

PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN COLOMBIA A PARTIR DE FUENTES NO CONVENCIONALES

José Alejandro Martínez Sepúlveda¹. Director de programas, Facultad de Postgrados.

Lina María Pérez Junco², Docente Facultad de Ingeniería.

Miguel Reinaldo Casallas³, Joven Investigador. Universidad EAN

Recibido abril 1 de 2015 — Aceptado agosto 29 de 2015

<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v9n2.a08>

Resumen— Los biocombustibles han sido una estrategia que ha permitido disminuir el impacto ambiental causado por el uso de combustibles fósiles. Estos combustibles renovables ofrecen mayor seguridad energética, desarrollo rural, mejor desempeño de vehículos y reducción en la demanda de petróleo. La producción de biocombustibles ha dado lugar a un incremento en el interés de encontrar biorrecursos alternativos y fuentes que sirvan como materias primas para su producción. Los componentes de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) pueden ser transformados para obtener de ellos nuevos productos con otras aplicaciones competitivas a través de procesos de biometanización, compostaje, fermentación, entre otros.

Este estudio presenta una propuesta para obtener bioalcoholes mediante fermentación a escala de laboratorio utilizando como sustrato FORSU, acorde con estudios previos y en el marco de un proceso de aprovechamiento no convencional de recursos como se plantea en los principios de la Economía Azul, de Gunter Pauli [1].

Palabras claves— Biocombustibles, bioalcoholes, fermentación, combustible, FORSU

Abstract—The biofuels were a strategy for the decrease of environmental impact generated for fossil fuels. These renewable fuels can give energetic security, rural development, better engine performance and reduction in the oil demand. The biofuels production increases the interest in natural and biological sources and raw material. The Organic Fraction of Urban Waste (OFUW) can be transformed through processes such as bio methane production, composting or fermentation. This research shows a proposal for to obtain bio alcohols using fermentation method in laboratory scale, using OFUW, according to previews studies and into the Blue economy framework, from Gunter Pauli [1].

Keywords— Biofuels, Bioalcohol, fermentation, fuel, FOW

¹ José Alejandro Martínez Sepúlveda. Director de programas, Facultad de Postgrados.

² Lina María Pérez Junco, Docente Facultad de Ingeniería. Universidad EAN

³ Miguel Reinaldo Casallas, Joven Investigador. Universidad EAN

I. INTRODUCCION

Los biocombustibles son de origen biológico y se generan a partir de productos o residuos orgánicos (leña, carbón de leña, estiércol, desechos agrícolas, entre otros) que se procesan mediante la actividad metabólica de diferentes microorganismos [2]. El principal biocombustible utilizado en el planeta es el etanol, que puede usarse puro o en mezcla con la gasolina, mejorando la combustión interna de los motores, disminuyendo algunos impactos ambientales al aire y permitiendo disminuir los costos del combustible.

La producción de bioalcoholes por fermentación ha dado lugar a un incremento en el interés de encontrar biorrecursos alternativos y fuentes que sirvan como materias primas para la producción del mismo. Por este motivo se han empleado productos como el maíz, la caña de azúcar, tubérculos y otras materias primas ricas en carbohidratos fermentables; sin embargo este tipo de productos compiten directamente con la alimentación por ser cultivos energéticos, y compiten también por el uso de suelo y del agua. Por ejemplo, la caña panelera es muy usada debido a su gran rendimiento en cuanto a producción de bioetanol [3]. Los residuos se generan en cualquier lugar del mundo y su existencia vienen siendo un problema creciente, tanto así que se usan como fuente de energía en procesos de Waste to Energy (W2E). Sin embargo, dentro de esos residuos sólidos urbanos, existe una parte que corresponden a la fracción orgánica de los mismos (FORSU) compuesta de papel, frutas, vegetales, alimentos y madera, componentes putrescibles que marginalmente son aprovechados, y que son la fuente principal de generación de lixiviados durante su proceso de transformación anaeróbica en los rellenos sanitarios.

