

Obtención de bioetanol a partir de residuos de fruta obtenidos de sitios urbanos

Ramírez Quirós Yara^{1*}, Ángeles Mondragón Roberto¹, Navarrete López Alejandra Montserrat¹, Salazar Peláez Mónica Liliana¹, Ortiz Romero Vargas María Elba¹, Contreras Larios José Luis²

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias Básicas. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Energía. Av. San Pablo No. 180, Azcapotzalco, Ciudad de México, C.P. 02200. México.

*Autor para correspondencia: yararq@azc.uam.mx

Recibido:

01/marzo/2020

Aceptado:

11/diciembre/2020

Palabras clave:

Bioetanol,
proceso,
obtención

Keywords:

Bioethanol,
process,
obtaining

RESUMEN

El presente proyecto plantea la posibilidad de obtener bioetanol a partir de los residuos orgánicos generados en sitios urbanos, efectuando la fermentación anaeróbica en condiciones normales de presión y temperatura y, evaluando el rendimiento del bioetanol obtenido a partir de los muestreos efectuados para verificar la viabilidad del procedimiento, y en su caso se pueda considerar la aplicación del mismo a nivel industrial generando un valor agregado a los residuos urbanos después de su transformación en biocombustible.

ABSTRACT

The present project raises the possibility of obtaining bioethanol from organic waste generated in urban sites, when making performing anaerobic fermentation under normal pressure and temperature conditions, and evaluating the yield of bioethanol obtained from the samplings carried, out to verify the viability of the procedure, and where appropriate, the application of the same at an industrial level can be considered, generating an added value to urban waste after its transformation into a biofuel.

Introducción

El continuo incremento de las poblaciones de las ciudades inevitablemente genera un incremento en la generación de residuos sólidos, los cuáles en la actualidad no son aprovechados en su mayoría, situación que permite el desarrollo de sistemas o procesos de reciclaje.

Los residuos generados en la Ciudad de México; de acuerdo a datos de la Secretaría del Medio ambiente, en 2013 se estima que aproximadamente ascienden a 12,816 toneladas diarias (Ambiente, 2013), de éstas el 48% son productos del sector doméstico, el 10% corresponde a mercados, el 15% a comercios y el resto corresponde al sector de servicios entre otros.

Gracias al programa de separación que existe en la ciudad, se sabe que el 13.49% de la totalidad de residuos corresponde a materia orgánica; equivalente a 1,729 toneladas diarias (Ambiente, 2013). Si consideramos que el 50% de este valor puede corresponder a residuos con alta concentración de azúcares, es decir residuos de fruta, podríamos buscar el aprovechamiento de aproximadamente 864.5 toneladas diarias de material, con lo cual se esperaría la obtención de por lo menos 4300 litros de alcohol. El rendimiento esperado se contempla a partir de la eficiencia media esperada en la transformación anaeróbica de azúcares a alcohol por medio de levaduras (Asturias, Fajardo, y Roberto, 2006).

Como propuesta para reducir la cantidad de residuos urbanos, en este proyecto se busca obtener bioetanol a partir de los desechos urbanos de fruta, utilizando la levadura comercial, dado su bajo costo y funcionalidad para el proceso. El rendimiento del producto dentro del proceso dependerá únicamente de la concentración de azúcar que pueda ser recuperada de los desechos. Para la sustentabilidad del proceso se recomendará la optimización de los recursos necesarios para la ejecución del mismo y la eficiencia en el desarrollo de cada una de las etapas que se requieren para la conformación del producto final dentro de la planta.

Metodología

Se ensamblaron cuatro reactores homogéneos idénticos, de volumen máximo de tres litros que contaron con un sensor termopar tipo k conectado a un equipo Datalogger U-603 de dos canales, para verificar que el sistema trabaje en condiciones normales de temperatura, y con un escape continuo de gas anclado a una trampa de agua para mantener la presión constante dentro del reactor y evitar el ingreso de agentes contaminantes al sistema, se verificaron que las condiciones de presión y temperatura del reactor se encuentren dentro de condiciones normales (P y T constantes) durante el proceso.

Se colocó a cada reactor una adaptación para la toma de muestras para emplearlas en la lectura de concentración mediante una cánula de cierre hermético normalmente usada para venoclisis, de tal manera que no fuera necesario abrir el reactor para poder extraer las muestras y el proceso continuara sin interrupciones ni contaminantes.

Para todos los casos, las lecturas de concentración de azúcares se efectuaron mediante la técnica de medición de concentración en grados Brix haciendo uso del refractómetro.

