los últimos años Gao, et al. (2014).

En este contexto, la biomasa lignocelulósica representa una materia prima con un potencial masivo para la producción de biocombustibles y compuestos químicos debido a que constituye el material renovable más abundante en el mundo y porque, en muchos casos, es considerado un residuo que no compite con los alimentos Gomes, et al. (2019).

Las sustancias lignocelulósicas son recursos abundantes, los cuales pueden utilizarse como materia prima para producir cierto número de compuestos químicos mediante procesos fermentativos. Entre las posibles sustancias lignocelulósicas se encuentran el bagazo de caña de azúcar, papel de desecho y residuos agrícolas. La aplicación de residuos lignocelulósicos en los bioprocesos no solo suministra sustratos alternativos, sino que además ayuda a solucionar los problemas de vertimiento, y con el advenimiento de las innovaciones biotecnológicas, principalmente en el área de tecnología enzimática y fermentativa, se han abierto nuevas opciones para su adecuada utilización como productos de valor añadido Adsul, et al. (2007).

En décadas recientes ha existido un incremento en la producción microbiana dirigida a la producción de moléculas con elevado valor comercial y, al mismo tiempo, la búsqueda de sustratos baratos y medioambientalmente amigables que puedan hacer viable el proceso biotecnológico Gomes, et al. (2019).

El bagazo de caña de azúcar es disponible de forma abundante y a bajo precio como subproducto de la industria azucarera Hag, et al. (2006). Constituye el residuo sólido que se obtiene después de la extracción del jugo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), y ha demostrado ser un material muy útil para la obtención de diferentes productos. Consiste principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa es un polisacárido lineal que consiste en largas unidades de glucosa, mientras que la hemicelulosa contiene la mayoría de los azúcares pentosa (tales como xilosa) y pequeñas cantidades de azúcares hexosa (tales como glucosa). La hidrólisis de este material lignocelulósico por medio de una solución ácida produce predominantemente azúcares de fermentación tales como glucosa, xilosa y pequeñas cantidades de arabinosa Jonglertjunya, et al. (2014).

La hidrólisis ácida es un método general para efectuar la hidrólisis de bagazo de caña de azúcar, ya que los ácidos pueden romper los enlaces éter heterocíclicos entre los monómeros de azúcar en las cadenas poliméricas de la celulosa y hemicelulosa Laopaiboon, et al. (2010).

El bagazo de caña de azúcar es un residuo lignocelulósico abundante en Cuba, con producciones estimadas en el orden de  $5.195,3 \times 10^3$  t en el año 2019 ONEI. (2020), el cual se emplea fundamentalmente como combustible para la producción de energía eléctrica y vapor de agua (cogeneración) en las fábricas de azúcar. En este sentido se ha demostrado la posibilidad de satisfacer las demandas energéticas de un central con casi la mitad del bagazo que produce ICIDCA. (2000), por lo que el sobrante obtenido puede ser utilizado como materia prima para obtener otros productos químicos y compuestos derivados.

El bagazo de caña de azúcar se ha empleado como materia prima para la producción de etanol Wanderley, et al. (2013) Amores, et al. (2013) Wong & Sanggari. (2014) Gao, et al. (2014) Guilherme, et al. (2019) Méndez, et al. (2019); butanol Jonglertjunya, et al. (2014) Michailos, et al. (2016); ácido cítrico Yadegary, et al. (2013); ácido láctico Adsul, et al. (2007); ácido levulínico Mthembu. (2015); ácido L-láctico Pol, et al. (2016); proteína unicelular Samadi, et al. (2016); celulosa Salomão, et al. (2019), hidrógeno Reddy. (2016) y acetona-butanol-etanol Gomes, et al. (2019).

El glutamato monosódico (GMS), también conocido como glutamato de sodio, es la sal de sodio del ácido L-glutámico, el cual es un aminoácido Thuy, et al. (2020). Fue inicialmente obtenido en 1908 por un bioquímico japonés a partir de un alga marina comestible Mustafa, et al. (2020). El ácido glutámico se encuentra naturalmente en varios alimentos especialmente aquellos ricos en proteínas Thuy, et al. (2020). En términos de alimentos tales como de origen marino, cárnicos, queso, vegetales y avícolas el GMS es un componente crucial del sabor Wijayasekara & Wansapala. (2017).

El ácido glutámico es el aminoácido más producido a nivel mundial. Existen cuatro rutas principales para obtenerlo para uso comercial Mustafa, et al. (2020):

- Extracción de fuentes naturales por medio de la hidrólisis con ácido clorhídrico (1909-1962)
- Síntesis química comenzando con acrilonitrilo (1962-1973)
- Fermentación bacteriana.
- Catálisis enzimática.

Actualmente, la vasta mayoría del GMS es producido a través de procesos fermentativos. Entre los microorganismos usados, las bacterias del género *Corynebacterium* y *Brevibacterium* son ampliamente empleadas. Para la producción industrial de GMS, se emplean generalmente melaza e hidrolizados de almidón como materia prima (fuente de carbono). En estos procesos se utilizan fundamentalmente sales de

amonio y urea como fuente de nitrógeno tanto para el crecimiento microbiano como la formación de producto Wijayasekara & Wansapala. (2017).

El GMS se encuentra mayormente en forma de cristales monohidratados, un polvo blanco e inodoro. El sólido contiene cationes de sodio ( $\text{Na}^+$ ) y aniones de glutamato. En soluciones acuosas se disocia en glutamato e iones sodio.

Se utiliza fundamentalmente como saborizante en la industria alimentaria. Acentúa el sabor de los alimentos, crudos y cocinados, en conserva o congelados. Puede aplicarse en medicina y también en otras industrias, por ejemplo: como antioxidante en las gomas, depilatorios, agente fijador en soluciones para permanentes y para protección contra los Rayos X. El glutamato de un metal alcalino (sodio, potasio, etcétera) puede emplearse para acelerar el proceso de curación de carnes, y acrecentar su sabor, aroma y color ICIDCA. (2000).

Son varios los autores que han investigado la producción de tanto el ácido glutámico Nampoothiri & Pandey. (1999) Choi, et al. (2004) Patil, et al. (2009) Tavakkoli, et al. (2012) Kumar, et al. (2013) Zareian, et al. (2013) Shyamkumar, et al. (2014) Pal, et al. (2016) Alharbi, et al. (2020) como del glutamato monosódico Silva. (1975) Ditzel & Pacheco. (2015) Wijayasekara & Wansapala. (2017) Mustafa, et al. (2020) por la ruta fermentativa.

La simulación de procesos químicos tiene como meta representar un proceso de transformación física o química por medio de un modelo matemático que involucra el cálculo de balances de masa y energía acoplado con el equilibrio de fases y ecuaciones de transporte y de cinética química. Todo esto se efectúa buscando el establecimiento (predicción) del comportamiento de un proceso de estructura conocida, en donde se conocen algunos datos preliminares del equipamiento que forma parte del proceso Gil et al. (2016).