Por otra parte, como consecuencia del desarrollo industrial y del crecimiento de la población, existe un continuo incremento en el consumo de energía alrededor del mundo; las fuentes convencionales de energía como los combustibles fósiles no compensan en su totalidad tal demanda energética. El uso de

biocombustibles como alternativa de fuentes energéticas presentan muchas ventajas: contribuye a la disminución de CO₂ al ambiente, reduce la dependencia a la importación de combustibles y permite oportunidades de desarrollo a nivel rural [4].

Dentro de esas nuevas propuestas, el uso de la FORSU como fuente de combustibles gaseosos (por vía biometanización) y de combustibles líquidos (como Bioalcoholes) es un tema que se viene trabajando desde hace años; el proceso debe ajustarse, como cualquier otro proceso con perspectivas industriales, unas etapas de laboratorio y de planta piloto que permitan verificar su factibilidad, pero así mismo, se debe buscar eficiencia en la producción de este biocombustible, puesto que los rendimientos que se obtienen no siempre son altos. De esta forma, el análisis de las condiciones de proceso como temperatura, pH, concentración del sustrato, entre otras, permite analizar la eficiencia del proceso para hacerlo más económicamente competitivo.

Con combustibles alternos como los Bioalcoholes se busca la reducción de estas emisiones, pero siendo aún un combustible no tan eficiente como el petróleo, hace que se necesite utilizar más para así obtener el mismo rendimiento que se obtiene con el petróleo.

Algunos países han venido investigando a fondo este tema, pues su demanda energética es muy alta, los combustibles fósiles se agotan progresivamente y también generan demasiada contaminación, es por esto, que los estudios en este campo se han aumentado considerablemente y países como Brasil, China, Estados Unidos, entre otros han promovido el uso e investigación sobre los biocombustibles.

Este artículo presenta una propuesta para la obtención de bioalcoholes mediante una unidad de fermentación a escala de laboratorio utilizando como sustrato FORSU; el objetivo de esta fase fue establecer y estandarizar los factores más críticos que influyen en el proceso fermentativo a nivel de laboratorio usando levadura industrial para la producción de Bioalcoholes a partir de FORSU, usando las experiencias previas realizadas en España y Colombia por el equipo investigador de la Universidad EAN, con el propósito de agregar valor a este tipo de recursos y diversificar la producción de energía, favoreciendo el desarrollo sustentable.

II. RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La FORSU por su composición, se considera similar a un material lignocelulósico ya que posee un elevado contenido de polisacáridos de origen

celulósico y hemicelulósico, y una considerable proporción de ligninas. Se trata de un material de desecho, que generalmente se acumula y termina en rellenos sanitarios y su almacenamiento alcanza volúmenes gigantescos. Este estudio busca estandarizar un proceso a nivel de laboratorio para la obtención de biocombustibles como los Bioalcoholes a partir de residuos orgánicos, generando una solución económicamente viable y positiva tanto para la producción de energía como para la eliminación de los desechos orgánicos.

Aproximadamente 3 mil millones de personas generan un promedio de 1,2 Kg/día de residuos sólidos urbanos (RSU) lo que conlleva a una generación mundial de cerca de 1300 millones de Ton/año, de este gran total, América Latina, produce cerca de 160 millones de Ton/año [5]. Así como varía la composición de los RSU conforme a la región donde se produce, lo mismo ocurre con la producción per cápita del mismo; para ser más precisos, en el caso de América Latina se estima conforme a un informe del Banco Mundial que el 54% del total de los RSU corresponde residuos orgánicos o fracción orgánica [5] [6].

En Colombia, según datos de la UAESP [5] [6], se generan más de 25.000 Ton/día de RSU, de esta cantidad la ciudad capital Bogotá aporta el 26%, porcentaje que va al Relleno Sanitario Doña Juana. La gran mayoría de los residuos que se generan en Colombia no tienen un tratamiento previo antes de la disposición final, lo que ocasiona problemáticas ambientales y sociales a futuro, además de dañar el potencial de algunos recursos que allí se encuentran. Además se presentan malos olores debido a la descomposición de la materia orgánica presente en los RSU que van a parar a los rellenos [7].

