

## Análisis de factibilidad de un proceso de producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos como alternativa sustentable al manejo de residuos sólidos urbanos.

Olmos Flores, R.<sup>1</sup> Serafín Muñoz, A.<sup>2\*</sup>, Gómez Medina, A.<sup>3</sup>, Polo Conrado K.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, División de Ciencias Naturales y Exactas. Guanajuato, Gto. [re.olmosflores@ugto.mx]

<sup>2\*</sup>Investigador a cargo del proyecto. Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Dpto. de Ingeniería Civil. Guanajuato, Gto. [sermuah@ugto.mx]

<sup>3</sup>Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías. Guanajuato, Gto. [a.gomez.medina@ugto.mx]

<sup>4</sup>Politécnico Costa Atlántica, Facultad de Ingeniería Industrial, Barranquilla, Colombia. [knapc89.kp@gmail.com]

---

### Resumen

La creciente generación de residuos sólidos urbanos (RSU) es un problema importante, particularmente para áreas urbanas con insuficientes capacidades de relleno sanitario y sistemas ineficientes de gestión de residuos. Existen varias opciones asociadas a la cadena de suministro para implementar un sistema de gestión de RSU, sin embargo, para determinar la solución óptima, se deben considerar varios aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales. Una alternativa enmarcada dentro de la concepción de sustentabilidad es el uso y aprovechamiento de estos residuos en la generación de nuevas formas de energía más eficientes, sostenibles y asequibles, ejemplo de ello son los llamados biocombustibles. En el presente trabajo se analiza un proceso de producción de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, así como la factibilidad de su implementación como una nueva vía para la gestión y aprovechamiento de los residuos orgánicos, basándose en la eficiencia obtenida en el proceso productivo propuesto y en la cantidad de residuos disponibles en el municipio de Guanajuato, México.

### Introducción

Una de las principales problemáticas a las que se enfrentan los gobiernos actuales a nivel mundial es la búsqueda de alternativas al uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía en la industria y los procesos productivos, esto se debe, en buena medida, a las nuevas medidas ambientales que se presentan como respuesta a las cada vez más severas problemáticas derivadas del calentamiento global y la contaminación del medio. La generación de biocombustibles ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, preservar los recursos tanto renovables como no renovables y maximizar el potencial de uso de productos agrícolas, y en especial de los subproductos o residuos que estos generan al someterlos a distintos procesos en la industria, y cuya disposición final representa un desafío ambiental [1]. La búsqueda de alternativas energéticas a los combustibles fósiles ha conllevado al uso de materias primas naturales (biomasa) dando lugar a los llamados biocombustibles dentro de los cuales destaca el bioetanol, obtenido a partir de azúcares, almidones o material celulósico y que se vislumbra como una de las mejores opciones para sustituir a la gasolina y sus deri-

vados en el uso de motores de combustión interna, lo que acarrearía una disminución en la dependencia energética de ésta [2]. El bioetanol es un combustible surgido a partir del tratamiento de la biomasa, por tanto, es degradable. Es derivado del uso de la energía solar almacenada en los recursos vegetales, oxigenado y libre de azufre. El carbono en su cadena es de origen vegetal, es por lo que, al ser liberado durante la combustión no contribuye en la generación de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> y, por tanto, no contribuyendo a la contaminación urbana por emisiones [3].

