

VALORACIÓN DESDE LA VIGILANCIA TECNOLÓGICA DE LA CONTRIBUCIÓN DE LAS ALGAS A UNA BIOREFINERÍA

ASSESSMENT FROM THE TECHNOLOGICAL VIGILANCE OF ALGAE CONTRIBUTION TO A BIOREFINERY

Ana Celia de Armas Martínez^{1}, Viviana Quintero Dallos², Viatcheslav V. Kafarov²,
Leyanis Rodríguez Rodríguez¹ y Erenio González Suárez¹*

¹Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní, km 5 ½ Santa Clara. Villa Clara, Cuba.

²Centro de Desarrollo Sostenible en Industrias y Energía. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

Recibido: Junio 26, 2014; Revisado: Julio 25, 2014; Aceptado: Agosto 29, 2014

RESUMEN

La industria de la caña de azúcar abre una perspectiva extraordinaria para transformarse en una biorrefinería que emplea integralmente la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía, siendo muchas las posibilidades que se han estudiado para integrar esta industria en el concepto de biorrefinería. Una de las vías que se está comenzando a analizar es el empleo de las vinazas residuales del proceso de producción de alcohol como medio de cultivo de microalgas, las que a su vez constituyen la biomasa fundamental para la obtención de biocombustibles de tercera generación (biodiesel y bioetanol). Las vinazas constituyen un medio idóneo para el cultivo de microalgas y a través de estas mejoraría la calidad de las vinazas como vertimiento por la remoción de componentes contaminantes orgánicos e inorgánicos solubles. Además, su integración a una destilería, en un complejo azucarero, permitiría aprovechar a su vez las vinazas el dióxido de carbono desprendido en la fermentación del proceso de producción de bioetanol. La biomasa de microalgas tiene el mayor rendimiento de aceite frente a diversas fuentes de energía alternativa de origen vegetal, lo que la presenta como una vía prometedora para la obtención de biodiesel. Por otra parte esta biomasa además de lípidos, contiene celulosa y hemicelulosa que se pueden utilizar como fuente de carbono en los procesos de fermentación para producir etanol, teniendo como ventaja su bajo contenido de lignina que permite suprimir la etapa de pretratamiento de la biomasa y realizar directamente la hidrólisis de este material celulósico.

Copyright © 2014. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Ana Celia de Armas, Email: anaceliaam@uclv.cu

Palabras clave: biorrefinería, vinazas, microalgas, biocombustibles tercera generación

ABSTRACT

The industry of sugar cane opens an extraordinary perspective to convert a biorefinery that uses the sugar cane as chemical products and energy source, being many the possibilities that have been studied to integrate this industry in the biorefinery concept. One of the roads that it is beginning to analyze is the employment of the residual stillage of the alcohol process production like half of microalgae cultivation, those that in turn constitute the fundamental biomass for the obtaining of third generation biofuels (biodiesel and bioethanol). The stillage constitutes a half suitable one for the microalgae's cultivation and through these it would improve the quality of the stillage like to pour for the removal of soluble organic and inorganic polluting components. Also, it's integration to a still, in a sugar complex, would allow to take advantage of the stillage in turn the carbon dioxide removed in the fermentation of the bioethanol process production. The microalgae biomass has the biggest yield of oil in front of diverse sources of alternative energy of vegetable origin, what presents it like a promising road for the biodiesel obtaining. On the other hand, this biomass besides lipids contains cellulose and hemicellulose that can be used as source of carbon in the processes of fermentation to produce ethanol, having as advantage its contained first floor of lignin that allows to suppress the stage of pretreatment of the biomass and to carry out directly the hydrolysis of this cellulosic material.

