

Impacto de la Vigilancia Tecnológica en la Proyección de las Investigaciones de Producción de Etanol a partir del Bagazo de la Caña de Azúcar.

Monitoring Impact of Technology on Research Projected Ethanol Production from Bagasse of Sugarcane

Autores:

MESA Leyanis⁽¹⁾, CLARO Mirelis⁽²⁾, GONZALEZ Erenio⁽¹⁾, CASTRO Eulogio⁽³⁾, GALIAN Carlos⁽⁴⁾

1) Centro de Análisis de Procesos. Facultad de Química-Farmacia. Universidad Central de Las Villas. Cuba

2) Oficina de propiedad Intelectual de Villa Clara.

3) Departamento de Ingeniería Química, Ambiental y de los Materiales. Universidad de Jaén

4) Parque Tecnológico de Misiones. Argentina.

Autor para la correspondencia: leyanimg@uclv.edu.cu

Resumen

El trabajo tiene como principal objetivo evaluar el impacto de la vigilancia tecnológica de la producción de etanol a partir de bagazo de caña como residuo lignocelulósico en la formulación y búsqueda de nuevos proyectos y alianzas estratégicas con los sectores productivos. Además, se ofrece un análisis teórico sobre el escenario actual en la temática, el papel de la llamada sociedad de la información y el papel de la gestión de la información externa en la gerencia del conocimiento y proyectos vinculados a la temática.

Finalmente, se plantea una matriz DAFO que expone las principales ventajas e inconvenientes que tiene la implementación de esta tecnología en Cuba y Latinoamérica en general y se analizan una serie de actividades para minimizar las debilidades y amenazas en la obtención de etanol a partir de bagazo de la caña de azúcar, como residuo lignocelulósico fundamental.

Palabras claves: vigilancia tecnológica, etanol, bagazo

Abstrat

The main work is to evaluate the impact of technological surveillance of the production of ethanol from sugar cane bagasse as lignocellulosic residue in the formulation and pursuit of new projects and partnerships with the productive sectors. In addition, it offers a theoretical analysis of the current scenario in the field, the role of the so-called information society and the role of external information management in knowledge management and projects related to the topic.

Finally, we present a SWOT matrix setting out the main advantages and drawbacks of implementing this technology in Cuba and Latin America in general and discusses a number of activities to minimize weaknesses and threats in producing ethanol from bagasse sugar cane, and lignocellulosic residue essential.

Keywords: Monitoring technology, ethanol, bagasse

Introducción

El costo de producción del etanol está íntimamente relacionado y es dependiente del costo de la materia prima utilizada, del volumen y de la composición de la misma. El éxito de cualquier plan de desarrollo de cultivos para producir etanol, a su vez depende de la selección de los cultivos apropiados, los métodos de producción y su ubicación. El sistema de producción de bioetanol con mejores oportunidades en el mercado es el que se encuentre completamente integrado, de forma tal que aproveche todas las posibilidades que le dan los derivados de la propia producción. Por otro lado, la mayoría de los países latinoamericanos, entre ellos los productores de azúcar, están en la búsqueda de una estrategia para la reconversión de sus economías productivas, a fin de dar respuesta a la apertura de nuevos mercados y a la integración regional. Para lograr una explotación más amplia de la caña de azúcar es necesaria una estrategia de diversificación que permita, junto a la producción de azúcar, la obtención de un mayor número de derivados. A escala mundial el etanol ha adquirido un gran valor por la posibilidad de su uso como combustible, ya sea mezclado con gasolina o con petróleo, y sobre todo porque constituye una fuente renovable de energía. Su mezcla con los productos anteriores proporciona un combustible de mejor calidad, además de las posibilidades que brinda la alcoquímica como ruta de desarrollo de nuevos productos a partir del etanol y la creciente demanda que tiene el ETBE, (etil terbutil éter) obtenido a partir de etanol, para oxigenar el combustible (González et al, 2005).

