

ETANOL DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS

UTILIZACION DE LA HEMICELULOSA.

PARTE 1: POTENCIALIDAD DE LOS MATERIALES LIGNOCELULOSICOS Y FERMENTACION DE LA XILOSA

Ing. Quím. Mario Daniel Ferrari,
Dr. Edison Neirotti, Ing. Quím. Carlos
Albornoz e Ing. Quím. Edison Saucedo

RESUMEN

Los materiales lignocelulósicos constituyen una materia prima atractiva para la obtención de etanol para combustible debido a su extensa distribución, carácter renovable y potencial disponibilidad en grandes cantidades a relativamente bajos costos. Están constituidos por celulosa, hemicelulosa y lignina.

La conversión de lignocelulósicos a etanol requiere la hidrólisis inicial de la celulosa a glucosa y de la hemicelulosa a xilosa seguida por la fermentación de estos azúcares a etanol por microorganismos apropiados. Los primeros procesos desarrollados se basaban exclusivamente en la hidrólisis de la celulosa y en la fermentación de la glucosa formada a etanol por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Dos factores determinan el alto costo del etanol de lignocelulósicos: bajo rendimiento de etanol y baja concentración de etanol en los mostos fermentados.

La hemicelulosa representa el 25-30% del peso seco de los materiales lignocelulósicos. Su utilización para la obtención de etanol, vía fermentación de la xilosa, permite aumentar el rendimiento y la concentración del producto. Esta opción ha sido postergada debido a que no se disponía de cepas microbianas industriales fermentadoras de xilosa.

En el presente trabajo se estudió la utilización de la hemicelulosa para la producción de etanol y su integración a procesos que obtienen dicho producto a partir de materiales lignocelulósicos. Esta primera parte del trabajo incluye: 1) Análisis de la potencialidad de diferentes materias primas alcoholígenas nacionales; 2) Investigación experimental sobre la producción de etanol de hidrolizados

de hemicelulosa.

Un estudio sobre las materias primas nacionales aptas para la producción de etanol (sacarígenas, amiláceas y lignocelulósicas) permitió identificar al *Eucalyptus globulus* como un material de gran potencial en base a su costo, rendimiento agrícola y rendimiento industrial teórico.

Se evaluó la producción de etanol a partir de hidrolizados ácidos de hemicelulosa de madera de *Eucalyptus globulus*. Ensayos experimentales permitieron seleccionar la levadura *Pichia stipitis* NRRL Y-7124, como un microorganismo muy promisorio para la fermentación industrial de xilosa. La fermentación fue más efectiva a una velocidad de transferencia de oxígeno de 1.2-2.4 mmol/Lh y un pH inicial de 6.5. Se obtuvo un rendimiento de 0.35 g de etanol por gramo de azúcar fermentable consumido. Este rendimiento fue menor que el determinado para un medio semisintético a base de xilosa. Las experiencias efectuadas permitieron identificar que el ácido acético, componente de los hidrolizados de hemicelulosa, es la principal causa de este menor rendimiento.

PALABRAS CLAVES: etanol, combustible, materiales lignocelulósicos, *Eucalyptus globulus*, celulosa, hemicelulosa, xilosa, hidrólisis ácida, fermentación alcohólica, *Pichia stipitis*, costos.

1.0 INTRODUCCION

El desarrollo de distintas estrategias sobre el uso y la producción de etanol carburante ha respondido

NOTA: Este artículo está basado en un trabajo más extenso que obtuvo el "Premio Nacional de Ingeniería" (1993) organizado por la Academia Nacional de Ingeniería.

Autor para la correspondencia: Ing. Quím. Mario Daniel Ferrari, Centro de Investigaciones Tecnológicas, División Investigación y Desarrollo, Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland (ANCAP), Pando, Canelones, C.P. 91000, Uruguay.

Teléfonos: 0392-2021 y 0392-2053 Telex: ANCAP UY 23168 Telefax: 598-2-921136

básicamente a tres factores principales:

- Aspectos estratégicos sobre escasez, real o anticipada, del petróleo suscitados por la distribución geográfica desigual de dicho recurso y su carácter no renovable.

- Beneficios sociales y económicos de usar materias primas nacionales de origen agrícola.

- Mejoramiento del medio ambiente por reducción en la emisión de sustancias tóxicas.

Según el país y la circunstancia histórica, distinto énfasis se ha puesto en cada uno de ellos.

El principal obstáculo para el uso del etanol como carburante es su alto costo de producción. Existen también otros factores que limitan su difusión como carburante: la dificultad de mantener subsidios, la falta de confianza sobre un suministro sin interrupciones y sus propiedades físico-químicas diferentes con respecto a los combustibles convencionales.