Un simulador de proceso es un software utilizado para la modelación del comportamiento de un proceso químico en estado estacionario, por medio de la determinación de las presiones, temperaturas y flujos. En la actualidad, los programas de computación empleados en la simulación de procesos han ampliado su estudio del comportamiento dinámico del proceso bajo estudio, así como también con respecto al control de sistemas y su respuesta a las perturbaciones inherentes a la operación. De la misma manera, se encuentran disponibles simuladores que permiten efectuar el dimensionamiento de equipos, la estimación de costos tanto capitales como de operación, estimación de propiedades de los fluidos manejados, y el análisis, operatividad y optimización del proceso químico.

Entre los simuladores más empleados hoy en día se encuentran el Aspen Hysys<sup>®</sup>, el ChemCAD<sup>®</sup>, Pro II<sup>®</sup> y el SuperPro Designer<sup>®</sup>.

El SuperPro Designer<sup>®</sup> es un simulador profesional de procesos desarrollado por Intelligen Incorporated, el cual facilita la modelación, evaluación y optimización de procesos integrados en un amplio rango de industrias tales como la farmacéutica, biotecnológica, alimenticia, agroquímica, purificación de agua, tratamiento de aguas residuales y procesos que incluyan componentes biológicos Auli, et al. (2013). Su principal objetivo es efectuar la evaluación tecno-económica de procesos químicos y biotecnológicos.

El simulador SuperPro<sup>®</sup> Designer se ha empleado para efectuar la simulación de varios procesos químicos, entre los cuales se pueden mencionar la obtención de ácido succínico a escala piloto a partir de residuos de panadería Lam et al. (2014), la producción de bio-hidrógeno Koók, et al. (2014); la producción de bioetanol a partir

de *Arundo donax* Accardi, et al. (2015); la producción de oleoresina a partir de *Capsicum frutescens* Aguiar, et al. (2018); y la obtención de bioetanol a partir de cáscara de avellana turca Sayar, et al. (2019).

El presente trabajo se efectúa en la simulación de una planta de producción de 3,85 ton por año de MSG por la ruta fermentativa empleando bagazo de caña de azúcar como materia prima principal, con el objetivo de determinar los principales parámetros técnico-económicos y de rentabilidad de este proceso productivo, y verificar si resulta factible y rentable producir este importante compuesto químico bajo las condiciones económicas actuales de Cuba. También se realiza un estudio de sensibilidad consistente en determinar a partir de qué valor del costo unitario del bagazo comienza a ser no factible la propuesta tecnológica desde el punto de vista económico.

## Materiales y métodos

### *Propiedades físicas del GMS*

Según Thuy, et al. (2020), el GMS presenta las propiedades físicas que se muestran en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Principales propiedades físicas del GMS.

Propiedad	Valor
Peso molecular	169,11 g/mol (anhidro) 187,25 g/mol (hidratado)
Dureza	Duro
Apariencia	Sólido (a temperatura ambiente)
Color	Blanco
Olor	Inodoro
Forma	Polvo cristalino
Densidad	1,63 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	232 °C
Solubilidad en agua	~ 740 g/L (25 °C)

### *Composición del bagazo de caña de azúcar*

La Tabla 2 expone la composición química promedio del bagazo de caña de azúcar (en lo adelante, bagazo) empleada en la simulación ICIDCA. (2000):

**Tabla 2.** Composición química porcentual promedio del bagazo empleada en la simulación.

Compuesto	Porcentaje (%)
Fibra	45,0
Sólidos insolubles	2,0
Sólidos solubles	3,0
Agua	50,0

La fibra a su vez está compuesta por los componentes que se muestran en la Tabla 3 ICIDCA. (2000).

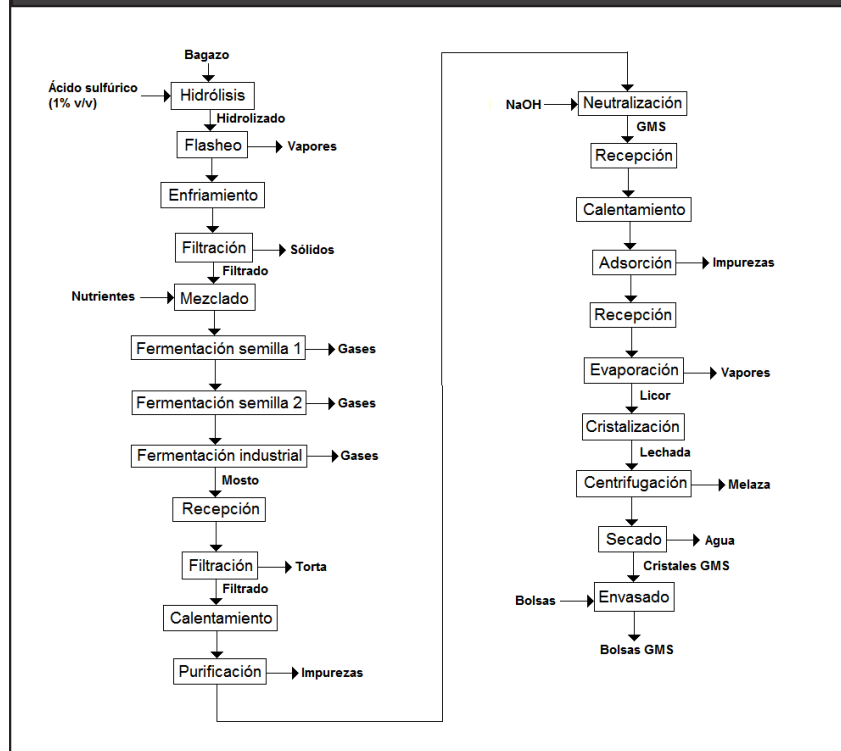
**Tabla 3.** Composición química porcentual promedio de la fibra del bagazo.

Compuesto	Porcentaje (%)
Celulosa	43,0
Hemicelulosa	26,0
Lignina	21,0
Otros sólidos	7,0
Ceniza	3,0

### Descripción del proceso de producción de GMS a partir de bagazo

El proceso de producción de AG a partir de bagazo consta de las siguientes etapas: 1) Pretratamiento; 2) Fermentación; y 3) Purificación. La Figura 1 muestra un diagrama de bloques que describe el proceso de producción de GMS con sus diferentes etapas y operaciones.