Una vez que se tuvieron todas las herramientas reunidas y los reactores ensamblados se preparó un reactor patrón con una solución 50% m/m de azúcar estándar/agua para evaluar la velocidad de conversión de azúcar a etanol, al cual se le efectuó una lectura directa para determinar su concentración inicial mediante un refractómetro Bausch y Lomb modelo 33.45.71 y se le añadieron 19.9998 gramos de levadura comercial, posteriormente se efectuaron las subsecuentes lecturas de concentración para verificar el consumo de azúcares de acuerdo al proceso establecido en el proyecto.

Durante el experimento se observó que la concentración de azúcar estándar empleado en el reactor patrón 1, pese a que obtuvo una reducción en la concentración, ésta fue mínima lo que representa que el medio de reacción al encontrarse saturado, no proporcionó un medio adecuado para la propagación de la levadura por lo que se procedió a ejecutar un segundo reactor patrón empleando 1 kg de azúcar comercial aforado a 2.5 litros con agua y empleándose 50 gramos de levadura comercial; este segundo reactor mostró un mejor desempeño por lo cual los reactores de las muestras fueron tratados con la misma cantidad de 50 gramos de levadura para continuar con el proceso.

La recolección de los residuos orgánicos para la elaboración del proyecto se realizó en las instalaciones del mercado Martínez de la Torre, en la colonia Guerrero Ciudad de México, y se contó con el apoyo de los locales 269, 304, 305, 306 que proporcionaron la materia prima fundamental para el proyecto.

El primer muestreo se constituyó de limón, mango, sandía y manzana con un peso total de 8.384 kilogramos de los cuales 2.35 kilogramos corresponden a hueso de mango el cual no fue procesado debido a sus características; mientras que el segundo muestreo se componía principalmente de sandía, piña y plátano con un peso total de 11 kg previo al tratamiento.

Una vez recolectadas y pesadas las muestras, se separan los residuos no deseables o no procesables (restos de huesos, restos de plástico, etc.) debido a que dentro del

trabajo se busca contar con las condiciones más afines a un procesamiento industrial estándar.

Procesamiento de materia prima

Los residuos fueron procesados mediante un lavado en caliente a una temperatura de 97°C. Al mismo tiempo se generó la trituration de las muestras para que posteriormente la biomasa resultante pueda ser filtrada, de esta manera se obtuvo el fluido principal que contiene los azúcares de trabajo.

La filtración de la biomasa se realizó mediante presión y extrusión de tal manera que la mayor cantidad de líquido sea extraída y separada de los residuos sólidos y una vez separados fue posible cuantificar el peso del material seco y libre de agua, de esta manera se planteó determinar sus posibles usos alternativos.

El líquido resultante se mantuvo en ebullición con la finalidad de reducir su volumen y aumentar la concentración de azúcares presentes en la mezcla de tal manera que se redujo a un volumen de 2.5 litros; posteriormente a la reducción del volumen de líquido, se generaron las lecturas respectivas de concentración de azúcares iniciales en la mezcla mediante lectura directa, empleando un refractómetro calibrado cuyos valores se expresan en grados Brix.

Evaluación del efluente sólido

El material sólido obtenido al término de la extracción fue pesado y valorado, en el caso de la muestra uno representaba un 30.65% del peso total original, mientras que en el caso de la muestra dos el material representó un 3.43%. En ambos casos el material obtenido funge perfectamente con material de compostaje, combustible para horno pirolítico o en su defecto sustrato para recuperación de suelos ya que no presenta azúcares importantes u otros derivados que pudiesen generar metano u otros subproductos como lixiviados, ya que en su proceso de descomposición presentó una mayor velocidad de asimilación en el sustrato.

Obtención de bioetanol

Una vez que la solución quedó reducida a un volumen de 2.5 litros, se trasladó el líquido resultante al reactor correspondiente tomando la lectura inicial de concentración de azúcares y posteriormente se le agregaron 50 gramos de levadura comercial que corresponde a la cepa *Saccharomyces cerevisiae* a cada reactor, se verificó que las condiciones de operación se mantuvieran en estándar normal, es decir presión ambiente y temperatura ambiente, mediante el uso de termopares tipo k, y los datos del monitoreo de la presión atmosférica se obtuvieron por medio del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México

promovido por la Secretaria de Medio Ambiente de la Ciudad de México, quien pone a disposición de los usuarios las bases de datos públicas para controles estadísticos.