El etanol se puede obtener por vía química a partir del etileno o bien por medios biológicos mediante la fermentación de azúcares por microorganismos. Para distinguir su procedencia, el etanol obtenido por esta última vía se denomina bioetanol. Para la producción de bioetanol se utilizan materias primas azucaradas que poseen monosacáridos (glucosa, fructosa) o disacáridos (sacarosa, lactosa) que puedan ser fermentados directamente a etanol por los microorganismos disponibles, generalmente levaduras de los géneros *Saccharomyces*, *Candida* o *Kluyveromyces* y en menor importancia bacterias (*Zymomonas* spp.). Tal es el caso de la melaza, caña de azúcar, remolacha y lactosuero. También se pueden utilizar materiales constituidos por polisacáridos (almidón, celulosa, hemicelulosa, inulina). Pero estos requieren una etapa previa de hidrólisis a azúcares sencillos fermentables.

Los materiales lignocelulósicos son materiales complejos que contienen básicamente celulosa, hemicelulosa y lignina. Constituyen una materia prima atractiva para la producción de etanol combustible debido a su extensa distribución, carácter renovable y potencial disponibilidad en grandes cantidades a relativamente bajo costo. Frente a los materiales azucarados o amiláceos, estos materiales presentan las siguientes ventajas adicionales: no compiten con un uso como alimento y es posible utilizar tierras de calidad agrícola marginal contribuyendo a un aprovechamiento racional del recurso tierra de modo de atender las necesidades simultáneas de producir alimentos, energía y fibras.

Entre 1930 y fines de los años 40, el etanol fue un producto estratégico, lo que motivó una urgente producción industrial a partir de materiales lignocelulósicos. Sin embargo el desarrollo de la petroquímica en el período de post-guerra volvió antieconómica la obtención de etanol por esta vía. Desde el punto de vista técnico este fracaso se debió al bajo rendimiento de etanol y al alto consumo de energía en particular para la separación del etanol por destilación del medio fermentado. Esto era originado por

las siguientes causas:

- No aprovechamiento de la hemicelulosa para la producción de etanol. El etanol era producido casi exclusivamente a partir de la celulosa.

- Baja eficiencia de los procesos ácidos utilizados para la hidrólisis de la celulosa: parte de los azúcares producidos eran destruidos por las severas condiciones de acidez y de temperatura utilizadas.

- Baja concentración de glucosa en los hidrolizados, lo que implicaba una baja concentración final de etanol en el medio fermentado.

La utilización de la hemicelulosa incorporando un azúcar adicional, la xilosa, para la obtención de etanol permitiría aumentar el rendimiento y la concentración de etanol. Esta opción no era contemplada, debido a que las cepas microbianas disponibles industrialmente no metabolizaban la xilosa con producción de etanol.

En este trabajo se presenta un estudio sobre la utilización de la hemicelulosa para la producción de etanol y su integración a procesos que obtienen dicho producto a partir de materiales lignocelulósicos. El estudio incluye los siguientes temas:

- 1) Análisis de la potencialidad de los materiales lignocelulósicos para la producción de etanol, en función de sus rendimientos y sus costos y comparación con otros materiales alternativos.

- 2) Investigación, a escala de laboratorio, del efecto de diferentes variables sobre la producción de etanol a partir de hidrolizados de hemicelulosa.

- 3) Impacto económico de la incorporación de los resultados experimentales obtenidos, en los procesos actualmente propuestos para la obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos. Este punto será considerado en la parte II.

2.0 POTENCIALIDAD DE LOS MATERIALES LIGNOCELULOSICOS PARA LA PRODUCCION DE ETANOL

2.1 COMPOSICION

Los materiales lignocelulósicos comprenden una amplia variedad de productos: maderas, desechos forestales (ramas, hojas), residuos agrícolas (tallos, paja, etc.), residuos provenientes del procesamiento industrial de vegetales (cáscaras, aserrín, bagazo, etc.) y residuos urbanos.

Consisten básicamente de CELULOSA, HEMICELULOSA y LIGNINA. Las dos primeras constituyen la fracción carbohidrato, la cual es referida frecuentemente como holocelulosa. En la Tabla 1 se muestra la composición de diferentes tipos de materiales, extractada de diferentes fuentes (incluyendo datos propios) y expresada en porcentaje en peso y en base seca.

La celulosa es el principal constituyente. Es un homopolisacárido compuesto de unidades de D-glucosa anhidra (β -D-glucopiranososa anhidra) conectadas entre sí por enlaces 1,4- β -glucosídico. La molécula es lineal y forma enlaces de hidrógeno inter e intra-moleculares los que le dan una estructura muy compacta e íntimamente relacionada con el resto de los componentes. Las moléculas de celulosa se agrupan en manojos formando microfibrillas, en las cuales regiones altamente ordenadas (cristalinas) se alternan con regiones menos ordenadas (amorfas). El grado de polimerización (número de unidades de glucosa anhidra por molécula) varía entre 1000 y 10000 (34).