El 65% de los residuos que se disponen diariamente en la capital de Colombia corresponde a residuos orgánicos, adicionalmente en las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá se generan 70 Ton/día de residuos orgánicos, de las cuales un mínimo porcentaje es dispuesto para el alimento de animales y producción de compost [8].

III. BIOCMBUSTIBLES EN COLOMBIA

El uso de biocombustibles en Colombia se da hace varias décadas con la aprobación de la ley 693 que marcó la entrada de Colombia al mercado de los biocombustibles, se dan como respuesta a la demanda energética de la población mundial utilizando energías limpias, se sabe que los biocombustibles ayudan a la

disminución del impacto ambiental causando por el transporte además de generar empleo y un impacto positivo en las zonas rurales del país.

Colombia es un país privilegiado con su ubicación geopolítica, la cual favorece la producción de biocombustibles y genera mayor competitividad en América latina junto con Brasil y Argentina, que son países que se destacan por la producción de esta clase de combustibles en la región [2]. La expedición de la ley 939 de 2004 permitió ampliar el sector de la producción de biocombustibles, gracias a los desarrollos tecnológicos y las posibilidades colombianas, la producción de bioetanol aumento notoriamente generando millones de empleos en las zonas rurales del país, el utilizar bioalcoholes adicionando solamente el 10% a la gasolina significaría una reducción del 32% de emisiones de monóxido de carbono a la atmosfera; el bioetanol es uno de los biocombustibles con mayor potencial carburante a nivel mundial.

Para el caso de Colombia, las energías renovables no son muy utilizadas a pesar de tener tantos recursos naturales que se pueden aprovechar responsablemente. El uso de los biocombustibles en Colombia no solo se limita a la mezcla entre gasolina y etanol, pues existe una amplia industria de nivel mundial que produce biodiesel a partir de la palma Africana, y cuyo producto es mezclado con el diésel proveniente de fuentes fósiles también amparado por leyes de la república.

En Colombia la principal fuente de etanol es la industria azucarera, la cual tiene cinco plantas distribuidas en los departamentos del Valle del Cauca, Cauca y Risaralda, las cuales tienen una producción de 1 millón de L/día de alcohol carburante; así mismo, existen una serie de proyectos en el país para la producción de etanol que se encuentran en investigación y desarrollo, dentro de estos se halla uno en el municipio de Puerto López departamento del Meta, cuyo objeto es producir 20.000 L/día a partir de la yuca [5].

Los estudios nacionales sobre biocombustibles que se han concentrado en las universidades del país han venido describiendo ampliamente la aplicación de estos combustibles en otros lugares del mundo. El presente estudio se centró en comprobar la viabilidad técnica de obtención de bioalcohol por vía fermentativa de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU). Desde el año 2012 con el apoyo de la Universidad de Castilla La Mancha, se desarrollaron pruebas preliminares que usaron diseños metodológicos de diversos estudios previos [9] [10] [11] y que mostraron la factibilidad técnica del proceso [5]; hasta

finales del año 2014, se realizaron distintos ensayos preliminares en Colombia con la cepa de levadura industrial *Saccharomyces cerevisiae*, con el objetivo de establecer las mejores condiciones del proceso de fermentación en el laboratorio, y en el año 2015, se llevaron a cabo los ensayos de fermentación en un digestor anaeróbico, empleando como sustrato una mezcla de residuos orgánicos asimilable a la FORSU.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Realización de ensayos preliminares de fermentación en el laboratorio.

En los ensayos preliminares se empleó la levadura industrial en presentación liofilizada, *Saccharomyces cerevisiae*, y como sustrato de fermentación se utilizó panela pulverizada comercial. El método de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) –Método Respirométrico se usó para evaluar y hacer seguimiento del proceso biológico de fermentación con levadura para la obtención de bioalcohol (ver figura 1), según guías de laboratorio de procesos biológicos de la Universidad EAN.

