PRODUCCION DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACION A PARTIR DE LA FRACCION ORGANICA DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Second generation´s Bioethanol production from the organic fraction of solid urban waste

Martínez S., José Alejandro[1]
Montoya, Nancy J. [2]

Dirección de contacto: Carrera 11 78-47 Piso dos, área de Postgrados, Universidad EAN, Barrio El Nogal, Bogotá D.C., Código Postal: 110221, Colombia. Tel.: (571) 5936464 ext. 2163 – Fax: (571) 5936464. E-mail: jamartinez@ean.edu.co

Abstract
As stated in the report "What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management" (2012) of World Bank, today 3.000 millions of persons that are generating 1.300 millions of tonnes per year of Municipal Solid Waste - MSW. In 2025 is probable that this amount will continue to grow up to 4.300 millions of municipal or urban residents, and they will generate 2.200 millions of tonnes per year of MSW; all this MSW will require management systems, besides the challenge of fulfilling the needs of the Industry, because new and better materials for products and packaging will be used and will be consumed in cities, and when these reach the end of the life cycle these will go into the MSW. The bad disposal of MSW in No-technical landfill is a constant problem in every direction: for these poor practices the elements of the environment will can contaminate: air, soil, water (superficial and underground), etc. The leachate generated by the decomposition of the Organic Fraction of the MSW (OF-MSW), produces contamination due to infiltration, and the biogas (product of microorganism's metabolism and anaerobic decomposition of OF-MSW) is one of the Greenhouse gases (GG) that contributes to the Global Climate Change. Furthermore, and knowing than more than 50% of the Latin America production of MSW is Organic, it is necessary for the communities and the government to come up with different alternatives and options for the beneficial use of the MSW´s properties. This document is the result of one research project that studied the preliminary use of OF-MSW for the Bioethanol production, via laboratory tests and quantitative approach. This investigation were made in the Solid Waste Research Line of the Universidad EAN (Colombia) by students of the Solid Waste Management specialization, in collaboration with the Universidad de Castilla-La Mancha (Spain).

KeyWords:
Beneficial use, solid waste, organic waste, Bioethanol.

---

[1] Universidad EAN. Ingeniero químico y Magister en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en manejo de residuos sólidos y peligrosos (UNAM – JICA), en energías alternativas (CEDET, CIEMAT España) y diplomado en Educación Ambiental (PUJA, Colombia) y en Desarrollo sostenible (Lauphana, Alemania). Docente asociado a la facultad de postgrados de la Universidad EAN, Coordinador del programa de Especialización en Gestión de Residuos Sólidos y Director línea de investigación en gestión de residuos sólidos. jamartinez@ean.edu.co
[2] Universidad EAN, Especialización en Gestión de Residuos Sólidos.

PRODUCCION DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACION A PARTIR DE LA FRACCION ORGANICA DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Resumen
Como se menciona en el reporte "*What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management*" (2012) del Banco Mundial, hoy 3.000 millones de personas en las ciudades están generando cerca de 1.300 toneladas de residuos sólidos urbanos por año. En 2025 es probable que esta cifra siga creciendo hasta llegar a 4.300 millones de personas en las ciudades, con una producción aproximada de 2.200 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos por año; todos estos Residuos Sólidos Urbanos (RSU) requerirán de sistemas de gestión y manejo, a la par que se requerirá de desarrollos para atender las necesidades de las industrias frente a la creciente demanda de Materia Prima Reciclada (MPR), y para darle un correcto uso a los nuevos productos, materiales y empaques que serán consumidos y generados en las ciudades, y que al final de su ciclo de vida útil, terminarán como parte de los RSU. La inadecuada disposición de RSU en sitios diferentes a rellenos sanitarios es un constante problema en muchas direcciones: por estas prácticas componentes del ambiente pueden ser afectados negativamente, como el aire, el suelo, el agua superficial y subterránea, etc. Los lixiviados generados por la descomposición de la Fracción Orgnaica de los RSU (FORSU) producen contaminación a través de la infiltración, y el biogás (producto del metabolismo de los microorganismos anaeróbicos) es un Gas de Efecto Invernadero (GEI) que contribuye al cambio climático. Teniendo en cuenta que más del 50% de los RSU en Latinoamérica son orgánicos, producidos durante la preparación de alimentos y procesamiento de material vegetal para consume humano y animal, es necesario que las comunidades y sus gobiernos empiecen a trabajar en desarrollar medios alternativos de aprovechamiento de las propiedades de los RSU. Este documento muestra los resultados de un proyecto de investigación que estudia de forma preliminar y la producción de Bioetanol a partir de la FORSU, desde una escala laboratorio con soporte cuantitativo; esta investigación fue realizada por estudiantes de la Especialización en Gestión de Residuos Sólidos de la Universidad EAN (Colombia) con la colaboración de la Universidad de Castilla La Mancha (España).