La celulosa puede ser hidrolizada produciendo D-glucosa, azúcar sencillo (monosacárido) de seis átomos de carbono (C_6 , hexosa). La reacción de hidrólisis consiste en la ruptura del enlace glucosídico que une dos unidades adyacentes de glucosa anhidra por adición de una molécula de agua, bajo la presencia de un catalizador. Se puede utilizar dos tipos de catalizadores: un ácido (ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, etc.) o un biocatalizador como el complejo enzimático celulasa. La hidrólisis de la celulosa es difícil debido básicamente a dos causas: a) su estructura cristalina altamente ordenada, b) su asociación con la lignina que actúa como una barrera física. Las mismas ocasionan que el enlace glucosídico esté sumamente protegido de la acción del agua y del catalizador. La reactividad de la celulosa depende de la proporción entre la región cristalina y la amorfa (grado de cristalinidad), del grado de polimerización, la porosidad y la superficie específica. Los valores de estos factores pueden variar entre celulosas de distintos orígenes y entre una celulosa nativa, tal como se encuentra originalmente, y aquella formando parte de un material que ha sufrido un tratamiento físico, químico o biológico.

Cuando se usa un ácido como catalizador, los obstáculos mencionados pueden ser superados trabajando con alta concentración del mismo y con elevada temperatura y/o presión. Cuando se utiliza enzimas, la situación es diferente. Las celulasas son macromoléculas de peso molecular comprendido entre 10000 y 80000 por lo que no pueden acceder fácilmente al enlace glucosídico (13,19). El material debe ser tratado previamente para facilitar la penetración de las celulasas.

La hemicelulosa es un término que se utiliza para designar a un grupo de heteropolisacáridos. A diferencia de la celulosa, las hemicelulosas son heteropolímeros, de bajo grado de polimerización (aproximadamente 200), generalmente ramificados, no cristalinos, y contienen en su estructura componentes que no son azúcares (31). Son fácilmente hidrolizados en sus componentes monoméricos usando un ácido mineral como catalizador bajo condiciones moderadas de acidez y de temperatura. La hidrólisis de las hemicelulosas en sus componentes monoméricos rinde cantidades variables según el material de D-xilosa, D-manosa, L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, ácido

acético y ácidos urónicos (D-glucurónico, 4-O-metil-D-glucurónico y D-galacturónico). La xilosa, arabinosa y ramnosa son monosacáridos de cinco átomos de carbono (C_5 , pentosas). La glucosa, galactosa y manosa son hexosas (C_6).

En las maderas blandas (provenientes de gimnospermas) los componentes más abundantes de la hemicelulosa son el galactoglucomanano y el arabinoglucuronoxilano. El primero está integrado mayoritariamente por unidades de manosa anhidra y en el segundo predominan las unidades de xilosa anhidra. Por este motivo la hidrólisis de la hemicelulosa de maderas blandas rinde mayoritariamente manosa y xilosa.

En las maderas duras (provenientes de angiospermas), el componente principal de la fracción hemicelulosa es el O-acetil-4-metilglucurono- β -D-xilano. Por hidrólisis se obtiene básicamente xilosa, ácido acético y ácido metilglucurónico en una relación molar aproximada de 10:7:1 respectivamente (31). El azúcar componente más importante en estas maderas es la xilosa.

La lignina es el tercer componente importante de los materiales lignocelulósicos. Puede ser separada como un residuo insoluble, luego que el material fuera tratado con un solvente orgánico para eliminar extractivos y posteriormente con ácido sulfúrico para remover por hidrólisis los polisacáridos. Este es el fundamento de la técnica de Klason para dosificar lignina (20). Como durante el ataque se forman derivados sulfonados solubles de lignina, la determinación produce un resultado inferior al contenido real y se conoce como lignina Klason. La lignina es una matriz polimérica de unidades de fenilpropano con distintos grupos de sustituyentes.

La determinación individual de cada uno de los componentes de la fracción carbohidrato es difícil debido a que son estructuras complejas que varían de un material a otro y están estrechamente relacionadas física y químicamente lo que complica su separación total y selectiva. La producción de etanol implica la hidrólisis de los polisacáridos y la fermentación de los azúcares sencillos generados mediante un microorganismo apropiado (generalmente levaduras). Desde el punto de vista del rendimiento de etanol interesan dos factores: cantidad potencial de monosacáridos y tipo de monosacárido. Esto último es importante ya que no todos ellos son fermentables por las levaduras disponibles.