El procedimiento realizado para el desarrollo de los montajes fue el siguiente:

1. Preparación del medio para la fermentación, empleando agua destilada y sustrato.
2. Medición de la cantidad de levadura para cada ensayo.
3. Adición de la mezcla dentro de las botellas respirométricas junto con los agitadores magnéticos.
4. Seguimiento y medición de parámetros del proceso fermentativo por medio de las botellas respirométricas.



Fig. 1. Fotografía DBO (Demanda Biológica de Oxígeno)
Fuente: Martínez S., José A.

b. Realización de ensayos de fermentación en el laboratorio.

A partir de los resultados obtenidos en los ensayos preliminares, se identificaron los valores de variables parametrizables, como: concentración de sustrato, levadura y tiempo de fermentación. Con base en estos resultados, posteriormente se realizaron las pruebas de fermentación en un digestor anaeróbico con capacidad de 2 litros, empleando como sustrato una mezcla artificial de residuos orgánicos, para simular la FORSU acorde con el método *Small Scale Simulation of Waste Degradation in Landfills* [5] [12].

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSICIÓN SINTÉTICA DE RESIDUOS EMPLEADA

Residuo	%	Residuo	%
Papa	12,4	Naranja	9,8
Zanahoria	5,6	Tomate	4,0
Guisantes	2,6	Carne	4,4
Manzana	9,8	Pasta Hervida	4,6
Banana	7,0	Arroz Hervido	4,6
Repollo	10,2	Pan	7,0
Cebolla	6,0	Papel	10,0
Coliflor	2,0	<i>TOTAL</i>	<i>100%</i>

Fuente: Los autores

El producto de la fermentación (muestras tomadas con cierta frecuencia) se procedió a destilar en un intervalo de temperatura entre 60 y 75°C, con el fin de cuantificar los bioalcoholes (y eventualmente otros subproductos) cuyo punto de ebullición esté en este rango.

- Ensayo 1

Se llevó a cabo para evaluar la producción de bioalcohol por medio de la fermentación anaerobia de una mezcla al 3% P/V de sustrato en agua y 10 g de levadura. El procedimiento fue el siguiente: se ajustó el bioreactor a una temperatura de 30°C y se recirculó el medio por 45 minutos; en diferentes tiempos se recolectó una muestra del reactor y nuevamente se hizo la recirculación en cada muestreo. Cada una de las muestras tomadas se almacenó en refrigeración a 4°C. Lo anterior, se hizo con una regularidad fijada para hacer seguimiento al proceso. Una vez se finalizó la recolección de las muestras se llevó a cabo una destilación simple.

- Ensayo 2

En este ensayo, el proceso de fermentación fue realizado empleando como sustrato una mezcla

sintética de residuos orgánicos (ver tabla I) que asemeja la FORSU; la mezcla tenía una concentración 3% P/V, con 10 g de levadura y fue agregada al reactor, calentándose a 30°C y recirculándose por un periodo de 30 minutos; para este ensayo se hizo una prueba preliminar, en donde se evaluó la producción después de 12 horas de proceso y antes de 80 horas, y una prueba definitiva, en la que se hizo seguimiento a lo largo de dos días tomando muestras cada determinado tiempo a partir del momento de inicio (ver figura II); en total se extrajeron 7 muestras, las cuales eran refrigeradas a una temperatura de 4°C. Una vez se finalizó la recolección de las muestras se llevó a cabo una destilación simple para cada una de las muestras en los laboratorios de la Universidad EAN.



Fig. 2. Fotografía del sistema de reactor usado para prueba laboratorio

Fuente: Martínez S. José A.

c. Realización de ensayos de destilación de las muestras tomadas de los procesos de fermentación.

Para evaluar la cantidad de bioalcohol obtenido y determinar la eficiencia del proceso, a cada una de las muestras recolectadas de los diferentes ensayos de fermentación, se les realizó la prueba de destilación simple en los laboratorios de la Universidad EAN (ver TABLA II Y TABLA III).