El aumento de la producción de etanol en el mundo ha estado aparejado con el desarrollo de nuevas tecnologías que permiten obtenerlo a partir de residuos de madera, de desechos sólidos y de todos los materiales que contengan celulosa y hemicelulosa lo que permite revalorizar los desechos de varias industrias convirtiéndolos en materia prima para la obtención de etanol. El interés por el uso de materiales lignocelulósicos como materia prima en procesos de transformación por microorganismos es importante desde hace ya varias décadas.

Los materiales lignocelulósicos presentes en la caña de azúcar presentan una gran potencialidad para esto, ya que en la actualidad existen tecnologías que

permiten convertir estos materiales en etanol. Por otra parte, la cultura existente en nuestros países relacionados con el cultivo de la caña de azúcar, la experiencia y tradición azucarera y los precios del azúcar en el mercado mundial, permiten pensar en alternativas tecnológicas que revaloricen la caña y desvíen, de forma total o parcial, la producción de azúcar hacia la de etanol, tal como hoy en día se hace en algunos países como Brasil, que posee estructuras de producción flexibles a fin de permitir una u otra variante.

El aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica con el objetivo de obtener etanol está basado en la transformación de los azúcares contenidos en la misma. Los microorganismos que realizan esta conversión necesitan disponer de los azúcares en forma monomérica, por lo que es preciso la descomposición o hidrólisis de los polímeros azucarados presentes en la biomasa lignocelulósica. Sin embargo, mientras que es relativamente sencilla la hidrólisis en el caso de las materias primas ricas en almidón, como los cereales, resulta mucho más difícil el proceso cuando se parte de residuos lignocelulósicos, puesto que los polímeros que los constituyen están formado estructuras estrechamente ligadas entre sí y altamente empaquetadas, dificultando el acceso a los agentes hidrolíticos.

Bagazo de caña de azúcar

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) es una gramínea con una elevada eficiencia en la fotosíntesis, que le permite obtener hasta 85 t de biomasa seca por hectárea de cultivo (Gálvez y Gálvez, 2000), por lo que constituye una fuente inagotable de alimentos, energía y materias primas para la industria y ha sido tradicionalmente la base de la economía de Cuba y otros muchos países tropicales. Como los precios del azúcar en el mercado mundial han estado deprimidos por largo tiempo, la diversificación de la industria azucarera es un requerimiento urgente de los países exportadores de azúcar (Olguin *et al.*, 1995; Clarke y Edye, 1996; Romero *et al.*, 1997; Almazán, 1999; Gálvez, 2000).

El bagazo es el residuo separado después de la extracción del jugo de la caña de azúcar y es el principal subproducto de la industria azucarera (Banerjee y Pandey, 2002). Por cada 100 t de caña procesada

para la producción de azúcar se obtienen alrededor de 28 t de bagazo y 20 t de residuos agrícolas (Suárez, 1994; Gálvez, 2000). Valdés (1999) plantea que por cada millón de toneladas de azúcar producido se originan 2.5-2.3 millones de toneladas de bagazo y residuos agrícolas.

El bagazo y los residuos de la cosecha de la caña de azúcar contienen alrededor de un 70% de carbohidratos. Los datos de la literatura indican que el bagazo contiene 41-52% de celulosa, 25-30% de pentosanas y 18-25% de lignina, por lo que su composición química es más cercana a la de las maderas duras que a la de las maderas blandas (Martín y Obolenskaja, 1988; Noa *et al.*, 1991; Gastón *et al.*, 2000; Banerjee y Pandey, 2002).

Los xilanos son, después de los glucanos, los carbohidratos más importantes en el bagazo. La xilosa representa casi un tercio del contenido de azúcares en los hidrolizados de bagazo (Puls, 1993). Para que la obtención de etanol a partir de bagazo sea económicamente viable se requiere una eficiente conversión de todos sus azúcares, incluyendo pentosas como la xilosa en etanol.