**Figura 1.** Diagrama de bloques del proceso de producción de GMS a partir de bagazo por la ruta fermentativa.



## 1) Etapa de pretratamiento

Primeramente se reciben 300 kg de bagazo húmedo y se envían por medio de una cinta transportadora hacia el tanque de pretratamiento, en donde se lleva a cabo la hidrólisis ácida a una temperatura de 121 °C por un tiempo de 60 min, utilizando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a una concentración del 1,0 % v/v y con una relación líquido: sólido de 10/1 (Jonglertjunya et al., 2014). Durante la hidrólisis ácida se consideraron las reacciones estequiométricas que se exponen en las ecuaciones (1) y (2), en donde la ecuación (1) tiene una extensión del 10 % y la ecuación (2) presenta una extensión del 70 % Petrides. (2020) Parsons & Banqueth. (2004):



La mezcla resultante obtenida al finalizar la hidrólisis ácida es enviada hacia un separador flash, para luego ser enfriada en un intercambiador de calor de tubo y coraza hasta alcanzar una temperatura de 50 °C. Posteriormente se emplea un filtro de banda para remover el material en suspensión, el cual incluye la lignina y las fracciones no hidrolizadas de celulosa y hemicelulosa. La corriente de filtrado, que contiene los azúcares fermentables generados, así como también otros sólidos disueltos, es enviada hacia el tanque de preparación de nutrientes.

## 2) Etapa de fermentación

La etapa de fermentación comienza con la recepción del filtrado rico en azúcares fermentables proveniente del filtro de banda, el cual es vertido en el tanque de preparación de nutrientes. En este equipo se agregan los compuestos químicos que se expresan en la Tabla 4, los cuales promueven el crecimiento microbiano y la producción de AG Shyamkumar, et al. (2014) Mustafa, et al. (2020).

**Tabla 4.** Compuestos químicos empleados para preparar el medio de fermentación, y la concentración empleada.

Compuesto químico	Fórmula química	Concentración (g/L)
Hidróxido de amonio (26 % m/m)	NH <sub>4</sub> OH	25,0
Di-Hidrógeno fosfato de potasio	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,0
Sulfato de magnesio heptahidratado	MgSO <sub>4</sub> x7H <sub>2</sub> O	2,5
Sulfato de manganeso hidratado	MnSO <sub>4</sub> xH <sub>2</sub> O	0,1
Carbonato de calcio	CaCO <sub>3</sub>	1,6
Biotina	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> S	0,002

**Tabla 5.** Servicios auxiliares consumidos por la planta y su costo unitario.

Servicio auxiliar	Costo Unitario (USD \$/t)
Agua fría	0,25
Agua de enfriamiento	0,05
Vapor de agua	5,4

En el caso de la electricidad se utilizó un costo unitario de USD \$ 1,20/kWh.

Se contempló un costo de la mano de obra de USD \$ 3,00 por hora para operarios y técnicos, y de USD \$ 5,00 por hora para supervisores, especialistas y personal de dirección.

En la Tabla 6 se refleja el costo unitario de las materias primas consumidas en el proceso de producción, las cuales fueron tomadas de diferentes fuentes y referencias bibliográficas MOLYCHEM. (2019) Oxford. (2020) SRL. (2019) Sigma-Aldrich. (2020).

**Tabla 6.** Costo unitario de las materias primas empleadas en el proceso de producción.

Materia prima	Costo Unitario	Unidad
Biotina	44,72	USD \$/g
Carbonato de calcio	249,67	USD \$/kg
Di-Hidrógeno fosfato de potasio	157,56	USD \$/kg
Sulfato de magnesio heptahidratado	89,81	USD \$/kg
Sulfato de manganeso hidratado	113,08	USD \$/kg
Hidróxido de sodio	122,41	USD \$/kg
Ácido sulfúrico	92,84	USD \$/L
Ácido clorhídrico (1 M)	32,24	USD \$/L
Hidróxido de amonio (26 % m/m)	65,20	USD \$/L
Agua	0,10	USD \$/m <sup>3</sup>

En este caso se consideró que la planta de producción de GMS será construida anexa a un central azucarero, por lo que se tendrá un flujo constante de bagazo a un costo de USD \$ 0,30/kg Rodríguez, et al. (2019). La bolsa de 100 gramos vacía tiene un costo de adquisición de USD \$ 0,01 la unidad. Por último se tomó un precio de venta de la bolsa de 100 g de GMS en USD \$ 110 MOLYCHEM. (2019).

La Tabla 7 describe el equipamiento principal empleado en el proceso de producción, con sus características básicas y su costo de adquisición, el cual fue adquirido a partir de diferentes referencias Peters, et al. (2003) Towler & Sinnott. (2013) Matche. (2014). Los costos fueron actualizados al mes de Agosto del año 2020 mediante el Índice de Costo de Planta de la revista *Chemical Engineering* = 594,1 Jenkins. (2020).



**Tabla 7.** Equipamiento principal empleado en el proceso de producción, y su costo unitario.

Equipo	Característica	Cantidad	Costo (\$)
Compresor	Tipo: Centrífugo Potencia: 10 kW	1	55.700
Cinta transportadora	Ancho cinta: 60 cm Largo cinta: 8 m	1	7.500
Tanque 1	Tipo: Enchaquetado con agitación Volumen: 6 m <sup>3</sup> Material: SS 304	1	203.700
Columna flash	Volumen: 6 m <sup>3</sup> Material: SS 304	1	12.000
Enfriador 1	Tipo: Intercambiador de tubo y coraza. Área: 10 m <sup>2</sup> Material: SS 304	1	8.600
Filtro de banda	Ancho de la banda: 1,5 m	1	30.000
Tanque 2	Tipo: Con agitación Volumen: 4 m <sup>3</sup> Material: SS 304 Potencia: 2,5 kW	1	20.400
Filtro de cartucho	Área: 10 m <sup>2</sup>	1	3.700
Fermentador 1	Volumen: 70 L Material: SS 304	1	16.100
Fermentador 2	Volumen: 700 L Material: SS 304	1	50.900
Fermentador 3	Volumen: 3,5 m <sup>3</sup> Material: SS 304	1	113.800
Tanque 3	Volumen: 3,5 m <sup>3</sup> Material: SS 304	1	16.200
Filtro rotatorio	Área de filtración: 15 m <sup>2</sup> Material: Acero al carbono	1	45.000
Calentador 1	Tipo: Intercambiador de tubo y coraza Área: 10 m <sup>2</sup> Material: SS 304	1	8.600
Columna intercambio iónico	Altura cama: 0,75 m Diámetro cama: 1,20 m Material: Plástico reforzado	2	6.000
Tanque neutralizador	Volumen: 2 m <sup>3</sup> Potencia: Material: SS 304	1	18.400
Tanque 4	Volumen: 2 m <sup>3</sup>	1	11.700

Se consideró que el costo del equipamiento auxiliar no descrito en la Tabla 12 es un 40 % del costo de adquisición total del equipamiento principal, mientras que se seleccionó una capacidad de producción de la planta de 3,85 toneladas de cristales de GMS al año.