Para mantener la presión en condiciones normales, en cada uno de los reactores, se conectó cada uno de ellos a una trampa de agua que permitió la liberación de los gases generados (CO₂) durante el proceso de fermentación de tal manera que la presión interior del reactor y la presión exterior se mantuvieran en un equilibrio y evitando el ingreso de cualquier agente contaminante al interior de cada reactor.

Una vez concluido el proceso de fermentación de cada uno de los reactores, se transfirió el contenido a un matraz esférico de 2 litros para la etapa de destilación. Para este paso se realizó la destilación simple empleando un baño maría con aceite mineral para alcanzar la temperatura de 96 °C. El destilado, que contenía agua por formar un azeótropo, fue transferido a la etapa de análisis y cuantificación para determinar el rendimiento real del etanol obtenido. El remanente de los reactores, que todavía contiene azúcares, podría ser sujeto a un reprocesamiento para de esta manera generar mayor cantidad de etanol.

Para la identificación y caracterización de los productos obtenidos se emplearon las técnicas de espectroscopia infrarroja en un equipo Bruker Alpha FT-IR y de resonancia magnética nuclear protónica, en un equipo Bruker Avance III HD de 400 MHz.

Resultados y discusión

Las características de las muestras empleadas durante el proceso son presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos de los muestreos realizados en campo.

	Muestra 1	Muestra 2
Composición de residuos	Limón, Mango, Sandía, Manzana.	Sandía, Piña, Plátano
Peso del material húmedo (Kg)	8.38373	10.78
Peso seco (Kg)	2.57	0.37
% de humedad	69.3453868	96.567718
% residuo sólido	30.6546132	3.432282

En la Tabla 2 se presentan las lecturas de concentración de azúcares durante el proceso de fermentación.

Tabla 2. Lecturas de concentración de azúcares durante el proceso.

Lectura	Tiempo horas transcurridas	Patrón 1 °Brix	Patrón 2 °Brix	Reactor 1 °Brix	Reactor 2 °Brix
0	0	59.8	35.6	18.2	16.6
1	1	59.8	35.6	18.2	16.6
2	12	59.6	35.6	16.4	13.42
3	24	59.2	35.4	14	12.8
4	36	59.1	35.4	13.6	12.6
5	48	58.8	35.2	11.45	12.5
6	50	58.6	35.12	11.2	12.45
7	72	58.4	33.8	10.8	12.4
8	80	58.4	32.3	10.8	11.8
9	82	58.4	31.9	10.6	11.8
10	100	58.4	29.6	10.3	10.9
11	120	58.4	28.8	10	10.8
12	142	58.4	28.5	9.5	10.6
13	160	58.4	27.3	8.8	10
14	182	58.4	25.5	8.8	10
15	202	58.4	25.5	8.8	10
16	224	58.4	25.5	8.8	10

Debido al comportamiento respecto a la desaparición de azúcares dentro del reactor patrón 1, se decidió descartarlo para el resto de los análisis ya que en las condiciones en que se trabajó dicho reactor el medio no fue lo suficientemente propicio para el desarrollo de las levaduras por la sobresaturación de azúcares, mientras que el comportamiento del reactor patrón 2 fue óptimo para los análisis y para emplearlo como referencia, por lo que en los siguientes resultados sólo figura el reactor patrón 2 y los reactores 1 y 2 con las muestras de campo obtenidas.

Finalmente, después del proceso de destilación para obtener el etanol, se realizaron los análisis correspondientes para la identificación y caracterización de los productos mediante las técnicas de espectroscopia infrarroja y de resonancia magnética nuclear protónica, con la finalidad de demostrar la presencia de etanol como resultado del proceso de fermentación.

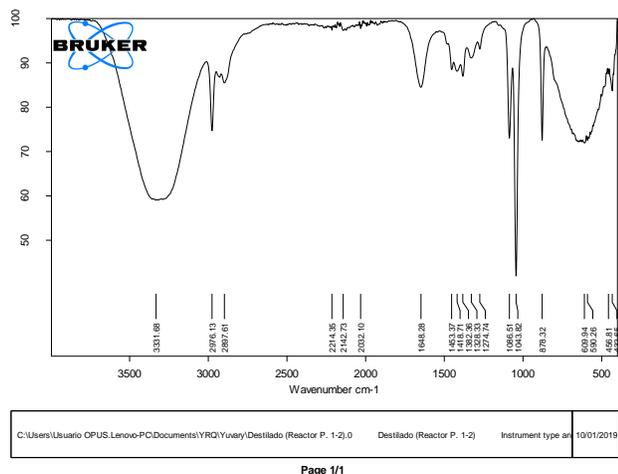


Figura 1 Espectro infrarrojo. Se muestran las bandas correspondientes al análisis de infrarrojo del reactor patrón 2.

