

# PROTOTIPO DE DISEÑO SUSTENTABLE PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES BAJO EL ESQUEMA DE BIORREFINERÍAS

Serrano Cabarcas Gianmarco (1), Serafín Muñoz Alma Hortensia (2), Rentería Peláez Jorge Luis(3), González Cervantes Magdalena Yurixhi (4)

1 [Ingeniero en Energía, Universidad Autónoma de Bucaramanga] | [gserrano47@unab.edu.co]

2 [Dpto. de Ingeniería Ambiental, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [sermuah@ugto.mx]

3 [Estudiante Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Medellín ITM] | [jorgerenteria137111@correo.tim.edu.com]

4 [Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato] | [my.gonzalezcervantes@ugto.mx]

## Resumen

El aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica a partir de residuos de origen agrícola, ha despertado un interés a nivel mundial, debido a la amplia gama de productos que se pueden obtener de estos. En el presente trabajo se realizó la generación de un esquema sustentable para la producción de biocombustibles líquidos a partir de biomasa lignocelulósica. Basado en la reproducibilidad del proceso actual se generaron dos propuestas de mejora en el esquema vigente, donde se desarrollaron dos prototipos digitales: uno para el pretratamiento, donde se encontró que este proceso contribuye con más del 30% en el costo de producción de bioetanol; así mismo la integración de la sacarificación y la fermentación en un mismo reactor, buscando minimizar tanto costos, como número de equipos.

## Abstract

The use of lignocellulosic biomass from residues of agricultural origin, has aroused an interest worldwide, due to the wide range of products that can be obtained from these. In the present work the generation of a sustainable scheme for the production of liquid biofuels from lignocellulosic biomass was carried out. Based on the reproducibility of the current process, two proposals for improvement were generated in the current scheme, where two digital prototypes were developed: one for the pretreatment, where it was found that this process contributes more than 30% to the cost of bioethanol production; As well as the integration of saccharification and fermentation in the same reactor, seeking to minimize both costs and number of equipment.

### Palabras Clave

Biomasa lignocelulósica; deslignificación; hidrolisis ácida, sacarificación

## INTRODUCCIÓN

México produce anualmente cerca de 26.726.780 toneladas de residuo de origen agrícola, donde predominan aquellos provenientes de la siembra y cosecha del maíz [1]. Este tipo de material se conoce como biomasa lignocelulósica, la cual se encuentra conformada principalmente por tres tipos de polímeros estructurales: celulosa (30-50%), hemicelulosa (30-40%) y lignina (20-30%) [2]; en los cuales destaca en sus usos más representativos la producción de pasta de papel, material de construcción y el con mayor reconocimiento la generación de bioetanol.

El bioetanol proveniente de materias lignocelulósicas, también conocido como bioetanol de segunda generación, se forma a partir de la fermentación de azúcares y presenta varias ventajas en comparación con la gasolina, dentro de las cuales premia la combustión a menor temperatura, menor inflamabilidad, menor generación de emisiones GEI además de no producir residuos de carbón en el motor, aumentando la vida útil del automóvil, asimismo su fácil adaptabilidad a los vehículos actuales en pequeños porcentajes (2, 5, 10, 20%)[3].

Debido a la compleja estructura vegetal que presentan los materiales lignocelulósicos, se han creado diversos prototipos para la producción de bioetanol, creando un esquema básico, como se observa en la Imagen 1; en el cual se requiere de un pretratamiento efectivo que disocie el revestimiento que la lignina y la hemicelulosa forman alrededor de la celulosa, para así poder alcanzar los azúcares fermentables en la etapa de hidrólisis.

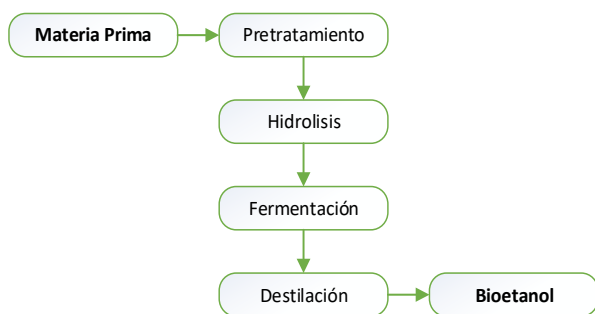


IMAGEN 1: Estructura básica para la producción de Bioetanol

Sin embargo, dentro de la producción de bioetanol, se obtienen diversos residuos en las diferentes etapas del proceso, de las cuales se puede lograr conseguir un valor agregado a estos remanentes. Esto va ligado al concepto de biorrefinería, la cual hace referencia a una instalación donde la biomasa es transformada en una variedad de productos, donde se incluyen combustible, energía, químicos, entre otros.