Una forma práctica de determinar la composición con este fin es efectuar una hidrólisis controlada y total de toda la fracción carbohidrato con ácido sulfúrico y dosificar por cromatografía la cantidad producida de cada monómero. Como en las moléculas originales se encuentran en forma anhidra, los resultados se expresan como el contenido del compuesto anhidro o como si cada componente formara un homopolímero. Entonces el resultado se expresa como glucosa anhidra o como glucano, xilosa anhidra o xilano, etc. El contenido de glucano comprende la glucosa generada tanto por hidrólisis de la celulosa como de la hemicelulosa. En la Tabla 1 se ilustra el contenido de glucano, xilano, manano, arabano y galactano para distintos materiales. La cantidad de ramnoso generalmente es despreciable. A las hexosas anhidras se les denomina hexosanós y a las pentosas anhidras, pentosanós. La determinación de pentosanós

(xilano + arabano) se puede efectuar en forma muy sencilla por una técnica estándar convencional y ha sido extensamente usada para la cuantificación aproximada de la hemicelulosa a base de pentosas. No obstante puede verse en la Tabla 1 la diferencia existente entre el contenido de pentosanos y el de hemicelulosa que fue estimado como la sumatoria de todos los componentes hemicelulósicos en su forma anhidra. También se da en la Tabla 1 los contenidos de acetilo y de ácidos urónicos anhidros. Estos residuos son muy importantes ya que están presentes en los hidrolizados como ácidos y pueden ser tóxicos para el crecimiento de los microorganismos durante la fermentación.

2.2 COMPETITIVIDAD

En la Tabla 2 se brinda la potencialidad de diversos materiales para la producción de etanol. Los datos de rendimiento agrícola y de costo para los materiales sacarigenos y amiláceos, corresponden a valores nacionales recogidos del Censo Agropecuario (24). Para las maderas se utiliza valores extractados de la referencia 18.

Los rendimientos dependen de los recursos naturales disponibles y del tipo de tecnología aplicada. Un aumento de la demanda en estos materiales debido a la necesidad de abastecer una industria del etanol podría aumentar los rendimientos en base a un mejoramiento de la tecnología y por lo tanto abatir costos.

Considerando el contenido y el tipo de carbohidrato utilizado para la producción de etanol, es posible calcular el máximo rendimiento teórico de producto por cantidad de material procesado. El cálculo se hace suponiendo una eficiencia del 100% para todas las etapas involucradas en la transformación del carbohidrato a etanol.

A partir de los datos presentados en la Tabla 2 se puede concluir que la madera de eucalipto (*E. globulus*) presenta el mayor potencial teórico para la producción de etanol en base a su alto rendimiento de etanol y su bajo costo. La utilización de los azúcares de la hemicelulosa (mayoritariamente xilosa) permite un incremento potencial teórico del 49% en el rendimiento de etanol lo que representa un abatimiento del 33% en la contribución de la materia prima al costo del etanol.

Entre los cultivos amiláceos, el sorgo granífero es desde el punto de vista económico el material más propicio para la producción de etanol.

3.0 PRODUCCION DE ETANOL A PARTIR DE HIDROLIZADOS DE HEMICELULOSA DE EUCALIPTO

Se evaluó experimentalmente la producción de etanol a partir de hidrolizados ácidos de hemicelulosa de madera de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

El hidrolizado usado en las experiencias tenía la siguiente composición promedio (expresado en gramos por litro): xilosa 30, arabinosa 2.8, glucosa 1.5, galactosa 3.7, manosa 1.0, celobiosa 0.5, ácido acético 10, ácido glucurónico 1.5 y ácido galacturónico 1.0. No fueron

detectados furfural ni ácido fórmico (límites de detección 0.5 y 0.1 g/L respectivamente). Se suplementó con los siguientes nutrientes (por litro): urea 2.25 g, KH_2PO_4 0.5 g, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 2.6 g y $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g.

Inicialmente se efectuaron ensayos que permitieron seleccionar a la levadura *Pichia stipitis* NRRL Y-7124 como un microorganismo promisorio para la fermentación industrial de xilosa. En la Figura 1 se muestra los perfiles de fermentación de un medio semisintético a base de xilosa (50 g/L) usando dicha cepa.

En la Figura 2 se muestra los cambios en las concentraciones de azúcares y de etanol en un hidrolizado. Se observó una utilización secuencial del sustrato. *P. stipitis* consumió primero glucosa y manosa. Luego de agotadas ambas hexosas, comenzó la asimilación de xilosa. El consumo de xilosa fue total. La levadura comenzó a consumir galactosa antes que xilosa, pero utilizó un 79% de este azúcar. La celobiosa fue asimilada parcialmente (86%). A diferencia de la fermentación de xilosa en un medio semisintético usando *P. stipitis*, se observó en este caso la formación de xilitol, glicerol y arabitol: 1.4, 0.7 y 0.6 g/L respectivamente.