El bagazo de caña de azúcar se encuentra disponible en las fábricas de azúcar sin un costo adicional, ya que los costos de cultivo, transportación y almacenamiento son cubiertos por la producción de azúcar (Teixeira *et al.*, 1999). Además, tiene un alto contenido de carbohidratos y un contenido de lignina relativamente bajo. El bagazo representa, por tanto, una fuente barata y abundante de carbohidratos con un gran potencial de ser convertido en etanol. Según Triana *et al.* (1990), la gran experiencia en la manipulación, transportación y almacenamiento del bagazo disminuye los riesgos inversionistas y lo hacen atractivo en comparación con otros materiales lignocelulósicos.

Desarrollo

Resultados de Vigilancia tecnológica para la obtención de etanol a partir de bagazo de la caña de azúcar

El principal resultado de la vigilancia tecnológica será el conocimiento adquirido, que servirá de soporte a la toma de decisiones por parte del grupo de expertos externos. Aunque el proceso de vigilancia tecnológica tiene un carácter continuo y cambia constantemente como consecuencia de los cambios, también continuos, que se producen en el entorno externo, es necesario mantenerlo actualizado a fin

de disponer de una vigilancia tecnológica dinámica, que permite cambios rápidos y eficientes. Por lo que se debe establecer la periodicidad y la actualización de los resultados.

El objetivo de este estudio consiste en identificar los desarrollos tecnológicos en el tema, los países y las empresas líderes utilizando como fuente bases de datos internacionales de patentes y literatura no patente para perfeccionar el diseño de las investigaciones y actividades de desarrollo, que permita asimilar las tecnologías y proponer una estrategia para obtener mayor eficiencia y competitividad en esta industria.

Para realizar este estudio se tiene en cuenta la información publicada en documentos de patentes, artículos científicos, dictámenes de expertos, informes de autoridades nacionales, informes de organizaciones no gubernamentales, información de empresas productoras y comercializadoras, y cualquier otra fuente confiable de información que contribuya a establecer, lo más real posible, el estado actual de la técnica relacionada con el tema a vigilar. Por lo que se considera la estrategia de vigilancia tecnológica planteada como una estrategia de prospección la cual no es una actividad de previsión que busca diseñar los hechos más probables, se trata de una acción abierta a diferentes contextos, diseña múltiples posibilidades y sugiere acciones diversificadas. Esto es lo que presenta el diagrama heurístico de forma organizada (Antunes *et al.*, 2006). En los numerosos trabajos publicados sobre tecnologías de producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica se han tenido en cuenta aspectos como la disponibilidad de las materias primas, el costo de las operaciones, el impacto ambiental derivado de las mismas; pero se hace necesaria la evaluación integral de las diferentes alternativas con vistas a seleccionar aquellas que ofrezcan mayores posibilidades de aplicación. Para ello es fundamental en un primer momento la identificación de las alternativas disponibles, dadas específicamente por la materia prima que utilizan, tomando en consideración los factores técnicos, económicos y ambientales de las mismas de forma tal que se garantice el logro de una tecnología que tribute a una mejor economía en los procesos involucrados.

La identificación de las principales barreras que limitan las variantes que se han señalado

anteriormente permite la proyección de estrategias de investigación en ese sentido, donde se intenta resolver las mismas. El aspecto económico es un factor clave en el desarrollo de las tecnologías de obtención de etanol de lignocelulósico, ya que el costo de producción del etanol depende principalmente del precio de la materia prima, que como hemos visto, con la utilización de biomásas residuales (de segunda generación) se disminuye este costo (González, 2006). Pero al utilizar estos materiales se incrementa la complejidad tecnológica y está limitado por los siguientes factores:

- La barrera de la lignina y la hemicelulosa

La utilización microbiana o enzimática de los materiales lignocelulósicos requiere previamente la ruptura de la barrera de lignina y la influencia de la hemicelulosa. Esto significa realizar algún tipo de pretratamiento, físico, químico o biológico. También dificulta el ataque biológico, la cristalinidad y el área superficial de la celulosa.