A lo largo de los años, se han propuesto esquemas que buscan reducir tiempo de producción, reducción de equipos, reactivos químicos, entre otros; incluso se han elaborado propuestas donde se integran todos los procesos anteriormente mencionados, en un único equipo, como el diseño elaborado por Alejandro Patrón y Alfonso Rodríguez [4].

El presente artículo busca generar un esquema que logre reducir el uso de materiales, tiempo y costo de producción del bioetanol, con el objetivo de ser replicable en zonas con alta generación de residuos de paja de maíz en México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología consistió en dos partes fundamentales: Etapa I, en la cual se buscó reproducir el proceso que se lleva actualmente en laboratorio, seguido de una Etapa II, que residió en la elaboración de propuestas de mejora al esquema actual.

### ETAPA I: Reproducibilidad del proceso

- Elección de la materia prima

Actualmente en el laboratorio se encuentra bajo estudio la paja de maíz proveniente del municipio de Abasolo, en el estado de Guanajuato, debido a su bajo costo, la disponibilidad del material, uniformidad de esta y los bajos niveles de metales pesados en su estructura. Para el presente trabajo se utilizaron 83.1 g de paja de maíz, con una longitud promedio de 7.25 cm y un porcentaje de humedad de 5.36%, tal como se puede observar en la Tabla 1.

**TABLA 1: Composición de la paja de Abasolo**

Paja Abasolo	
Peso (g)	83,1
Longitud promedio (cm)	7,25
% Masa seca	94,64%
% Masa húmeda	5,36%

Para la experimentación se cortó, lavo, seco y pulverizaron el total de la paja, de los cuales se solo se tomaron 10 g realizar la reproducibilidad del proceso.

- *Pretratamiento*

Este proceso busca remover la lignina de la materia prima, con la finalidad de aumentar la superficie de contacto en el hidrolisis y obtener mayor cantidad de azúcares. Dentro de la experimentación se utilizó el método de deslignificación alcalina oxidativa, preparando una solución de  $H_2O_2$  al 2% y de NaOH al 50%.

- *Hidrolisis*

El proceso de hidrolisis, también conocido como sacarificación, consiste en una reacción que disocia el agua en  $H^+$  y  $OH^-$  con los iones provenientes de ácidos o bases, para la producción de azúcares [5]. En el laboratorio se estableció el uso de  $H_2SO_4$  al 1,5% por 24 horas en baño seco a 50 °C, utilizando el residuo sólido resultante del pretratamiento.

Debido al tiempo de producción, el proceso de fermentación y destilación no fue posible reproducirse. El procedimiento realizado se logró esquematizar en la Imagen 2, mostrando en recuadros cada parte del proceso.

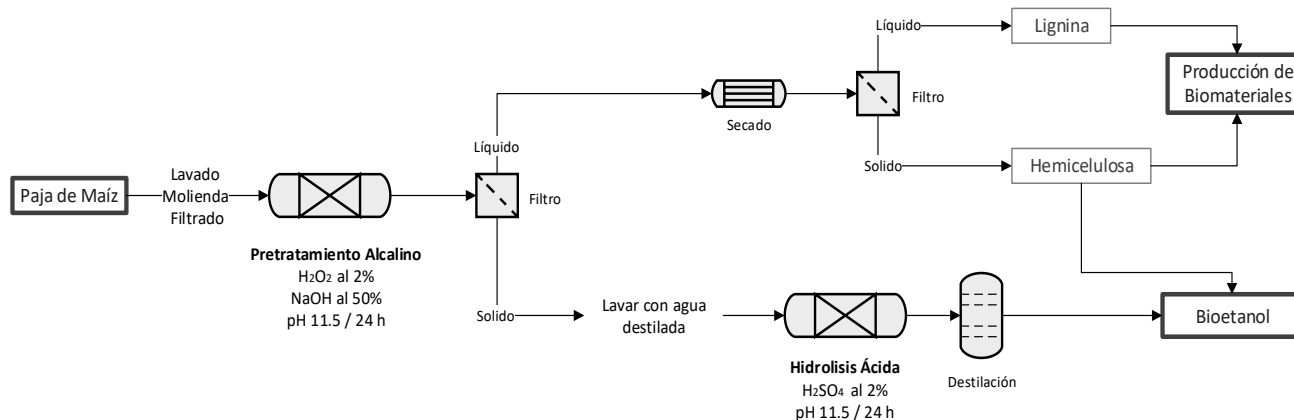
## ETAPA II: Optimización del proceso actual

El proceso actual puede ser optimizado en dos partes fundamentales: cambio en el pretratamiento y combinación del hidrolisis y la fermentación en un solo reactor. A continuación, se mencionará como pueden estas mejorar el esquema existente.