Key words: biorefinery, stillage, microalgae, third generation biofuels

1. INTRODUCCIÓN

Los países industrializados han comenzado nuevamente a considerar la biomasa como una materia prima idónea para la producción de energía y productos químicos, dado su carácter renovable y su amplia distribución. Asociado a este nuevo replanteamiento del desarrollo tecnológico e industrial nace el concepto de biorrefinería, entendida como la industria de refinado para la producción de energía, combustible, materiales y productos químicos a partir de biomasa vegetal, de esta forma se busca desarrollar la tecnología que permita obtener a partir de los distintos componentes de la biomasa, no solo energía y biocombustibles, sino familias de productos de base que puedan ser útiles a las distintas industrias productoras.

A partir de lo antes planteado y según las más recientes investigaciones en biología marina, el mar puede representar una fuente inagotable de energía estimándose que la reserva energética de la humanidad se encuentra en los océanos donde las algas juegan el papel primordial. Es por ello que actualmente, existen proyectos en ejecución donde se utilizan las microalgas por sus potencialidades y ventajas con relación a plantas tradicionales y además constituyen fuentes de energía y se presentan como una opción prometedora para la obtención de biocombustibles de Tercera Generación. Es por tal motivo que en el presente trabajo se realiza un estudio de vigilancia tecnológica con el fin de proponer alternativas que permitan asociar la obtención de biocombustibles de

tercera generación con la industria azucarera cubana y su integración al concepto de biorrefinería.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Microalgas como biomasa para la obtención de biocombustibles de tercera generación

Las microalgas son un conjunto heterogéneo de microorganismos fotosintéticos unicelulares procariotas (cianobacterias) y eucariotas. Se pueden encontrar en hábitats diversos tales como aguas marinas, dulces, salobres, residuales o en el suelo, bajo un amplio rango de temperaturas, pH y disponibilidad de nutrientes (Montes Ponce, 2010). Su biodiversidad es enorme y se clasifican de acuerdo a parámetros como pigmentación, ciclo de vida, morfología y estructura celular.

Se consideran uno de los grupos de organismos más versátiles en términos de su tamaño, forma y función ecológica (Vonshak, 1990) e igual que las plantas, convierten la energía solar en energía química mediante la fotosíntesis. Son generadoras de pigmentos con una adaptación ecofisiológica y plasticidad bioquímica única; lo que les permite la bioconversión directa de la energía solar en compuestos químicos, bajo una variedad de condiciones medioambientales y a una velocidad mayor que cualquier otra fuente vegetal (Paniagua-Michel J, 1994). Además poseen un gran potencial como fuente de varios productos químicos tales como polisacáridos, lípidos y pigmentos que sirven de base a la industria química y se constituyen en fuente directa de alimento, medicamentos, forraje, fertilizantes y combustible (Albarracín, 2007). Su composición química es muy rica; en ellas se destaca la presencia de minerales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y ácidos grasos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de las algas

<i>Minerales</i>	<i>Vitaminas</i>	<i>Carbohidratos</i>	<i>Ácidos grasos</i>
Sodio, Potasio	Carotenos	Almidón	Ácido araquínódico
Calcio, Hierro	Vitamina C	Celulosa	Ácido eicosapentanoico
Fósforo,	Vitaminas del grupo B	Ácido algínico	Ácido palmítico
Silicio	Betacaroteno (precursor	Agar	Ácido palmitoleico
Aluminio	de la Vitamina A)	Carragenano	Ácido oleico.
Manganeso		Galactosa	
Yodo, Cloro			
Azufre,			
Bromo			
Cobre, Cromo			
Cobalto			
Magnesio			

Medianamente esta composición representa entre un 20-30% de lípidos, 40-50% de proteínas y de la parte restante subdividida entre los carbohidratos, que en algunas especies pueden llegar hasta el 55% de la biomasa, y además de otros compuestos de importancia menor (Benemann y col. 1998).

En los últimos años han atraído la atención para la investigación de su potencial biotecnológico y se presentan como una alternativa que promete satisfacer o reemplazar la demanda global de petrodiesel (Garibay, et al., 2009). Siendo las especies más estudiadas para aplicaciones biotecnológicas, las correspondientes a las microalgas verdes y a las diatomeas.

