

# Estado e implicaciones de los residuos de la biomasa de palma de aceite

## Status and Implications for Oil Palm Biomass Residues



**Robert Bakker PhD**

Investigador Líder y  
Desarrollador Senior en el  
tratamiento de biomasa y  
valoración de biodesechos  
de Wageningen University &  
Research Center  
robert.bakker@wur.nl

### Palabras CLAVE

Lignocelulosa, pretratamiento,  
tratamiento previo, bioeconomía

Lignocelluloses, pretreatment,  
bioeconomy

Editado por Fedepalma a partir de la  
grabación de video y la presentación  
en power point.



### Resumen

Muchas de las opciones abiertas para la biomasa (incluida la de la palma de aceite) son para producir energía, y en el futuro se tenderá hacia la biorrefinería, que trata también con residuos que podrían convertirse en energía. Pero asimismo abarca un rango más amplio de biocombustibles líquidos, plataforma de químicos, etcétera, así que va más allá. En este artículo se explica el proceso mediante el cual en la biorrefinería, la lignocelulosa (proveniente de la biomasa) se somete a un tratamiento previo para separar sus tres componentes (celulosa, hemicelulosa y lignina) y agregarles valor. Sin embargo, todavía hay ciertos desafíos que deberán superarse antes de que la biorrefinería pueda llegar a una escala industrial y se comercialice. En la actualidad se están desarrollando tecnologías específicas para la biomasa de la palma de aceite, o algunas que podrían adaptarse.

### Abstract

Many of the options open for biomass (including biomass from oil palm) are to producing energy. In the future the trend will be the biorefinery to treat it, which also deals with waste that could become energy. But it also covers a wider range of liquid biofuels, chemical platforms, etc., and beyond.

This article explains the process by which the biorefinery of lignocellulose (from biomass) is subjected to a pretreatment to separate its three components (cellulose, hemicellulose and lignin) in order to add value to them. However, there are still some challenges to be overcome before the biorefinery can reach an industrial scale and is commercialized. It is currently being developed specific technologies for biomass from oil palm or some that could be adapted to its industry.



## Introducción

La bioeconomía es una economía impulsada por la eficiencia en el uso de los cultivos y de la biomasa para la alimentación, piensos, productos químicos, energía y combustibles. La universidad holandesa de Wageningen UR está trabajando en todas las cadenas de la economía de base biológica, mediante la investigación básica, la investigación aplicada y la educación.

En lo fundamental, el énfasis de la investigación universitaria de los productos basados en biomasa más que en el de los biocombustibles, está en el desarrollo de bloques de construcción de base biológica, pero se trabajan todos los tipos de biomasa, y el desarrollo de la tecnología en pretratamiento, fermentación, catálisis (bio/química) y biotecnología.

Asimismo, en ciertos químicos, o plataformas de químicos que pueden usarse en el sector químico, pero también materiales de la biomasa, no solo lignocelulósica sino también con algas, microalgas, hierbas marinas, etcétera.

## Biorrefinería de biomasa lignocelulósica

### Bioenergía y biorrefinería

Muchas de las opciones abiertas para la biomasa (incluida la de la palma de aceite) son para producir energía, y en el futuro se tenderá hacia la biorrefinería, que trata también con residuos que podrían convertirse en energía. Pero asimismo abarca un rango más amplio de biocombustibles líquidos, plataforma de químicos, etcétera, así que va más allá.

Cuando las industrias se interesan por desarrollar la biorrefinería en conjunto con la universidad, se puede partir de cultivos de azúcar, se mira cuál es la demanda de lignocelulosa creciente del mercado en cuanto a alimentos o combustibles, básicamente biomasa no comestible. Y por supuesto muchos subproductos agrícolas pueden considerarse lignocelulosa.

El objetivo de la biorrefinería es utilizar todos los componentes de la biomasa para hacer la mejor aplicación posible: en alimentos, productos químicos, ciertos materiales, energía o combustible.

