

R01. Potencial de las microalgas para obtener biocombustibles y bioproductos considerando los aspectos energéticos, alimentarios y medio ambientales

Alejandra Palomino*†, Jorge E. López*, Luz M. Flórez*

Introducción. La búsqueda de fuentes alternativas de energía basadas en procesos sustentables y con fuentes renovables es cada vez más importante debido al cambio climático, al agotamiento de los combustibles fósiles y al aumento de sus precios. Una alternativa energética que ha resultado muy atractiva en años recientes es la obtención de biocombustibles a partir de microalgas. El uso de microalgas posee grandes ventajas debido a su elevado contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos, así como su velocidad de crecimiento relativamente alta, además no requiere suelo fértil ni agua de calidad, por lo tanto, no compite con otras actividades agrícolas, igualmente posibilitan la captura de CO₂ y pueden ser utilizadas como materia prima la obtención de bioproductos.

Objetivo. Evaluar el uso de las microalgas en la obtención de diferentes biocombustibles y bioproductos, considerando el impacto a nivel alimentario, energético y medio ambiental.

Metodología. La eficiencia fotosintética y la biología de las microalgas, las convierte en una potencial materia prima para la generación de una amplia gama de productos de consumo, entre los que se encuentran los biocombustibles de tercera generación. Debido a las posibilidades de producción de diversas sustancias por parte de las microalgas y a la necesidad de disminuir los costos de producción, evitar desechos e integrar tecnologías de punta, se ha desarrollado una tendencia para obtener el mayor valor agregado de esta materia prima, combinando procesos como el tratamiento de aguas residuales y captura de gases de combustión, con el fin de generar impactos ambientales positivos.

Resultados. Entre los biocombustibles a obtener, se destacan el biodiesel, el hidrógeno, el etanol, el butanol y el metano, igualmente se pueden obtener otra clase de productos de las microalgas, como comprimidos alimenticios, lecitina, productos farmacéuticos, vitaminas, pigmentos (clorofila) y bioplásticos. Del aprovechamiento de la biomasa de microalgas pueden obtenerse también otras clases de bioproductos, entre los que se encuentra:

- La alimentación animal y acuicultura donde se han realizado investigaciones con las especies como la *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*.
- Fuente de ácidos poli-insaturados como el omega 3 (ácido linolénico).
- Proteínas recombinantes y biofertilizantes.

Conclusiones. Las investigaciones realizadas dentro del grupo de investigación de biocombustibles y biorefinerías, se han centrado en encontrar las condiciones adecuadas para reproducir a nivel de laboratorio y piloto la microalga *Chlorella vulgaris*, conocer científicamente su comportamiento, definir parámetros de cultivo, buscar tecnologías prácticas para hacer el rompimiento celular, extracción de lípidos, y ensayar métodos de purificación de los ácidos grasos principalmente pensando en obtener biodiesel, así mismo en la actualidad se trabaja no solo en aumentar la eficiencia de dichos procesos, si no en la obtención de diferentes productos (proteínas y carbohidratos para hidrolizar y fermentar la producción de alcohol), bajo el concepto de biorefinerías.

Palabras claves. Lípidos, etanol, carbohidratos, proteínas, biorefinerías.

*Grupo de Biocombustibles y Biorefinerías, Universidad del Valle, Cali - Colombia. †Contacto: alejamar_1@hotmail.com

R02. Producción de bioetanol a partir del mucílago de café: análisis de viabilidad técnica a escala de laboratorio

David Orrego*, Doriett Prada*, Deisy Sánchez*, Arley D. Zapata*†

Introducción. El bioetanol es producido principalmente a partir de procesos fermentativos que utilizan diferentes tipos de sustratos de origen alimentario, tecnología que ha sido denominada de primera generación y que es ampliamente cuestionada por diversos sectores, los cuales argumentan riesgos para la seguridad alimentaria de la población. A partir de ello surge la segunda generación de biocombustibles la cual plantea el uso de sustratos que, siendo de origen vegetal, no tienen aplicabilidad alimentaria. Básicamente se trata del uso de residuos agrícolas que pueden tener un alto contenido de azúcares en su composición, o que requieren de tratamientos de hidrólisis para transformar su estructura vegetal original en azúcares simples fermentables.

En Colombia una de las agroindustrias más importantes es la del cultivo y beneficio del café, proceso que genera grandes cantidades de residuos entre los cuales se destaca el mucílago. Este mucílago es una sustancia gelatinosa que forma el mesocarpio del grano de café, y que constituye aproximadamente el 22% en peso del grano en base húmeda. Presenta una alta concentración de azúcares reductores, convirtiéndolo en una potencial fuente de carbono y energía para los microorganismos. Lamentablemente en algunos casos el mucílago es sub-utilizado como adjunto de alimento para animales, pero en la mayoría de los casos es desechado al medio ambiente generando grandes problemas de contaminación fruto de su gran demanda bioquímica de oxígeno (15.000-25.000 ppm).

Objetivo. Estudiar el uso del mucílago como sustrato para la producción de bioetanol a escala de laboratorio, empleando como agente de biotransformación una levadura *Saccharomyces cerevisiae* comercial.

Metodología. El estudio inicia con la evaluación de requerimientos nutricionales del medio de cultivo. Posteriormente se realizó un diseño estadístico para evaluar el efecto de los parámetros operacionales temperatura, pH y concentración de inóculo. Finalmente se hizo un estudio cinético del proceso en biorreactor agitado de 5 L.

Resultados. Los resultados mostraron que no se requiere de suplementos de fuente de nitrógeno ni micronutrientes para alcanzar rendimientos de etanol cercanos a los máximos teóricos. Adicionalmente un diseño experimental factorial permitió encontrar que, bajo condiciones de estudio, la temperatura de 28°C, pH cercano a 5,0 y una concentración de inóculo de 3 g/L, son las condiciones que permiten maximizar la producción de etanol. Por último, los resultados cinéticos del proceso mostraron que en un tiempo de 10 h se obtiene el máximo rendimiento de producto, el cual corresponde a 0,46 g_p/g_s.

Conclusiones. Los resultados obtenidos permiten concluir que el mucílago es un residuo vegetal con alto potencial de aplicación como sustrato para la producción de bioetanol mediante un proceso fermentativo eficiente y amigable con el medio ambiente.

Palabras claves. Mucílago de café, bioetanol, biorreactor agitado.

*Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Laboratorio de Procesos Biológicos, Grupo de Investigación en Biotecnología Industrial, Medellín - Colombia. †Contacto: adzapata@unal.edu.co

R03. Biorefinerías Rurales Sociales (BIRUS) Producción y usos locales de bioetanol hidratado a partir de yuca

Bernardo Ospina*§, Sonia Gallego†, Harold Ospina‡, Jorge Luis Gil†

Introducción. El creciente interés de muchos países por mejorar su seguridad energética y mitigar los efectos del cambio climático, han estimulado la producción de biocombustibles. Los sistemas de producción de etanol que existen hoy en el mundo, están basados en monocultivos (caña de azúcar principalmente). Estos sistemas requieren altas inversiones para su establecimiento, y las comunidades rurales de los países en desarrollo poco se benefician de esta tecnología.

Objetivo. CLAYUCA y CIAT han establecido un proyecto denominado Biorefinerías Rurales Sociales (BIRUS), para producir biocombustible (bioetanol hidratado) basado en yuca, para promover uso local del bioetanol, en comunidades de agricultores. El proyecto integra conceptos de manejo agronómico, ingeniería de procesos y manejo de efluentes, buscando autosuficiencia energética, desarrollo agrícola y seguridad alimentaria en regiones marginales.

Metodología. La escala de la planta piloto es de 250 L por día, es de baja inversión y fácil operación. Las raíces de yuca se transforman en harinas y, posteriormente, se convierten en una biomasa líquida, agregándoles agua. El medio de incubación (pH y temperatura) se ajusta y luego se realizan la hidrólisis y la fermentación. La hidrólisis se realiza con un complejo enzimático (Stargen™), que requiere baja temperatura (30°C), y permite combinar la sacarificación y la fermentación en una sola etapa, debido a que trabaja en las mismas condiciones de temperatura y pH que la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Este proceso se denomina Hidrólisis y Fermentación Simultánea (HFS). El etanol es destilado, evaporándolo a 78°C. Se obtiene bioetanol al 95% de pureza y un residuo líquido llamado vinaza. Las vinazas son floculadas con polímeros de origen biológico o químico. El contenido orgánico decantado se utiliza en la fabricación de suplementos para rumiantes. Las aguas clarificadas se reutilizan para riego.

Resultados. Los resultados obtenidos fueron de 372,5 L de etanol por tonelada de harina, y 106,4 L por tonelada de material fresco. Se obtuvo alcohol re-destilado crudo para uso en generadores estacionarios de energía eléctrica, estufas de cocina, y vehículos flex-fuel. El consumo energético fue 95,3 kW-h ó 342,9 MJ de energía eléctrica, y el consumo de energía térmica fue 3932,5 MJ. El consumo total de energía (eléctrica + térmica) fue 4275,4 MJ. El consumo de energía por litro de etanol fue 17,10 MJ. El balance energético fue positivo (1,37).

Conclusiones. El objetivo de BIRUS es facilitar el uso de biomásas tropicales como yuca para producir bioetanol hidratado, y usarlo en generación de energía, estufas para cocinar, vehículos, y usar los subproductos para obtener co-productos, maximizando el valor agregado de las materias primas. El enfoque BIRUS ayuda a la inclusión social y a mejorar la sostenibilidad del medio ambiente y el desarrollo económico y social de las comunidades rurales.