El capital de trabajo es aquel necesario para efectuar la arrancada del proceso productivo y operarlo hasta que se obtengan ganancias, y se encuentra usualmente en el rango de 10-20 % del Capital Fijo Directo Silla. (2003). En este trabajo se empleó los gastos de capital de trabajo para cubrir 30 días de mano de obra, consumo de materias primas, servicios auxiliares y tratamiento de residuales.

Los costos de arrancada y validación son aquellos costos necesarios para realizar la transición desde la construcción hasta la operación total de la planta Humphreys. (2005). En este trabajo se empleó un 15 % del Capital Fijo Directo.

Las división del costo anual de operación entre la tasa de producción anual entrega el costo unitario de producción del glutamato monosódico (\$/bolsa) Harrison, et al. (2015). Las medidas económicas para evaluar la rentabilidad de un proyecto de ingeniería química incluyen el margen bruto, retorno de la inversión, Período de Recuperación de la Inversión (PRI), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN) Harrison, et al. (2015).

La suma de las ganancias por venta del producto menos los costos de las materias primas se conocer por margen grueso (Towler & Sinnott, 2013), y representa la proporción de cada dólar de ganancia que la compañía retiene como ganancia bruta Vučurović, et al. (2012).

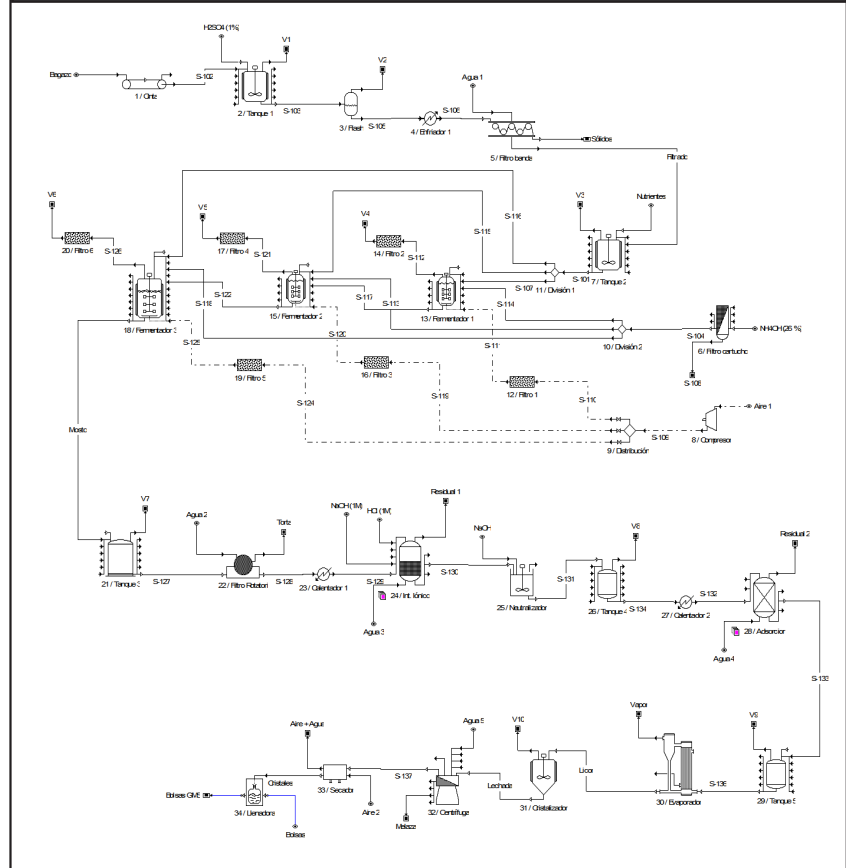
El retorno de la inversión se define como la ganancia de operación anual después de los impuestos dividido por el costo total de capital, y se espera que se encuentre en un 20-30% Sinnott. (2005). Es una medida de cuan efectivo la compañía utiliza su capital invertido para generar ganancia Heinzle, et al. (2006).

El PRI es el tiempo requerido para liquidar la inversión inicial a partir de los ingresos Sinnott. (2005), y es estimado dividiendo el costo total de capital entre el ingreso promedio anual, en donde se desestiman los impuestos y la depreciación Towler & Sinnott. (2013). Típicamente se espera un PRI de 2-5 años Sinnott. (2005).

El VAN es la suma de los valores presentes de los flujos de efectivo futuros Heinzle, et al. (2006), mientras que la TIR es una tasa de interés de descuento que hace el VAN de todos los flujos de efectivo igual a cero. Es una medida de la tasa de interés máxima que el proyecto puede cubrir los gastos al final del tiempo de vida del proyecto Towler & Sinnott. (2013). Si el VAN es positivo obteniendo una TIR del 7%, indica que las ganancias proyectadas exceden los costos anticipados (todo en dólares presentes) y la inversión será rentable Vučurović, et al. (2012).

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo del proceso de producción del GMS por la ruta fermentativa a partir de bagazo, el cual fue obtenido durante la simulación efectuada utilizando el simulador SuperPro Designer®.

**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso de producción de GMS obtenido mediante el simulador SuperPro Designer®.



### Estudio de sensibilidad

Se efectuó un estudio de sensibilidad consistente en determinar como influye el incremento del costo unitario del bagazo (CUB) sobre el indicador VAN, con el fin de conocer a partir de qué valor del CUB la propuesta tecnológica comienza a ser no rentable y factible desde el punto de vista económico. Para ello se varió el valor del CUB desde USD \$ 1/kg hasta USD \$ 60/kg. Se escogió el CUB como variable a considerar en el estudio de sensibilidad pues es un parámetro que presenta una fluctuación significativa de sus valores en el tiempo, en dependencia de región, así como también de la calidad y disponibilidad del bagazo.

## Resultados y discusión

### Rentabilidad económica

La Tabla 8 presenta los principales resultados técnico-económicos obtenidos durante la simulación del proceso de producción del GMS en el simulador SuperPro Designer.