2.2 Biocombustibles obtenidos a partir de algas

Las microalgas pueden proporcionar materia prima para diferentes tipos de combustibles renovables como el biodiesel, metano, hidrógeno, etanol, entre otros (Harun, et al., 2010). Sin embargo, en estos momentos y unido a los productos antes mencionados comienza a despertar cierto interés la producción de bioetanol.

2.2.1 Biodiesel

El biodiesel es un biocombustible líquido compuesto de alquil-ésteres de alcoholes de cadena corta como etanol y metanol, con ácidos grasos de cadena larga obtenidos a partir de biomasa renovable: aceites vegetales, grasas animales y aceites de microalgas (Robles-Medina et al., 2009), mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del diesel o gasóleo obtenido del petróleo.

Los estudios actuales muestran que el biodiesel cumple con condiciones básicas que sustentan la decisión de utilizarlo para reemplazar a los combustibles fósiles. Este combustible procedente de algas no contiene sulfuros, ni sulfatos, presenta baja toxicidad y es altamente biodegradable, lo que constituye una ventaja para su empleo. Además dentro de las principales ventajas que presenta su uso se encuentra la reducción de emisiones contaminantes (como SO₂ en un 100%, CO entre 10 a 80%) así como la reducción de emisiones de CO₂ provenientes de combustibles fósiles, por lo cual puede ayudar a mitigar el problema del cambio climático. Unido a estas ventajas se puede utilizar puro o mezclado en cualquier proporción con diesel, tiene un punto de inflamación elevado lo que facilita el almacenamiento y la presencia de oxígeno en su composición puede mejorar la combustión.

El contenido de aceite de algunas cepas de algas supera el 80% en peso seco de biomasa bajo condiciones de cultivo adecuadas. De hecho, tienen el mayor rendimiento de aceite frente a diversas fuentes de energía alternativa de origen vegetal. Sin embargo, no todos los aceites de algas son satisfactorios para la fabricación de biodiesel, pero la presencia de aceites adecuados es muy común y constituyen con frecuencia del 20% al 40% de los lípidos totales (Chisti, 2008). Su gran importancia está relacionada a la calidad de los ácidos grasos producidos, donde la mayoría de ellos se componen de ácidos grasos insaturados, siendo los triglicéridos los más útiles para la fabricación de biodiesel. (Montes Ponce, 2010)

2.2.2 Bioetanol

Las algas como principal fuente de materia prima para el proceso de producción de etanol de Tercera Generación tienen sus ventajas en comparación con otras fuentes, ya que son microorganismos fotosintéticos y no compiten con otros organismos por el

suelo. La producción de etanol a partir de algas es principalmente por su fermentación de azúcares. Las principales etapas del proceso vienen dadas por: cultivo de las especies de algas a fermentar, cosecha, descomposición por rompimiento de la pared celular permitiendo la liberación de polisacáridos, sacarificación de almidón y finalmente fermentación de la biomasa, utilizando microorganismos tales como levaduras y bacterias. De esta forma se produce etanol y se separa del resto de la solución. (Wargacki, 2012).

Una ventaja de las microalgas en comparación con otros cultivos utilizados para la producción de bioetanol es su bajo contenido de lignina, el cual llega a ser nulo en algunas cepas; lo cual permite suprimir la etapa de pretratamiento de la biomasa y realizar directamente la hidrólisis del material celulósico (González y Kafarov, 2010).