*Corporación CLAYUCA. †Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Palmira, Colombia. ‡Universidad Federal de Río Grande del Sur (UFRRGS), Brasil. §Contacto: hospina@clayuca.org

R04. Aislamiento e identificación molecular de levaduras autóctonas de Colombia para la producción de etanol

Pedro F. B. Brandão^{*§}, Adelina del Pilar Melendez[†], Mario E. Velásquez-Lozano[‡]

Introducción. La región de los Llanos Orientales y el Piedemonte Llanero, ha surgido en los últimos años como un polo para la producción de biocombustibles, entre ellos el etanol a partir de la fermentación de caña de azúcar con levaduras. El uso de levaduras autóctonas de una determinada región geográfica, comparado con el de levaduras comerciales, tiene el potencial de mejorar los rendimientos del proceso de fermentación debido a una mayor competencia y mejor adaptación a los jugos de caña. En este sentido, es importante recuperar levaduras de las zonas de cultivo y proceso de la caña para obtener las que puedan contribuir a un mejoramiento del proceso local de fermentación. La recuperación de levaduras autóctonas eficientes comprende un extenso proceso de aislamiento en el cual pueden existir réplicas de una misma cepa. Las técnicas de diferenciación permiten identificar estas réplicas para así utilizar las que son únicas en los ensayos de fermentación.

Objetivo. Se pretendió realizar el aislamiento de levaduras autóctonas de Puerto López (Meta), Colombia, con potencial para la producción de etanol, y el establecimiento de metodologías moleculares para su identificación.

Metodología. Muestras ambientales (jugos, mieles, melaza, bagazo, cachaza) de un trapiche panelero de la región de Puerto López y de otros lugares de Colombia, fueron recolectadas para el aislamiento de levaduras autóctonas mediante el uso de técnicas dependientes de cultivo. Se realizaron muestreos en época seca y de lluvias con el objetivo de recolectar diferente carga microbiológica. Las regiones ITS (*Internal Transcribed Spacer*) de las levaduras recuperadas fueron amplificadas por PCR (*Polymerase Chain Reaction*) y analizadas por SSCP (*Single-Strand Conformation Polymorphism*), lo que permitió su diferenciación por huella molecular. Las regiones ITS de una selección de levaduras que mostraron perfiles ITS-SSCP únicos fueron secuenciadas para su identificación. Además, se analizaron las regiones interdelta de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* autóctonas lo que permitió su discriminación por debajo del nivel de especie.

Resultados. Se recuperaron 239 cepas de levaduras autóctonas de Colombia, entre las cuales se encontraron 39 perfiles ITS-SSCP únicos. Por comparación con perfil de huella molecular de levaduras *S. cerevisiae* patrón, se determinó que esta especie está presente en mayor proporción entre las cepas recuperadas (51 entre 239 cepas), lo que se confirmó con la secuenciación de las regiones ITS. *S. cerevisiae* fue la única levadura recuperada en muestras de ambas épocas seca y lluviosa. Entre las 51 cepas de *S. cerevisiae* evaluadas se encontraron distintos perfiles metabólicos de fermentación que indicaron una posible variabilidad intra-específica. La amplificación de las regiones interdelta permitió distinguir un total de 20 perfiles únicos entre este grupo de levaduras y de esta forma discriminar cuáles eran réplicas o subespecies exclusivas. Así, el grupo reducido de cepas únicas fue seleccionado para posteriores ensayos de fermentación para la producción de etanol.

Conclusiones. Se aislaron levaduras autóctonas de Colombia las cuales fueron diferenciadas e identificadas por métodos moleculares. Estas levaduras podrían tener un gran potencial para uso en procesos de fermentación para la producción de etanol.

Palabras claves. Bioetanol, *Internal Transcribed Spacer*, *Single-Strand Conformation Polymorphism*, interdelta.

*Grupo de Estudios para la Remediación y Mitigación de Impactos Negativos al Ambiente (G.E.R.M.I.N.A.), Laboratorio de Microbiología Ambiental y Aplicada, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá - Colombia. †Departamento de Farmacia, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá - Colombia. ‡Grupo de Investigación de Procesos Químicos y Bioquímicos, Laboratorio de Ingeniería Bioquímica, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá - Colombia. §Contacto: pjbdb@unal.edu.co

R05. Producción sostenible de biocombustibles en Colombia: Visión holística y balance de la situación actual

*Carlos Ariel Ramírez T.**

Introducción. El continuo desabastecimiento de combustibles fósiles, los objetivos de mitigación de la acción de gases de efecto invernadero entre otras dinámicas han desatado la búsqueda de alternativas energéticas que mejoren las condiciones de seguridad energética y de sostenibilidad de países alrededor del mundo. Colombia ha tomado parte en el desarrollo de estas tendencias a través de su naciente industria de biocombustibles basada primordialmente en alcohol de caña y biodiesel de palma. El gobierno y la industria privada han lanzado desde el 2005 un activo plan de elaboración y uso de bioenergía con fines de complementar los combustibles que abastecen al sector transporte. Sin embargo, la implementación de la ergocultura conlleva riesgos y oportunidades.

Objetivo. En este trabajo se procura dar cuenta de las condiciones necesarias para el establecimiento de una industria bioenergética sostenible y su estado actual en Colombia.

Metodología. Esto se logra a través de la revisión bibliográfica de reportes de organizaciones mundiales, experiencias internacionales y finalmente de las experiencias locales documentadas a nivel nacional. A través de este material se realiza la identificación de objetivos, actores, acciones y dinámicas clave en pro de la consecución de la sostenibilidad en la industria energética a partir del tratamiento de biomasa.

Resultados. Como resultados generales se hace la identificación de tecnologías de tratamiento, sus implicaciones y su estado en el ambiente nacional y así mismo se propone un “diagrama eco-sistémico” que permite vislumbrar amenazas y potenciadores puntuales alrededor de la industria.

Conclusiones. De forma amplia se concluye que la sostenibilidad en el sector bioenergético colombiano es un objetivo factible, pero el monitoreo que debe establecerse alrededor de variables económico-sociales sobre las poblaciones productoras especialmente, debe ser constante y debe llevar a la aplicación de políticas de inclusión y de distribución de tierras más favorables hacia los pequeños productores.

Palabras claves. Ergocultura, biocombustibles sostenibles, bioenergía, etanol de caña, biodiesel de palma.

*Co-Director del Grupo Economía, Derechos y Globalización del Politécnico Gran Colombiano, Bogotá. Candidato a Doctor de Macquarie University, Australia. Contacto: carlosar@poli.edu.co / carlos.ramirez triana@gmail.com

R06. Evaluación del uso de flemazas y condensados de vinaza como agua de dilución en la fermentación de mieles de caña de azúcar

Tatiana Daza*†, Jorge Socarrás*, César Trujillo*, Michell Montilla*, Ginna Acosta*

Introducción. En Colombia, la principal fuente de azúcares para la producción de etanol carburante a partir de subproductos de la caña de azúcar es la miel B. Ésta debe diluirse para alcanzar una concentración de sustrato adecuada para la acción de la levadura. Parte de la dilución se realiza con vinaza recirculada (aproximadamente 50% del volumen del medio de fermentación) y se completa con agua de proceso, generando altos consumos de ésta última. Por otra parte, en las plantas de alcohol, además de la vinaza, se generan otros efluentes como las flemazas y los condensados de la evaporación de vinaza, los cuales se envían a la planta de tratamiento de aguas residuales. Se plantea el uso de estos efluentes como agua de dilución en la etapa fermentativa contribuyendo a la conservación del recurso hídrico.

Objetivo. Evaluar la factibilidad técnica del uso de flemazas y condensados de vinaza como sustitutos del agua de proceso en fermentaciones tipo batch a escala erlenmeyer.

Metodología. Se realizaron fermentaciones tipo batch utilizando como sustrato miel B diluida con vinaza (50%) y agua de proceso, condensados o flemazas según cada tratamiento, hasta alcanzar una concentración de azúcares fermentables equivalente a 14%. El diseño experimental planteado consistió en cinco tratamientos en los que se evaluó: 100% agua (1), sustitución del 50% del agua por condensados o flemazas (2 y 3) y sustitución del 100% del agua por condensados o flemazas (4 y 5). Los ensayos se inocularon el primer día con levadura fresca, la cual se recirculó a partir del segundo ciclo de fermentación. Las variables de respuesta evaluadas fueron: población de levadura viable, grado alcohólico en el vino, acidez volátil y consumo de azúcares. Los tratamientos se evaluaron por triplicado y los resultados se analizaron estadísticamente utilizando el paquete S.A.S versión 11.0.

Resultados. Se encontró que en los tratamientos en los que se utilizaron flemazas la producción de etanol fue significativamente mayor (0,31%) en comparación con los tratamientos con condensados y el tratamiento control (100% agua); estos últimos no presentaron diferencias significativas entre sí. La viabilidad de la levadura no varió significativamente entre tratamientos. Por otra parte, se evidenció que la recirculación de levadura favorece la producción de alcohol, obteniendo un grado alcohólico en promedio 0,91% mayor en las pruebas en las que se recirculó levadura.

Conclusiones. La sustitución de agua de dilución por flemazas y condensados de vinaza no tiene un efecto negativo sobre la conversión de azúcares a etanol por parte de las levaduras en fermentaciones tipo batch a escala erlenmeyer. La sustitución del agua por flemazas y/o condensados es una alternativa para la preservación del recurso hídrico.

Palabras claves. Flemazas, condensados de vinaza, recurso hídrico, bioetanol.

*Grupo de Investigación en Procesos Azucareros, Cenicaña, Cali - Colombia. †Contacto: tdaza@cenicana.org

R07. Evaluación experimental de la remoción *in situ* de etanol con membranas en un proceso de Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF)

Natalia Orozco*, Felipe Bustamante*‡, Aída Luz Villa*, Alejandro Acosta‡

Introducción. La integración de procesos tiene un gran potencial para mejorar la productividad del bioetanol. Aunque se ha reportado el efecto positivo de la integración de la fermentación y la remoción *in situ* de etanol, y de la sacarificación y fermentación, no hay estudios del efecto de la remoción *in situ* de etanol en el proceso de Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF).