En la bioenergía se consideran los portadores energéticos: energía eléctrica, calor, biogás y otros.

En la biorrefinería los biocombustibles líquidos, productos químicos de la plataforma, materiales, etcétera, y los elementos indispensables para la industria química.

En cuanto a la lignocelulosa, esta es una materia prima clave para la biorrefinería. Para referirse a ella a menudo se utiliza el término "segunda generación", para significar que no sale de productos que a su vez sean alimento.

Como se sabe, de la biomasa agrícola puede producirse energía en forma de:

- Biodiésel (aceite residual/tortas prensadas).
- Biogás,  $H_2$ /ABE y fermentación del etanol.
- Biopolímeros (PLA, PHA).
- Pirólisis de bioaceite y carbón vegetal.
- Fibras de papel, paneles de construcción y materiales compuestos de disolución de celulosa.



- Tablero aglomerante (lignina intrínseca).
- Productos químicos "verdes" (adhesivos furfural).
- Líquidos Fischer Tropsch a partir de biomasa.

Todas las mencionadas son opciones potenciales en el futuro de la biorrefinería, pero esta presentación se centra en la que está basada en los carbohidratos, el azúcar y, por supuesto, en lignocelulosa.

Hay muchas materias primas de lignocelulosa que provienen de los residuos agrícolas de actividades como:

- La producción de cereales (paja, rastrojo, cáscaras).
- La caña de azúcar (bagazo, basura).
- Biomasa maderable.
- Los cultivos energéticos (*Miscanthus*, *switchgrass*)
- La biomasa de la palma de aceite (racimos de fruta vacíos, cuesco, troncos).

Se calcula en alrededor de 50 millones la biomasa de la palma de aceite, que en una escala global puede no verse como mucho, pero hay concentraciones en pocas áreas, y resulta interesante usarla para la biorrefinería.

## ¿Qué es la lignocelulosa?

Está presente en la mayoría del material de las plantas; forma parte de la pared secundaria de las células vegetales, que añade resistencia a la degradación y a los patógenos (Figura 1). Su estructura es compleja y consta de:

- Celulosa (35-55%): polímero de glucosa más común en la naturaleza.
- Hemicelulosa (25-45%): polímero que consiste en: xilosa, arabinosa, galactosa, ácidos y componentes menores.

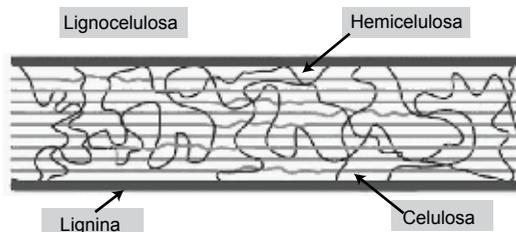


Figura 1. Lignocelulosa.

- Lignina (20-30%): molécula compleja construida de alcoholes (fenoles) que en muchos casos puede ser una fuente de energía e inclusive de químicos.

Los productos de la biorrefinería que se mencionan aquí son principalmente los polímeros carbohidratos que se convierten en azúcar, a partir de los cuales se pueden elaborar múltiples productos, como:

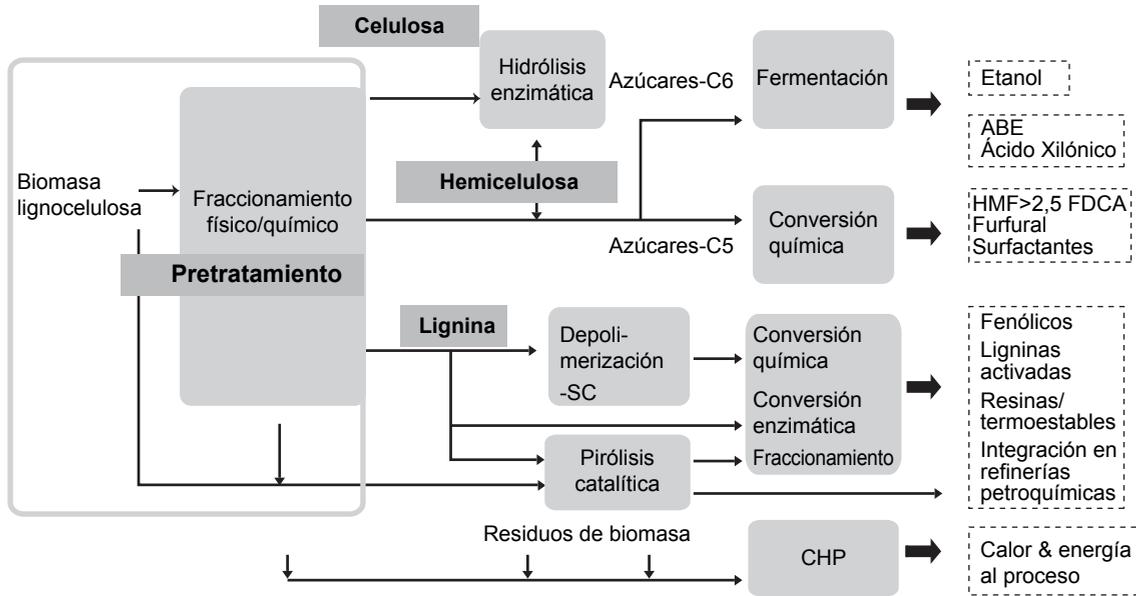
- Combustibles:
  - Etanol. Es sobre el que se ha desarrollado mayor investigación.
  - Butanol. Puede ser usado como remplazo del diésel y además es una plataforma para hacer diferentes productos químicos.
  - Hidrógeno. Se puede producir de los carbohidratos, empleando bacterias.
- Químicos:
  - Ácido láctico. Es un precursor del ácido poliláctico (PLA), que se utiliza para hacer envases biodegradables.
  - Furfural. Tiene también tremendo potencial.
  - Otros ácidos o furanos.
- Materiales:
  - Celulosa que tiene múltiples aplicaciones, especialmente si se cuenta con diferentes calidades de ella.

## Tratamiento previo

Ahora bien, cuando se juntan diferentes institutos e industrias en proyectos para diseñar lo que se ha dado en llamar una "biorrefinería multiproducto", se obtiene un sistema como el de la Figura 2.

Lo que se ve es una gran gama de productos, diferentes tipos de procesos biológicos – como fermentación de enzimas– y químicos, para convertir tres elementos principales (celulosa, hemicelulosa y lignina) obtenidos en un tratamiento previo, que es el primer paso en la conversión de lignocelulosa en productos. Tiene los siguientes objetivos:

- Aumentar la densidad de la biomasa.
- Mejorar la homogeneidad, reducir la humedad.



Fuente: www.biosynergy.eu

Figura 2. Biorrefinería multiproducto.

- Eliminar elementos no deseados.
- Mejorar la degradabilidad enzimática (hidrólisis).
- Extraer componentes valiosos.
- Integrar el tratamiento previo con otros procesos posteriores aguas abajo.

Lo más común en investigación es la conversión de lignocelulosa a etanol (Figura 3), de la que se puede obtener una definición del pretratamiento para los biocombustibles en general. Se trata de que, después del trata-

miento previo, la materia prima es degradada por enzimas que producen azúcares para la fermentación a alcohol. Además, se produce un subproducto que se utiliza para electricidad y calor.