Palabras clave: aprovechamiento, residuos sólidos, fracción orgánica, Bioetanol.

Introducción

Dentro del más reciente Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008 – 2015 de España, aprobado por el Consejo de Ministros, se retoman los objetivos planteados que habían sido formulados para ser cumplidos en el año 2006: i) Detener el crecimiento en la generación de residuos que se produce en la actualidad, ii) Dotar al país de nuevas infraestructuras y mejorar las instalaciones ya existentes, iii) Consolidar los programas de I+D+i aplicados a los diferentes aspectos de la gestión de los residuos, incluyendo análisis de la eficiencia de los sistemas de recogida, optimización de los tratamientos y evaluación integrada de los procesos completos de gestión, desde la generación hasta la eliminación, iv) Evitar que los residuos contribuyan al cambio climático fomentando la aplicación de las medidas de mayor potencial de reducción. Estos objetivos, latentes en el Plan Nacional Integrado de Residuos, son altamente concordantes con lo expreso por la Política Nacional de Producción y Consumo Colombiana, así como con la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos, sobre la cual se ha llegado a avances como el que actualmente el 79% de los municipios del país dispongan sus residuos en sitios adecuados, tales como rellenos sanitarios y plantas integrales, siendo este porcentaje equivalente a 25.091 toneladas por día), así como el cierre preventivo y definitivo de sitios temporales de disposición en el territorio nacional que habían sido autorizados (o no) por la entidad competente respectiva.

Con este panorama, la investigación buscaba plantear una alternativa para manejar entre el 55% y el 64% de los residuos sólidos urbanos generados en Colombia, correspondientes a la fracción orgánica, pero alejados de los sistemas de aprovechamiento convencional (producción de compost ó de humus) y cerca de las tendencias mundiales para generación de economías no carbono dependientes; la generación de bioetanol a partir de desechos orgánicos permitiría alargar la vida útil de los rellenos sanitarios del país, así como desarrollar una línea de producción de bioetanol de segunda generación, esto es, sin entrar a pugnar por los recursos que pueden alterar la seguridad

alimentaria de un territorio; tanto para España como para Colombia, las características de uso de biocombustibles implican el que los combustibles tipo gasolina contengan el 10 % de etanol, con proyecciones de aumento a través del tiempo; por ello, actividades tendientes al aprovechamiento de residuos y que puedan llegar a generar beneficios ambientales, sociales y económicos colaterales deben ser tenidos en cuenta por los países en vías de desarrollo.

Objetivos o hipótesis

Actualmente existen muchas formas de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, comúnmente son empleados en pequeña escala para alimentación animal, producción de abono orgánico, reciclaje y coprocesamiento en pequeña escala, que son retornados al proceso productivo industrial, empresarial e institucional. El presente proyecto investigativo contribuye a la solución de un problema ambiental actual, generando alto impacto ambiental positivo, disminuyendo la cantidad de residuos llevados a Rellenos Sanitarios y/o Vertederos, reducción de emisiones de CO2 y de lixiviados. Por lo anterior, el objetivo principal de la investigación es comprobar la viabilidad de la obtención de Bioetanol a partir de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) mediante procedimientos Biológicos, con el fin de generar una línea de aprovechamiento no convencional de este tipo de residuos; entre los objetivos específicos se encontraban:

- Analizar de forma preliminar la viabilidad técnica de obtención de Bioetanol por vía fermentativa de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.
- Implementar las pruebas preliminares de fermentación e hidrolisis de la fracción orgánica de los RSU.
- Determinar de forma preliminar la eficiencia y la cinética de la producción de Bioetanol.
- Analizar los resultados obtenidos, con miras a generar conocimiento sobre obtención de Bioetanol por vía fermentativa de la fracción de residuos orgánicos de RSU.