Objetivo. Evaluar experimentalmente el efecto de la integración de procesos sobre la productividad de bioetanol, mediante el acople de una membrana selectiva a etanol a un proceso de SSF.

Metodología. Se sintetizaron y evaluaron membranas poliméricas (polidimetilsiloxano, PDMS), inorgánicas (silicalita) y compuestas (PDMS + silicalita, en forma de matriz mezclada y multicapas); todas las membranas se prepararon sobre soportes de acero inoxidable poroso. La selectividad de las membranas se determinó usando mezclas modelo etanol + agua y caldos de fermentación (concentración de etanol entre el 5% y 12% p/p).

Resultados. Las membranas compuestas en forma de multicapas presentaron el mejor desempeño, tanto para las mezclas modelo como para los caldos de fermentación. La permeancia de etanol en las mezclas modelo fue de 5,39 Kg m⁻²h⁻¹bar⁻¹, lo cual se tradujo en un factor de separación de 31,4 y una concentración de etanol en el permeado de 81,77% p/p; con los caldos de fermentación se alcanzó una permeancia de 5,02 Kg m⁻²h⁻¹bar⁻¹, para un factor de separación de 26,5 y una concentración de etanol en el permeado de 77,41% p/p. En el sistema integrado SSF + membrana compuesta multicapa, se recuperó etanol en el permeado con una concentración de 71,53% p/p, alcanzándose un incremento en la productividad del 3%, con respecto al proceso SSF sin remoción de etanol. La permeancia de la membrana en el proceso integrado fue de 3,25 Kg m⁻²h⁻¹bar⁻¹ y el factor de separación fue 24,8.

Conclusiones. Los resultados de este trabajo confirman que la integración de procesos puede mejorar el desempeño energético del proceso de producción de bioetanol, al aumentar la productividad y reducir los costos de purificación de etanol.

Palabras claves. Integración de procesos, Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF), membranas, silicalita, polidimetilsiloxano-PDMS.

*Grupo de Catálisis Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. †Grupo de Biotransformación, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. ‡Contacto: fbustama@udea.edu.co

R08. Avances en biotecnología de hemicelulosa para producción de etanol

Gabriel Jaime Vargas B.*

Introducción. Los materiales lignocelulósicos son una de las biomásas residuales más representativas del mundo, no solo por la gran cantidad generada, sino también por su potencial uso como materia prima para el desarrollo de la industria con base biotecnológica. Este potencial se ve representando en la posibilidad de producir bioetanol, entre otros bioproductos, a partir de los diferentes carbohidratos que componen la matriz fibrosa, donde, además de la glucosa que conforma la celulosa, azúcares como la xilosa pueden ser susceptibles de aprovechamiento.

Objetivo. En esta presentación se pretende abordar todo el proceso de separación selectiva de los azúcares constituyentes de la hemicelulosa, la obtención de azúcares fermentables, las diferentes estrategias de propagación celular y el proceso de fermentación de pentosas desde diferentes perspectivas.

Metodología. En el caso de la hidrólisis de la hemicelulosa, se destacan las ventajas de la hidrólisis ácida y la importancia del grado de severidad (relación temperatura-tiempo) asociada a diferentes relaciones sólido:líquido, como variables determinantes en la fermentabilidad de hidrolisados. Concentraciones de hasta 107 g/L de xilosa puede ser obtenida de maderas blandas al utilizar 3,5% de ácido en relación 1:4 (S:L) y una condición térmica de 121°C durante 45 minutos. Por las características particulares de los hidrolisados, la aplicación de procesos de propagación celular, en medios que aumentan gradualmente su contenido de hidrolisado, permiten mejoras considerables en las variables de respuesta de fermentación, con aumentos de 30% en la concentración final de etanol y hasta tres veces en la productividad. Son también relevantes los procesos de co-fermentación como alternativa para viabilizar la producción de bioetanol a partir de materiales lignocelulósicos.

Resultados. Está demostrado que la co-fermentación de glucosa y xilosa, provenientes de celulosa y hemicelulosa respectivamente, utilizando levaduras como *Pichia stipitis*, posibilita alcanzar concentraciones de etanol de hasta 60 g/L.

Conclusiones. La producción de bioetanol de segunda y tercera generación solo se convertirá en una realidad tecnológica al aplicarse plenamente el concepto de biorefinería, donde la diversificación de los bioproductos debe estar acompañada del aprovechamiento integral de todos y cada uno de los constituyentes de la biomasa residual utilizada como materia prima.

Palabras claves. *Pichia stipitis*, hidrólisis ácida, co-fermentación, biorefinería.

*Grupo de Investigación y Desarrollo, Cementos Argos S.A., Colombia. Contacto: gvargas100@hotmail.com

R09. Producción enzimática de azúcares fermentables a partir de tallos de yuca pretratados

Hader Castaño*‡, Ángela Ruiz‡, Yamil Liscano‡, Alejandra Peláez‡

Introducción. Las demandas por energéticas renovables en el país, definida en los documentos CONPES de biocombustibles crean la necesidad de realizar estudios de obtención de etanol a partir de fuentes de biomasa alternativas diferentes a las tradicionales (caña de azúcar) con la característica que no compitan por fuentes alimentarias. Bajo este referente se desarrolla el proyecto de investigación de producción de bioetanol a partir de tallos de yuca pretratados, que tiene como una de sus etapas, la producción de jarabes vía enzimática a partir de tallos de yuca pretratados por los métodos ácido diluido e hidrotatamiento.

Objetivo. Estudiar el efecto de la concentración de ácido, temperatura y tiempo; y la temperatura, tiempo y relación S:L para los pretratamientos ácido diluido e hidrotérmico respectivamente, sobre la digestibilidad enzimática de los tallos de yuca.

Metodología. Se utilizó como biomasa tallos de yuca variedad Copiblanca colectados en Mutatá Antioquia. Los tallos de yuca fueron caracterizados utilizando los métodos NREL (National Renewable Energy laboratory) (ceniza, proteínas, extraíbles, carbohidratos estructurales). Se utilizó la metodología de diseño experimental central compuesto para evaluar el efecto de los pretratamientos sobre la digestibilidad enzimática: Niveles (+/-) evaluados en pretratamiento ácido diluido: concentración de H_2SO_4 (0,25/0,75% p/v), temperatura (140/160°C) y tiempo (5 minutos) e hidrotatamiento: temperatura (170/200°C), tiempo (5/10 minutos) y relación sólido-líquido (10/15% p/p). Las pruebas de digestibilidad enzimática se desarrollaron siguiendo el protocolo de sacarificación enzimática del NREL (TP-510-42629) de 2008.

Resultados. Los tallos de yuca variedad Copiblanca presentaron una fracción de azúcares de 48,91%, siendo de ésta 26,64% de glucanos y de xilanos el 22,27% como mayor constituyente de la hemicelulosa. El contenido de lignina fue del 45%. El contenido de cenizas correspondió al 2,6%. La variable temperatura y las interacciones cuadráticas de temperatura y concentración de ácido presentaron efecto significativo sobre la variable respuesta. A las condiciones evaluadas del pretratamiento ácido sólo se generó en bajas concentraciones ácido acético como inhibidor, HMF, furfural y ácido levulínico no fueron detectados. La digestibilidad enzimática de los tallos de yuca pretratados hidrotérmicamente, al menos para los niveles y factores evaluados, sólo fue influenciado por la relación sólido:líquido. El desarrollo del pretratamiento hidrotérmico generó como producto de descomposición de los carbohidratos, inhibidores como HMF, furfural, ácido acético y ácido levulínico. La arabinosa fue el azúcar de mayor concentración obtenido como producto de la hidrólisis enzimática de los tallos de yuca pretratados hidrotérmicamente, le siguen en su orden xilosa y glucosa.

Conclusiones. Contrario a los fundamentos teóricos del pretratamiento hidrotérmico, a las condiciones evaluadas, éste presentó mayor degradación de los carbohidratos estructurales presentes en los tallos de yuca. La caracterización de los tallos de yuca variedad Copiblanca orienta su uso hacia productos de biorefinerías derivados de la lignina. Los contenidos de carbohidratos C5 en mayor cantidad que C6 en los hidrolizados hacen que sea necesario microorganismo con capacidad de fermentar estos tipos de carbohidratos.

Palabras claves. Tallos de yuca, pretratamiento hidrotérmico, pretratamiento ácido diluido, azúcares fermentables.

*Grupo de Investigación en Productividad y Calidad COINDE, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín - Colombia. †Grupo de Bioprocesos y flujos reactivos, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín - Colombia. ‡Contacto: hcastano@elpoli.edu.co

R10. Producción de etanol de segunda generación a partir de bagazo de sorgo dulce

John Fredy Holguín M.*§, Luis Alberto Ríos†, Mariana Peñuela V.‡

Introducción. El bioetanol es el carburante más utilizado para el transporte en todo el mundo. La producción de etanol de segunda generación es una forma de reducir el consumo de combustibles fósiles y mitigar la contaminación del medio ambiente. En Colombia el cultivo de sorgo dulce es empleado como alimento para ganado. Sin embargo, al mirarlo desde un punto de vista biotecnológico, como una fuente abundante de azúcares; podríamos vislumbrar su gran potencial para la producción de etanol. En el cultivo de sorgo dulce tenemos dos fuentes de azúcares: inicialmente su jugo, que similar al jugo de caña de azúcar, puede ser fermentado a etanol; por otro lado tenemos el bagazo, material lignocelulósico, rico en celulosa (24,1%), altos niveles de producción anual 42994 Ton, el cual por medio de tratamientos químicos y enzimáticos libera la glucosa que también puede ser fermentada.