En paralelo, nuestro modo de vida exige una era de rápida transformación y crecimiento global, dirigiéndonos a una explotación indiscriminada de los recursos del planeta, generando más basura o residuos sólidos urbanos (RSU) y con ello contaminamos más nuestros elementos naturales como el agua, suelo y aire. Cada año, se generan en todo el planeta entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas de RSU, y alrededor de 3.000 millones de personas carecen de acceso a instalaciones controladas de gestión de residuos [1,2]. La disposición final y la generación de la basura o residuos sólidos urbanos (RSU) representa un gran problema ambiental en el Estado de Guanajuato, ya que el mal manejo de su gestión sumado con la mezcla de ellos y la generación de lixiviados generan un alto riesgo para la salud humana y su medio ambiente [4]. En México se generan 103 mil toneladas de basura por día [5]. El Estado de Guanajuato se encuentra dentro de los 10 Estados que más generan RSU, en Guanajuato capital genera alrededor de 3,800 toneladas diarias [3,4]. El presente trabajo forma una parte del megaproyecto Guanajuato Rumbo al Desarrollo Sustentable. Por lo que específicamente, se llevaron a cabo dos etapas cruciales: a) Análisis del sitio de afectación, como justificación del propio proyecto y b) Obtención de bioetanol a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, que a su vez significaría una alternativa sustentable al manejo y gestión de estos, como aplicación específica de este trabajo de investigación.

### **Materiales y métodos.**

La metodología de investigación en el presente trabajo se llevó a cabo en dos etapas. La Etapa I consistió en realizar un estudio de afectación de la situación actual del tiradero municipal de

Guanajuato para evaluar el grado de daño ecológico existente en el sitio. La Etapa II abarcó la implementación de una propuesta de tecnología verde para la obtención de etanol a partir del aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.

### **Etapa I: Caso de estudio, análisis del grado de afectación**

#### **1.1 Ubicación del polígono del área de estudio**

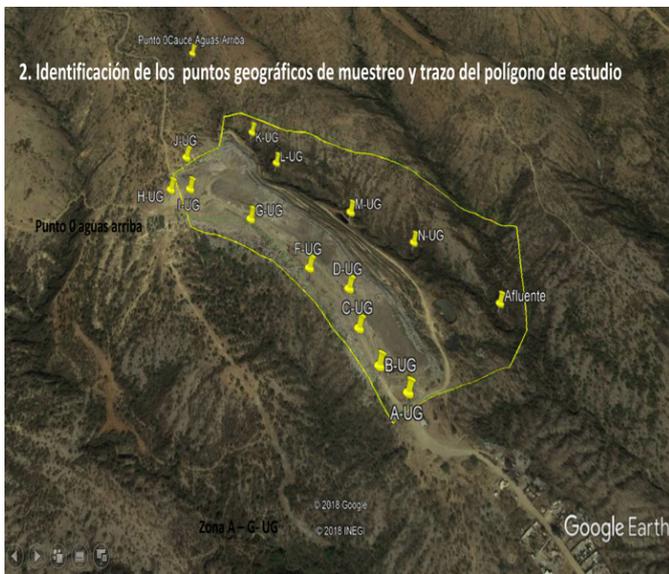
Se llevó a cabo el análisis del estudio de afectación que se presenta en el tiradero municipal de Guanajuato (Figura, 1), riesgo latente derivado de una falta de estrategias en el manejo y gestión de los RSU con el fin de evidenciar la necesidad que se presenta referente a la búsqueda e implementación de alternativas al manejo de los residuos sólidos municipales que permitan disminuir el agresivo impacto al medio que se manifiesta en la situación actual.



**Figura 1.** Plano general del tiradero

#### **1.2 Toma de muestras**

La toma de muestras se llevó a cabo en base a la metodología descrita en las normas NOM-083 (pH, DQO y materiales pesados) y NOM-001 así como lineamientos de la SEMARNAT. Se muestrearon lixiviados de diferentes puntos dentro del perímetro del tiradero (Figura, 2) y se sometieron a distintas pruebas y análisis con el fin de cuantificar la presencia de agentes nocivos a los que se exponen los trabajadores del lugar y las poblaciones aledañas, naturalmente, resaltando el daño que estos agentes provoca al medio físico.