Metodología empleada

La investigación se llevó a cabo en dos fases; en una primera, de carácter experimental se llevó cabo en los laboratorios de una universidad Española, con el fin de realizar la simulación de la fermentación; en una segunda fase se realizó la fabricación artificial de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) promedio de una ciudad, con el fin de realizar el análisis al comportamiento de los RSU mediante procedimientos Biológicos y comprobar las probabilidades de la obtención de Bioetanol a partir de una fermentación alcohólica, con miras a allanar el camino para la identificación posterior de la cinética de reacción y de la afectación de variables sobre el proceso.

Actividades o etapas desarrolladas

Las actividades planteadas para el desarrollo de los objetivos son los siguientes:

1. Documentación sobre la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos
2. Preparación de la Muestra, realizada de acuerdo a una simulación de la Composición de la fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos.
3. Pruebas de fermentación alcohólica para estandarización de procesos
4. Pruebas de fermentación alcohólica con muestra
5. Evaluación de las Diferentes Fases, Resultados y Discusión.

La actividad tres tiene unas subactividades experimentales, desarrolladas mediante la instalación a escala de laboratorio de un sistema biológico para cada proceso:

i) Hidrólisis / Solubilización de la FORSU
ii) Fermentación de Glucosa sin Control de pH
iii) Fermentación de Glucosa con Control de pH.

Para cada una de las subactividades, se realizaron muestreos continuos del líquido, así como el análisis periódico de los gases con miras a evaluar el objetivo de la investigación.

Resultados obtenidos

- **Fermentación de Glucosa sin Control de pH y con control de pH**

Las medidas de los parámetros convencionales se realizaron de acuerdo a los métodos normalizados de análisis, mediante técnicas comúnmente utilizadas en el análisis de aguas; los resultados obtenidos se presentan a continuación de manera grafica (Figura 1 sin control de pH y Figura 2 con control de pH).

Figura 1. Comportamiento del Etanol producido y la Glucosa vs Tiempo sin control de pH

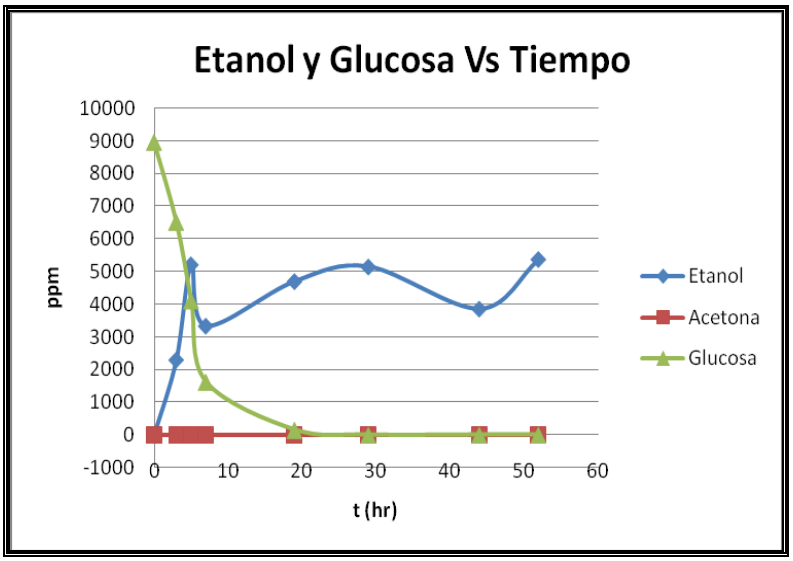
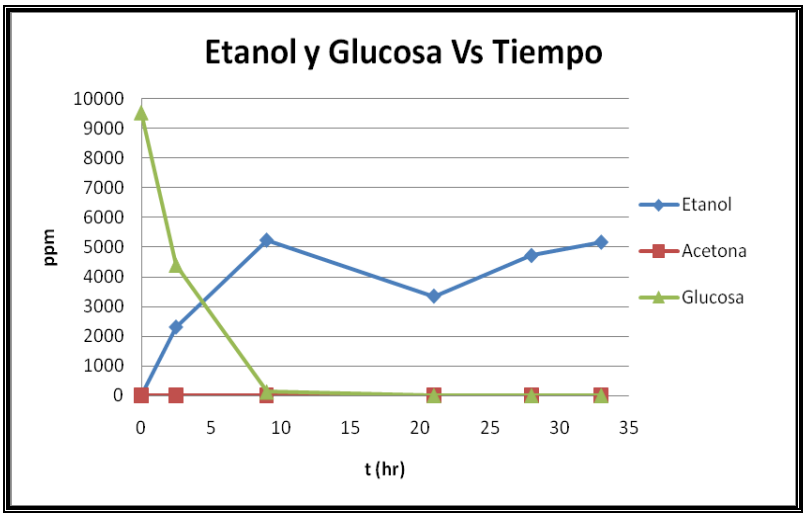