**Tabla 8.** Principales resultados técnico-económicos obtenidos al efectuar la simulación.

<b>Partida</b>	<b>Valor</b>
Inversión total de capital [USD \$]	8.752.000
Capital fijo directo [USD \$]	7.500.000
Capital de trabajo [USD \$]	126.000
Costo de arrancada [USD \$]	1.125.000
Costo de operación [USD \$/año]	2.331.000
Ganancias [USD \$/año]	4.230.436
Tamaño del lote [Bolsas/lote]	389
Producción anual de bolsas [Bolsas/año]	38.459
Costo unitario de producción [USD \$/bolsa]	60,60
Tiempo de un lote [h]	72,25
Numero de lotes al año [Lotes/año]	104
Ganancia bruta [\$/año]	1.900.000
Impuestos [USD \$/año]	608.000
Ganancia neta [USD \$/año]	2.004.000
Margen bruto [%]	44,91
Retorno de la inversión [%]	22,90
Periodo de recuperación de la inversión [años]	4,37
Tasa Interna de Retorno (tras impuestos) [%]	25,23
Valor Actual Neto [USD \$]	6.723.000

Según se puede observar en la Tabla 8, el proceso de producción de GMS a partir de bagazo por la ruta fermentativa es rentable y factible desde el punto de vista económico bajo las condiciones actuales de Cuba, ya que el PRI es menor de 5 años (4,37 años), la TIR es superior a 20% (25,23%) y se obtiene un VAN positivo (USD \$ 6.723.000) Sinnott. (2005) Vučkurović, et al. (2012) (Towler & Sinnott, 2013). También puede advertirse que se obtienen Ganancias Netas Anuales de USD \$ 2 004 000, un Margen Bruto de 44,91 % y un Retorno de la Inversión de 22,90 %. Por último, vale destacar que el tiempo de duración de un lote es de 72,25 h, y se pueden efectuar 104 lotes al año.

### *Estimado del capital fijo*

La Tabla 9 describe un resumen del estimado del capital fijo del proceso de producción.

**Tabla 9.** Resumen del estimado de capital fijo.

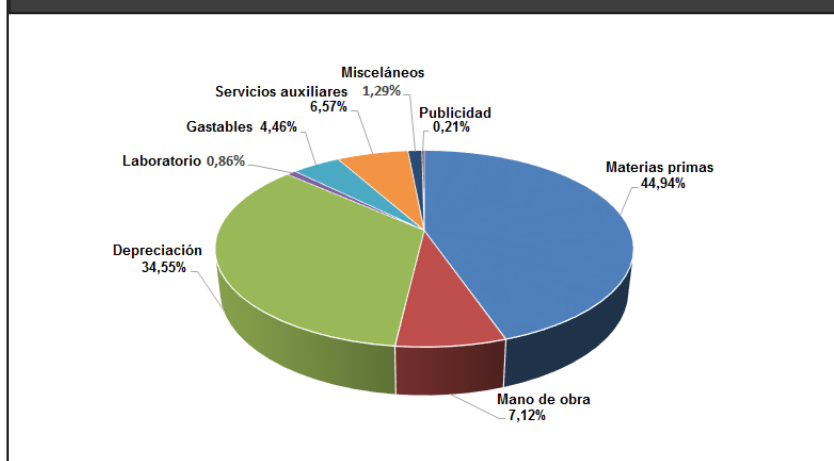
Partida	Valor [USD \$]
<b>Costo Total Directo de la Planta (CTDP)</b>	
Costo de adquisición del equipamiento	1.475.000
Instalación	631.000
Tuberías de proceso	516.000
Instrumentación	369.000
Aislamiento	44.000
Instalaciones eléctricas	148.000
Edificaciones	664.000
Mejoras del terreno	221.000
Servicios auxiliares	590.000
<b>CTDP</b>	<b>4.658.000</b>
<b>Costo Total Indirecto de la Planta (CTIP)</b>	
Ingeniería	699.000
Construcción	1.165.000
<b>CTIP</b>	<b>1.864.000</b>
<b>Costo Total de la Planta (CTP)</b>	
<b>CTP = CTDP + CTIP</b>	<b>6.522.000</b>
<b>Pagos al Contratista + Contingencia (PCC)</b>	
Pagos al contratista	326.000
Contingencia	652.000
<b>Total PCC</b>	<b>978.000</b>
<b>Capital Fijo Directo (CFD)</b>	
<b>CFD = CTP + PCC</b>	<b>7.500.000</b>

Según la Tabla 9, el Costo Total Directo de la Planta alcanzó un valor de USD \$ 4.658.000, el Costo Total Indirecto de la Planta tuvo un valor de USD \$ 1.864.000, para totalizar un Costo Total de la Planta de USD \$ 6.522.000. Se disponen de USD \$ 326.000 en Pagos al Contratista y USD \$ 652.000 en gastos por Contingencia, para llegar finalmente a un Capital Fijo Directo (CFD) de USD \$ 7.500.000. En este caso el CFD se define como el costo total del proceso listo para la arrancada de la planta, el cual no se recupera al final del tiempo de vida del proyecto Towler & Sinnott. (2013).

### *Costos de operación*

La Figura 3 exhibe un desglose de las diferentes partidas involucradas en el costo de operación anual de la planta.

**Figura 3.** Desglose del costo de operación anual.



De acuerdo con los resultados mostrados en la Figura 3, la partida que más influye en los costos de producción es la de Materias Primas, con 44,94 % del total (USD \$ 1.047.000/año), seguido de la depreciación con 34,55 % (USD \$ 805.000/año) y la Mano de Obra (Salario) con 7,12 % (USD \$ 166.000/año).

### *Costo de materias primas y materiales*

La Tabla 11 muestra un desglose del consumo y costo por año de las diferentes materias primas manejadas en el proceso productivo, incluyendo las bolsas de envase.

**Tabla 11.** Costo y consumo anual de las materias primas.

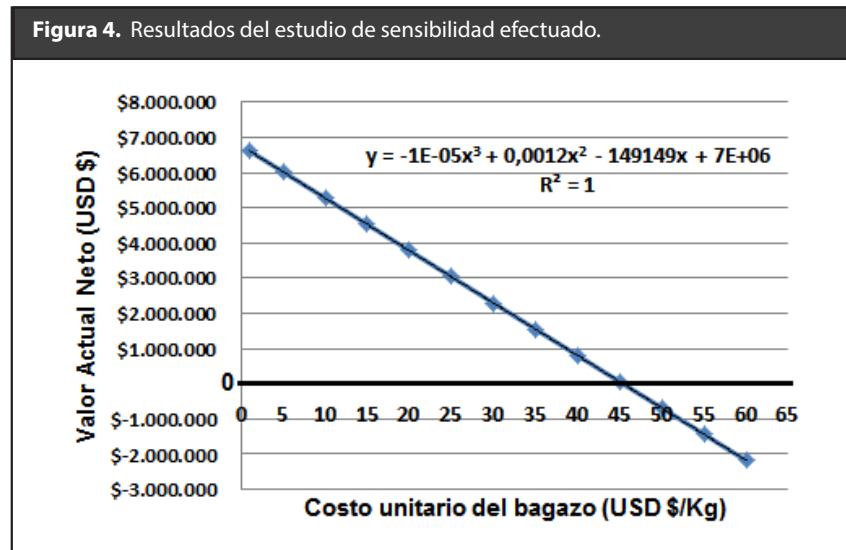
Partida	Consumo anual	Unidad	Costo anual [USD \$]	%
Aire	479.483	kg	0	0,00
Bagazo	31 200	kg	9.360	0,90
Biotina	436	g	19.487	1,87
Carbonato de calcio	349	kg	87.037	8,35
Ácido sulfúrico (1% m/m)	312.000	kg	156.415	15,00
Ácido clorhídrico (1 M)	326	L	10.499	1,01
Di-hidrógeno fosfato de potasio	218	kg	34.329	3,29
Sulfato de magnesio heptahidratado	545	kg	48.920	4,69
Hidróxido de sodio (1 M)	21.513	kg	101.126	9,70
Hidróxido de amonio (26 % m/m)	6.809	L	443.974	42,57
Hidróxido de sodio	1.047	kg	128.109	12,29
Sulfato de manganeso hidratado	22	kg	2.464	0,24
Agua	5.081	m <sup>3</sup>	508	0,05
Bolsas	40.483	Ud	405	0,04
<b>Total</b>			<b>1.042.633</b>	<b>100,00</b>