Objetivo. El empleo del bagazo de sorgo dulce, implica un estudio de pretratamientos químicos que remuevan la lignina y a su vez faciliten el acceso de las enzimas celulásicas que liberen las moléculas de glucosa.

Metodología. Después de esto, se estudiaron las condiciones en las cuales se liberaba mayor cantidad de azúcares con una baja carga enzimática, para disminuir los costos de producción. Basados en los resultados obtenidos en investigaciones previas, este trabajo busca presentar los resultados obtenidos en el estudio comparativo entre sistemas de producción Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF) e hidrólisis y fermentación separadas (SHF). Para ambos sistemas se tuvieron en cuenta dos variables de optimización, la concentración de levadura y la adición de una fuente de nitrógeno externa al proceso de fermentación.

Resultados y conclusiones. Una vez obtenidas las condiciones óptimas se procedió a realizar fermentaciones con el fin de confirmar los resultados obtenidos dando como resultado que la producción de etanol fue mayor por el método SSF 40 g/L que por el método SHF 32 g/L.

Palabras claves. Sorgo dulce, lignocelulósico, etanol, deslignificación alcalina.

*Grupo Biotecnología, Universidad de Antioquia. †Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados, Universidad de Antioquia. ‡Grupo Biotecnología, Universidad de Antioquia. Medellín - Colombia. §Contacto: johnfj123@gmail.com

R11. Evaluación del potencial de las cáscaras de frutas en la obtención de bioetanol

Lesly Tejada B.*†, Wilfredo Marimón*, Mauricio Medina*, Gary Acevedo*

Introducción. Con el creciente uso del bioetanol como sustituto parcial de la gasolina se ha puesto en riesgo la seguridad alimentaria, por lo que es necesario encontrar materias primas sostenibles que no compitan con el uso del suelo de los cultivos alimentarios. Una alternativa es el bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica contenida en residuos agroindustriales. La industria hotelera y de restaurantes genera anualmente toneladas de cáscaras de frutas, que en su mayoría son desechadas. Estos residuos contienen material lignocelulósico de conocido potencial en la obtención de bioetanol. En esta investigación se propone la producción de bioetanol a partir de las cáscaras de limón, mandarina y naranja.

Objetivo. Evaluar el rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de los jarabes glucosados producidos de la hidrólisis ácida de cáscaras de naranja, limón y mandarina.

Metodología. Las biomásas utilizadas fueron cáscaras de limón, mandarina y naranja recogidas de residuos hoteleros de la ciudad de Cartagena. Estas biomásas fueron lavadas con agua destilada a 60°C y alcohol etílico al 70%. Se determinó humedad, azúcares reductores por el método de Fehling, grupos funcionales por espectroscopía infrarroja y composición elemental por análisis CHON. Se realizó la reducción de tamaño en un molino de cuchillas y la eliminación de lignina en solución de NaOH 0.1N durante 15 minutos y sulfato de calcio por 3 h. El material deslignificado se sometió a hidrólisis ácida con ácido sulfúrico al 5% a 125°C y 15 psi por 15 minutos. Los jarabes obtenidos se separaron por centrifugación y se determinó el contenido de azúcares. La fermentación se realizó usando como nutriente 0,25% de fosfato $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ e inoculando con 0,1% de *Saccharomyces cerevisiae* a cabo 30°C con agitación constante de 200 rpm por 24 h, controlando pH y temperatura cada hora. Se tomaron muestras cada 90 minutos durante 7 h y a las 24 h. Finalmente se realizó la destilación. El contenido de etanol se determinó por cromatografía de gases.

Resultados. El tiempo de fermentación óptimo en todos los casos fue de 24 h. Las cáscaras de mandarina presentaron el mejor rendimiento con 15,95 mg de etanol por gramo de cáscara, seguido de la naranja con 13,98 mg/g. El rendimiento menos favorecido fue para la cáscara de limón con 9,32 mg/g.

Conclusiones. Es posible el aprovechamiento de residuos desechados como las cáscaras de limón, mandarina y naranja en la obtención de jarabes glucosados y su posterior fermentación a etanol. Sin embargo, este proceso debe ser optimizado con el fin de aumentar los rendimientos de obtención de etanol y disminuir el consumo energético del proceso de manera de que sea factible termoeconómicamente.

Palabras claves. Bioetanol, biomasa lignocelulósica, cáscaras de frutas, hidrólisis ácida.

*Grupo de Investigación del Programa de Ingeniería Química - Universidad de Cartagena - Colombia. †Contacto: lptbenitez@gmail.com

R12. Mejoramiento genético de levaduras para la producción de etanol de segunda generación

Lina María López*

Introducción. El uso de materiales alternativos como los residuos lignocelulósicos para la producción de etanol presenta grandes ventajas pero ha sido limitado por diversos factores, entre ellos el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica y el bajo aprovechamiento de esta materia prima por parte de los microorganismos fermentadores. La levadura empleada para la producción de etanol carburante, *S. cerevisiae* es incapaz de metabolizar pentosas, segundo azúcar más abundante en este tipo de material; dificultando lograr un proceso eficiente y competitivo. Grandes esfuerzos se han hecho en el desarrollo de microorganismos capaces de emplear todos los azúcares disponibles para la producción de etanol a partir de esta biomasa, pero aunque las investigaciones han resultado en progresos constantes hacia la obtención de una cepa de *S. cerevisiae* que sea capaz de utilizar las pentosas, no se han alcanzado rendimientos y productividades atractivos a nivel industrial. El uso de herramientas como la ingeniería genética y la ingeniería metabólica pueden ayudar a superar los inconvenientes que se han presentado para lograr este objetivo, y la utilización de estas metodologías combinadas hace factible la construcción de cepas fermentativas capaces de utilizar pentosas para aplicaciones industriales.

Objetivo. Mejorar genéticamente *S. cerevisiae* para optimizar la producción de etanol carburante a partir de hidrolizados lignocelulósicos.

Metodología. Los microorganismos usados en este estudio incluyeron *E. coli* TOP10 para la propagación de los plásmidos recombinantes, Sch. stípitis NRRL Y-7124 como donante de los genes *XYL1* y *XYL2* y *S. cerevisiae*, una cepa comercial empleada en la producción de etanol y una cepa nativa obtenida por bioprospección de uvas tipo isabella. Para la construcción de los plásmidos recombinantes se utilizó el vector integrativo pAUR101 y el plásmido CIB-II y la selección de transformantes se realizó por resistencia a aureobasidina. La transformación de las levaduras se realizó por electroporación. Los ensayos fermentativos se realizaron Erlenmeyer con 200 mL de medio YPD y las determinaciones analíticas de concentración de glucosa, y etanol se hicieron por HPLC, la determinación de la biomasa se realizó por espectrofotometría usando una curva estándar.

Resultados. La determinación de los parámetros cinéticos de las cepas transformadas arrojó resultados bastante interesantes acerca de las consecuencias fisiológicas de la introducción de genes heterólogos. En la cepa L011 la tasa de crecimiento disminuyó considerablemente respecto a la cepa sin transformar (Biomasa 0,22 g/L L011, 1,98 g/L cepa comercial); sin embargo con la cepa L037 se obtuvieron rendimientos de etanol cercanos a 0,49 g/g, mientras que la cepa comercial no transformada obtuvo rendimientos de 0,37 g/g.

Conclusiones. Una modificación genética puntual no garantiza mejoras en el rendimiento de etanol en cepas comerciales ya adaptadas a procesos fermentativos; es necesario utilizar herramientas genéticas y de análisis metabólico en conjunto para lograr reorganizar la fisiología de la levadura en función de la mayor producción de etanol. A partir de estos resultados, pueden diseñarse modificaciones genéticas complejas que involucren el uso de sustratos alternativos con mayores probabilidades de éxito.

Palabras claves. *Saccharomyces cerevisiae*, etanol, rendimiento, ingeniería genética.

*Grupo Biotransformación, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. Contacto: linadevila@gmail.com

R13. Biomasa de la fermentación alcohólica en la alimentación de ganado

Luis Alfonso Giraldo V.*†, Wilyer de Jesús García A.*

Introducción. Como estrategia para mejorar la productividad y competitividad del sector lácteo, en el año 2010, el gobierno nacional propuso la política nacional para mejorar la competitividad del sector lácteo colombiano en el Conpes, 3675; mediante el desarrollo de estrategias e instrumentos que permitan disminuir los costos de producción e incrementar la productividad del sector lácteo dado que este cumple un papel central en la economía nacional, en la generación de empleo, en la seguridad alimentaria y en el desarrollo local y nacional. Ello resalta la importancia que tiene una mejora en la competitividad de cada uno de los eslabones de la cadena. Esta disminución de los costos de producción se puede lograr mediante el fomento de alternativas alimenticias, el mejoramiento genético y la investigación en innovación tecnológica.

Objetivo. El objetivo del presente trabajo fue determinar el potencial de la biomasa obtenida como co-producto en la obtención de bioetanol a partir de la yuca como suplemento alimenticio en ganaderías de clima frío dedicadas a la producción de leche.

Metodología. Para ello inicialmente se evaluó *in vitro* el efecto de la suplementación de un forraje comúnmente empleado en las ganaderías de clima frío (kikuyo) con la biomasa obtenida como co-producto en la elaboración de bioetanol a partir de la yuca sobre los principales parámetros de fermentación ruminal empleando varias técnicas. Finalmente, se determinó en un experimento *in vivo*, el efecto de la sustitución parcial de un concentrado comercial por biomasa sobre la producción y composición de la leche, el consumo de materia seca y los costos de producción en una lechería en Antioquia.