Las enzimas implicadas en la degradación de lignocelulosa, que trabajan en sinergia, son:

- Endo-1,4-β-glucanasa
- Exo-1,4-β-glucanasa
- Celobiasa
- Xilanasas, Arabinasa

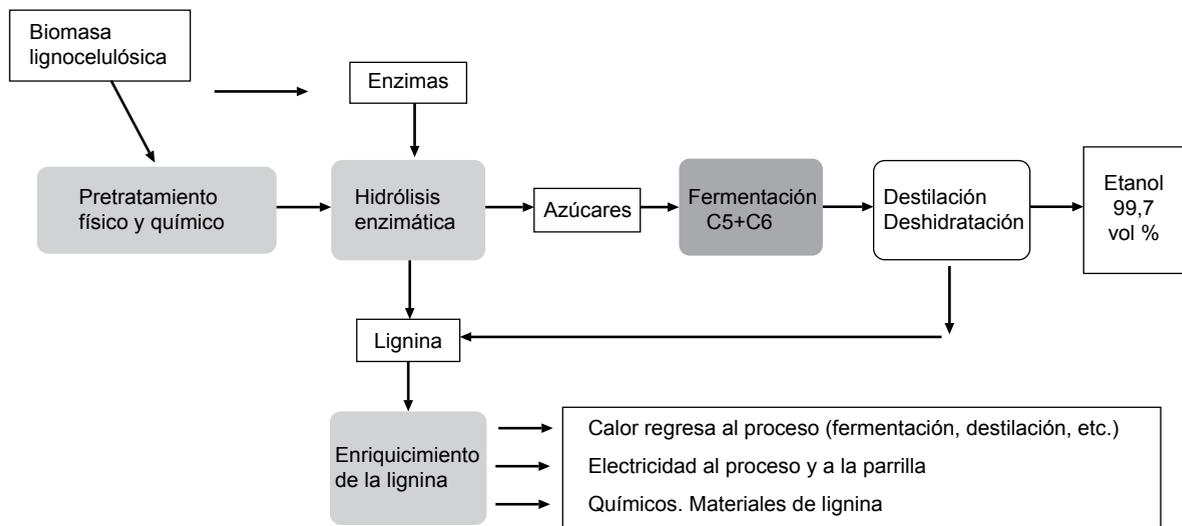


Figura 3. Conversión de lignocelulosa a etanol.

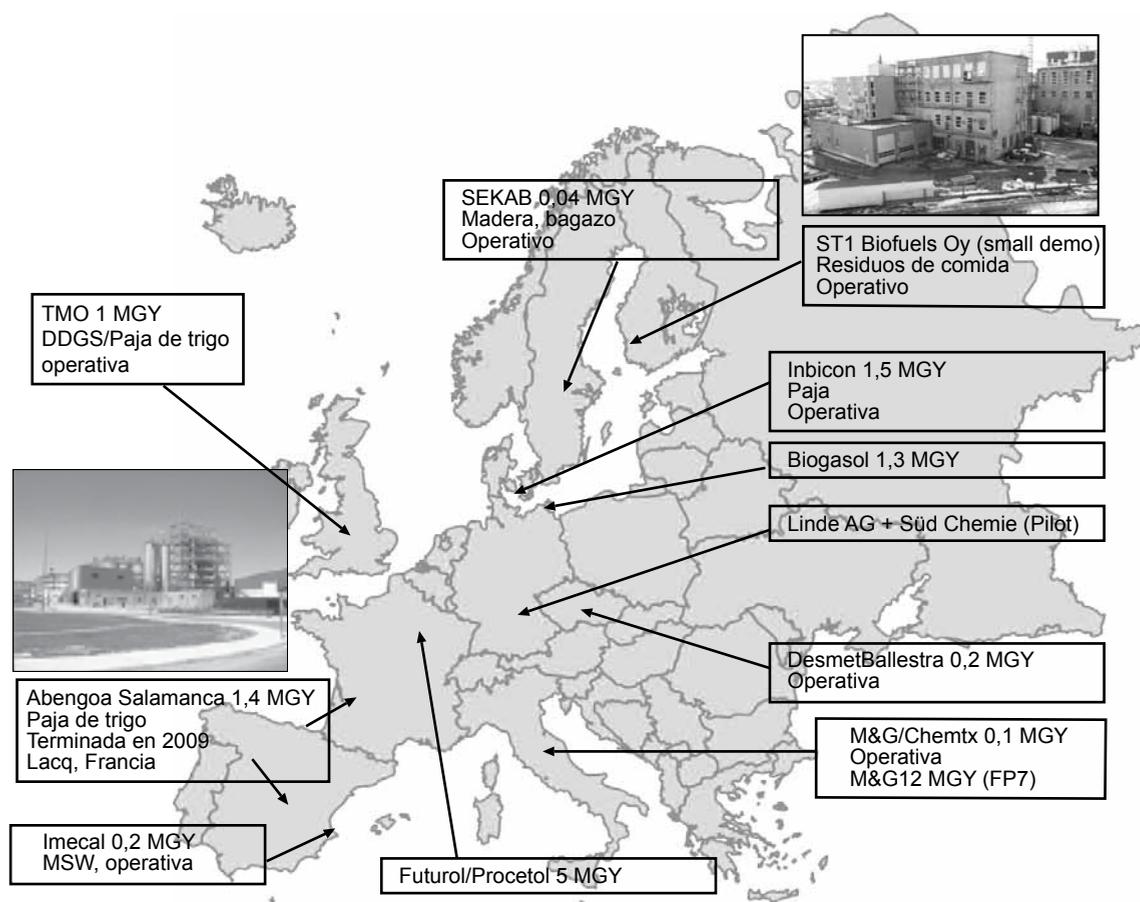
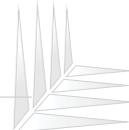