Considerando los resultados mostrados en la Tabla 11, la materia prima que más costo y consumo presenta es el Hidróxido de Amonio (26 % m/m) con 42,58 % del total, seguido del Ácido Sulfúrico (1 % m/m) con 15,00 % y el Hidróxido de Sodio con 12,29 %.

En un trabajo previo Mustafa, et al. (2020) se efectuó la simulación de una planta productora de GMS con una capacidad anual de 48 900 toneladas métricas, mediante el simulador SuperPro Designer®. En este estudio se empleó licor de glucosa e hidróxido de amonio como materias primas principales, y se obtuvieron los siguientes resultados: Inversión Total de Capital: USD \$ 76.235.000; Costo de Operación Anual: USD \$ 65.405.000; Ganancias Anuales: USD \$ 73.375.000; Margen Grueso: 10,95 %; Retorno de la Inversión: 16,58 %; Tasa Interna de Retorno (después de impuestos): 12,67 %; Valor Actual Neto: USD \$ 102.233.000; y Periodo de Recuperación de la Inversión: 6,03 años, estableciendo los autores que el proceso de producción simulado es económicamente factible.

### Resultados del estudio de sensibilidad

La Figura 4 expone los resultados alcanzados con respecto al estudio de sensibilidad efectuado, el cual consistió en incrementar el costo unitario del bagazo (CUB) desde USD \$ 1,0/kg hasta USD \$ 60,0/kg, para verificar como influye este incremento en el indicador VAN y determinar a partir de qué valor del CUB se comienza a obtener un valor negativo del VAN y, con ello, comienza a ser no rentable la propuesta tecnológica.



Como bien se puede observar en la Figura 4, es de esperar que el incremento del CUB reduzca el valor del VAN, mientras que la propuesta tecnológica comienza a ser no rentable (esto es, se comienza a obtener un valor de VAN negativo), a partir de un valor de CUB de USD \$ 45,4/kg.

## Conclusiones

1. Mediante el empleo del simulador SuperPro Designer® fue posible simular de forma correcta y satisfactoria el proceso de producción de GMS por la ruta fermentativa a partir de bagazo de caña de azúcar, permitiendo así conocer los principales indicadores técnico-económicos de la propuesta tecnológica.
2. Será necesaria a una inversión de alrededor de USD \$ 8,75 millones para construir la planta de producción de GMS a partir de bagazo de caña de azúcar en Cuba, con un Capital Fijo Directo de USD \$ 7,50 millones.
3. La planta producirá alrededor de 39 kilogramos de cristales de GMS por lote, equivalente a la obtención de 389 bolsas de 100 g por lote. La planta tendrá una capacidad de producción anual de alrededor de 3,85 toneladas de GMS.
4. La partida que más influye en los costos de producción es la de Materias Primas, con 44,94 % del total, seguido de la Depreciación con 34,55 % y la Mano de Obra (Salario) con 7,12 %.
5. La materia prima que más influencia tiene en el costo por consumo de materiales es el Hidróxido de Amonio (26 % m/m) con 42,58 % del total, seguido del Ácido Sulfúrico (1 % m/m) con 15,00 % y el Hidróxido de Sodio con 12,29 %.
6. Se obtendrán Ganancias Netas anuales de USD \$ 2.004.000, con un Margen Bruto de 44,91 % y un Retorno de la Inversión de 22,90 %.
7. Se obtuvieron valores de los indicadores VAN, TIR y PRI de USD \$ 6.723.000, 25,23 % y 4,37 años respectivamente, lo cual califica la propuesta tecnológica de rentable y factible desde el punto de vista económico bajo las condiciones actuales de Cuba.
8. El incremento del CUB disminuye el VAN, y la propuesta tecnológica comienza a ser no rentable (esto es, se comienza a obtener un valor de VAN negativo) a partir de un valor del CUB de USD \$ 45,4/kg.

## Referencias

- Accardi, D. S.; Russo, P.; Lauri, R.; Pietrangeli, B.; Palma, L. D. (2015). From Soil Remediation to Biofuel: Process Simulation of Bioethanol Production from *Arundo donax*. *Chemical Engineering Transactions*, 43, pp. 2167-2172. <https://doi.org/10.3303/CET1543362>.
- Adsul, M. G.; Varma, A. J.; Gokhale, D. V. (2007). Lactic acid production from waste sugarcane bagasse derived cellulose. *Green Chemistry*, 9(1), pp. 58-62. doi: <https://doi.org/10.1039/b605839f>.
- Aguiar, A. C. d.; Osorio-Tobón, J. F.; Silva, L. P. S.; Barbero, G. F.; Martínez, J. (2018). Economic analysis of oleoresin production from malagueta peppers (*Capsicum frutescens*) by supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 133, pp. 86-93. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.031>.
- Alharbi, N. S.; Kadaikunnan, S.; Khaled, J. M.; Almanaa, T. N.; Innasimuthu, G. M.; Rajoo, B.; Alanzi, K. F.; Rajaram, S. K. (2020). Optimization of glutamic acid production by *Corynebacterium glutamicum* using response surface methodology. *Journal of King Saud University - Science*, 32, pp. 1403-1408. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2019.11.034>.
- Amores, I.; Ballesteros, I.; Manzanares, P.; Sáez, F.; Michelena, G.; Ballesteros, M. (2013). Ethanol Production from Sugarcane Bagasse Pretreated by Steam Explosion. *Electronic*