Figura 2. Comportamiento del Etanol producido y la Glucosa vs Tiempo con control de pH



El resultado de las pruebas arroja que sin control de pH (Figura 1) la producción de etanol es muy similar a la obtenida con control de pH (Figura 2), sin embargo, la acidificación que sufrió el medio fue muy alta, y alcanzó un valor de pH 2.5; este descenso de pH puede ocasionar un descenso de la concentración de la Biomasa, por lo que no resulta un escenario recomendable. En la prueba con control de pH (Figura 2) se observa que se alcanza una

concentración de Etanol de alrededor de 5000 ppm en un tiempo inferior a 35 horas (cerca de un 60% del tiempo de proceso requerido para la prueba sin control de pH).

- **Fermentación de la FORSU**

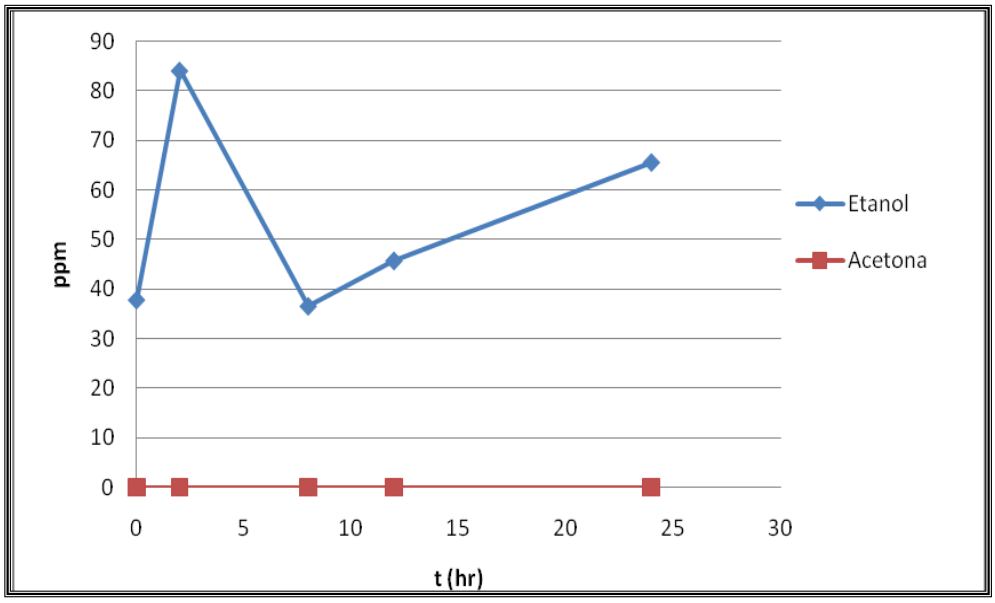
Debido a que en esta fase se experimentó con la FORSU previamente preparada, se realizó el análisis de la medición de la DQO a partir de cada toma de muestra, de manera directa la cual no fue necesario utilizar dilución con agua destilada; a continuación en la Tabla 1 se presentan los resultados arrojados de la presencia de DQO.

Tabla 1. Resultados DQO

Muestra	Toma Muestra	DQO (mg/lt)
R1.01	Día 1	5480
R1.02	Día 1	3970
R1.03	Día 1	5820
R1.04	Día 1	3760
R1.05	Día 2	5470
R1.06	Día 3	7700

El comportamiento de la Producción de Etanol a través del tiempo (que se puede observar en la Figura 3) denota claramente dos momentos del proceso: un primer momento, en el cual se observa antes de las 10 horas de proceso una producción de etanol, la cual puede atribuirse a una reacción metabólica colateral que permitió que se generara el etanol como metabolismo intermedio (o en su defecto, moléculas que podrían dar positivo a los análisis de etanol realizados), el cual fue degradado posteriormente y usado como material insumo para producir el etanol de forma continua y persistente a partir de un segundo momento, el cual puede identificarse después de las 10 horas de proceso.

Figura 3. Producción Etanol vs Tiempo



Resultados como los mostrados en la Figura 3 indican que es muy posible que, para garantizar un mejor procesamiento de la FORSU durante el proceso, podrá ser necesario aplicar y realizar tratamientos previos como por ejemplo digestión acida, que permitan modificar la composición del efluente y facilitar su posterior transformación a Etanol.