Inmediatamente luego que el hidrolizado fuera inoculado, se observó una floculación de la levadura y pérdida de su viabilidad. En la Figura 3 foto a) se muestra el grado de agregación de las células en el hidrolizado luego de 12 h de incubación. A efectos comparativos se muestra en la foto b) células con alta tasa de gemación a las 10 h de fermentación en el medio semisintético. A un tiempo de fermentación de 24 h, los flóculos contenían el 50% de la biomasa suspendida en el líquido y el 25% de las células libres en el líquido permanecían viables. Luego de las 40 h, los flóculos eran mayores y estaban integrados por células rugosas y con baja tasa de gemación. En las fotos c) y d) se muestra respectivamente el aspecto de los flóculos y de las células libres a las 40 h de incubación. La muerte celular fue seguida por un recrecimiento con consumo secuencial de azúcares y producción de etanol.

En la Tabla 3 se presentan las variables de proceso evaluadas para la fermentación del medio semisintético y del hidrolizado por *P. stipitis*, calculadas a partir de los datos de las Figuras 1 y 2 respectivamente. Excepto el rendimiento de biomasa, todas las variables dieron valores más bajos para la fermentación del hidrolizado de hemicelulosa que para el medio sintético a base de xilosa.

La formación de polioles como productos secundarios y el mayor crecimiento celular condujo a un menor consumo de sustrato para la producción de etanol comparado con la fermentación de un medio semisintético a base de xilosa. El rendimiento de etanol en el hidrolizado fue 0.35 g/g de azúcares consumidos (eficiencia 0.685) frente al valor de 0.43 g/g de xilosa consumida (eficiencia 0.841) en el medio semisintético. La eficiencia informada se calculó sobre la base de un rendimiento teórico de 0.511 gramos de etanol producido por gramo de azúcar fermentable consumido.

La fermentación de hidrolizados fue más efectiva a una velocidad de transferencia de oxígeno de 1.2-2.4 mmol/Lh y a un pH inicial de 6.5. El ácido acético presente en el hidrolizado fue un importante inhibidor de la fermentación, reduciendo la velocidad y el rendimiento. Su

efecto tóxico fue debido a su forma no disociada. La utilización de un pH más alto que el considerado óptimo para la fermentación alcohólica, puede parcialmente superar este problema.

Los datos experimentales obtenidos y una completa descripción de la metodología son disponibles en las referencias 2, 12 y 25.

3.1 NOMENCLATURA

\bar{q}_e : velocidad específica media de producción de etanol, g/gh.

$\bar{\mu}$: velocidad específica media de crecimiento calculada durante la producción de etanol, h⁻¹.

$Y_{e/s}$: rendimiento de etanol, g etanol/g azúcar fermentable consumido.

$Y_{b/s}$: rendimiento de biomasa calculado para la

concentración máxima de etanol, g biomasa/g azúcar fermentable consumido.

4.0 AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a las autoridades de la Administración Nacional de Combustibles, Alcohol y Portland, ANCAP, por su apoyo para la ejecución del presente trabajo.

También deseamos agradecer el financiamiento parcial recibido de la Organización de los Estados Americanos, OEA, y del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED, (Agencia Española de Cooperación Internacional).

Agradecemos la colaboración de las siguientes personas: Juan J. Burastero, María del Rosario Mostazo, Nilda E. Medina, Héctor V. Angeloro, Alba Viera de Ingle y Maris Romero.

5.0 REFERENCIAS

Se incluyen en la Parte II de este trabajo.

Tabla 3: Variables de proceso para la fermentación alcohólica de un medio semisintético a base de xilosa (50 g/L) y de un hidrolizado de hemicelulosa de eucalipto respectivamente, usando *P. stipitis*.

Variable	Medio	
	Semisintético	Hidrolizado
$Y_{e/s}$ (g/g)	0.43	0.35
$Y_{b/s}$ (g/g)	0.08	0.12
$\bar{\mu}$ (h ⁻¹)	0.079	0.013
\bar{q}_e (g/gh)	0.20	0.028

- Las velocidades específicas para el hidrolizado se calcularon sobre la base de toda la biomasa seca producida. Ver nomenclatura en el texto.

EN SU SOPA

La elección natural



Caldos
Knorr
Toda la Vida



Desembalaje los 7 cubos de CALDO en un litro de agua hirviendo. Es la base ideal para preparar sus sopas. CONTIENE 7 CUBOS

ORIENTAL

Tabla 1: Composición de materiales lignocelulósicos.