Sin embargo, las algas marinas contienen un glúcido o hidrato de carbono denominado alginato que no es digerido de forma natural por las bacterias, aunque en los últimos años se han identificado algunas capaces de hacerlo. Estos cuentan con tres enzimas principales: i) la alginatoliasa (Aly), encargada de romper los polímeros del alginato y convertirlos en cadenas más pequeñas (de 2, 3 o 4 azúcares); ii) la oligoalginatoliasa (Oal), rompe estas pequeñas cadenas en sus azúcares individuales; y iii) una enzima que transforma estos azúcares en otros más fáciles de fermentar. (Wargacki, A. 2012). No obstante, se ha desarrollado una bacteria del tipo E. coli, que puede degradar y fermentar el alginato mediante la introducción de los genes requeridos para ello. Según reportes en (Wargacki, A. 2012) la bacteria fue capaz de producir etanol con rendimientos del 80% del máximo teórico predicho, abriendo el camino para la producción de bioetanol de forma más económica y sostenible.

Hasta el momento el proceso se ha estudiado a nivel de laboratorio y de planta piloto. Los experimentos en laboratorio demuestran la viabilidad del proceso y se considera por los investigadores que si se puede llevar a escala industrial, las algas contribuirán notablemente a la producción de biocombustibles.

2.3. Biorrefinería

Se entiende por biorrefinería al conjunto de bioindustrias o industrias basadas en la biomasa comparten el mismo planteamiento: eficiencia y capacidad de producción de las industrias petroquímicas y químicas (refinerías), donde se produce energía, electricidad, combustibles, sustancias químicas y materiales. La heterogeneidad de la biomasa y las numerosas posibilidades de conversión de las mismas, multiplican los posibles esquemas de operación que pueden desarrollarse en una biorrefinería (Ahindra, 2008).

La elección de una biomasa determinada como materia prima para ser utilizada en una biorrefinería como fuente de energía y coproductos químicos (biocombustibles y otros coproductos) estará determinada por las características y actividades de la región en la que se produzca. Uno de los factores limitantes para utilizar la biomasa como fuente de energía y también de productos químicos, es lo referente al aseguramiento de su recolección y transporte hacia el lugar de destino, por ello, la logística existente para la transportación de la caña de azúcar, hasta un complejo fabril productor de azúcar susceptible de estar integrado material y energéticamente con otras instalaciones

industriales, abre una perspectiva extraordinaria de transformar las fábricas de azúcar en verdaderas biorrefinerías que emplean integralmente la caña de azúcar como fuente de productos químicos y energía. Estas instalaciones cuentan con facilidades de producción de la energía en forma de electricidad y vapor que se requieren para los procesos de obtención de azúcar y con ello con la cultura tecnológica de explotación y mantenimiento de estos procesos auxiliares, lo que les facilita la capacidad de aprendizaje tecnológico para la asimilación de nuevas producciones (Mesa y González, 2009).

2.3.1 La industria azucarera y sus posibilidades como una biorrefinería

El desarrollo de la industria azucarera ha permitido el surgimiento en Cuba de una fuerte producción de derivados a partir de los productos residuales o subproductos, como son los residuos de la cosecha, el bagazo, las mieles finales y la cachaza; por lo que si se integra el uso de las mismas en una zona azucarera, se hará más sustentable la economía del país y se obtendrá un desarrollo en el concepto de biorrefinería. (ICIDCA-GEPLACEA-PNUD, 1988). Al dejar de ser los residuos desechables y convertirse luego de su transformación en productos de interés económico; la miel se convierte en proteína y combinada con bagacillo se emplea para la alimentación animal, se incrementa el uso del bagazo en la producción de tableros, de pulpa y papel, se extrae cera de la cachaza, se hace más eficiente los sistemas energéticos de los centrales y se obtiene además otra diversidad de productos de alto interés económico.

Aun cuando el aprovechamiento de los subproductos no alcanza sus límites, se ha necesitado explorar nuevas alternativas de dichas materias primas para la obtención de otros derivados que contribuyan a revalorizar la caña de la forma más alta posible. (ICIDCA-GEPLACEA-PNUD, 1988). Es aquí donde se hace necesario señalar la obtención de biocombustibles de tercera generación, en este caso, el bioetanol y el biodiesel cuyo estudio se ha profundizado en mayor medida.

