

# Producción de etanol celulósico a partir de las tusas de palma: perspectiva de Ecopetrol\*

## Production of Cellulosic Ethanol from Palm Empty Fruit Bunches: the Perspective of Ecopetrol

**CITACIÓN:** Castillo, E. (2016). Producción de etanol celulósico a partir de las tusas de palma: perspectiva de Ecopetrol. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 115-118.

**PALABRAS CLAVE:** etanol celulósico, tusa, Ecopetrol, biomasa.

**KEYWORDS:** Cellulosic ethanol, cob, Ecopetrol, biomass.

\*Artículo original recibido en español.



**EDGAR CASTILLO**

Investigador, Instituto Colombiano del  
Petróleo, ICP-Ecopetrol  
National Renewable Energy Lab-DOE  
edgar.castillo@ecopetrol.com.co

## Resumen

El raquis de palma se considera un residuo lignocelulósico con alto potencial para la producción de etanol de segunda generación, por su alto contenido de celulosa y hemicelulosa. Una eficiente conversión de biomasa lignocelulósica en azúcares monoméricos requiere adecuación de la materia prima mediante procesos como la reducción de tamaño, acondicionamiento de la fibra e hidrólisis enzimática. Este trabajo presenta los resultados de pruebas piloto realizadas a escala de 9.000 L a partir de raquis de palma colombiano. Las pruebas incluyeron la etapa de preparación de la materia prima (disminución de tamaño de partícula, impregnación y deacetilación), pretratamiento ácido, hidrólisis enzimática, fermentación y destilación. Las corridas pilotos alcanzaron un rendimiento de etanol global del proceso con raquis de palma de 70-75 gal/t. La caracterización y rendimientos de cada etapa se emplearon para la elaboración de Modelos de Evaluación Técnico-Económico (TEAM, por sus siglas en inglés) a través del *software* ASPEN. Los resultados del TEAM determinaron que para obtener una viabilidad económica se deben considerar como factores clave el tamaño de planta, la conversión de la celulosa a glucosa en la hidrólisis enzimática y el precio de la biomasa.

## Abstract

The empty fruit bunch (EFB) is considered a lignocellulosic residue with high potential for the production of second-generation ethanol, due to its high content of cellulose and the hemicellulose. Efficient conversion of lignocellulosic biomass into monomeric sugars requires adjustment of the raw material and size reduction, fiber conditioning and enzymatic hydrolysis. This paper presents the results of 9,000 L pilot-scale tests developed with colombian EFB. Tests included the preparation stage of the raw material (particle size decrease, impregnation and deacetylation), acid pretreatment, enzymatic hydrolysis, fermentation and distillation. The test-pilot obtained a process overall performance of 70-75 gal of ethanol/t of EFB. The characterization and performance of each stage were used in the preparation Techno-Economic Assessment Models (TEAM) using the ASPEN software. TEAM results determined for economic viability should be considered as key factors: the plant size, the conversion of cellulose to glucose in the enzymatic hydrolysis and the biomass price.

La Empresa Colombiana de Petróleos, Ecopetrol, a través de su centro de investigación, el Instituto Colombiano del Petróleo, ICP, adelanta desde el 2010 un programa de investigación aplicada que hace referencia a la producción de biocombustibles avanzados (o de segunda generación) a partir de materiales disponibles en el entorno colombiano. Es así como una de las líneas principales de investigación se enfoca en la producción de etanol carburante (con una calidad de 99,5 % v/v) a partir de biomasa residual, la cual en principio no compete con la producción de alimentos. Específicamente, la citada investigación ha permitido efectuar un inventario de la biomasa disponible por diversos sectores agroindustriales del país, destacándose como uno de los principales productores al sector palmero. De manera paralela otros sectores son

también aportantes potenciales de biomasa residual, como es el caso del sector azucarero colombiano.

La principal pregunta de investigación en este caso se resume así: ¿cuál es la combinación tecnológica y el tipo de biomasa lignocelulósica colombiana que favorecen la producción de etanol y cuál es su factibilidad económica para su incorporación en Ecopetrol?

Para responder dicho cuestionamiento se traza una estrategia que se resume en: realizar la evaluación de tecnologías de producción de etanol con tres biomazas lignocelulósicas (bagazo de caña, raquis de plátano y raquis de palma) desde la escala de laboratorio hasta la escala de planta piloto, a través de socios nacionales e internacionales. La Figura 1 ilustra la línea de tiempo del proyecto de investiga-

**Figura 1.** Línea de tiempo del proyecto de investigación sobre etanol lignocelulósico ECP-ICP.

### 1 ANTECEDENTES Proyecto de producción etanol lignocelulósico

#### Pregunta de Investigación-Fasell

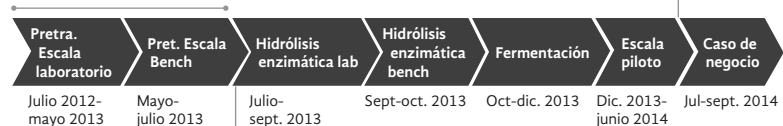
¿Cuál es la combinación tecnológica y el tipo de biomasa lignocelulósica colombiana que favorece la producción de etanol y cuál es su factibilidad económica para incorporación en Ecopetrol?

#### Estrategia General

Evaluación de tecnologías de producción de etanol con tres biomazas lignocelulósicas (bagazo de caña, raquis de plátano y palma) en escala laboratorio hasta planta piloto a través de socios nacionales e internacionales.