- Journal of Energy & Environment, 1(1), pp. 25-36. <https://doi.org/10.7770/ejee-V1N1-art486>.
- Auli, N. A.; Sakinah, M.; Bakri, A. M. M. A.; Kamarudin, H.; Norazian, M. N. (2013). Simulation Of Xylitol Production: A Review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(5), pp. 366-372.
- Chandler, C.; Villalobos, N.; González, E.; Arenas<sup>1</sup>, E.; Mármol, Z.; Ríos, J.; Mazzarri, C. A. (2012). Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables. *Multiciencias*, 12(3), pp. 245-253.
- Choi, S.-U.; Nihira, T.; Yoshida, T. (2004). Enhanced Glutamic Acid Production of *Brevibacterium* sp. with Temperature Shift-Up Cultivation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 98(3), pp. 211-213.
- Ditzel, F.; Pacheco, F. (2015). Diseño y evaluación técnico-económica de la producción de glutamato monosódico por fermentación. (Proyecto de Carrera), Chile, Pontificia Universidad Católica De Valparaíso Facultad De Ingeniería, 252 pp. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/467397681/UCD1766-01-1-pdf>.
- Gao, Y.; Xu, J.; Yuan, Z.; Zhang, Y.; Liang, C.; Liu, Y. (2014). Ethanol Production from High Solids Loading of Alkali-Pretreated Sugarcane Bagasse with an SSF Process. *BioResources*, 9(2), pp. 3466-3479. <https://doi.org/10.15376/biores.9.2.3466-3479>.
- Gil, I. D.; Guevara, J. R.; García, J. L.; Leguizamón, A.; Rodríguez, G. (2016). *Process Analysis and Simulation in Chemical Engineering*. USA, Springer, pp. 1-3. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/2620666/978c33>.
- Gomes, A. d. C.; Rodrigues, M. I.; Passos, D. d. F.; Castro, A. M. d.; Anna, L. M. M. S.; Pereira, N. (2019). Acetone–butanol–ethanol fermentation from sugarcane bagasse hydrolysates: Utilization of C5 and C6 sugars. *Electronic Journal of Biotechnology*, 42, pp. 16-22. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2019.10.004>.
- Guilherme, A. d. A.; Dantas, P. V. F.; Padilha, C. E. d. A.; Santos, E. S. d.; Macedo, G. R. d. (2019). Ethanol production from sugarcane bagasse: Use of different fermentation strategies to enhance an environmental-friendly process. *Journal of Environmental Management*, 234, pp. 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.102>.
- Hag, I.-U.; Javed, M. M.; Khan, T. S. (2006). Sugar cane bagasse pretreatment: An attempt to enhance the production potential of cellulases by *Humicola insolens* TAS-13. *BIOKEMIS-TRI*, 18(2), pp. 83-88.
- Harrison, R. G.; Todd, P. W.; Rudge, S. R.; Petrides, D. P. (2015). *Bioseparations Science and Engineering* (2nd ed.). USA, Oxford University Press, pp. 577-578. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/2488909/fd1544>.
- Heinzle, E.; Biver, A. P.; Cooney, C. L. (2006). *Development of Sustainable Bioprocesses Modeling and Assessment*. United Kingdom, John Wiley & Sons Inc., pp. 81-117. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/1082325/ac15ab>.
- Humphreys, K. K. (2005). *Project and Cost Engineers' Handbook* (4th ed.). USA, Marcel Dekker, pp. 338. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/1127974/89cc50>.
- ICIDCA. (2000). *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar* (3ra ed.). Ciudad de la Habana, Cuba, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, pp. 31-34.
- Jenkins, S. (2020). Economic Indicators. *Chemical Engineering*, 127(12), pp. 104.
- Jonglertjunya, W.; Makkhanon, W.; Siwanta, T.; Prayoonyong, P. (2014). Dilute Acid Hydrolysis of Sugarcane Bagasse for Butanol Fermentation. *Chiang Mai J. Sci.*, 41(1), pp. 60-70.
- Koók, L.; Szabó, Á.; Bakonyi, P.; Tóth, G.; Bélafi-Bakó, K.; Nemestóthy, N. (2014). Process simulation of integrated biohydrogen production: hydrogen recovery by membrane separation. *Journal of Agricultural Informatics*, 5(2), pp. 45-54.
- Kumar, R. S.; Moorthy, I. M. G.; Baskar, R. (2013). Modeling and Optimization of Glutamic Acid Production Using Mixed Culture of *Corynebacterium glutamicum* NCIM2168 and *Pseudomonas reptilivora* NCIM2598. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 43, pp. 668-681. <https://doi.org/10.1080/10826068.2013.772064>.

- Lam, K. F.; Leung, C. C. J.; Lei, H. M.; Lin, C. S. K. (2014). Economic feasibility of a pilot-scale fermentative succinic acid production from bakery wastes. *Food and Bioproducts Processing*, 92, pp. 282-290. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.001>.
- Laopaiboon, P.; Thani, A.; Leelavatcharamas, V.; Laopaiboon, L. (2010). Acid hydrolysis of sugarcane bagasse for lactic acid production. *Bioresource Technol*, 101, pp. 1036-1043. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.091>.
- Matche. (2014). Chemical Equipment Cost. Disponible en <http://www.matche.com>.
- Méndez, J.; Passos, D. d. F.; Wischral, D.; Modesto, L. F.; Pereira, N. (2019). Second-generation ethanol production by separate hydrolysis and fermentation from sugarcane bagasse with cellulose hydrolysis using a customized enzyme cocktail. *Biofuels*, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1608034>.
- Michailos, S.; Parker, D.; Webb, C. (2016). A multicriteria comparison of utilizing sugar cane bagasse for methanol to gasoline and butanol production. *Biomass and Bioenergy*, 95, pp. 436-448. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.06.019>.
- MOLYCHEM. (2019). Price List 2019-2021, India, Molychem, 160 p.
- Mthembu, L. D. (2015). Production of Levulinic Acid from Sugarcane Bagasse. (Master in Applied Sciences), South Africa, Durban University of Technology, Faculty of Applied Sciences, 135 pp. Disponible en: <https://openscholar.dut.ac.za/handle/10321/1713>.
- Mustafa, A.; Misailidis, N.; Petrides, D. (2020). Production of Monosodium Glutamate (MSG) Modeling and Evaluation with SuperPro Designer®. USA, Intelligen Inc., 15 p.
- Nampoothiri, K. M.; Pandey, A. (1999). Fermentation and recovery of l-glutamic acid from cassava starch hydrolysate by ion-exchange resin column. *Revista de Microbiología*, 30, pp. 258-264.
- ONEI. (2020). Anuario Estadístico de Cuba 2019. Capítulo 10: Minería y Energía, Cuba, Oficina Nacional de Estadística e Información, 19 p.
- Oxford. (2020). Price List 2020-2021. India, Oxford Lab Fine Chem LLP, 136 p.
- Pal, P.; Kumar, R.; Vikrama Chakravarthi, D.; Chakraborty, S. (2016). Modeling and simulation of continuous production of L (+) glutamic acid in a membrane-integrated bioreactor. *Biochemical Engineering Journal*, 106, pp. 68-86. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.11.008>.
- Parsons, C.; Banqueth, E. R. (2004). Diseño de una planta piloto para la producción de etanol a partir de bagazo de la caña de azúcar. (Trabajo de grado en Ingeniería química), Colombia, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, 103 pp. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2004/114451.pdf>.
- Patil, P. M.; Gupta, N.; Gaudani, H.; Gupta, M.; Gupta, G.; Krishna, V.; Trivedi, S.; Londhe, M. (2009). Production of Glutamic acid using whole and immobilised cells of *Corynebacterium glutamicum*. *International Journal of Microbiology Research*, 1(1), pp. 8-13.
- Peters, M. S.; Timmerhaus, K. D.; West, R. E. (2003). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (5th ed.). USA, McGraw-Hill, pp. 529-873.
- Petrides, D. (2020). Corn Stover to Ethanol Conversion (Cellulosic Bio-Ethanol) - Process Modeling and Techno-Economic Assessment (TEA) using SuperPro Designer, USA, Intelligen, Inc., 12 p.
- Pol, E. C. v. d.; Eggink, G.; Weusthuis, R. A. (2016). Production of l(+)-lactic acid from acid pretreated sugarcane bagasse using *Bacillus coagulans* DSM2314 in a simultaneous saccharification and fermentation strategy. *Biotechnology for Biofuels*, 9(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0646-3>.
- Reddy, K. (2016). Evaluation of biohydrogen production potential of sugarcane bagasse using activated sludge in a dark fermentation process. (Master in Applied Science: Biotechnology), South Africa, The Durban University of Technology, Faculty of Applied Sciences, 129 pp. Disponible en: <https://openscholar.dut.ac.za/handle/10321/1753>.
- Rodríguez, L. E. G.; Sánchez, A. P.; Zayas, L. M. Z. (2019). Rentabilidad económica y análisis de sensibilidad de una planta de producción de ácido cítrico a partir de bagazo de caña de azúcar. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 21(31), pp. 80-88.