Resultados. En forrajes de alta calidad, la suplementación con biomasa tuvo efecto ($P < 0,01$) sobre DMS y DFDA, mientras que no tuvo ($P > 0,05$) sobre DFDN. En forrajes de calidad media, la suplementación con biomasa tuvo efecto ($P < 0,01$) sobre DMS, DFDN y DFDA y en forrajes de baja calidad, se tuvo efecto ($P < 0,01$) sobre DMS, DFDN y DFDA.

En el RUSITEC, el pasto kikuyo de alta calidad nutritiva, suplementado con biomasa y harina de yuca tuvo un efecto ($P < 0,05$) sobre DMS, DMO, $N-NH_3$, pH, la población de protozoos ruminales, la producción de butirato y la relación acetato:propionato, mientras no tuvo efecto ($P > 0,05$) sobre DFDN, DFDA, DPC, AGV total, acetato, propionato, valerato e isovalerato, producción de gas y producción de metano. En el kikuyo de baja calidad nutritiva la suplementación con biomasa y harina de yuca tuvo un efecto ($P < 0,05$) sobre los parámetros $N-NH_3$, la población de protozoos ruminales, el butirato y la relación acetato:propionato mientras no tuvo efecto ($P > 0,05$) sobre producción de gas, producción de metano, DMS, DMO, DFDN, DFDA, DPC, pH, AGV total y las concentraciones de acetato, propionato, valerato e isovalerato.

Para la prueba *in vivo*, la producción de leche no fue afectada por el reemplazo del concentrado por biomasa (20,6 vs 21,2 L/día), así mismo, la composición de la leche no fue afectada por el nivel de reemplazo del concentrado por biomasa, % grasa (3,49 vs 3,39%), % proteína (2,82 vs 2,83%), % sólidos no grasos (7,80 vs 7,83%), % lactosa (4,40 vs 4,42), % minerales (0,68 vs 0,68) y densidad (1,028 vs 1,028) para T0 vs T1, respectivamente. El CMSf tampoco fue afectado por el nivel de reemplazo del concentrado por biomasa (11,88 vs 12,90 kg MSf/día). Los costos de producción fueron mayores con la suplementación (1,015 \$/L) mientras que la relación beneficio:costo fue menor en dicho tratamiento.

Conclusiones. La biomasa es una buena fuente de energía digerible para vacas lecheras y que puede reemplazar efectivamente el 20% de un concentrado comercial sin afectar negativamente la producción de leche, su composición y el consumo de materia seca del forraje.

Palabras claves. Fermentación ruminal, protozoos ruminales, metano, producción de leche, composición de la leche.

*Grupo de Investigación en Biotecnología Ruminal y Silvopastoreo (BIORUM), Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Medellín - Colombia. †Contacto: lagirald@unal.edu.co

R14. Productos de valor agregado a partir de fibra y raquis de palma de aceite

Mariana Peñuela*†, Natalia Gómez*, Catalina Lugo*, Paola Monsalve*

Introducción. La biomasa vegetal representa el más abundante de los recursos renovables de origen orgánico, de los cuales se estima una producción mundial de aproximadamente 1,5 billones de toneladas de biomasa por año. Colombia es el cuarto productor en el mundo de aceite de palma y en el proceso productivo de extracción se generan aproximadamente 2 toneladas de biomasa lignocelulósica/tonelada de aceite. Dicha biomasa está constituida principalmente por los raquis o racimos vacíos y la fibra. Actualmente, la fibra se dispone en su mayoría como combustible para calderas y el raquis es retornado a las plantaciones.

Objetivo. Este proyecto, apoyado por el Ministerio de Agricultura Nacional, busca dar valor agregado a ambas fracciones (raquis y fibra), a través de la recuperación de la lignina y de la fracción holocelulósica para la producción de etanol.

Metodología. El uso de materiales lignocelulósicos requiere de una caracterización, que permita orientar la evaluación de los pretratamientos y en consecuencia, las mayores recuperaciones de sus componentes (lignina y holocelulosa principalmente). Los materiales usados en este estudio se caracterizaron siguiendo el protocolo NREL para determinación de carbohidratos estructurales de materiales lignocelulósicos. Adicionalmente, se emplearon Técnicas Termogravimétricas (TGA), infrarrojo y microscopía de barrido para dar cuenta de las características propias del material. Una vez caracterizado, se procedió a evaluar el pretratamiento alcalino termopresurizado empleando un diseño experimental central compuesto (factores: concentración de NaOH, tiempo y relación sólido líquido) con el objetivo de obtener las condiciones que maximicen la remoción de lignina soluble y permitan una buena hidrólisis enzimáticas y posterior fermentación de los polisacáridos de la matriz sólida.

Resultados. En la caracterización de raquis se obtuvo un contenido de humedad de 6,7%, lignina de 29,3%, celulosa de 29,5%, hemicelulosa de 16,5% y 12,8% de cenizas; además, en el análisis de microscopía de barrido se observó la presencia de óxidos de silicio explicando la alta cantidad de material recalcitrante reportado tanto en el termograma como en el análisis composicional. Por otra parte, mediante el diseño experimental, se obtuvo una remoción máxima de lignina del 23,26%.

Conclusiones. Se puede concluir que el pretratamiento alcalino es efectivo, además, este pretratamiento a diferencia de otros (mecánico y/o biológico) permite recuperar la lignina removida. Se espera, con la evaluación de este pretratamiento, superar los valores logrados en estudios previos para la producción de etanol empleando *Saccharomyces cerevisiae* (0,38 g etanol/L.h.).

Palabras claves. Lignocelulósicos, pretratamiento alcalino, etanol, lignina.

*Grupo de Bioprocesos, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. †Contacto: marianp@udea.edu.co

R15. Evaluación de la producción de etanol con raquis de palma biopretratado

Natalia Gómez-Vanegas*‡, Mariana Peñuela*, María López-Abelairas‡, Rigoberto Ríos*, Thelmo Lu Chau‡, Juan Lema‡

Introducción. El raquis de palma es un residuo generado en la extracción de aceite de palma. Este material por su naturaleza lignocelulósica es una fuente potencial de azúcares para la producción de etanol. Para esta aplicación es necesario remover la lignina de manera selectiva, tratando de tener las mínimas pérdidas de la fracción holoceulósica. En la naturaleza, los hongos de la podredumbre blanca tienen la capacidad de remover la lignina, a través de su sistema enzimático, con las enzimas Lacasa (Lac), Lignino Peroxinasas (LiP), Manganese Peroxidasa (MnP) y Versátil Peroxidasa (VP), solas o en sinergismo.

Objetivo. En este estudio se evaluó el efecto del pretratamiento con cinco hongos ligninolíticos, sobre la remoción selectiva de lignina, la digestibilidad del material y su posterior fermentabilidad para la producción de etanol.

Metodología. El raquis se puso en contacto con cada uno de los hongos *Bjerkandera adusta* anamorph R1 (BKA), *Irpex lacteus* (IP), *Phanerochaete chrysosporium* (PC), *Lentinus tigrinus* (LT) and *Pleurotus eryngii* (PE), durante 21 días. El material fue caracterizado químicamente mediante protocolo publicado por NREL, antes y después de los pretratamientos. La digestibilidad se determinó cuantificando los azúcares reductores (DNS) y la glucosa liberada, luego de la digestión con enzimas comerciales y para la fermentabilidad se utilizó la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en un sistema de Sacarificación y Fermentación Simultánea (SSF).

Resultados. El hongo PE mostró ser el más promisorio en la remoción de la lignina del raquis (35,7%), lo cual permite lograr una digestibilidad de la fracción holoceulósica del 22% y alcanzar un rendimiento de 0,41 etanol/glucosa en la producción de etanol. Mediante seguimiento durante 40 días, con el PE se logró mejorar la digestión del raquis hasta un 50% en el día 30 y se detectó la presencia de las enzimas Lacasa y MnP, actuando de manera sinérgica.

Conclusiones. Estos resultados permitieron establecer el potencial del hongo PE en el biopretratamiento para la producción de etanol de raquis de palma, a través de un método que tiene bajos requerimientos energéticos y minimiza la generación de sustancias inhibitorias para la fermentación, adicionalmente el biopretratamiento posee como valor agregado la generación de enzimas ligninolíticas.

Palabras claves. Raquis, etanol, enzimas ligninolíticas, hongos.

*Grupo de Bioprocesos, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. †Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Santiago de Compostela (USC) - España. ‡Contacto: ngomez@udea.edu.co

R16. Uso de bioetanol para la síntesis de Dietil Carbonato por reacción con CO₂

Oscar Arbeláez*†, Andrés Orrego*, Felipe Bustamante*, Aída Luz Villa*

Introducción. El Dietil Carbonato (DEC), es utilizado como aditivo para combustibles reduciendo hasta en un 50% las emisiones de contaminantes y material particulado cuando se añade en un 5% al diesel o la gasolina. Tradicionalmente, en su síntesis se han empleado agentes tóxicos y contaminantes como el monóxido de carbono y el fosgeno. Estudios recientes, han mostrado que la síntesis de DEC a partir de etanol y CO₂ es un proceso alternativo desde el punto de vista económico y ambiental, al emplear como fuente de carbono materias primas abundantes, renovables, altamente disponibles, de bajo costo y baja toxicidad; siendo así este un proceso atractivo para la valoración del CO₂ y el etanol proveniente de la fermentación de la materia orgánica. Sin embargo, debido a la estabilidad del CO₂, su uso como materia prima exige condiciones extremas de presión y temperatura, o el uso de catalizadores, con los cuales se pueden llevar a cabo procesos ambientalmente amigables y eficientes. En el presente trabajo se presentan los resultados de la síntesis de DEC a partir de CO₂ y etanol en presencia de catalizadores de Cu y Ni soportados en Carbón Activado AC.