En los espectros de infrarrojo de las Figuras 1 y 2, los valores más relevantes se encuentran en la banda de 3331.68 cm^{-1} que corresponde a la presencia de grupo O-H y la banda ubicada en 1043.82 cm^{-1} correspondiente a la unión C-O, ambas representativas de los alcoholes; también se presentan algunas otras señales correspondientes a posibles subproductos residuales que fueron arrastrados durante la destilación simple. Se realizó una corrida adicional retirando el ruido del agua excedente para poder visualizar de mejor manera las bandas representativas de los alcoholes.

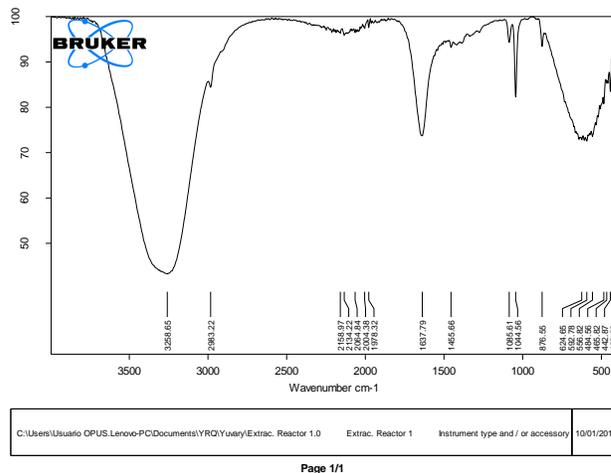


Figura 2. Espectro infrarrojo. Se muestran las bandas correspondientes al análisis de infrarrojo del reactor 1.

El espectro de resonancia magnética nuclear protónica, obtenido mediante un experimento de supresión de agua, mostró en 3.50 ppm un cuarteto que integró para 2 protones correspondiente al grupo metileno (CH_2) del etanol y en 1.03 ppm una señal tripe que integró para 3 protones correspondiente al metilo (CH_3).

Etanol obtenido:

- Reactor patrón 1: N/A
- Reactor patrón 2: 123.75 ml
- Reactor 1: 112.75 ml
- Reactor 2: 69.25 ml

En el caso del reactor patrón 2 sólo reaccionaron 208.5 gramos de los 1000 gramos disponibles de azúcar estándar, lo que indica un rendimiento del 20.85% de conversión en las condiciones de trabajo efectuadas.

Para el reactor 1 los gramos de azúcar disuelta que reaccionaron fueron 190.16 gramos de los 428.75 gramos extraídos, que corresponden al 44.35% de conversión.

Finalmente, para el reactor 2 reaccionaron 116.6 gramos de los 384.5 gramos disponibles lo que representa un 30.32% de conversión.

Es decir, que para la muestra 1, cuyo peso fue de 8.38 Kg, la cantidad de azúcar extraída corresponde al 22.69% del peso original mientras que para la muestra 2, que poseía un peso original de 11 Kg, los azúcares extraídos corresponden a un 34.95%.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos a lo largo del presente proyecto, podemos asumir la viabilidad para la obtención de bioetanol a partir de los residuos orgánicos de sitios urbanos, debido a que al efectuar esta recuperación en materiales ricos en azúcares, nos permite obtener un producto de utilidad para la población, a su vez, se observa que una vez procesados los desechos, el volumen de los residuos es reducido considerablemente por lo que se demuestra un impacto favorable para el medio ambiente.

A su vez, el material sólido remanente presenta una diversidad de posibles usos ya que puede ser empleado en recuperación de suelos contaminados o en su defecto como material de compostaje, otra opción que se observa en el material sólido es que puede ser empleado como combustible dentro de hornos pirolíticos para su uso en calderas.

Evaluando los resultados obtenidos los rendimientos obtenidos, y debido a que estos son superiores al 20% de conversión nos permite considerar el proceso como aceptable a causa de las condiciones de operación, a su vez los remanentes de las soluciones aún poseen altas concentraciones de azúcares disueltos lo que permite recircularlos para reprocesarlos e incrementar el porcentaje de conversión.