**Figura 2.** Puntos seleccionados dentro del perímetro

### 1.3 Análisis de muestra

Para poder realizar los correspondientes análisis a estas muestras líquidas, como primera fase, las muestras fueron pretratadas con un proceso de digestión ácida con HNO<sub>3</sub> concentrado con el fin de eliminar la carga orgánica bajo una rampa de temperaturas a 70°C, 100°C y 110°C por 1, 2 y 12 horas respectivamente. Posterior a este tratamiento, se realizaron diluciones acuosas con objeto de facilitar el tratamiento de las muestras en los equipos de cuantificación metálica. Se llevó a cabo el análisis de muestras en base a la técnica establecida por espectrofotometría UV en un equipo LaMotte®, se cuantificó la presencia de los metales más característicos en este tipo de muestras y que a su vez son los agentes más representativos que pueden significar un factor de riesgo ambiental en concentraciones elevadas. Con ayuda de este equipo se logró determinar la presencia de plomo, cadmio, cromo hexavalente y mercurio, mientras que para la determinación de manganeso, sulfatos y nitratos se empleó un equipo Hach® para análisis de agua. A su vez, también se cuantificó la demanda química de oxígeno (DQO) por medio de un equipo Hach® DR-3900 a través de la espectrofotometría UV. Se cuantificó también la presencia de arsénico total a través del espectrofotómetro de absorción atómica modelo PinAAcle serie 400 Perkin Elmer. Todos los análisis de las muestras se realizaron por triplicado.

**Etapla II: Aplicación de tecnología verde en la producción de bioetanol.**

### 2.1 Recolecta de muestra

Las muestras de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) se recolectó del Mercado Hidalgo de la ciudad de Guanajuato, capital. (21° 1'3.93"N, 101°15'28.97"O).

### 2.2 Pretratamiento de muestra

Se pesó 1kg de FORSU inicialmente en peso fresco. Las muestras se secaron a 50°C por 72hrs. El material vegetal celulósico y amiláceo disponible tiene una alta composición de azúcares e hidratos de carbono complejos, por lo que es necesario que sus cadenas y enlaces se desdoblén para poder obtener azúcares fermentables a etanol.

Dicho procedimiento está descrito por la ec. 1 [4]:



Posteriormente se molió la muestra seca y se tamizó a un tamaño de partícula uniforme resultante de 700 µs.

### 2.3 Deslignificación de la muestra

Con objetivo de eliminar lignina contenida en el material vegetal debido a que esta pudiera intervenir en la conversión de las azúcares, se le agrega a la muestra molida NaOH 10M diluida al 50% con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de tal forma que la cantidad de solución cubriera por completo la muestra sólida contenida en los matraces Erlenmeyer. Después de un periodo de reposo de 30 minutos las muestras se filtraron y después centrifugaron, después, se secaron con el fin de separar la lignina.

### 2.4 Hidrólisis ácida para la obtención de azúcares

Las muestras obtenidas del proceso de deslignificación fueron hidrólizadas con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Golden) 2:1 w/w a la masa de producto por 1hr a 50°C. Posteriormente las muestras fueron filtradas, separando el filtrado de la materia sólida.

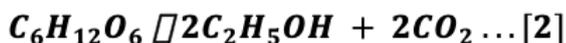
### 2.5 Cuantificación de azúcares

De las muestras líquidas obtenidas del filtrado de la hidrólisis, se cuantificaron los 1%Brix con un equipo de refractometría (equipo Hach) tomando como referencia las azúcares contenidas en una solución patrón de sacarosa al 10%, con ello podemos cuantificar el %w/w y el %w/v de azúcares en cada muestra con el fin de

comparar las azúcares totales en un inicio con las azúcares fermentadas a etanol.

## 2.6 Fermentación

En matraces previamente esterilizados se procedió a fermentar el filtrado líquido azucarado. El proceso de fermentación descrito se presenta con la siguiente reacción característica [2], tomando en cuenta que se realiza con auxilio de una levadura:



Se utilizó la levadura *Saccharomyces Cerevisiae*, (proveniente de cepa aislada por el grupo de trabajo, IIBE-DI-UG. La fermentación se llevó a cabo por 72 horas, a 35 °C.