V. RESULTADOS

1. Ensayos preliminares de fermentación en el laboratorio empleando botellas respirométricas

Se registraron los datos obtenidos después de un periodo de cinco días, a partir de cada una de las botellas. Lo que se observa de las lecturas es que algunas de estas no registraban dato alguno a pesar de

evidenciar el crecimiento microbiano, lo cual puede obedecer a que la actividad microbiana fue tan rápida, que ocurrió antes del periodo de sensibilidad de los equipos (un día); otra posible causa puede ser la falta de actividad microbiana perceptible, la cual se desvirtuó con unas pruebas organolépticas y cualitativas, en donde se evidenció la producción de dióxido de carbono y alcohol en bajas concentraciones.

En los resultados positivos de algunos de los ensayos realizados, se encontraron datos que permitieron determinar las condiciones óptimas de incubación, algunos de los ensayos permitieron apreciar una producción máxima en tan solo 24 horas, algo favorable a la hora de pensar en un proceso de producción semi-industrial. Otro de los factores que se evidenció que afecta la fermentación fue la concentración de sustrato y de levadura, lográndose encontrar que concentraciones de sustrato de 3% P/V y de levadura entre 1 y 3% P/V son las mínimas que permiten que el proceso sea identificable a través del sistema. Por último, se realizaron pruebas de pretratamiento de sustrato orgánico con HCl, que comparativamente facilitaron la disponibilidad de los azúcares para su fermentación comparado con pruebas en donde el sustrato orgánico fue utilizado sin ningún tipo de pretratamiento.

2. Ensayos de fermentación en el laboratorio empleando un digestor anaeróbico

En este ensayo (TABLA II y Fig. 3) en primera medida se observó que se pudo desarrollar el proceso de fermentación a partir de FORSU. Las pruebas organolépticas y cualitativas mostraron que hubo actividad en el reactor y si bien el seguimiento se desarrolló hasta la hora 126, se observó que la mayor producción de bioalcohol se alcanza durante las primeras 30 horas.

TABLA II
BIOALCOHOL OBTENIDO EN EL ENSAYO I

Muestra	Horas de proceso	g obtenidos/ L fermentado
1	8 horas	3.8
2	24 horas	4.8
3	30 horas	6.2
4	126 horas	4.8

Fuente: Los autores

Al realizar la destilación, se verificó cuantitativamente que hubo producción de Bioalcoholes y que después de cierto tiempo, la concentración de alcohol se disminuía, seguramente porque el Bioalcohol obtenido era utilizado por otras

rutas metabólicas de los microorganismos presentes en el reactor. El máximo rendimiento alcanzado, una vez realizadas las pruebas de destilación fue de 6,2 gramos de alcohol por litro de solución, partiendo de una solución 3% P/V de sustrato de azúcar simple.



Fig. 3. Bioalcohol obtenido en el ensayo 1
Fuente: Los autores

Con los resultados anteriores, se planteó llevar a cabo en el ensayo 2 una prueba preliminar con FORSU y una prueba con un seguimiento más minucioso del proceso durante las primeras 30 horas de fermentación, tomando muestras cada dos horas.

• Ensayo 2

El Ensayo dos fue una réplica del ensayo uno pero con cambio del sustrato (FORSU), primero pasando por un preliminar en el cual se tomaron dos muestras y luego con una prueba en la cual se hizo el esfuerzo de darle un mayor seguimiento a la primera fase de producción de Bioalcoholes observada en el ensayo uno y en los ensayos preliminares, esto es, al periodo hasta las 24-30 horas de proceso. Los resultados de la prueba preliminar se pueden observar en la Fig. 4. a continuación.