Bien se conoce que en Cuba, hasta el momento, la única fuente de obtención de bioetanol es a partir de las mieles separadas en el proceso de producción de azúcar, conocido entonces como bioetanol de primera generación. Sin embargo, en su proceso productivo, específicamente en la etapa de destilación, se generan las vinazas como un residual líquido altamente contaminante y que en estos momentos constituye el principal problema de contaminación que presentan las destilerías en el país. Por lo que es prioritario encaminar las investigaciones sobre este tema con el fin de aprovechar dicha corriente en la obtención de productos de alto valor agregado, que permitan una integración industrial ecológica y económicamente más factible y a su vez contribuyan al desarrollo de biorrefinerías.

Dentro de los usos que se le ha dado a las vinazas se encuentra la producción de biogás, fertirriego así como la producción de levadura-torula en plantas aledañas a las propias destilerías. Sin embargo, en países como Colombia, se ha comenzado a estudiar utilizar este residual como medio de cultivo para el crecimiento de microalgas y que a su vez estas se puedan aprovechar para la obtención de biocombustibles de tercera generación, como bioetanol y biodiesel en plantas, que aunque sean de menor escala, constituyen una alternativa tentadora para la integración dentro del concepto de biorrefinería. De esa

forma no solo se obtendría otra vía para la disposición de las vinazas, sino que a su vez se emplearía el CO₂ desprendido en la fermentación, para favorecer el crecimiento de las algas y además constituyera el primer paso en la obtención de biocombustibles a partir de microalgas. Lográndose de esta forma la disminución de su demanda en el país.

Por su parte las vinazas como residual se generan en gran cantidad y contienen una alta carga de sales de potasio, fósforo, nitrógeno, metales pesados, materia orgánica, bajo pH, color oscuro, alta demanda bioquímica y química de oxígeno así como derivados fenólicos y sulfónicos que producen mal olor (Singh y Patel, 2012). El crecimiento de microalgas en aguas residuales presenta un doble beneficio: mejora la calidad de los vertimientos por la remoción de componentes contaminantes orgánicos e inorgánicos solubles y permite el crecimiento de biomasa aprovechable para la obtención de diversos productos. Por tal motivo las vinazas constituyen un medio idóneo para el cultivo de microalgas. Dentro de las principales características de las vinazas que permiten su uso como fuente de cultivo de microalgas está que incluye alcoholes, metabolitos, azúcar no fermentada, levaduras y componentes de la materia prima original, además su composición tiene minerales como potasio, nitrógeno, fósforo, y calcio (Ríos, O. et al, 2013). Algunas investigaciones realizadas en este sentido y sus resultados aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Investigaciones realizadas sobre el crecimiento de microalgas en vinazas

<i>Referencia</i>	<i>Trabajo investigativo</i>	<i>Resultados</i>
Valderrama, et al. 2002	Cultivo de <i>C. vulgaris</i>	Disminución del color de vinazas del 52%
Travieso, et al. 1999 y 2008	Cultivo de <i>C. vulgaris</i> SR/2	Excelente medio de cultivo para el crecimiento de microalgas. Las microalgas realizaron buena remoción del nitrógeno y fósforo superiores al 85% y de sólidos totales superiores al 90%
Investigaciones por CIDES. Castro y Parra, 2011	Cultivo de <i>C. vulgaris</i>	Productividades altas de biomasa, estabilización del pH ácido, no se alcanzó remoción total de carga orgánica.

El principal atractivo del tratamiento con microalgas es el bajo nivel tecnológico y coste energético necesarios, ya que la producción de oxígeno vía fotosíntesis puede reemplazar el aireamiento mecánico. Sin embargo una de las principales limitaciones para este tipo de tratamientos son los sistemas de separación y cosecha de las microalgas de los medios de cultivo. El rol de las algas puede ser directo o indirecto, ya que el secuestro de nutrientes y su deposición en las células representa la remoción directa, mientras que durante la fotosíntesis microalgal el pH se eleva, generando la precipitación del amonio y orto fosfatos presentes, causando una remoción indirecta de estos agentes.