Desarrollo Experimental Unalmed  
Raquis plátano y palma-Lab

Informe de pruebas a escala piloto



Programa experimental en instalaciones del Departamento de Energía USA-National Renewable Energy Laboratory

Pruebas de pretratamiento escala Bench

Sanción de paso-caso de negocio, Sept.

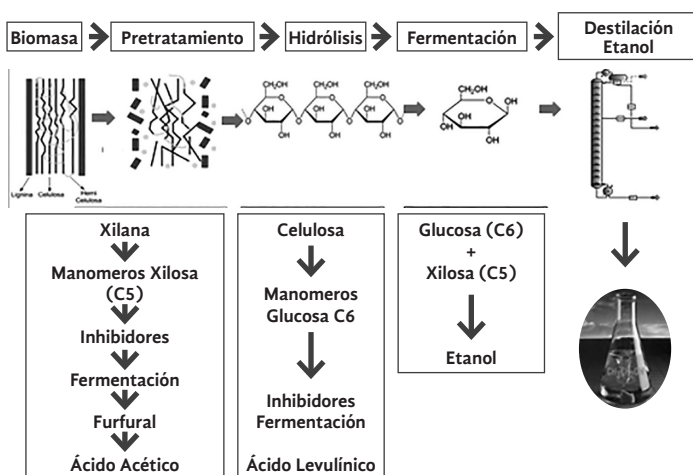
ción, señalando el papel que han desempeñado diferentes socios nacionales e internacionales de primer nivel. En principio se efectuaron numerosos ensayos a nivel de laboratorio en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, con el objeto de encontrar las mejores condiciones operacionales para los procesos de pretratamiento e hidrólisis de las biomásas seleccionadas. Posteriormente a la culminación de esta primera fase, se adelantó un proceso de escalado de la experimentación utilizando las instalaciones del National Renewable Energy Laboratory, NREL en Estados Unidos, agencia que depende directamente del Departamento de Energía de Estados Unidos, DOE. Es importante señalar que la escala seleccionada para la etapa de fermentación (que determina igualmente las etapas precedentes de pretratamiento e hidrólisis) es de

9.000 litros, siendo por el momento, la escala más grande utilizada para la obtención de alcohol grado carburante utilizando biomásas colombianas.

Las etapas del proceso de transformación de las mezclas de biomasa residual (básicamente bagazo de caña y raquis de palma africana), se pueden resumir en: adecuación del tamaño de partícula, pretratamiento, hidrólisis, fermentación y destilación. La Figura 2 muestra esta secuencia de operaciones, junto con las principales transformaciones químicas y biológicas que ocurren en cada una de ellas.

El perfil típico de fermentación de los azúcares simples obtenidos a partir de la mezcla de raquis de palma/bagazo de caña (50/50), permite identificar las diferentes velocidades de reacción asociadas con los azúcares de 6 y 5 carbonos (Figura 3).

### 1 Antecedentes. Proceso de Producción de Etanol Lignocelulósico



**Figura 2.** Metodología para el proceso de escalado.

### 2 Metodología de escalado

LABORATORIO	BANCO	PILOTO
<b>3 Materia prima</b>	<b>2 Materia prima</b>	<b>2 Materia prima</b>
Bagazo, Raquis de palma, Raquis de plátano	Bagazo de naña Raquis de palma Mezclas (raquis+bagazo)	Bagazo de caña Mezclas
<b>4 Tipos de pretratamiento: 100 g</b>	<b>2. Tipos de pretratamiento: 500 g</b>	<b>2 Tipos de pretratamiento: 1 t/día</b>
1. Ácido diluido 2. Deacetilación/Ácido, 3. Exposición a vapor, 4. Agua caliente	1. Ácido diluido 2. Ácido diluido/Deacetilado	1. Ácido diluido 2. Ácido diluido/Deacetilado
Hidrólisis enzimática 500 L	Hidrólisis enzimática 500 L	Hidrólisis enzimática 7000 L
<b>3 tipos de enzima</b>	<b>1 enzima</b>	<b>1 enzima</b>
<b>Fermentación 500 ml</b>	<b>1 L Fermentación</b>	<b>9000-L Fermentación</b>

**Figura 3.** Metodología seguida para el escalado de la producción de etanol carburante a partir de biomásas residuales colombianas.

Las principales conclusiones que hasta el momento se derivan del proyecto de investigación se pueden resumir en:

- El proceso de deacetilación para el bagazo de caña favorece rendimientos en la etapa de pretratamiento, hidrólisis enzimática y fermentación con la cepa *Zymomonas mobilis 8b*, debido a su bajo contenido de grupos acetil.
- Se observa que la cepa *Zymomonas mobilis 8b* presenta baja tolerancia de ácido acético, ya que obtuvo disminución en 50 % en los rendimientos de etanol vía xilosa, por la presencia de concentraciones de ácido acético de 5 g/L (Figura 4).
- Se demostró la factibilidad técnica de procesar mezclas de biomasa a condiciones operacionales y rendimientos similares a los obtenidos con el procesamiento de las biomásas individualmente.
- El incremento de sólidos en la etapa de hidrólisis enzimática permitió favorecer los rendimientos de solubilización de glucana en glucosa, así como disminuir consumo de agua y tamaño de reactores por mayor procesamiento de biomasa.
- Satisfactorio escalado del proceso desde laboratorio, *bench* y piloto usando bagazo de caña, raquis de palma y mezclas de dichas biomásas.

**Figura 4.** Perfil de concentraciones de glucosa, xilosa, etanol y ácido láctico obtenidos a partir de azúcares simples derivados de mezclas de raquis de palma/bagazo de caña.

**3 Resultados de producción de etanol a escala de 9000 L para corrida 3:**  
Mezcla de biomasa Deacetilada