- Costo de enzimas hidrolíticas.

Para disponer del carbono presente en la celulosa y hemicelulosa, se requiere, después del pretratamiento, hidrolizar estos compuestos a glucosa y pentosas. Algunos estudios relevan que el costo de las celulosas puede representar hasta un 60% del costo total de producción de azúcares fermentables a partir de recursos celulósicos.

- Grado de utilización del recurso.

En los procesos estudiados y desarrollados hasta la fecha se considera principalmente la utilización de la fracción celulósica, habiendo un uso incompleto, de poco valor agregado a los otros constituyentes del recurso (pentosas, proteínas, resinas, lignina). Particularmente esta última tiene usos potenciales

- El consumo de agua.

El proceso de obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos requiere el manejo de grandes volúmenes de agua. La etapa de hidrólisis enzimática se identifica como la de mayor consumo, teniendo en cuenta que el agua es aproximadamente el 80% en volumen de esta etapa del proceso. El agua es un recurso limitado en muchos países, por lo que se deben buscar alternativas que logren reducir el consumo de agua. Además, se plantea que la próxima crisis mundial no será por el petróleo sino por el agua, debido a la escasez que se prevé

en los siguientes años

- El consumo de energía

El mayor consumo de energía en el proceso tiene lugar en las siguientes etapas: molienda, calentamiento del material a la temperatura de reacción y la destilación.

Estudios recientes realizados por Solar Energy Research Institute (SERI), sobre la obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos, concluyen que los principales componentes del costo de etanol son: consumo de energía, inversión de capital total, consumo de catalizador y consumo de materia prima.

Otro aspecto importante que debe considerarse integralmente en el momento de concebir una instalación industrial para la utilización de la biomasa lignocelulósica para la producción de etanol es que el proceso entrega cantidades apreciables de lignina y hemicelulosa las cuales pueden emplearse en la generación de energía y la obtención de productos de alto valor agregado, lo que disminuye el costo total del proceso.

Con relación a la etapa de hidrólisis es posible identificar los siguientes parámetros claves que inciden en la economía del proceso: Rendimiento de azúcares fermentables por materia prima inicial, Concentración de azúcares fermentables, tiempo de reacción y tamaño de partículas requerido.

Un alto rendimiento reduce el costo de la materia prima y del catalizador. Altos rendimientos y bajos tiempos de reacción reducen el tamaño del hidrolizador y por lo tanto la inversión de capital. El tamaño de los equipos y el consumo de energía en etapas posteriores del proceso son inversamente proporcionales a la concentración de azúcares, especialmente las etapas de destilación y de tratamiento de efluentes (González, 2006).

La subida de los precios de los alimentos y los últimos informes negativos sobre la obtención de combustibles a partir de productos empleados en la alimentación han generado el rechazo y la desconfianza en la sociedad. La agencia para los Combustibles Renovables del Reino Unido, llamado informe Gallagher, recomienda frenar los objetivos de estos carburantes verdes para el 2020 hasta que se pueda asegurar su sostenibilidad. Estos han pasado en pocos meses de ser parte de la solución para el cambio climático a convertirse en foco de todas las críticas. Sin embargo, no todos los

biocombustibles tienen la misma responsabilidad en la crisis alimentaria global. Un reciente estudio secreto del Banco Mundial, publicado por “The Guardian”, aseguraba que el impacto de estos carburantes puede suponer el 75% del aumento de precio del maíz y el trigo. Pero dicho informe excluía de esa cifra al sustituto vegetal de la gasolina producido a partir de la caña de azúcar. De hecho, este producto es la única materia prima agrícola que no ha aumentado de precio desde 2006, mientras el aumento medio del resto de alimentos ha sido el 83% en el mismo período.