Material	Glucano	Xilano	Manano	Arabano	Galactano	Acetilo	Acidos arónicos	Pento- nanos	Celulosa	Hemice- lulosa	Lignina	Cenizas	Extrac- tivos	Ref.
Maderas duras														
Eucalipto (<i>E. globulus</i>)	43.4	21.5	0.7	1.8	2.5	7.3	1.8	23.3	42.4	16.6	17.2	1.8	1.3	1, 11
Eucalipto (<i>E. globulus</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	51.3	25.2	21.9	-	1.3	11
Roble (<i>Quercus falcata</i>)	40.4	21.7	2.4	1.6	2.1	3.3	4.5	23.3	40.4	35.9	24.1	-	-	12
Alamo	54.6	15.2	3.2	0.4	0.8	3.2	3.1	15.6	50.8	28.7	15.5	0.2	-	19
Alamo	52.1	18.8	2.1	4.2	1.6	-	-	21.0	-	-	18.8	0.8	-	15
Maderas blandas														
Pino	44.8	7.2	7.6	0.6	1.3	1.6	2.4	7.8	42.0	23.5	27.8	0.4	-	19
Pino (<i>Pinus radiata</i>)	37.0	5.1	9.6	1.4	2.6	2.0	5.1	6.5	-	-	27.5	-	-	7
Pino (<i>Pinus radiata</i>)	43.3	7.3	9.3	2.8	4.0	-	-	10.1	-	-	26.5	-	-	15
Pino (<i>Pinus silvestris</i>)	44.8	7.2	7.6	0.6	-	1.6	2.4	7.8	44	26	29	0.4	5.3	37
Abeto (<i>Picea abies</i>)	44.3	7.6	10.3	0.5	-	1.4	2.5	8.1	43	27	29	0.4	1.8	37
Abeto (<i>Picea glauca</i>)	46.5	6.8	11.6	1.6	1.2	1.3	3.6	8.4	44.8	-	27.1	0.3	-	37
Residuos agroindustriales														
Bagazo de caña	43	23	0	2.7	-	-	-	25.7	-	-	24.0	-	-	7
Bagazo de caña	-	-	-	-	-	-	-	-	38.0	34.0	11.0	-	-	19
Bagazo de caña	-	-	-	-	-	-	-	29.8	-	-	20.8	4.2	-	3
Tallo de maíz	37.1	13.0	0	2.2	0.8	3.6	4.4	20.2	33.5	12.6	11.0	1.0	22.0	13
Paja de trigo	36.2	18.5	0	1.6	0.7	2.4	2.2	20.1	34.0	27.6	18.0	1.1	-	19

Datos expresados en porcentaje en base seca.

Tabla 2: Potencialidad de diferentes materias primas para la producción de etanol.

Materia prima	Carbohidrato utilizado	Contenido (%)	Rendimiento agrícola (ton/ha)	Costo de la materia prima (US\$/ton)	Rendimiento teórico de etanol		Costo teórico de la materia prima por litro de etanol (US\$/L)
					Agroindustrial (L/ha)	Industrial (L/ton)	
Caña de azúcar tallos	sacarosa	12	55	23	4740	86	0.27
Remolacha raíces	sacarosa	12	35	16	3010	86	0.19
Maíz granos	almidón	59	1.3	72	550	423	0.17
Trigo granos	almidón	64	1.2	183	551	459	0.40
Sorgo granos	almidón	63	2.5	51	1130	452	0.11
Eucalipto (<i>E. globulus</i>) rolos secos	celulosa	47	15	30	5060	337	0.09
Eucalipto (<i>E. globulus</i>) rolos secos	C ₆ + C ₅	70	-	-	7520	502	0.06
Pino rolos secos	celulosa	43	5.5	55	1700	309	0.18
Pino rolos secos	C ₆ + C ₅	62	-	-	2450	446	0.12
Bagazo de caña	celulosa	35	-	61	-	251	0.24
Bagazo de caña	C ₆ + C ₅	59	-	-	-	429	0.14
Aserrín de eucalipto	celulosa	47	-	64	-	337	0.19
Aserrín de eucalipto	C ₆ + C ₅	70	-	-	-	502	0.13

- Los datos para los materiales lignocelulósicos se expresan en base seca.

- C₆ + C₅ representa la suma de hexanosos y xilano.

- Para los cálculos se utilizaron los siguientes coeficientes:

1.11 g glucosa/g celulosa, 1.11 g glucosa/g almidón, 1.11 g hexosa/g sacarosa, 1.11 g hexosa/g hexosano, 1.136 g xilosa/g xilano, 0.511 g etanol/g azúcar fermentable y densidad del etanol a 20°C: 0.789 kg/L.

- Los datos de rendimiento agrícola son extractados de las referencias 18 y 24.

- Los datos de costos de la materia prima son adaptados de las referencias 18 y 24.