Basados en los datos analizados se puede decir que realizando una extracción eficiente de los azúcares de los residuos orgánicos se podría reducir de un 20% a un 30% el tonelaje de residuos orgánicos, y los azúcares extraídos pueden ser empleados para la obtención de biocombustibles. Por otro lado, el remanente sólido oscilaría entre un 3% a un 30% del peso original, y puede ser empleado para procesos de recuperación de suelos o composteo, claro que esto dependerá de las características de los residuos colectados y procesados debido a que pueden variar de acuerdo a la temporada.

Se puede ejecutar sin mayor complejidad un proceso industrial siguiendo los pasos propuestos en el presente trabajo, y para que dicho proceso sea más eficiente es recomendable colocar recirculaciones en las etapas de evaporación y destilación, para aprovechar tanto los

fluidos obtenidos como los intercambios de calor que se emplean en las distintas etapas.

Referencias

Aguilar G.U. (2011). Aislamiento y Selección de Levaduras para la Producción de Etanol durante la Fermentación Espontánea de Jugo de Sorgo Dulce. México: Unidad de investigación y desarrollo de alimentos, SAGARPA.

Ambiente S., d. (2013). Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2013. México: Papel Procedente de Fuentes Responsables FSC.

Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VI Legislatura. (22 de abril de 2003). Recuperado el 15 de octubre de 2015, de http://www.metro.df.gob.mx/transparencia/imagenes/fr1/normaplicable/2014/4/lrsdf_151_02014.pdf

Asturias R., Fajardo C. E., Roberto L. (2006). Producción de etanol directamente de caña de azúcar en diferente estado de desarrollo. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala* (17), 56-59.

David L. Nelson M.M. (2009). *Lehninger Principios de Bioquímica Quinta Edición*. España: Ediciones Omega.

Departamento de Química; Facultad de Ingeniería; Universidad del Valle. (10 de 2013). Academia. Recuperado el 13 de octubre de 2015, de https://www.academia.edu/6922745/Caracterizaci%C3%B3n_de_alcoholes_analizando_su_comportamiento_qu%C3%ADmico

EL INFORMADOR. (19 de 03 de 2010). Convirtiendo la basura en etanol. Obtenido de Informador.mx: <https://www.informador.mx/Tecnologia/Convirtiendo-la-basura-en-etanol-20100319-0045.html>

Gobierno de la Ciudad de México. (22 de 12 de 2018). Sistema de Monitoreo Atmosférico de la CDMX., de <http://www.aire.df.gob.mx/default.php?opc=aKBhnmM=>

González A.O. (2014). Producción de etanol a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Guarnizo, A.F., P., M.N. (2000). *Experimentos de química orgánica, con enfoque en ciencias de la vida*. Colombia: Elizcom.

Romanelli D.M. (2017). Universidad Nacional de la Plata. Obtenido de Química de la biomasa y los biocombustibles: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/59392/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

Levenspiel O. (1986). Ingeniería de las Reacciones Químicas. Barcelona: Reverté.

McMurry J. (2004). Química Orgánica Sexta edición. México: Thomson.

Moreno S., Ximena D. (2005). Guía para la elaboración de néctares, mermeladas, uvas pasas y vinos. Bogotá: CAB, Ciencia y Tecnología.

Paez V.E. (2010). Bebidas fermentadas. Cali-Colombia: Universidad del Valle.

PCE Ibérica S.L. (2017). <https://www.pce-iberica.es/>. Obtenido de Manual de instrucciones PCE-Oe: <https://www.pceinstruments.com/french/slot/4/download/92648/manual-pce-oe.pdf>

Ramírez N. G., F., P. F. (2001). Desarrollo de una fermentación alcohólica a pH regulado y temperatura de 25°C en el biorreactor BIOFLO 3000 M1227 y estudio inicial de fermentaciones en sistema continuo. Bogotá: Universidad de la Sabana.

Secretaría del Medio Ambiente. (2013). Temas Ambientales. (Gobierno del Distrito Federal) Recuperado el 19 de octubre de 2015, de <http://www.sedema.df.gob.mx/sedema/index.php/temas-ambientales/programas-generales/residuos-solidos>

Tejada L.P., Villabona A., Alvear M.R., Castillo R.C., Henao D.L., Marimón W., Tarón A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Educación para Ingeniería*, 10, 120-125.

Velásquez Arredondo H.I. (28 de 02 de 2010). Sistema Nacional de Bibliotecas SINAB. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/12040/1/70876905.2010.pdf>

Vioque J., Clemente A., Bautista J., Millán F. (2000). Jornada internacional sobre proteínas alimentarias. España: Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones.

Wade L.G. (2004). Química Orgánica, 5ta ed. Madrid: Pearson.