El ciclo de vida del bioetanol de caña de azúcar 2 que las gasolinas procedentes del petróleo, según datos extraídos de informes del “Worldwatch Institute” y de la Agencia Internacional de Energía. El bioetanol producido a partir de cereales en Europa o Estados Unidos genera un 30% menos de carbono que la gasolina y el producido a partir de remolacha en la Unión Europea tiene un 45% menos de reducción.

Inconvenientes de la tecnología

Como ya se ha mencionado anteriormente el bioetanol producido a través de residuos lignocelulósicos tiene inconvenientes reportados por varios autores, los más frecuentes son:

- El pretratamiento utilizado tradicionalmente para eliminar la lignina y la hemicelulosa es costoso
- La producción de enzimas capaces de hidrolizar la celulosa/hemicelulosa ocurre en biorreactores y por técnicas muy costosas
- La Hidrólisis enzimática de los sustratos pretratados constituye la etapa que más contribuye al costo de producción de etanol por manejar grandes volúmenes de agua, largos tiempos de hidrólisis y equipos de gran tamaño. Aunque existen puntos en las soluciones ingenieriles que pueden disminuir los costos de esta etapa.
- El costo de inversión para una planta de producción de bioetanol a partir de bagazo de caña es 50% más caro que para una planta de similar capacidad a partir de melazas
- A pesar de que la melaza como materia prima cuesta 4 veces más que el bagazo de caña, el costo unitario por litro es 30% más caro para la producción de etanol a partir de bagazo de caña que a partir de la melaza.

Fuentes de Información

La fuente de información fundamental fue la base de datos de patentes QPAT la cual dispone de un sistema de búsqueda (PlusPat) que incluye cerca de 50 millones de documentos de patentes, colectados a partir de las bases de datos de 75 autoridades mundiales. También se utilizó la base de datos Esp@cenet internacional, la cual incluye información de cerca de 70 países y regiones del mundo y contiene 59 millones de patentes. Complementariamente se consultaron las bases de datos de patentes de EE.UU. y la de los registros internacionales de patentes de acuerdo al Tratado Internacional de Patentes administrado por la OMPI. Además se utilizaron sitios de búsquedas de información científico-técnica, así como motores de búsquedas de compañías comerciales.

Información de literatura de Patentes

PetroBras presenta la solicitud de dos patentes para un proceso completo de obtención de alcohol a partir de residuos lignocelulósicos en especial bagazo de caña de azúcar. La cual comprende un paso de hidrólisis ácida de la hemicelulosa con ácido sulfúrico ocurriendo simultáneamente una fermentación alcohólica en la cual el índice de conversión a etanol es muy alto en muy poco tiempo, la segunda patente va encaminada a la deslignificación del sustrato pretratado referido en la patente anterior y así incrementar los resultados de obtención de etanol. DEDINI, uno de los mayores grupos empresariales fabricantes de máquinas e implementos para el sector de azúcar y alcohol, ha depositado varios pedidos de patente referentes al proceso DEDINI Hidrólisis Rápida (DHR) en Brasil; dos de éstas ya han sido concedidas y otras se encuentran en estudio. En el exterior, se solicitaron patentes en algunos países de Europa y en Japón. En Estados Unidos, la patente principal ya ha sido otorgada. Esta patente comprende el diseño de un reactor en el cual, el residuo lignocelulósico, está distribuido a lo largo del mismo y este está sometido a un flujo de solvente orgánico, agua y un ácido inorgánico fuerte diluido. Bajo estas condiciones se obtienen un extracto contenido en la fase líquida, mientras que la sólida no reacciona, este proceso ocurre bajo condiciones de temperatura controlada, y recirculación. La generalización de este proceso permitirá que Brasil, en el año 2012 suministrar el 10% de etanol de toda

la gasolina global.