- Salomão, G. S. B.; Agnezi, J. C.; Paulino, L. B.; Hencker, L. B.; Lira, T. S. d.; Tardioli, P. W.; Pinotti, L. M. (2019). Production of cellulases by solid state fermentation using natural and pretreated sugarcane bagasse with different fungi. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 17, pp. 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.10.019>.
- Samadi, S.; Mohammadi, M.; Najafpour, G. D. (2016). Production of Single Cell Protein from Sugarcane Bagasse by *Saccharomyces cerevisiae* in Tray Bioreactor. *International Journal of Engineering*, 29(8), pp. 1029-1036.
- Sayar, N. A.; Pinar, O.; Kazan, D.; Sayar, A. A. (2019). Bioethanol Production From Turkish Hazelnut Husk Process Design and Economic Evaluation. *Waste Biomass Valor*, 10, pp. 909-923. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0103-y>.
- Shyamkumar, R.; Moorthy, I. M. G.; Ponmurugan, K.; Baskar, R. (2014). Production of L-glutamic Acid with *Corynebacterium glutamicum* (NCIM 2168) and *Pseudomonas reptilivora* (NCIM 2598): A Study on Immobilization and Reusability. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology*, 6(3), pp. 163-168.
- Sigma-Aldrich. (2020). Reagents Cost Catalog. Disponible en <https://www.sigmaaldrich.com/catalog/>
- Silva, M. C. (1975). Proyecto de una planta productora de glutamato de sodio. (Trabajo de Diploma en Ingeniería Química Industrial), México, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, 60 pp. Diponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/16829/1/25-1-3843.pdf>.
- Silla, H. (2003). *Chemical Process Engineering Design and Economics*. USA, Marcel Dekker, pp. 483. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/600539/f8ef6e>.
- Sinnott, R. K. (2005). *Chemical Engineering Design* (4th ed. Vol. 6), United Kingdom, Elsevier Butterworth-Heinemann, pp. 1055. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/600898/84860e>.
- SRL. (2019). Catalogue 2019-20, India: Sisco Research Laboratories PVT. LTD., 273 p.
- Tavakkoli, M.; Hamidi-Esfahani, Z.; Azizi, M. H. (2012). Optimization of *Corynebacterium glutamicum* Glutamic Acid Production by Response Surface Methodology. *Food Bioprocess Technol*, 5, pp. 92-99. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0242-7>.
- Thuy, L. N.; Salanta, L. C.; Tofana, M.; Socaci, S. A.; Fărcaș, A. C.; Pop, C. R. (2020). A Mini Review About Monosodium Glutamate. *Bulletin UASVM Food Science and Technology*, 77(1), pp. 1-12. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-fst:2019.0029>
- Towler, G.; Sinnott, R. (2013). *Chemical Engineering Design. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design* (2nd ed.), United Kingdom, Butterworth-Heinemann, pp. 1269. Disponible en: <https://b-ok.lat/book/2353533/87956e>.
- Vučurović, D. G.; Dodić, S. N.; Popov, S. D.; Dodić, J. M.; Grahovac, J. A. (2012). Process model and economic analysis of ethanol production from sugar beet raw juice as part of the cleaner production concept. *Bioresource Technology*, 104, pp. 367-372. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.085>.
- Wanderley, M. C. d. A.; Martín, C.; Rocha, G. J. d. M.; Gouveia, E. R. (2013). Increase in ethanol production from sugarcane bagasse based on combined pretreatments and fed-batch enzymatic hydrolysis. *Bioresource Technology*, 128, pp. 448-453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.131>.
- Wijayasekara, K.; Wansapala, J. (2017). Uses, effects and properties of monosodium glutamate (MSG) on food & nutrition. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2(3), pp. 132-143.
- Wong, Y. C.; Sanggari, V. (2014). Bioethanol Production from Sugarcane Bagasse using Fermentation Process. *Oriental Journal of Chemistry*, 30(2), pp. 507-513. <http://doi.org/10.13005/ojc/300214>.
- Yadegary, M.; Hamidi, A.; Alavi, S. A.; Khodaverdi, E.; Yahaghi, H.; Sattari, S.; Bagherpour, G.; Yahaghi, E. (2013). Citric Acid Production From Sugarcane Bagasse through Solid State Fermentation Method Using *Aspergillus niger* Mold and Optimization of Citric Acid Production by Taguchi Method. *Jundishapur J Microbiol.*, 6(9), pp. 1-6. <https://doi.org/10.5812/jjm.7625>.

Zareian, M.; Ebrahimpour, A.; Mohamed, A. K. S.; Saari, N. (2013). Modeling of glutamic acid production by *Lactobacillus plantarum* MNZ. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(4), pp. 1-16. <https://doi.org/10.2225/vol16-issue4-fulltext-10>.