4. CONCLUSIONES

1. Las algas se perfilan hoy en día como la única alternativa de materia prima viable para reemplazar a futuro los combustibles líquidos derivados del petróleo.
2. Las ventajas que proporciona el uso de las algas como biomasa para la obtención de biocombustibles parecen contundentes ya que estas tienen un alto rendimiento por superficie cultivada, bajos costos de producción y no compiten con productos alimentarios como otros cultivos energéticos.
3. La industria azucarera cubana tiene la necesidad de expandir sus mercados y darle un mayor valor a sus coproductos y residuales, encontrándose la solución en el concepto de Biorrefinería.
4. Las vinazas separadas en la producción de etanol constituyen una fuente rica en nutrientes que pueden ser aprovechados para el cultivo de microalgas.

REFERENCIAS

- Ahindra, D., *Biofuels Refining and Performance*, The McGraw-Hill Companies, 2008.
- Albarracín, I., *La producción de Biocombustibles con eficiencia, estabilidad y equidad*. XV Simposio Electrónico Internacional, 2007.
- Benemann, J.R., *A look back at the U.S Department of Energy's Aquatic Species Program-Biodiesel from Algae.*, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, U.S, 1998.
- Chisti, Y., *Biodiesel from microalgae beats bioethanol.*, *Trends Biotechnol.*, Vol. 26, No. 3, 2008, pp. 126–131.
- Fernández, K., *Evaluación técnico-económica de alternativas de adaptación tecnológicas para biorrefinerías en una industria de la caña de azúcar.*, Trabajo de Diploma, Universidad Central de Las Villas, Cuba, 2009.
- Garibay, A., *Biodiesel a partir de microalgas*. *Biotecnología*, Vol. 13, No. 3, 2009.
- González, A. D. and Kafarov, V., *Design of a multifunctional reactor for third generation biofuels production*. *Chem. Eng. Transact.*, Vol. 21, No. 1, 2010, pp. 1297-1302.
- Harun, R., and Danquah, M., *Enzymatic hydrolysis of microalgal biomass for bioethanol production*. *Chem. Eng. J.*, Vol. 168, No. 3, 2011, pp. 1079-1084.
- Harun, R., *Bioprocess engineering of microalgae to produce a variety of consumer products.*, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, Vol. 14, No. 3, 2010, pp. 1037–1047.
- ICIDCA-GEPLACEA-PNUD, *Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar 1*, 1988.
- Montes Ponce, J., *Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel.*, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, 2010.
- Paniagua-Michel, J. *Biotecnología microalgal y obtención de productos químicos y alimenticios*. Serie científica, U.A.B.C.S. N° Especial, Vol. 2, No. 1, 1994. pp. 109-117.

- Ríos, O.A., Kafarov, V., Barajas C., Estudio del efecto de las vinazas en la composición de *Chorellavulgaris* UTEX 1803 para la producción de biocombustibles y productos de valor agregado., Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.
- Robles-Medina, A., Biocatalysis: Towards ever greener biodiesel production. *Biotechnology Advances*, Vol. 27, No. 4, 2009, pp. 398–408.
- Singh, N. Patel, D., Microalgae for Bioremediation of Distillery Effluent., *Farming for Food and Water Security, Sustainable Agriculture Reviews* 10, DOI 10.1007/978-94-007-4500-1_4, 2012.
- Vonshak, A. Recent advances in microalgal biotechnology., *Biotech. Adv.* 8: 1990, pp. 709 - 722.
- Wargacki, A., An Engineered Microbial Platform for Direct Biofuel Production from Brown Macroalgae Science., Vol. 335, No. 6066, 2012, pp. 308-313.