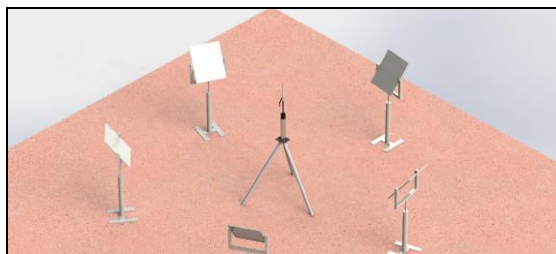
- *Pretratamiento*

El tratamiento químico actual mantiene dos desventajas importantes, ya que se requiere de largos tiempos para la deslignificación y dentro de este se pueden formar sales irrecuperables que se incorporan a la biomasa [6]. Debido a esto se propone realizar el proceso de deslignificar la paja mediante un proceso físico químico, utilizando vapor de agua para lograr romper la estructura y obtener mayor facilidad de acceso a los azúcares en la hidrolisis.

En la Imagen 3 se muestra el desarrollo de un prototipo que realiza pretratamiento hidrotérmico a la paja, el cual consiste en aprovechar la energía solar para realizar la vaporización de agua, mediante concentradores solares enfocados a un tubo con agua, produciendo vapor.



**IMAGEN 2: Esquema actual utilizado en laboratorio**

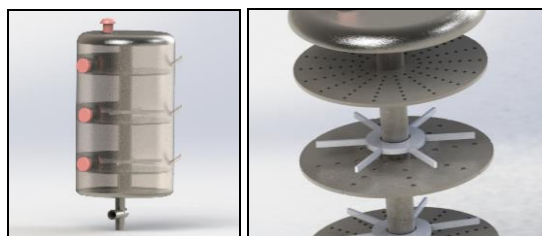


**IMAGEN 3: Prototipo de pretratamiento hidrotérmico propuesto**

El vapor a su vez logra destruir el revestimiento de lignina en la paja de maíz, logrando que la lignina se solubilice parcialmente y sirviendo con catalizador para la hidrólisis de la hemicelulosa.

- **Hidrólisis y Fermentación simultánea (SFS)**

El proceso funciona dentro de un mismo reactor, donde una enzima y un microorganismo son agregadas simultáneamente a la biomasa. Durante el proceso la glucosa liberada por la enzima durante la hidrólisis es directamente metabolizada a etanol por el microorganismo. En la Imagen 4 se observa el diseño de un prototipo que realiza la hidrólisis y la fermentación de forma simultánea.



**IMAGEN 4: Prototipo de reactor para sacarificación y fermentación simultánea propuesto**

El diseño del prototipo consiste en un reactor cilíndrico vertical semi continuo con dos agitadores de 6 aspas y flujo radial, en acero inoxidable 316L. Para poder desarrollar el proceso simultaneo, el biorreactor debe garantizar un espacio anaeróbico, la homogeneidad de la biomasa ingresada,

resistente a soluciones acidas, de fácil manufactura, montaje y desmontaje.

La integración de estos dos procesos en un mismo recipiente se presenta como un método viable y eficiente para la producción de bioetanol lignocelulósica ya que puede ser usado con gran variedad de materias primas y diferentes tecnologías de pretratamiento. El diseño del prototipo de hidrotratamiento y de SFS se realizó en SolidWorks® 2016, así mismo se desarrolló el esquema con la optimización de los procesos propuestos, como se observa en la Imagen 5.