Objetivo. Sintetizar DEC a partir de CO₂ y etanol en presencia de catalizadores mono y bimetalicos Cu-Ni soportados en carbón activado.

Metodología. La preparación de los catalizadores con diferentes relaciones molares Cu:Ni se realizó mediante impregnación húmeda incipiente de acuerdo a una metodología previamente reportada. Los catalizadores preparados se caracterizaron mediante análisis químico, difracción de rayos X y área superficial BET. La reacción se efectuó en un reactor de lecho empacado con 0,5 g de catalizador, a través del cual fluyeron los reactivos en fase gaseosa (90°C, 13 bar). Los productos de reacción se analizaron en línea mediante un espectrómetro de masas ThermoStar QMS 200.

Resultados. Los resultados mostraron que el AC no mostró actividad; sin embargo la incorporación simultánea de ambos metales al soporte promovió la formación del carbonato, encontrándose que los catalizadores bimetalicos presentaron mayor actividad catalítica, en términos de rendimiento, conversión, selectividad y TOF (siglas en inglés de Turnover Frequency) que los monometalicos. Los catalizadores bimetalicos con relaciones molares Cu:Ni de 3:1 y 2:1 presentaron los mayores valores de TOF (126,2 h⁻¹ y 53,1 h⁻¹, respectivamente). Esta actividad ha sido asociada con un efecto sinérgico (observada solo en estos dos materiales) entre el Cu y el Ni, como resultado de la formación de una aleación, que se evidenció por Difracción de Rayos X. Adicionalmente, se encontró que la adición de Cu o Ni afectó el área superficial del carbón activado (764 m²/g) con disminuciones entre el 10 y 19% después de la incorporación de ambos metales.

Conclusiones. Se utilizó etanol para la síntesis de DEC por reacción con CO₂, utilizando varios catalizadores Cu-Ni soportados en AC. Los resultados mostraron que las muestras bimetalicas (específicamente 3-1 y 2-1) fueron más activas que las monometalicas debido al efecto sinérgico entre estos dos metales y el soporte. Esta ruta catalítica potencia el uso del etanol o bioetanol generado mediante procesos químicos, biológicos o biotecnológicos.

Palabras claves. Catalizadores bimetalicos, Dietil Carbonato, bioetanol, dióxido de carbono.

*Grupo Catálisis Ambiental, Universidad de Antioquia, Medellín - Colombia. †Contacto: oscarfelipe3@yaboo.es

R17. Producción de bioetanol empleando fermentación tradicional y extractiva a partir de jugo de fique

Oscar Vasco-Echeverri*†, Margarita Ramírez-Carmona*,
Yesid Vélez-Salazar*, María Giraldo-Ramírez*

Introducción. El fique (*Furcraea* sp.) es una planta nativa de Colombia, de la cual se extrae sólo un 4% de fibra natural y el otro 96% lo componen el jugo y los bagazos. El jugo de fique contiene aproximadamente 9,71, 28,74 y 13,51 g/L de sacarosa, fructosa y glucosa respectivamente, azúcares que son aprovechados por algunos microorganismos para la producción de etanol.

Objetivo. Producir bioetanol a partir de jugo de fique empleando fermentación extractiva y tradicional.

Metodología. El jugo de fique fue obtenido de cultivadores del sector de Pantanillo (Barbosa, Antioquia). Se realizó la fermentación alcohólica empleando dos microorganismos, *Clavispora lusitaniae*, aislada del jugo de fique, y *Saccharomyces cerevisiae* comercial, en un Biorreactor de 3 L (New Brunswick Scientific, BioFlo 110) con control de temperatura (30°C), pH (4.4) y agitación (150 rpm), durante 48 h se tomaron muestras cada 2 h. La fermentación tradicional y extractiva se trabajaron con jugo de fique esterilizado mediante ultrasonido y acondicionado con sales, además se adicionó Ácido Oleico equivalente al 33% del volumen total del jugo de fique adicionado para la fermentación extractiva. Las muestras obtenidas fueron sometidas a un proceso de doble destilación bajo un sistema de destilación simple a presión atmosférica. La glucosa, fructosa, sacarosa y etanol fueron cuantificados empleando un HPLC (Shimadzu, prominence) con una columna IC Pack Ion-exclusión 3,8 mm x 300 mm, fase móvil ácido sulfúrico 0,005N, detector RID en modo isocrático a 25°C, un flujo de 0,6 mL/min y un volumen de inyección de 10 µL.

Resultados. Se obtuvieron 10,68 g/L de etanol empleando la levadura aislada del fique y 5,26 g/L de etanol con la levadura comercial. La levadura *Clavispora lusitaniae* produce un 103% más etanol que el *Saccharomyces cerevisiae* empleando jugo de fique. En la fermentación extractiva se obtuvieron 7,87 g/L de etanol, 6,75 g/L en la fase acuosa y 1,12 g/L en la fase oleosa, un 35% menor que al utilizar fermentación tradicional.

Conclusiones. Se obtuvo etanol a partir de jugo de fique empleando *Clavispora lusitaniae* y *Saccharomyces cerevisiae* en una cantidad de 10,68 g/L y 5,26 g/L respectivamente, a 30°C, 150 rpm y 48 h de fermentación en un biorreactor de 3 litros con control. Se alcanzó una concentración de 8,03 g/L de etanol después de 24 h de fermentación extractiva, de lo cual se transfiere a la fase oleosa 1,17 g/L que corresponde a un 14,2% y 48 h después se detectaron 7,8 g/L de etanol, del cual se transfirió a la fase orgánica un 14,1% equivalente a 1,11 g/L. La levadura *C. lusitaniae* produce un 103% más etanol que *Saccharomyces cerevisiae* empleando jugo de fique como sustrato. La temperatura más adecuada para realizar el proceso fermentativo es 30°C, obteniéndose 12,3 g/L de etanol con *C. lusitaniae* a las 48 h de fermentación.

Palabras claves. Bioetanol, jugo de fique, fermentación alcohólica, fermentación extractiva.

*Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Química, Centro de Estudios y de Investigación en Biotecnología (CIBIOT), Medellín - Colombia. †Contacto: oscar.vasco@upb.edu.co

R18. Estrategias para incrementar la eficiencia y productividad de etanol en dos cepas nativas de *Saccharomyces cerevisiae*

Jorge A. Vásquez*†, Jenny A. Laguado*, Nicolás J. Gil*

Introducción. En las destilerías colombianas, la producción de alcohol carburante se realiza en modo continuo, recirculando la vinaza para diluir la miel B. En la etapa fermentativa las levaduras comerciales disminuyen su productividad por el estrés que ejercen los componentes tóxicos de la vinaza y por la colonización con levaduras nativas provenientes de la materia prima, las cuales presentan baja producción de etanol y alta tolerancia a sales y ácidos orgánicos volátiles y no volátiles.

Objetivo. Incrementar la productividad de etanol en cepas nativas de *Saccharomyces cerevisiae* tolerantes a vinaza por medio de transformación genética, para generar levaduras con uso potencial en las destilerías colombianas.

Metodología. Las cepas LCC2-16A y LCC0-2U previamente aisladas del tanque de mieles T103 y hojas de caña de azúcar y adaptadas por recirculación a vinaza, fueron caracterizadas por huella genética interdelta y modificadas con el vector integrativo pSP-GM1-*SUC2-ADH2* que contenía los genes *ADH2* de *Zymomonas mobilis* con codones optimizados para *Saccharomyces cerevisiae* y *SUC2* que codifica por la enzima invertasa de *S. cerevisiae* bajo el control de los promotores pTEF1 y pPGK y los terminadores *ADH1* y *CYC1* respectivamente. Se evaluó la integración por medio de PCR anidada y secuenciación, la expresión génica por q-PCR y los parámetros experimentales con muestras secuenciales a partir de fermentaciones de 24 h usando miel B (20% ART) con 70% de vinaza como sustrato en fermentadores de 10 L, con las que se midió población celular, etanol y azúcares fermentables con HPLC.

Resultados. Se integró al genoma de las cepas LCC2-26 y la LCC0-2, el pSP-GM1-*SUC2-ADH2*. Se observó un incremento moderado en los parámetros de fermentación de las levaduras recombinantes LCC0-2E10-6, 0-2E10-7, 0-2E10-11, 2-26E10-1, 2-26E11-8. A excepción de las cepas LCC2-26E11-7 y LCC2-26E11-4, las cuales presentaron incrementos de 1,21% y 1,69% p/v en la producción de etanol a las 24 h así como con la cepa LCC2-26E11-4, cuya productividad volumétrica pasó de 2,9 g etanol/L*h-1 en la cepa nativa a 3,6 g de etanol/L*h-1 en la cepa recombinante. Los niveles de expresión de los genes *ADH2* y *SUC2*, se incrementaron en 1,75 y 0,98 respectivamente.

Conclusiones. La sobreexpresión del gen *SUC2* permitió un incremento en la velocidad de consumo de los azúcares fermentables en la cepa LCC2-26E11-4 entre las 0 y las 4 h tiempo en el cual se hidrolizó el 62,3% de la sacarosa en las fermentaciones a escala bioreactor.

La sobreexpresión de los genes *SUC2* y *ADH2* usando los promotores fuertes TEF y PGK permitió incrementar la producción de etanol, desde 0,5% hasta 3,0% en p/v, en la concentración final de etanol a las 24 h.

Palabras claves. Levaduras nativas, ingeniería genética, invertasa, alcohol deshidrogenasa, miel B y vinaza.

*Programa de Procesos de Fábrica, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar - Cenicaña, Colombia. †Programa de Doctorado en Biotecnología, Universidad de Antioquia. Contacto: jorvasco1@gmail.com

R19. Producción de abono orgánico a partir de subproductos de la industria sucroenergética

Tatiana Daza M.*

Introducción. El procesamiento agroindustrial de la caña de azúcar en el valle del río Cauca a cargo de 13 ingenios azucareros y cinco plantas de etanol anexas, está dirigido a la producción de azúcar, etanol carburante y energía. Durante la obtención de estos productos, son generados varios subproductos los cuales requieren un tratamiento adecuado para evitar un impacto ambiental ocasionado por una inadecuada disposición.