FIOL DE PEREDA 1412
TELEFONO 20 54 65

ASESORAMIENTO TECNICO INTEGRAL

INGENIERIA QUIMICA E INGENIERIA INDUSTRIAL

GESTION DE CALIDAD TOTAL, ASEGURAMIENTO Y AUDITORIA

GESTION DE PRODUCTIVIDAD

SISTEMA DE INFORMACION, MERCADOS, PRODUCTOS, TECNOLOGIA

PROYECTOS DE INVERSION

TRATAMIENTO DE EFLUENTES

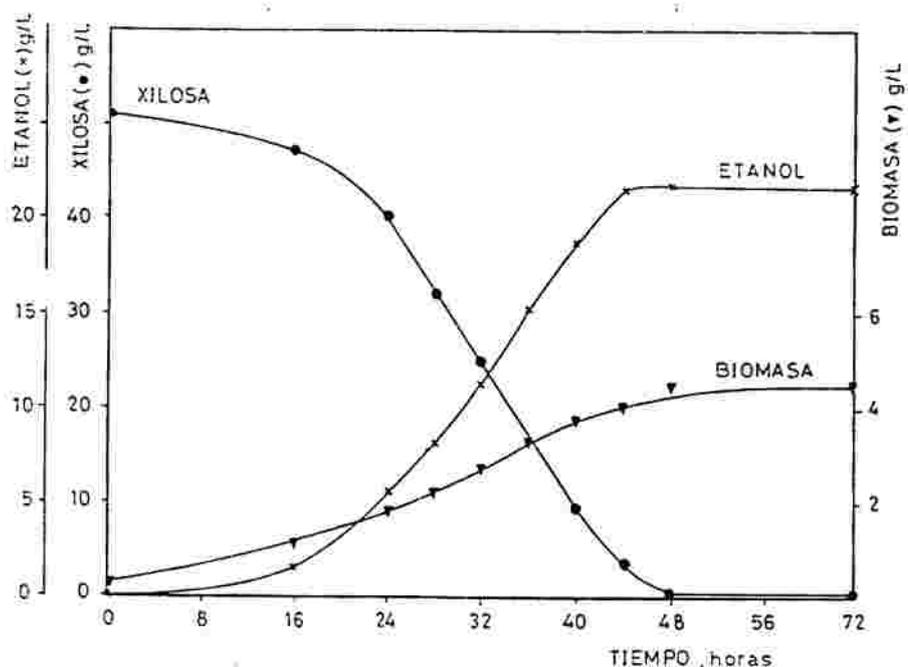


FIGURA 1 - Fermentación de un medio semisintético a base de xilosa (50 g/L) con *Pichia Stiptis*

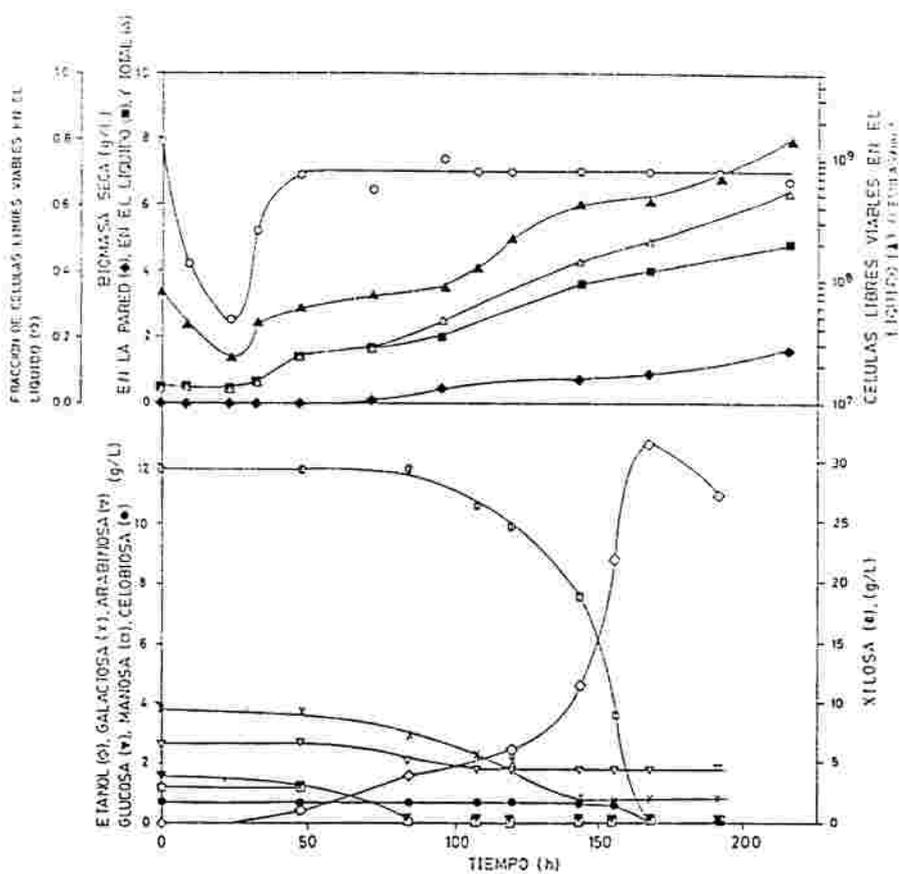
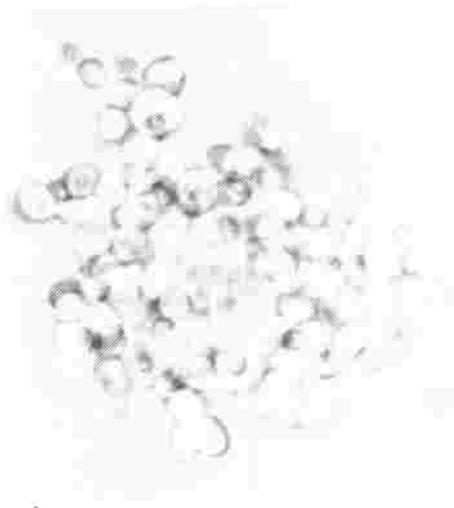
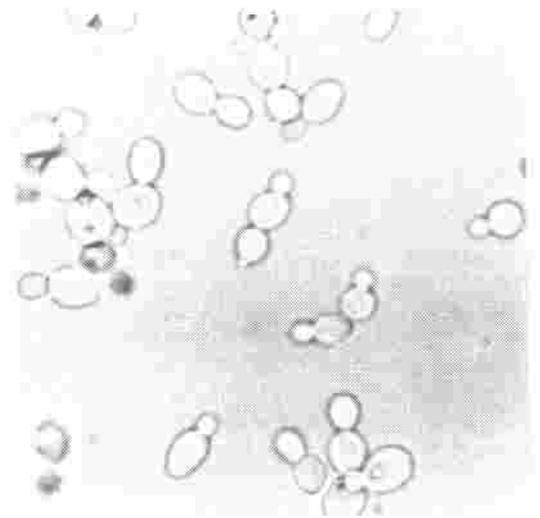