Información de literatura no Patentes

Se encontraron 26 artículos vinculados a usos en proyectos de investigación e información académica enfocados a la obtención de etanol a partir del bagazo de la caña.

De todos los artículos encontrados, el 65% fueron publicados en los últimos 10 años. Es conveniente explicar que a su vez, se encontraron 3 artículos de principio de siglo XX relacionados con la hidrólisis ácida de la caña de azúcar, publicados en eventos de la revista "Royal Society of London".

La gama de revistas es amplia y la que más publicaciones tienen, son la Applied Biochemistry and Biotechnology y la Journal of Food Engineering, dos publicaciones de alto impacto en la comunidad científica. Las universidades Brasileñas acaparan el 30% del total de artículos, y las otras instituciones pertenecen a países productores de azúcar a partir de la caña, con excepción de España. En la temática en general, o sea, obtención de etanol a partir de materiales lignocelulósicos, en las revistas citadas por la Web Citation Index, se encontraron un total de 158 artículos revisados hasta enero del 2009, de los cuales el 32,4 % correspondió al bagazo de la caña de azúcar. En cuanto a las publicaciones organizadas por continentes, se tiene que Europa representa el 43,2% de las publicaciones en la temática, siendo los países líderes Suecia y España. Después le sigue América con un 33,3% siendo significativo las publicaciones de Brasil, Estados Unidos y Cuba en ese orden; y por último es necesario destacar las publicaciones del continente asiático con un 33,3% destacándose la India y China.

En el proceso de recuperación de información, quedó evidenciado que la mayor cantidad de información disponible se encuentra en los sitios de información científico-técnica y comercial de los países con mayor volumen de exportación de bioetanol, tomaremos a Brasil como ejemplo ya que se mantienen como el mayor exportador a nivel mundial de etanol a partir de caña de azúcar.

Conclusiones

Con los resultados obtenidos se puede concluir que:

- Se recuperaron muy pocas patentes relacionadas con el tema en estudio, solamente 15 patentes y familias de patentes.
- El 47% de las patentes recuperadas fueron

alemanas Estas patentes alemanas están referidas a resultados de investigaciones básicas con probabilidades de ser aplicadas industrialmente como varios tipos de hidrólisis, de sacarificación y de extracción

- El Brasil es el mayor país productor-exportador de etanol a partir de caña de azúcar.

- Se recuperaron 3 patentes brasileñas de alto impacto en la producción de etanol a gran escala. Las grandes empresas Petrobrás y DEDINI son los titulares de las mismas.

- A través del método de hidrólisis rápida, el procesamiento del material lignocelulósico resulta factible para la producción de bioetanol. Este método no incluye la hidrólisis enzimática en el proceso; a través del pretratamiento se obtienen los azúcares fermentables directamente que serán mezclados con los azúcares procedentes de las mieles y los jugos de caña para la fermentación y destilación.

- Se recuperaron 26 artículos científicos encontrándose el 65% de ellos publicados en los últimos 10 años.

- Las revistas Applied Biochemistry and Biotechnology y la Journal of Food Engineering, fueron las que más artículos han publicado.

- El 30% de los artículos fueron generados por Universidades brasileñas.

Para la culminación de este trabajo se elaboró la matriz DAFO (Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades) para este caso de producción de etanol y coproductos a partir del bagazo de la caña de azúcar.

Matriz DAFO

Debilidades, D

- La disminución y agotamiento inminente de las reservas de combustibles fósiles abren una oportunidad de obtención de biocombustibles, en este caso concreto etanol, a partir de materias primas lignocelulósicas residuales de la agroindustria, pero requieren del desarrollo y puesta a punto de tecnologías que permitan bioprocesos eficientes y económicamente viables, objetivos no tan sencillos de alcanzar.