Objetivo. El proceso de compostaje, resulta una alternativa viable para el tratamiento de estos subproductos, mediante este proceso de degradación biológica de materia orgánica bajo condiciones controladas.

Metodología. Los subproductos utilizados como materias primas del proceso de compostaje son principalmente cachaza, vinaza, bagazo, hoja de caña y ceniza. Estos materiales se mezclan en proporciones adecuadas hasta alcanzar los requerimientos de relación C:N y humedad principalmente. Una vez las materias primas son homogenizadas, se inicia la etapa de termofilia en la cual mediante prácticas de operación se realiza el monitoreo y control de la temperatura alrededor de 70°C y la aireación, utilizando para tal fin volteadoras mecánicas y adicionalmente se realiza la aplicación de vinaza con el fin de mantener la humedad alrededor de 60%. Una vez finaliza la etapa de termofilia, se da inicio a una etapa pasteurización donde el incremento de la temperatura favorece la eliminación de los posibles microorganismos patógenos presentes y es seguida por una etapa de estabilización y maduración del compost, donde cesa la actividad microbiana y ocasiona un descenso en la temperatura.

Resultados. El compost obtenido, se caracteriza por tener una humedad menor a 30%, un contenido de carbono orgánico alrededor de 15%, nitrógeno total del 1%, potasio de 2% y fósforo 1,5%. En cuanto a su composición microbiológica, el producto final se caracteriza por tener una población de bacterias mesófilas aerobias superiores a 1×10^6 UFC/g, de bacterias ácido lácticas y levaduras superiores a 1×10^2 UFC/g y ausencia de microorganismos patógenos como *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*.

Conclusiones. El compost obtenido a partir de la transformación de subproductos del procesamiento de la caña de azúcar, cumple con características fisicoquímicas y microbiológicas para ser utilizado como acondicionador orgánico de suelos destinados principalmente al cultivo de la caña de azúcar contribuyendo con la reducción en el uso de fertilizantes químicos.

Palabras claves. Caña de azúcar, cachaza, vinaza, compostaje, compost.

*Microbiología Industrial, M.Sc. Programa de Procesos de Fábrica. Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia CENICAÑA - Colombia. Contacto: tdaza@cenicana.org

R20. Tecnologías promisorias para una eficiente y competitiva producción de etanol de segunda generación

Solange I. Mussatto*

Introducción. El uso de etanol como aditivo para combustibles o directamente como fuente de energía ha crecido en popularidad en las últimas décadas debido a preocupaciones ambientales y también por el deseo de los países en reducir la dependencia del petróleo. Actualmente, 95% del etanol producido en todo el mundo es derivado de productos agrícolas como el maíz, la caña de azúcar y la remolacha. Aunque la producción de energía renovable a partir de materias primas agrícolas tiene un impacto positivo en el desarrollo rural (como la creación de nuevos puestos de trabajo e ingresos adicionales), debido a que este tipo de materia prima es esencialmente utilizada como alimento, la producción de biocombustibles a partir de ellas ha sido objeto de críticas debido a los crecientes precios de los alimentos y la escasez mundial de alimentos. Por ese motivo, los polisacáridos presentes en materiales lignocelulósicos (madera y residuos agrícolas), como la celulosa y la hemicelulosa, se han convertido en materias primas de gran interés para la producción de etanol de segunda generación.

Objetivo. Este trabajo tiene como objetivo presentar las tecnologías más promisoras que han sido desarrolladas para producir etanol de segunda generación de una manera eficiente y competitiva.

Metodología. Las tecnologías para producción de etanol de segunda generación son más complejas y los costos de producción también son más altos cuando son comparados con el etanol producido a partir del maíz, la caña o la remolacha. Sin embargo, la mayoría de los materiales lignocelulósicos son subproductos de actividades agrícolas y residuos agroindustriales, y muestran un gran potencial para uso como materia prima para la producción de etanol combustible a gran escala.

Resultados. Disminuir el consumo de energía necesaria para pre-tratar la biomasa, reducir el costo de las enzimas necesarias para la sacarificación de la celulosa, y mejorar el rendimiento de conversión de los azúcares en etanol son los principales desafíos que se deben superar para lograr una tecnología competitiva y eficiente para la producción de etanol de segunda generación. En este sentido, varias estrategias están siendo evaluadas, entre las cuales el uso de microorganismos capaces de convertir simultáneamente azúcares hexosa y pentosa, y el desarrollo de diferentes sistemas de fermentación basado en la integración de procesos han mostrado resultados prometedores.

Conclusiones. Varios países están interesados en desarrollar su mercado interno para el uso de etanol. No obstante, el desarrollo de una tecnología eficiente y económicamente viable para la producción de etanol de segunda generación sigue siendo un desafío a superar.

Palabras claves. Etanol, materiales lignocelulósicos, celulosa, integración de procesos.

*Centre of Biological Engineering, University of Minho, Braga - Portugal. Contact: solange@deh.uminho.pt / solangemussatto@hotmail.com

R21. Prospectiva de los impactos socioambientales de la producción de bioetanol en La Guajira - Colombia

Juan Carlos Sierra T.*

Introducción. En el mundo hay unos 800 millones de automóviles. Juntos consumen más del 50% de la energía producida a nivel global, lo que hace del automóvil el primer causante del efecto invernadero. Por esta razón, el bioetanol aparece como una alternativa válida al uso de combustibles fósiles, con el fin de enfrentar los problemas generados por la contaminación y el calentamiento global. Aunque se puedan obtener biocombustibles a partir de algunos productos nativos, el problema es la escala. Para suplir las necesidades energéticas y reducir el calentamiento global, se necesitarían millones de hectáreas de tierras agrícolas. El aumento de cultivos energéticos ejerce una presión directa sobre los recursos naturales y los ecosistemas, generando nuevos subproductos que no siempre son aprovechados de forma adecuada. El presente trabajo presenta una prospectiva de los impactos socio-ambientales de la producción de bioetanol en los próximos 10 años en el departamento de La Guajira - Colombia.

Objetivo. Establecer cuáles serán los principales impactos socio-ambientales que se presentarán debido a la producción de bioetanol en el departamento de La Guajira en los próximos 10 años.

Metodología. Para la selección de las unidades informativas se tuvo en cuenta la trayectoria y experiencia de los expertos consultados en temas relacionados con la producción de bioetanol en el país. Se utilizó el método DELPHI, como técnica para establecer las probabilidades de los sucesos asociados a los impactos causados por la producción de bioetanol en el departamento de La Guajira. Como instrumento se diseñó un formulario con reactivos que indagan sobre los aspectos de interés de la investigación.

Resultados. Existe un consenso en la apreciación de los expertos, con una certidumbre del 63%, que la expansión agrícola propiciada por la industria de los biocombustibles sustituirá gran parte de los cultivos tradicionales de la región. Con relación a la tenencia de la tierra, la opinión de los expertos al establecer el consenso, está alrededor de una posible generación de economías de escala. Esta situación probablemente conlleva a una reestructuración en la propiedad de la tierra, dado que los cultivos extensivos requieren la adquisición de vastas extensiones de tierra para garantizar el suministro de la materia prima para la producción bioetanol.

Conclusiones. La utilización de bioetanol como combustible en La Guajira no será significativo. El combustible que se seguirá utilizando en los próximos años es la gasolina Venezolana. No se vislumbra una disminución de emisiones de gases efecto invernadero. Se prevé que la producción de bioetanol se destinará hacia la exportación para Estados Unidos y Europa. La principal materia prima para la producción de bioetanol será la remolacha azucarera. A nivel artesanal se espera la implantación de proyectos a pequeña escala, aprovechando la producción de residuos de cosecha de algunos productos agrícolas como el mango.

Palabras claves. Bioetanol, prospectiva, energías alternativas.

*Grupo de Investigación Madre Tierra, Universidad de La Guajira, La Guajira - Colombia. Contacto: jcsierra@uniguajira.edu.co

R22. “Desafíos de innovación para el desarrollo sustentable del bioetanol en las Américas”

Orlando Vega Ch.*

Introducción. El desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles en energías renovables y eficiencia energética tiene su pertinencia e importancia para el IICA por cuanto en la Declaración de Compromiso de Puerto España, en el marco de la Quinta Cumbre de las Américas 2009, se establece que para la Seguridad Energética en las Américas se debe:

- 45. (...) desarrollar sistemas de energía más limpios, asequibles y sostenibles para promover el acceso a la energía y a tecnologías y prácticas energéticas eficientes en todos los sectores...
- 49. (...) diversificar la matriz energética y la creación de empleos... el desarrollo sostenible, la producción y el uso de los biocombustibles tanto actuales como futuros, atentos a su impacto social, económico y ambiental.

En la Consulta Regional en América Latina y el Caribe, en preparación a la Conferencia Global de Investigación Agrícola para el Desarrollo 2010 (GCARD/2010), se estableció que deberán focalizarse las investigaciones de la agroenergía en:

1. La identificación y desarrollo tecnológico de nuevas fuentes de materias primas que no resulten competitivas con la producción de alimentos.
2. Avanzar en el desarrollo de tecnologías de segunda y tercera generación y para el uso de materiales lignocelulósicos.
3. Modelos de producción integrada que permitan incorporar la agricultura de pequeña escala a la producción de agroenergía, e integrar estos nuevos esquemas en las estrategias.