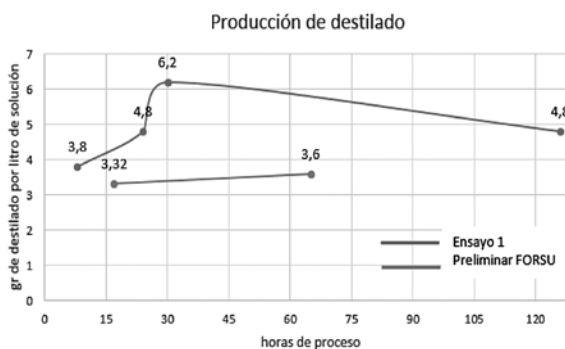


Fig. 4. Bioalcohol obtenido en el ensayo 2 - preliminar
Fuente: Los autores

Como se puede observar, de forma preliminar se observa que las producciones de Bioalcohol del preliminar FORSU (correspondiente al uso de FORSU como sustrato) son inferiores a las obtenidas en el Ensayo 1, que usó como sustrato azúcar disponible, alcanzándose una proporción 1:2, FORSU: Sustrato con azúcar disponible. Sobre la base de estos resultados preliminares con FORSU, se planteó una segunda prueba dentro del Ensayo 2 usando FORSU y esperando obtener rendimientos equivalentes (3,5 g/litro), haciendo un seguimiento especial a las primeras 30 horas de proceso.

En los resultados obtenidos (Fig. 5.), se confirma que la mayor producción de Bioalcohol se lleva a cabo durante las primeras horas de proceso, y pasado este tiempo la cantidad de alcohol producida se estabiliza y posteriormente decrece, algo similar a lo que se evidenció en los ensayos anteriores.

TABLA III
RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ENSAYO 2

Muestra	Horas de proceso	g obtenidos/ L fermentado
1	5 horas	8,1
2	23 horas	2,7
3	29 horas	3,8
4	46 horas	3,4
5	53 horas	3,5
6	77 horas	3,5
7	94 horas	1

Fuente: Autor



Fig. 5. Alcohol obtenido en el ensayo 2.
Fuente: Los autores

Se logró evidenciar que el rendimiento de producción de bioalcohol en la fase estable de las pruebas (sobre las 30 horas de proceso) son similares en

el ensayo 2 alrededor de 3,5 gramos de Bioalcohol por litro de solución (prueba preliminar FORSU – prueba FORSU) debido a la equivalencia en la disponibilidad de azúcares fermentables asimilables presentes; de la misma forma, se comprobó que los niveles de producción de Bioalcoholes se reducen aproximadamente a la mitad en términos de concentración cuando se pasa de un sustrato con alta disponibilidad de azúcares vs sustrato FORSU, comparando los resultados del ensayo 1 y del ensayo 2, seguramente por la disponibilidad de azúcares fermentables provenientes del sustrato y asimilables por la levadura.

Claramente será deseable para futuras investigaciones el incrementar la efectividad del proceso de fermentación a partir de FORSU, por lo cual se podría realizar una hidrólisis ácida previa antes del inicio del proceso, y así suministrarle a la levadura mayor concentración de azúcares simples para poder llevar a cabo el proceso fermentativo y producir el Bioalcohol con tasas más cercanas a las obtenidas durante el ensayo 1.

VI. CONCLUSIONES

La producción de biocombustibles puede fortalecer el campo, generar impactos positivos al ambiente, y forjar seguridad energética el país siempre y cuando se realicen las investigaciones necesarias para una producción sostenible.

El uso de bioalcohol como combustible en Colombia puede contribuir con la reducción de la carbono dependencia del país, sin embargo, no se puede desestimar el potencial aumento de NOx; por ello, se deben generar investigaciones y políticas que apunten a soluciones para que en la postcombustión se pueda controlar dicho contaminante.

Las diferentes concentraciones de sustrato y de levadura alteran el proceso de fermentación; por ello, es importante realizar una estimación de la cantidad de levadura ideal para el sustrato que será fermentado durante el proceso.

Los resultados obtenidos durante los ensayos permitieron identificar que el resultado máximo en términos de producción el Bioalcohol se presenta en todos los casos antes de alcanzar las 30 horas de fermentación, puesto que posterior a ese tiempo se presenta una estabilización en la producción e incluso un proceso de disminución en las concentraciones de producto.

Se pudo comprobar que el rendimiento promedio de producción es de 3,5 gramos de Bioalcohol por litro de solución, que termina siendo inferior a los 6,8 g/L alcanzados a partir de un sustrato con alta disponibilidad de azúcar para la fermentación. Esta situación se presenta por la baja disponibilidad de azúcar en la FORSU, y genera un reto para obtener mayor disponibilidad de sustrato realizando procesos de hidrólisis ácida previamente (tal y como se hizo en los ensayos preliminares).