Conclusiones

- El Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos genera un alto impacto ambiental positivo en países en vías de desarrollo, y por lo tanto, la contribución en el manejo de estos residuos para generar productos de valor agregado permitirá generar opciones de aprovechamiento que aporten al desarrollo no carbono dependiente de éstos países.
- Los residuos sólidos orgánicos son muy abundantes en nuestra región Latinoamericana, representando la fracción de mayor porcentaje de RSU, y tan solo una mínima parte de ellos es empleada y valorizada mediante actividades como alimentación animal y producción de Compost (Biofertilizantes), como retorno al mejoramiento del suelo agrícola para las posteriores cosechas; por ello es vital desarrollar procesos de valoricen este material y permitan la creación de cadenas productivas diferentes.
- El Bioetanol puede llegar a reducir emisiones de ciertos contaminantes a la atmosfera (como material particulado) hasta en un 68 % según estudios realizados en España; actualmente el Mercado de Bioetanol está siendo derivado desde la caña de azúcar como materia principal, así como desde el almidón de maíz , ambos insumos que pueden afectar la sostenibilidad alimentaria de los territorios o afectar por vía demanda el precio de los alimentos.
- A través del proyecto de investigación desarrollado en la Especialización en Gestión de Residuos Sólidos de la Universidad EAN (Colombia) se pudo llevar a cabo un proceso en el cual fue posible obtener por vía fermentativa bioetanol a partir de la FORSU, y por lo tanto es necesario realizar más pruebas para estandarizar un protocolo, y verificar tanto las cinéticas como el rendimiento de la reacción; sin embargo la FORSU está constituida por moléculas complejas que hacen necesario el análisis que permitan transformaciones am la fermentación, como hidrólisis acida u oxidaciones parciales que permitan estabilizar el componente principal y obtener mejores resultados y rendimientos.

Bibliografía

Betancourt C., R., Martínez S. José Alejandro. Analysis of use of leachate from a landfill in Colombia. Memorias del XXVII Congreso Centroamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. AIDIS El Salvador. Marzo de 2012.

Betancourt C., R., Martínez S. José Alejandro. Análisis de aprovechabilidad del lixiviado de un relleno sanitario de una ciudad intermedia en Colombia. Revista de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – ACODAL. Diciembre 2012- Revista 231. Página 5 – 13. ISBN 0120-0798. Bogotá.

Cinzia Buratti, Francesco Fantozzi. Anaerobic digestion of mechanically treated of MSW: Experimental data on biogas/methane production and residues characterization. University of Perugia, Biomass Research Centre (CRB). Italy, June 2011.

D.J. Martin, L.G.A. Potts and A. Reeves. Small-scale simulation of waste degradation in landfills. Chapman & Hall 1997.

E.-J. Jeon, S.-J. Bae, D.-H. Lee, D.-C. Seo, S.-K. Chun, N. H. Lee And J. Y. Kim. Methane Generation Potential And Biodegradability Of MSW Components. Korea 2007.

Havva Balata, Cahide O¨ z. Progress in Bioethanol processing. Turkey, January 2008.

H.J. Vázquez y O. Dacosta. Departamento de Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, México. Oficina de Consejo, Desarrollo y Transferencia Tecnológica, Dijon, Francia. Alcoholic fermentation: An option for renewable energy production from agricultural residues. Diciembre 2007.

Martínez S. José Alejandro. Propuesta para el desarrollo de un spin off en residuos sólidos en Bogotá – Colombia. Revista Ciencia y tecnología del ejército. Volumen 3/ número 2/ páginas 64 a 75. Julio – Diciembre 2012. ISSN 2145-4191. Bogotá.

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. Recomendaciones de especificaciones técnicas para el Etanol y sus mezclas (E6) y la infraestructura para su manejo en México. Marzo 2010.

Plan Nacional Integrado de Residuos para el Periodo 2008 – 2015. Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático de España, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el documento.

Red de Centros de Información de Residuos de la Comunidad de Madrid. 2011.

Universidad de Castilla - La Mancha UCLM. Memorias y Ponencias, Máster en Ingeniería y Gestión Medio Ambiental. Ciudad Real, España. 2012.

Artículos páginas web: www.sciencedirect.com , www.elseiver.com , www.scopus.com , www.scielo.org , www.sciverse.com.

Federación Nacional de Biocombustibles. Pagina Web. http://www.fedebiocombustibles.com/v3/