## 2.7 Análisis de la cantidad de etanol obtenido

Las mediciones se llevaron a cabo utilizando un muestreador automático de espacio de cabeza HP-7694 y un cromatógrafo de gases capilar modelo HP-6890 (Hewlett-Packard.). Las condiciones de funcionamiento de GC fueron las siguientes: columna capilar HP-5 a 30 °C y una velocidad de flujo de gas portador de helio de 1,1 ml / min. Se empleó un detector de ionización de llama con velocidades de flujo de hidrógeno y aire de 40 y 400 ml / min, respectivamente. Las condiciones de funcionamiento del espacio de cabeza fueron las siguientes: 3 minutos con fuerte agitación para el equilibrio de la muestra a una temperatura de 105 °C, tiempo de presurización del vial de 0.2 minutos, tiempo de llenado del circuito de muestra de 0.2 minutos y tiempo de equilibrio del circuito de 0.05 minutos. Se tomaron 500 µl de las muestras las cuales fueron centrifugadas a 10,000 rpm x 15min, posteriormente fueron diluídas con acetónitrilo, el cual fue usado como estándar interno. Posteriormente fueron introducidas al CG.

## 2.8 Destilación y obtención de pureza deseada

La muestra debe someterse a un proceso de destilación para obtener una pureza deseada y puedan separarse el agua restante, así como los alcoholes pesados y aldehídos. Luego ha de someterse a un proceso de deshidratación final. Las vinazas resultantes de la destilación pueden concentrarse y mezclarse con la fracción orgánica restante, esto con el propósito de crear un compuesto orgánico útil como abonos para

cultivos.

## 2.9 Propuesta del escalamiento a planta piloto

En base a los resultados obtenidos, se planteó el diseño de un diagrama ingenieril utilizando el software Aspen Plus V8.6 para el análisis de producción de bioetanol cuantificable a diferentes escalas.

## 3.Resultados.

En la Tabla 1, se resumen los análisis y pruebas de caracterización realizados a los lixiviados muestreados en el tiradero municipal de Guanajuato, se cuantifica la presencia de agentes nocivos en el lugar. Destaca la presencia de metales que presentan cierto grado de toxicidad como el mercurio y plomo; se encuentran en una cantidad significativa para el medio en que se encuentran, además, como podemos observar, la DQO es muy elevada para los lixiviados analizados, esto nos habla de la susceptibilidad de las muestras a ser oxidadas y es un útil indicador del grado de contaminación que se tiene en el sitio. En cuanto a la Etapa II, para las muestras provenientes de la FORSU, se utilizó la ecuación [3] para % de humedad, obteniendo un 87.69+1.2 %. La cantidad promedio en base al %Brix en las muestras fue del 25%. Después de efectuarse el proceso de fermentación, los resultados respecto a la obtención de bioetanol se muestran en la Tabla 2.

$$\%_{humedad} = \frac{W_{húmedo} - W_{seco}}{W_{húmedo}} \dots [3]$$

Como podemos observar, el rendimiento es calculado en base al % Brix (v/v) calculado con el equipo refractómetro, la medición relaciona la masa de tal forma que si tenemos una lectura %Brix de 25% v/v significaría que hay en la muestra 25g de azúcares por cada 100g de muestra. En la Figura 3, se observa el cromatograma de la curva de calibración del etanol. El proceso superó el 85% de rendimiento, lo que demuestra que, aunque en primera instancia se ha probado en microescala, es un proceso viable para llevarse a cabo en la planta piloto propuesta. El balance de materia para el proceso, calculando las cantidades netas tanto de insumos (entradas) como productos (salidas), se muestra en la Tabla 3.