Se logró comprobar la viabilidad técnica de obtención de bioalcohol por vía fermentativa de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FORSU), empleando un digestor anaeróbico en Colombia, tal y como los resultados preliminares de la investigación realizados en España lo habían comprobado anteriormente.

REFERENCIAS

- [1] América Economía. (2013). *Alquimia energética*. Entrevista a expertos en Latinoamérica. Chile.
- [2] Martínez, José Alejandro (2014). Biocombustibles: una frontera por descubrir. *Revista Coyuntura pyme*, 1(44), 1-7.
- [3] Orjuela, Javier.A; Huertas, Isaac; Figueroa, Juan.C; Kalenatic, Dusko. & Kadena, Katerine. (2011). Potencial de producción de Bioetanol a partir de Caña Panelera: dinámica entre contaminación, seguridad alimentaria y uso del suelo. *Ingeniería*, 16(1), 6-26.
- [4] Jacome, M. (2009). Estudio del proceso de fermentación de glucosa para la producción de bioetanol a partir de levaduras nativas. (Trabajo de grado). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, Colombia.
- [5] Martínez, José A.; Montoya, Nancy. (2013). Análisis preliminar de la viabilidad de la obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Producción más limpia*, 8(2), 72-84.
- [6] UAESP. (2012). Diagnóstico residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Doña Juana. Bogotá.
- [7] Martínez, José A.; Montoya, Nancy & Sierra, María. (2014). Energía del futuro: Bioalcoholes a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). *Revista EAN*, (77), 64-81
- [8] Lozano, Santiago; Martínez, José A.; Montoya, Nancy; (2014). Análisis preliminar de la obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. *Asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental*, Revista 235, 39-42.
- [9] Cinzia Buratti, F. (2011). *Anaerobic digestion of mechanically treated of MSW: Experimental data on biogas/methane production and residues characterization*. Italy: Universidad of Pegugia, Biomass Research Centre (CRB).
- [10] Havva Balata, C. (2008). Progress in Bioethanol processing. Turkey.

- [11] Vázquez, H. & Dacosta, O. (2007). Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production from agricultural residues. México: Departamento de sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana.
- [12] Martin, D.; Potts, L. & Reeves, A. (1997). *Small-scale simulation of waste degradation in landfills*. *Biotechnology Letters*, 19 (7), 683-685.

BIOGRAFÍA



José Alejandro Martínez. Ingeniero químico y Magister en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia. Doctorando en Administración Estratégica (PUCP – MSM). Diplomado en Educación Ambiental (PUJA, Colombia) y en Desarrollo sostenible (Lauphana, Alemania). Más de 15 años de experiencia laboral en sostenibilidad y gestión ambiental con empresas

Colombianas del sector manufacturero y de servicios.

Docente asociado a la facultad de postgrados de la Universidad EAN, Coordinador de los programas de Maestría en Ingeniería de procesos, especialización en Gestión de Residuos Sólidos y Gestión de Proyectos Mineros Sostenibles e Investigador en Gestión Ambiental Empresarial y Residuos.



Lina María Pérez Junco. Microbióloga Industrial y Magister en Ciencias Biológicas de la Pontificia Universidad Javeriana.

Seis años de experiencia laboral en aplicación de pruebas serológicas, aislamiento, conservación e identificación de microorganismos (virus, bacterias).

Docente de la facultad de ingeniería e investigadora externa de la Universidad EAN.



Miguel Reinaldo Casallas Ojeda. Ingeniero Ambiental de la Universidad Central. Experiencia en investigación de procesos biológicos y análisis de laboratorio de suelos contaminados. Joven Investigador de la Universidad EAN 2015 – 2016.

Isabela Burgos; Juan Solorza & David Ramirez. Estudiantes de Ingeniería ambiental de la Universidad EAN; miembros del semillero de investigación Vestigium de la Universidad EAN.