Figura 4. Estatus a nivel industrial. Unión Europea.

Muchas enzimas se basan en hongos. Sus proveedores comerciales son: Genencor, Novozymes, Dyadic y otros.

En la Figura 4 se aprecian los proyectos que se están desarrollando en la Unión Europea, que son 40 plantas piloto; las más grandes se encuentran en España, Dinamarca y el norte de Italia. Todos se basan en el pretratamiento de lignocelulosa, usando enzimas y fermentación.

Existen muchas y variadas vías de pretratamiento, cada una de las cuales provoca diferentes productos de reacción. Por ejemplo, el pH bajo conduce a la disolución de hemicelulosa, mientras que altos valores de pH conducen a la disolución de la lignina. Y todo ello conduce a mejorar la digestibilidad enzimática. Esto es así por la interacción química entre los componentes (Tabla 1).

Tabla 1. Interacción química entre los componentes

Vínculos entre las unidades de monómeros en polímeros (vínculos intrapolímeros)	
Enlace éter	Lignina, (hemi) celulosa
Carbono-carbono	Lignina
Enlace hidrógeno	Celulosa
Enlace éster	Hemicelulosa
Vínculos entre polímeros (vínculos interpolímeros)	
Enlace éter	Celulosa-lignina Hemicelulosa-lignina
Enlace éster	Hemicelulosa-lignina
Enlace hidrógeno	Celulosa-hemicelulosa Hemicelulosa-lignina Celulosa-lignina

## Observaciones generales sobre el tratamiento previo

La mayoría de las tecnologías de tratamiento previo están desarrolladas con el fin de:

- Aumentar la capacidad de descomposición enzimática de la celulosa.
- Involucrar a algún tipo de calefacción en combinación con el cambio de pH.
- Incorporar alguna forma de acción mecánica o física.

Y algunos tratamientos previos implican el uso de disolventes o catalizadores; conducen a una importante eliminación de lignina y a una extensiva hidrólisis hemicelulosa.

Hay todavía desafíos de la conversión de la celulosa, para llevarla a escala industrial y comercial, pues aún está en desarrollo. En particular es necesario considerar si los tratamientos previos son compatibles con todo tipo de biomasa, si la tecnología es flexible de acuerdo con la materia prima; los costos operativos, la calidad de los subproductos (como la lignina y los nutrientes), etcétera.

La biomasa de la palma de aceite tiene algunas diferencias con el rastrojo del maíz que es el estándar de lignocelulosa usado en Estados Unidos para tratamientos previos y fermentación. Las diferencias se pueden ver en la Tabla 2.