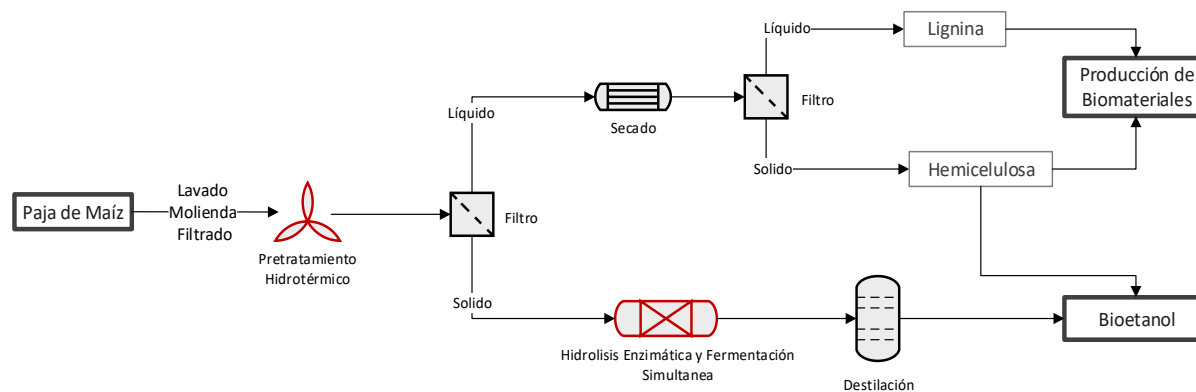
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cada proceso es fundamental para la producción del bioetanol, según estudios recientes el pretratamiento de la biomasa, así como las enzimas son los de mayor contribución en el costo de producción del biocombustible, tal como lo muestra la Tabla 2, donde se pronostica un costo total de elaboración del etanol cercano a 0.23 US/l [2].

**TABLA 2: Costo de las etapas de producción de bioetanol**

Proceso	Costo (US/L)	Porcentaje
Pretratamiento	0,07	30%
Enzimas	0,03	13%
Sacarificación-Fermentación	0,03	13%
Destilación	0,04	18%
Balance de planta	0,06	26%
<b>TOTAL</b>	<b>0,23</b>	<b>100%</b>

La hidrólisis actual contiene varias desventajas, además del punto de vista económico, ya que a pesar que el rendimiento de la hidrólisis acida sea superior al 90% en obtención de azúcares fermentables; esta requiere de volúmenes considerables de agua y ácido, teniendo directamente problemas ambientales asociados a la disposición final de los ácidos, y la necesidad de neutralizar tanto corrientes internas como externas.



**IMAGEN 5: Esquema de producción de bioetanol propuesto**

Teóricamente la integración de la hidrolisis y la fermentación dentro de un mismo proceso logra reducir en principio el número de equipos, un menor consumo energético, menor requerimiento de enzimas en la sacarificación, evita el crecimiento de bacterias y la inhibición de las enzimas, fermentación de hexosas y pentosas en el mismo reactor y mayor eficiencia en la hidrolisis [7]. Sin embargo, la limitación más importante se encuentra en las condiciones óptimas de pH y temperatura, ya que el pH óptimo para la hidrolisis se encuentra alrededor de 4.8 y para la fermentación de 5, así mismo las temperaturas óptimas son 50°C y 37°C respectivamente, por lo que se deben fijar condiciones de compromiso entre ambas.

## CONCLUSIONES

La reproducibilidad del proceso actual se llevó a cabo en los procesos más representativos: deslignificación alcalina y la hidrolisis ácida, debido a las fuertes implicaciones como es el rompimiento del revestimiento de la lignina y la liberación de glucosa para ser transformada en etanol.

Se logró realizar el desarrollo de prototipos computarizados, tanto para el pretratamiento hidrotérmico, como para la sacarificación y fermentación simultánea, siendo desarrollados bajo criterios conceptuales y teóricos de los mismos. Se recomienda para un trabajo futuro realizar la simulación de estos equipos de manera teórica y experimental, con el fin de determinar la posibilidad técnica y económica de los prototipos propuestos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Alma Serafín, quien con gran cariño apoyo desde un principio esta estancia de verano y se apropió de sus estudiantes, como si fuesen sus hijos.

## REFERENCIAS

- [1] UNAM, "Manejo de RSA en Mexico", *Pltomeo*, vol. 41, 2012.
- [2] a Sobre, *Redalyc. Obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica*, vol. 46, núm. OCTOBER 2012. 2012.
- [3] J. Luis y A. Fernández, "Biocombustibles derivados del maíz Abstract ", pp. 30–37, 2012.
- [4] A. Jose Patron Noches Alfonso Andres Rodriguez Bermejo, I. Henry Santamaria Coasesora Disciplinar, y D. Diana Ossa, "Diseño De Un Bioreactor Para La Producción De Bioetanol a Partir De Desechos Orgánicos a Escala De Laboratorio Autores", 2014.
- [5] J. Flores, "Una interpretación aproximativa del concepto de Hidrólisis en estructuras peptídicas en un Curso de Bioquímica del IPC en el contexto de la Teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud An approximate interpretation of Hydrolysis concept applied to peptid", pp. 135–159.
- [6] D. En y C. Qu, "Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos", 2015.
- [7] M. Isabel, M. Rodríguez, J. Andrés, y Q. Suárez, "Maíz como materia prima en una planta productora de alcohol etílico.", p. 144, 2005.