Caracterización de Lixiviados				
Parámetro	Muestras	Resultados	Promedio(ppm)	Límite permisible por la norma
PLOMO	Control	0.022	0.040	0.5-1
	Lixiviado 1	0.093±0.086		
	Lixiviado 2	0.025±0.02		
	Punto 0	0.036±0.015		
CADMIO	Control	0	0.022	0.1-0.4
	Lixiviado 1	0		
	Lixiviado 2	0.067±0.044		
	Punto 0	0		
CROMO	Control	0.017	0.05	1.0-1.5
	Lixiviado 1	0.045±0.052		
	Lixiviado 2	0.088±0.066		
	Punto 0	0.015±0.013		
MERCURIO	Control	0.026	<b>0.147</b>	0.005-0.02
	Lixiviado 1	0.145±0.051		
	Lixiviado 2	0.283±0.054		
	Punto 0	0.015±0.005		
MANGANESO	Control	0.004	0.008	N/A
	Lixiviado 1	0.008±0.003		
	Lixiviado 2	0.008±0.002		
	Punto 0	0.01±0.002		
ARSÉNICO	Control	0	<b>1.333</b>	0.2-0.4
	Lixiviado 1	0		
	Lixiviado 2	4		
	Punto 0	0		
DQO	Control	-	<b>5,925.333</b>	150-250
	Lixiviado 1	6,433.333		
	Lixiviado 2	10,866.666		
	Punto 0	476		
Nitratos	Control	-	1.5	N/A
	Lixiviado 1	0		
	Lixiviado 2	0		
	Punto 0	4.5±0.62		
Sulfatos	Control	-	1.222	N/A
	Lixiviado 1	0		
	Lixiviado 2	3.666±0.82		
	Punto 0	0		

Tabla 1. Caracterización de Lixiviados

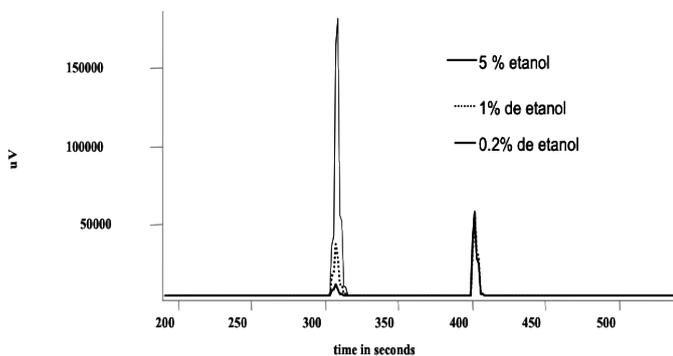


Figura 3. Cromatogramas de curva de calibración para etanol, R2 0.99995, precisión de 0.138%

Muestra	%Rendimiento
1	85 ± 0.52%
2	90 ± 0.55%
3	81 ± 0.62 %

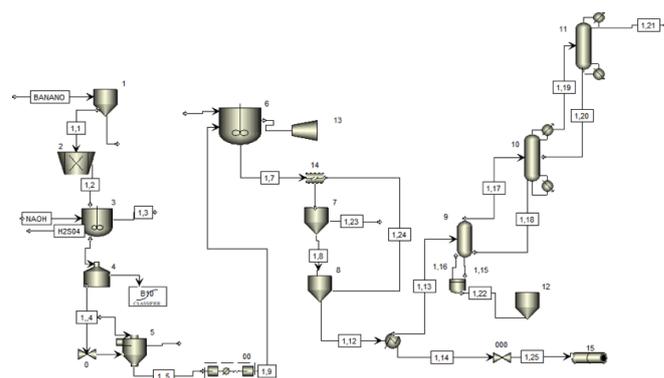
Tabla 2. Rendimiento en la producción de etanol

BALANCE DE MATERIA				
ENTRADAS			SALIDAS	
Plátano	Biomasa	45g	Bio-Etanol	11.25g
	Humedad	365.55g	Subproductos	
Insumos	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98%	45 ml	Residuos Biomasa	36.4g
	NaOH conc.	75ml	Hidrólisis	3.4892g
	Agua destilada	50ml	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	11.37g
	Medio	55ml	Remanente liq.	33.5842ml
	Levadura	1200 ml	CO <sub>2</sub> (fermentación)	10.76g

Tabla 3. Balance de materia del proceso

El proceso descrito se realizó en microescala con fin de evaluar su eficacia en la producción de etanol. Por lo que, en base a los resultados obtenidos, se escala la propuesta de implementación de una planta piloto que llevara a cabo este proceso de producción, se describen los procesos y operaciones unitarias a emplea proponiendo una producción anual estimada.