Objetivos para el desarrollo sustentable de energía En una de las resoluciones de la Declaración de Ministros de Agricultura San José 2011 se establece como objetivo *estimular innovaciones en diferentes tipos de agroenergía que contribuyan a diversificar la matriz energética y a reducir el impacto ambiental negativo.*

Asimismo, en una publicación del IICA bajo el título Agua, alimento para la tierra, lanzada en el marco del Encuentro de Ministros de Agricultura de las Américas 2013, Buenos Aires, se brinda una recomendación puntual para impulsar el fortalecimiento institucional de los ministerios de agricultura mediante la cual se pretende *asegurar que la agricultura cuente con el agua requerida, en términos de calidad y cantidad, para la producción sustentable y competitiva de alimentos, fibras y energía.*

Desafíos de innovación y de sustentabilidad para el bioetanol. En la producción de materia prima:

1. Enfrentar heterogeneidad en rendimientos en la región ALC.
2. La introducción del “análisis de ciclo de vida” como herramienta de evaluación de procesos y sostenibilidad de obtención de biocombustibles.
3. Desarrollar y compartir experiencias en la región sobre el uso de materias primas alternativas para producción de biocombustibles.

En los procesos de transformación:

- Se buscan procesos de transformación de biocombustibles más eficientes, de más bajo costo, con reducido impacto ambiental adverso y más seguros.

En los motores y convertidores de energía:

- Con mejora progresiva en los actuales motores (de ciclo otto o diesel) hasta las celdas de energía.

Palabras claves. Bioetanol.

*Especialista en Energías Renovables, IICA, Sede Central. Contacto: orlando.vega@iica.int

R23. Efecto de la deslignificación y la hidrólisis enzimática de bagacillo de caña, polvillo de fique y afrecho de yuca sobre la obtención de glucosa

Milton Cuatin*, Álvaro Pantoja*†, Deyanira Muñoz*

Introducción. El creciente decremento de las despensas de combustibles fósiles ha obligado a orientar esfuerzos investigativos hacia alternativas energéticas de amplia oferta y no agotables con el tiempo, como es el caso de los cultivos energéticos, la biomasa lignocelulósica y las algas verdes. Sin embargo, el inminente riesgo de la seguridad y soberanía alimentaria de los países ha conducido a la búsqueda de alternativas energéticas que no compitan con la producción de alimentos. Una solución son los biocombustibles de segunda generación, que para la conversión de lignocelulosa en etanol requieren mayor investigación en los procesos de pretratamiento e hidrólisis.

Objetivo. En esta investigación, se estudió el potencial de la biomasa lignocelulósica de origen agroindustrial, como materia prima para la obtención de glucosa susceptible de ser aprovechada en procesos de fermentación para la generación de etanol.

Metodología. Se valoró, modificó y evaluó la hidrólisis enzimática de los residuos agroindustriales de bagacillo de caña (M1), polvillo de fique (M2), afrecho de yuca (M3) y una mezcla de los tres residuos (M4). Se caracterizó la biomasa, se realizó pretratamiento químico con bisulfito de sodio al 4% p/p y enzimático usando la enzima lacasa al 1% p/p. Se determinó la actividad enzimática celulasa total de dos complejos enzimáticos: AlternaFuel 200P e Indixell CL. Se realizó la hidrólisis enzimática de biomasa pretratada y sin pretratar, con el complejo de mayor actividad y se cuantificó el porcentaje de equivalente de dextrosa (%E.D) por el método DNS. Se aplicó un diseño factorial de factores fijos para evaluar el efecto de los dos tipos de pretratamiento, sobre el valor de %E.D para los residuos M1, M2 y M4, con alto contenido de lignina.

Resultados. Los tratamientos M2P1 (polvillo de fique; químico) y M2P2 (polvillo de fique; enzimático), tienen los mayores porcentajes de equivalente de dextrosa (%E.D) con promedios de 35,5% y 30,2%, mientras los menores porcentajes en M1P1 (bagacillo de caña, químico), M1P0 (bagacillo de caña, sin pretratamiento) y M1P2 (bagacillo de caña; enzimático), con valores de 13,2%, 11,6% y 10,1% respectivamente. Esto indica un mayor potencial del polvillo de fique sometido a pretratamiento químico y enzimático, para la producción de glucosa a partir de la hidrólisis de celulosa, a pesar de que éste presenta menor contenido de celulosa en comparación con los residuos de bagacillo de caña y la mezcla de residuos M4.

Conclusiones. Se concluye que el mejor pretratamiento que reduce la mayor cantidad de lignina en los residuos es el químico con bisulfito de sodio comercial al 4% p/p. El residuo M1 presentó la mayor proporción de celulosa antes y después del pretratamiento pero arrojó los resultados más bajos de %E.D, con un valor de 13,20% para el residuo tratado químicamente y de 10,07% para el residuo tratado enzimáticamente. M2 presentó valores máximos de %E.D sometido a pretratamiento químico (35,50%) y enzimático (30,18%), por lo tanto es un residuo con un gran potencial como materia prima en la obtención de biocombustibles de segunda generación.

Palabras claves. Biomasa, pretratamientos, sacarificación, equivalente de dextrosa.

*Grupo de diseño. Procesos y energía, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia. †Contacto: pantojalvaro@gmail.com

R24. Biocombustibles líquidos, una alternativa para el futuro

Edgardo Araque*

Introducción. Los biocombustibles son compuestos de origen biológico obtenidos a partir de restos orgánicos de materiales renovables. Los biocombustibles provienen de la biomasa, o materia orgánica que constituye todos los seres vivos del planeta, los más empleados son el bioetanol y el biodiesel. Los biocombustibles han alcanzado relevancia como energías renovables, puesto que no producen gases de efecto invernadero adicionales, ya que el dióxido de carbono producido durante su combustión es utilizado por las plantas para su crecimiento a través del proceso de fotosíntesis.

Los biocombustibles están conformados por dos grandes grupos: los de primera generación que son alcoholes principalmente, como el bioetanol obtenido a partir azúcares y almidones de materiales vegetales tales como: la caña de azúcar, maíz, trigo, remolacha azucarera, mandioca o yuca, en los cuales se utiliza tecnología convencional para su producción. Por otra parte los biocombustibles de segunda generación utilizan materias primas no convencionales (lignocelulósicos) que no se destinan a la alimentación y se cultivan en terrenos no agrícolas o marginales. De esta manera, la polémica generada por los actuales biocombustibles obtenidos de alimentos para los humanos quedaría solucionada.

Las tecnologías para convertir la biomasa lignocelulósica a bioetanol están bajo un intenso desarrollo y aún no han demostrado su potencialidad de comercialización. Para producir bioetanol de biomasa forestal es necesario un pretratamiento de la materia prima, fraccionar la celulosa y hemicelulosas separándolas de la lignina y posteriormente la fracción de celulosa debe ser hidrolizada por ácidos o enzimas en glucosa, la cual es fermentada a bioetanol.

Objetivo. Una de las condiciones para la utilización del material lignocelulósico es la optimización del pretratamiento en las cuales las principales variables a optimizar son: tiempo, temperatura, pH y concentración del solvente.

Metodología. Una vez que se realiza el pretratamiento de la madera, los sustratos obtenidos deben ser lavados con abundante agua y sometidos a un proceso de Hidrólisis Enzimática (HE), utilizando exo, endo glucanasasas y beta-glucosidasas a temperaturas óptimas de 50°C. Para la fermentación de los sustratos es necesario el uso de levaduras que se encargan de transformar los azúcares libres en bioetanol.

Resultados y conclusiones. Las levaduras *S. cerevisiae* normalmente utilizadas tienen una temperatura óptima de producción de bioetanol entre 25°C-35°C, contar con cepas adaptadas a temperaturas altas es indispensable cuando se quiere realizar Sacarificación y Fermentación Simultanea (SFS) de los sustratos lignocelulósicos.

Palabras claves. Biocombustibles, bioetanol, material lignocelulósico, energía renovable, SFS.

*Universidad Nacional Experimental de Guayana, Upata-Venezuela. Contacto: earaque@uneg.edu.ve

R25. Consideraciones preliminares para el diseño de un proceso productivo de etanol lignocelulósico

Edgar Castillo*†, Laura L. Garzón*, David Tirado*

Introducción. La producción de etanol lignocelulósico es considerada como una alternativa viable y ambientalmente más sostenible que la producción a partir de azúcares simples extraídos de cultivos alimenticios, dado que no competiría directamente con el suministro energético a la población. Sin embargo, existen diversos retos tecnológicos que deben superarse, para poder contar con una tecnología confiable y atractiva desde el punto de vista económico.

Objetivo. Algunos de los citados retos se centran en alcanzar rendimientos particulares y globales mínimos en cada una de las operaciones unitarias involucradas, tales como el pretratamiento, la hidrólisis y la fermentación.

Metodología. Dado que existe una estrecha interacción entre estas etapas, no necesariamente alcanzar el óptimo local de cada una de ellas, garantizará que el proceso integrado tenga la mejor respuesta posible. En otras palabras, aunque cada una de las etapas requerirá unas condiciones específicas operacionales que intenten obtener la máxima solubilidad de la hemicelulosa (pretratamiento), la máxima depolimerización de la celulosa (hidrólisis) y la máxima conversión de los azúcares a etanol (fermentación), al ser acopladas y operadas de manera secuencial puede notarse que impactan en algunos casos negativamente la producción global de etanol.

Resultados y conclusiones. En este proyecto se detallan algunas corridas experimentales que Ecopetrol dentro de su proyecto investigativo en biocombustibles avanzados que demuestran este efecto sinérgico.

Palabras claves. Etanol, biomasa, hidrólisis, fermentación.

*Grupo de Biocombustibles, Instituto Colombiano del Petróleo, Empresa Colombiana de Petróleos ECOPEPETROL, Colombia. †Contacto: edgar.castillo@ecopetrol.com.co