Se tomaron algunos datos de Malasia de escalas de producción (Tabla 3) de racimos de fruta vacíos, para saber cuál sería el potencial de producción de biomasa –que es de entre 25.000 y 80.000 toneladas– que se convierte a azúcares fermentables. Igual ejercicio se hizo para la fibra de mesocarpio y el cuesco. Lo que se tendría en términos de capacidad de producción anual de azúcares fermentables sería:

- Con racimos de fruta vacíos: de 15.000 a 40.000 toneladas por planta de beneficio.

Tabla 3. Escala de producción (ejemplo: racimos de fruta vacíos).

Tamaño de la planta de beneficio	Tipo	Racimo de fruta fresca/d	Racimo de fruta vacío/d (w)	Racimo de fruta vacío/y (dw)
30 t/hora	Mediana	700 t	210	26,9 kt
90 t/hora	Grande	2.100 t	630	80,6 kt
150 t/hora	Muy grande	3.500 t	1.050	134 kt

Tabla 2. Características de la materia prima

Materia prima	Rastrojo de maíz	Racimos de fruta vacíos
<b>Composición (%):</b>		
Glucano	35	37
Xilano	20	24
Arabinano	2,4	2,4
Lignina	16	24
Ceniza	5	5
Tamaño de la partícula	4-6 mm	Variable; >25 mm
Densidad aparente	144-176 kg/m <sup>3</sup>	80-100 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de humedad con el que se reciben	20%	40-60%

Esto es relativamente pequeño si se compara con los sistemas que no han sido diseñados para etanol de lignocelulosa.

- Con fibra de mesocarpio: de 9.000 a 24.000 toneladas por planta de beneficio.
- Con cuesco: de 6.000 a 16.000 toneladas por planta de beneficio.
- Valor agregado total de US\$7,5 a 20 por planta de beneficio.

## Consideraciones para el pretratamiento de racimos de fruta vacíos

- Alto contenido de humedad y densidad aparente.
  - La biomasa necesitará tratamiento previo antes de su transporte a la planta más grande.
  - Se mejora la estabilidad de almacenamiento.



- ¿Tratamiento previo en la planta de beneficio o en un sitio central?
  - Opción para extraer nutrientes de los racimos de fruta vacíos, los cuescos, las fibras.
  - Recuperar lignina para la generación de energía.
- El tratamiento previo debe ser escalable-descendente.
  - En la actualidad, se están desarrollando tecnologías de tratamiento previo descentralizadas.

- 427 M € CAPEX
- 402 €/t de productos ABE

## Avances en I + D

### Pretratamiento de lignocelulosa a pequeña escala

- Tamaño del sistema: 40.000 toneladas de biomasa por año (en base seca).
- Adaptado a la biomasa húmeda o seca.
- Fermentación de los azúcares a los productos.
- Conversión de lignina a electricidad.
  - Junto a las instalaciones de cogeneración existentes.
  - Eliminación de elementos no deseados (sin incrustaciones de ceniza) antes de la combustión.
- Costo de inversión objetivo de la planta: US\$ 18 millones.
- Los costos de producción cumplen con las expectativas de los socios industriales.

En los Países Bajos hay un programa grande en el que participan los sectores público y privado: la industria, el gobierno y los institutos de investigación, al que se le dedica más de 100 millones de euros. Dentro del mismo hay diferentes proyectos para desarrollar aplicaciones con base biológica. Muchas de ellas están basadas en lignocelulosa, como la de producción de ácido láctico (Figura 5), pues se ve un futuro promisorio para hacer envases de bioplástico del ácido poliláctico, del cual aquel es precursor. En la actualidad el mercado es limitado, pero está en crecimiento.

Otro proyecto en marcha es uno específico para los racimos de fruta vacíos (EFB), con el objetivo de producir disolución celulosa que tiene un sinnúmero de aplicaciones. Es una combinación de extracción mecánica y disolventes orgánicos (Figura 6). Este proyecto se está tratando de comercializar en el Sudeste Asiático.