En la Figura 3 se interpreta, en base al diagrama de proceso, los componentes y etapas en la propuesta de producción de etanol en planta piloto. El diagrama fue realizado con el software especializado en simulación de procesos.



Aspen Plus® versión V8.6:

DESCRIPCIÓN	
Líneas de proceso	Equipos
1 Alimentación del banano	1 Pretratamiento físico
1.4 Nutrientes (medio)	2 Molienda y secado
1.9 Preinóculo	3 Reactor de hidrólisis ácida
1.23 Liberación de CO <sub>2</sub>	4 Equipo de centrifugación
1.24 Recirculación de la levadura	B10 Separación de residuos
1.22 Recirculación de agua de calentamiento entre y	5 Preparación del líquido glucosado
1.16	
1.18 Recirculación del material tratado en las columnas de fraccionamiento para alcanzar mayor pureza	6 Equipo de preinoculación
1.20	
1.14 Remanentes líquidos	7 Fermentador
	8 Decantador
	9 Torre despojadora
	10 Columna destilación
	11 Columna recuperación de alcoholes
	12 Planta de tratamiento de agua
	13 Compresor
	14 Equpo ajustador de pH
	15 Tratamiento de biomasa residual

## Discusión

En el estudio de afectación del sitio muestreado (tiradero municipal) se observó que existen altas concentraciones de ciertos agentes nocivos para el medio biótico y abiótico ya que las concentraciones de estos exceden hasta en un 85% a las permitidas por legislación (LMP), apegándose a las normatividades mexicanas específicas para cada agente químico caracterizado. El análisis nos lleva a corroborar que el sitio de disposiciones finales presenta altos niveles de contaminación (en base a la cuantificación de DQO) por distintos agentes, lo que repercute en una huella ecológica significativa para el entorno [5] que va desde la pérdida de biodiversidad, contaminación de suelos y cuerpos de agua, etc., además de un latente foco de

riesgos para los asentamientos locales próximos al lugar y en específico para las personas que ejercen labores de disposición, manejo y peña en este sitio.

El anterior estudio conlleva la búsqueda de alternativas para el manejo y reutilización de los RSU en una propuesta de tecnología verde que permita reducir en cierta medida el significativo daño al sitio por una inadecuada disposición de éstos [6]. La implementación del proceso nos permitió obtener etanol a partir del tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos; comprobamos que siguiendo el esquema metodológico propuesto se logró reutilizar la fracción orgánica seleccionada para la producción de etanol susceptible a ser utilizado como biocombustible, por lo que el proceso resultó ser efectivo como propuesta alternativa tanto al uso de biocombustibles como a la reutilización de materia orgánica que bajo el esquema de gestión actual contribuye en buena medida a la afectación ecológica demostrada en la Etapa I.

En relación con la metodología aplicada, varios trabajos mencionan que, un proceso de esta naturaleza puede ser viable en cuanto a su reproducibilidad en escala laboratorio, planta piloto o escala industrial formal si los rendimientos superan el 80% por lo que nuestras concentraciones obtenidas al finalizar el proceso productivo son aceptables en comparación a las que en otros artículos se presentan [3]. Obtuvimos rangos de obtención de etanol de entre el 80-90% mientras que en la mayoría de las referencias consultadas se obtienen rendimientos de producción que oscilan entre el 75-95% por lo que el proceso propuesto resultó ser efectivo en base a lo consultado [2-4]. En cuanto a la medición de azúcares totales por el método de determinación de %Brix, Los resultados obtenidos están dentro del rango de varios trabajos reportados entre el 2 -25% [2]