- El factor costo constituye una debilidad actual que debe ser superada a través de la optimización del proceso innovativo. La utilización de la biomasa lignocelulósica residual de procesos agrícolas y/o industriales pueden disminuir los costos asociados a las materias primas. Sin embargo los costos de recolección, transporte y procesamiento pueden

hacer su uso inviable frente a procesos basados en sustratos convencionales (azúcares y almidones). Por esta razón, se ha orientado la línea de investigación y desarrollo hacia el empleo de microorganismos fermentadores capaces de utilizar como fuente de carbono a la mayoría de los azúcares presentes, incluidos las pentosas.

Amenazas, A

- El traslado de tecnologías diseñadas en otras regiones del mundo atendiendo a las características y composiciones particulares de la biomasa disponible en dichas regiones, sin tener en cuenta que diferencias quizás poco significativas porcentualmente en cuanto a la composición de los materiales lignocelulósicos pueden derivar en la invalidación de una ruta determinada de procesamiento.

- Otra amenaza relacionada con la solución innovativa propuesta se deriva de competidores ya establecidos en el mercado que elaboran productos equivalentes a partir de otras materias primas como es el caso de los derivados del petróleo.

- En términos de demandas el factor crítico se relaciona con el costo de estas biotecnologías, que puede eventualmente afectar la competitividad por el precio final respecto a las contrapartes derivadas de la industria del petróleo y la petroquímica.

- Por tratarse de tecnologías no convencionales su difusión a nivel razonablemente masivo puede encontrar un obstáculo en la falta de personal con experiencia específica. Esta amenaza potencial puede ser disminuida en parte a través de un adecuado diseño y automatización de los procesos que disminuya el peso relativo de los conocimientos técnicos requeridos para operar los mismos.

- Una amenaza importante es la tendencia que, al contrario de la biomasa que pretende el aprovechamiento del material en una cascada de mayor a menor valor agregado, impulsa a utilizar la biomasa residual para la combustión directa, como proponen algunos programas de gran difusión.

Fortalezas, F

- La biomasa lignocelulósica está compuesta mayoritariamente por lignina, celulosa y hemicelulosa. La xilosa es el monómero fundamental encontrado en residuos agroindustriales. En cuanto los residuos lignocelulósicos contienen los azúcares más

importantes: hexosas y pentosas. Esta composición básica de la materia prima indica que la bioconversión de los lignocelulósicos a etanol, requiere de la fermentación eficiente de la mezcla de azúcares que incluye a la xilosa. Se incluye el proceso de obtención de etanol a partir de pentosas, que es un proceso relativamente nuevo, al menos en términos de factibilidad económica.

- La fermentación de la glucosa y fructosa ha sido establecida a través de miles de años de práctica. Las cepas de levaduras utilizadas para producir vinos y cervezas han sido aisladas de diferentes fuentes. Esto constituye una fortaleza esencial del proceso, ya que en la etapa de fermentación permite aprovechar las tecnologías establecidas por industrias de gran tradición.

- La existencia en Cuba de industrias de producción de alcohol a partir de melazas integradas material y energéticamente a la producción de azúcar, lo que indudablemente constituye una fortaleza, ya que los input de energía y masas estarían distribuidos a partir de la fábrica de azúcar.

- Otro aspecto innovador se centra en la mejora del proceso de hidrólisis enzimática de la celulosa que permite obtener monómeros de glucosa. De esta manera se evitan los procesos más usuales basados en la hidrólisis ácida a temperaturas elevadas, que requieren equipamiento resistente a la corrosión y además se desaprovecha parte del potencial de la materia prima ya que pueden dar lugar a la destrucción de la glucosa y por ende reducir la fuente de carbono para los microorganismos durante la fermentación, disminuyendo consecuentemente el rendimiento en etanol.

- La obtención de coproductos de interés industrial derivado de la obtención de etanol a partir del bagazo de caña y de los residuos lignocelulósicos en general, lo que permite hablar de un término análogo al de la industria del petróleo: Biorrefinería. Esta fortaleza en tanto, está en línea con la tendencia a actuar hacia procesos más limpios que se proponen en el marco del desarrollo sustentable.