Por último se menciona el proyecto de producción de bloques de construcción bioquímicos, el cual analiza diferentes materias primas para producir bioetanol y alcoholes en un fermentador seguido de un segundo fermentador donde se produce hidrógeno de ácidos

## Economía del pretratamiento

### Costo del pretratamiento

Los costos de pretratamiento deben estimarse teniendo en cuenta todo el proceso de conversión. No muchos estudios comparan diferentes tecnologías de tratamiento previo de forma integrada. Dos de ellos son:

#### De la biomasa al etanol (NREL, 2011)

- Costos de producción de azúcares diluidas de rastrojos de maíz para la fermentación del etanol, bajo las condiciones de Estados Unidos
  - Capacidad de la planta: 700 kt de biomasa/año.
  - Producción de enzimas en el sitio.
- Costo de producción: US\$210/t de azúcar para la corriente de azúcar diluida.
  - Costos de materias primas: el 45% de los costos de producción.
  - Inversión total del proyecto: US\$280 millones.
  - Costos muy sensibles a los costos de capital.

#### De la biomasa al butanol (2009)

- Proyecto WUR en colaboración con ECN
- Conversión de la biomasa de lignocelulosa en ABE, en las condiciones de la Unión Europea
- Viabilidad económica:
  - 167 kt ABE/a
  - 135 MWe de electricidad

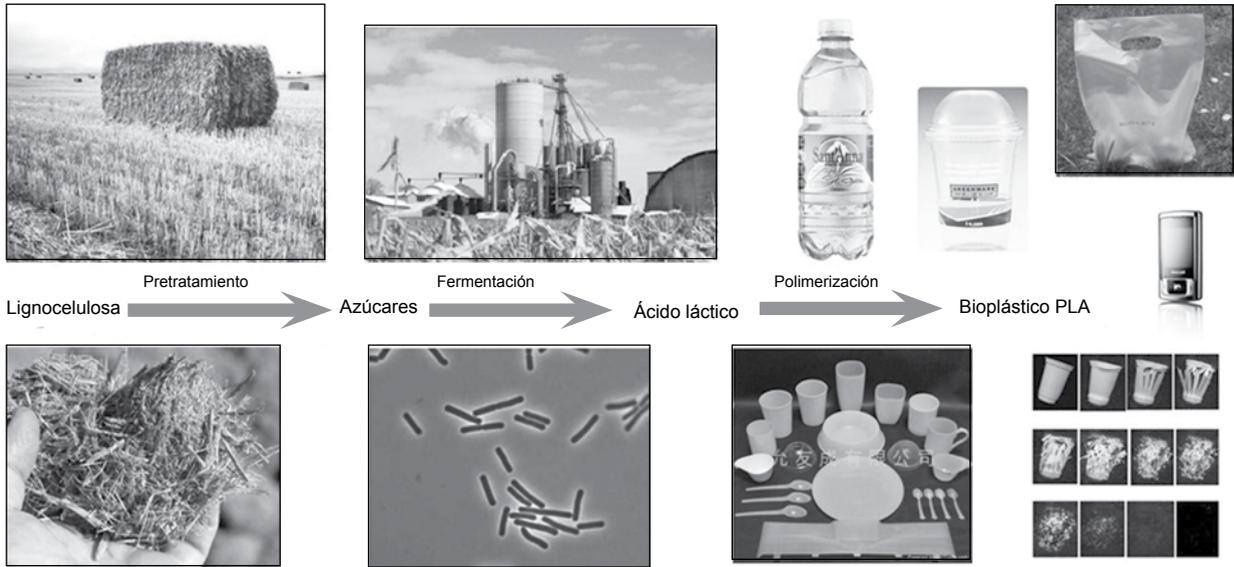


Figura 5. Producción de ácido láctico a partir de biomasa.

orgánicos que provienen del primero (Figura 7). Este proceso podría ser adaptado para los efluentes en las plantas de beneficio. Está en etapa de investigación y se espera que en un par de años arroje resultados.