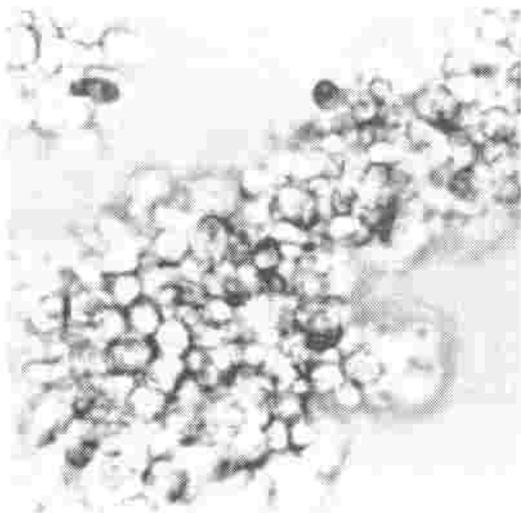
FIGURA 2 - Fermentación de hidrolizado de hemicelulosa de eucalipto por *Pichia stiptis*



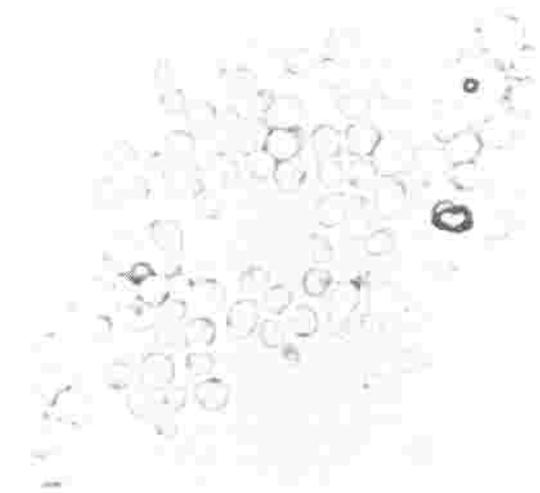
a)



b)



c)



d)

FIGURA 3

Fotografías ilustrando células de *Pichia stipitis* durante la fermentación de hidrolizado de hemicelulosa de eucalipto y de medio semisintético a base de xilosa: a) hidrolizado 12 hs.; b) medio semisintético 10 h; c) hidrolizado 40 h, campo mostrando flóculo y d) hidrolizado 40 h campo mostrando células libres.

ACLARACION

En el número anterior de nuestra revista se omitió por parte de los autores del trabajo "Producción de gases combustibles a partir de madera de Eucalyptus y derivados", indicar que el equipo que trabaja en el desarrollo del tema está integrado actualmente por el Ing. Quím. Jorge Castiglioni, las Bachilleras Andrea Spósito y Teresita Corominas y los autores del mismo.

FE DE ERRATAS

Por error se omitió en el número anterior el nombre de uno de los autores del artículo "Utilización de agua ablandada por intercambio iónico en circuitos de enfriamiento alimentados con agua de OSE". Este artículo fue escrito por la Ing. Quím. Margaret Johnston y el Sr. Jorge Ramada.

Asimismo en el mismo artículo se deslizó un error en la primera frase de la pág. 55 (venía de la pág. 54), la cual tendría que haber quedado redactada de la siguiente manera "... en la reposición se lleva prácticamente a 0 y no tiene sentido entonces referirse al Índice Langlier".