Oportunidades, O

- El aprovechamiento de estos residuos lignocelulósicos específicamente bagazo, mediante procesos biotecnológicos y bioquímicos, puede ser significativo para incrementar la rentabilidad del sector agroindustrial, ya que los residuos de la

agroindustria azucarera son fácilmente recolectables y alcanzan volúmenes apreciables. Al mismo tiempo se les da un uso importante como fuente de biocombustibles y productos de alto valor agregado a estos residuos.

- Amplio interés nacional e internacional en la utilización de los residuos lignocelulósicos de la industria azucarera como fuente de biocombustibles y productos de alto valor agregado.
- La existencia de gran conocimiento por parte de los obreros agrícolas y técnicos del sector azucarero en el manejo, conservación y transportación del bagazo y la paja de caña de azúcar.

Bibliografía

1. Almazán O. *The process of diversification in the sugar industry*. Specialized lecture. University of Mauritius. Port Louis, Mauritius. 1999
2. Banerjee, R., Pandey, A.. *Bio-industrial applications of sugarcane bagasse: A technological perspective*. *Int. Sugar J.*, **104**, 64-68. 2002
3. Clarke, M.A., Edye, L.A. *Sugar beet and sugarcane as renewable resources*. *Agric. Mat. Renewable Resour.*, **647**, 229-247. 1996
4. Gálvez L.O. *La producción diversificada de la agroindustria de la caña de azúcar*. En *Manual de los derivados de la caña de azúcar*. Tercera Edición. La Habana, Cuba. 2000
5. Gálvez, L.O., Gálvez, G. *La caña de azúcar*. En *Manual de los derivados de la caña de azúcar* (Ed. L.O. Gálvez). Tercera Edición. La Habana, Cuba. pp. 21-30. 2000
6. Gastón, C., Bambanaste, R., Correa, J., Alfonso, G., Herryman, M. *Bagazo*. En *Manual de los derivados de la caña de azúcar* (Ed. L.O. Gálvez). Tercera Edición. La Habana, Cuba. pp.31-44. 2000
7. González, E. *Vías para el diseño de nuevas instalaciones de la industria química, fermentativa y farmacéutica*. La Habana. Editorial Científico Técnica. 2005
8. Martín, C., Obolenskaja, A.V. *Khimitcheskij analiz bagassy sakharnogo trostnika y polutchenje dioksan-lignina*. Report. Kafedra Khimii Drevesiny. Lesotekhnitcheskaja Akademija. Leningrad, SSSR. 1988
9. Mesa, L. *Estrategia de Vigilancia Tecnológica para la obtención de etanol a partir de residuos lignocelulósicos*. España. Comunicación Social de la Ciencia. 2007
10. Noa, H., Zegarra, J., Zavala, A., Monegro, J.T. *La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar*. Serie Diversificación. GEPLACEA. México. 1991
11. Olguin, E.J., Doelle, H.W., Mercado, G. *Resource recovery through recycling of sugar processing by-products and residuals*. *Resour. Conserv. Recycling*, **15**, 85-94. 1995
12. Paturau, J.M. *El uso del bagazo como material prima para la obtención de derivados y generación de energía*. En *Subproductos y derivados de la agroindustria azucarera*. Serie Diversificación. GEPLACEA. México. 1988
13. Teixeira, L.C., Linden, J.C., Schroeder, H.A. *Optimizing peracetic acid pretreatment conditions for improved simultaneous saccharification and co-fermentation (SSCF) of sugar cane bagasse to ethanol fuel*. *Renewable Energy*, **16**, 1-4, 1070-1073. 1999
14. Triana, O., Leonard, M., Saavedra, F., Fernández, N., Gálvez, G., Peña, E. *Atlas del bagazo de la caña de azúcar*. GEPLACEA. México. 1990