Analizando las operaciones realizadas siguiendo el esquema del proceso propuesto es necesario considerar también que en el desarrollo de este hubo varias pérdidas o mermas que por diversos factores no pudieron ser cuantificadas y, por tanto, influyen en el balance de masa y que a su vez pudieran derivar en una mayor producción, sin duda en la operación de una planta piloto estos factores de pérdida deberían ser rigurosamente cuantificados al conocerse todas las semirreacciones o isomerizaciones

involucradas en el proceso, así como los sub-productos derivados de las mismas [3]. Para evitar estas pérdidas, sería muy viable permitir que la hidrólisis se realice por un tiempo mucho más prolongado que 1hr, además que podría resultar útil incrementar la temperatura del medio a más de 50°C, tomando en cuenta el riesgo de que un aumento abrupto afecte la naturaleza de la materia orgánica [1]. Un factor necesario para evaluar la viabilidad de la implementación de la planta piloto es realizar el correspondiente balance de energía, pero como el proceso en esta etapa se centró en el rendimiento en la producción del etanol, no se pudo cuantificar el consumo y demanda de energéticos en los procesos que se realizaron, además que en una planta piloto se involucran más operaciones unitarias que las que empleamos en el laboratorio y, por tanto, la demanda energética aumenta significativamente [5]. Sería necesario que en un futuro se midieran todos estos gastos energéticos que nos confirmen que más allá del rendimiento de la producción, en lo que concierne a la economía y sustentabilidad, es viable echar a andar el proceso en una primera planta piloto teniendo como respaldo el cumplimiento del balance de energía tanto como un análisis más riguroso en lo que respecta al balance de materia.

### **Conclusiones**

Los resultados de la caracterización de los lixiviados logran demostrar la presencia de metales pesados y agentes nocivos en el tiradero de municipal de Guanajuato en cantidades significativas, lo que representa un foco de contaminación del medio biótico y abiótico del lugar. Dicho análisis justifica la búsqueda de alternativas en el manejo y gestión de los RSU de la ciudad, en este caso se propone reducir la contaminación derivada del plátano no consumido y su cáscara a través de la reutilización de éste como materia prima para obtener etanol con aptitud de ser utilizado como combustible de origen vegetal. La utilización de la FORSU resultó una alternativa útil en el manejo sustentable de esta clasificación de residuos de considerable producción en el municipio y abre la posibilidad de utilizar para estos mismos fines otro tipo de residuos vegetales ricos en azúcares susceptibles a fermentación. Basándonos sólo en los rendimientos obtenidos, así como en los balances de materia efectuados podemos

concluir que el proceso es altamente viable de implementar, tomando en cuenta el debido escalamiento del proceso y la posible optimización de alguna de las operaciones efectuadas ya que los resultados marcan que el proceso operado bajo las condiciones mencionadas resultó efectivo en producción obtenida. Por lo que, la implementación de una planta piloto para la obtención de biocombustibles a través de la FORSU constituye un área de oportunidad, más sin embargo es necesario estudiar la demanda de la materia prima, FORSU y consumos energéticos del proceso en la planta propuesta.

## Referencias

- [1] Flores-Gorosquera, E., García-Suárez, F. J., Flores-Huicochea, E., Núñez-Santiago, M. C., González-Soto, R. A., & Bello-Pérez, L. A. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1), 86-90.
- [2] Riaño, A. M. S. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *Revista Tumbaga*, 1(5).
- [3] Velásquez, H. I., Ruiz, A. A., & de Oliveira Junior, S. (2010). Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, (51), 87-96.
- [4] Tejada, L., Tejada, C., Villabona, A., Alvear, M., Castillo, C., Henao, D., ... & Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, 5(10), 120-125.
- [5] Correa, D. F., Beyer, H. L., Fargione, J. E., Hill, J. D., Possingham, H. P., Thomas-Hall, S. R., & Schenk, P. M. (2019). Towards the implementation of sustainable biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 250-263.
- [6] Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., & Zepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.