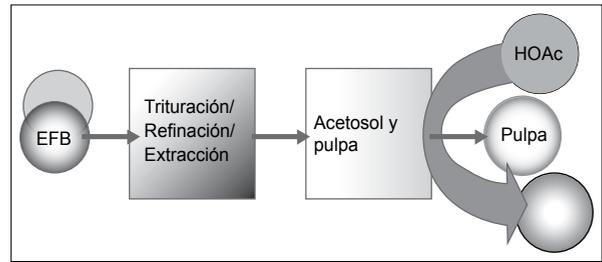


Figura 6. Biorrefinería de racimos de fruta vacíos para disolver celulosa.

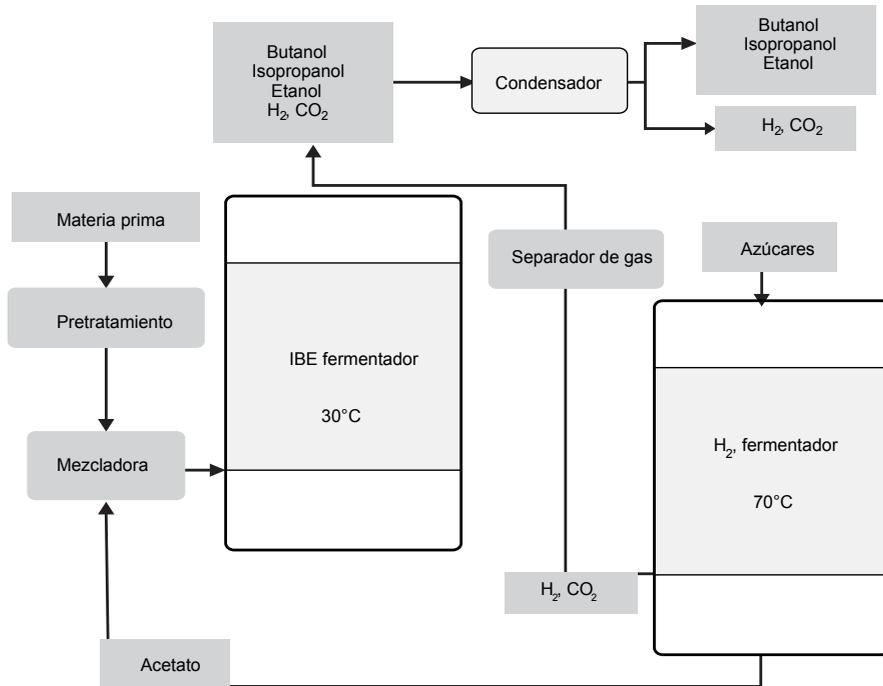
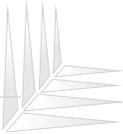


Figura 7. Bloques de construcción bioquímicos (BCB).



## Perspectiva

- El tratamiento previo es tecnología clave para agregar valor a los residuos lignocelulósicos, incluyendo la biomasa de la palma de aceite.
- Se están desarrollando tecnologías específicas para la biomasa de la palma de aceite, o se podrían adaptar a ella.
- El pretratamiento de lignocelulosa a escala industrial se producirá en los próximos años.
- Habrá un mayor desarrollo de pretratamiento

para una variedad de procesos y productos finales, no solo para los biocombustibles.

## Agradecimientos

A Cenipalma, Agentschap NL programa DBI. A los socios del proyecto: BioSynergy, Programa BE-Basic, Proyecto Bio-butanol. A los colegas incluyendo Dr Pieter Claassen, Edwin vd Pol, Paulien Harmsen, Dr. Wolter Elbersen, el Dr. Jacco v Haveren, Prof. Johan Sanders, el Dr. Marieke Bruins.