

Reporte Técnico

Caso de estudio Bioetanol

Karla Celis , Alma Serafin

El bioetanol es un tipo de alcohol inflamable que se obtiene a partir de la fermentación de ciertos tipos de material orgánico, principalmente la materia vegetal con alto contenido en celulosa. Además, puede utilizarse como combustible directamente, mezclado con la gasolina en diversas proporciones o tras su conversión en etil terbutil éter (ETBE), y es el biocarburante con mayor capacidad de producción a nivel mundial.

Dentro de los lineamientos por los que se establecen las especificaciones de calidad y características para etanol anhidro (bioetanol), biodiésel y bioturbosina puros contenidos en el Diario Oficial de la Federación se define al bioetanol como un biocombustible del tipo Etanol Anhidro, producido a partir de la fermentación de carbohidratos presentes en labiomasas procedente de cultivos con alto contenido de azúcares o almidones, y a partir de materiales lignocelulósicos para ser usado en motores de combustión interna y que cumple con ciertas especificaciones.

(DOF, Octubre 2018)

Principales materias primas

El bioetanol se puede obtener mediante la fermentación de plantas como caña de azúcar, maíz, trigo, sorgo, yuca, remolacha y algunos otros materiales celulósicos que se encuentran presentes en frutas y vegetales como cáscara de plátano, naranja, entre otros.

En un estudio realizado por Marcos Ortíz se indica que el 40% del etanol producido en el mundo se obtiene a partir de cereales, las nuevas plantas construidas en los últimos 5 años utilizan sólo esta materia prima con unos índices de conversión elevados, del orden, respectivamente, del 96% y del 90%. (Marcos Ortiz, 2013).

Además en un reciente estudio publicado por la SEMARNAT se habla de la importancia del aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, debido a que al descomponerse en rellenos sanitarios, la materia orgánica genera gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono (CO₂) y metano, emisiones que contribuyen al cambio climático mundial. Además, estas emisiones también afectan la calidad del aire y están asociadas con problemas de salud pública, como el asma. El hecho de desviar del flujo de desechos sólidos la parte correspondiente a residuos orgánicos para su manejo en procesos de compostaje y digestión anaeróbica (DA) incluida la codigestión no sólo contribuye a conservar el valioso y cada vez más reducido espacio destinado a los rellenos sanitarios, sino que también aporta

beneficios económicos y ambientales, entre los que figuran la generación de energía renovable, la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, y mejores condiciones de los recursos hídricos y el suelo. (CCA, 2017)

En la siguiente gráfica se muestra la tasa de aprovechamiento estimada para residuos orgánicos en América del Norte, identificando que México es el país que menos residuos aprovecha

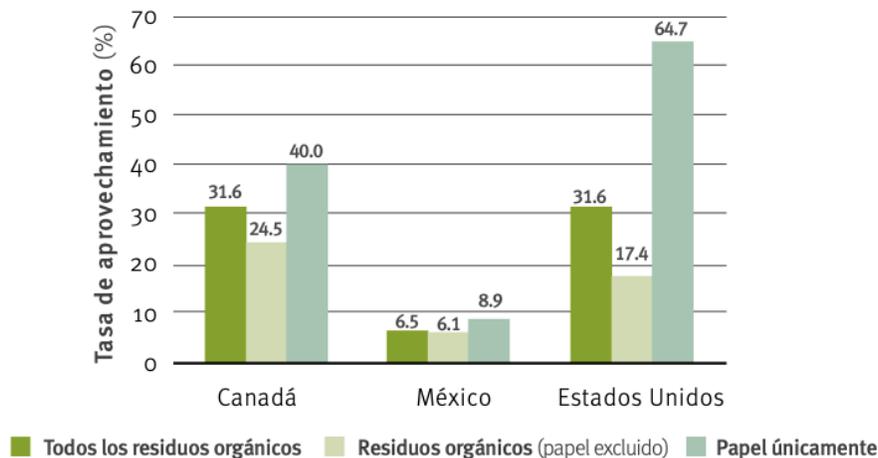


Ilustración 1 Aprovechamiento de residuos en América del Norte Fuente: CCA (2017)

Actualmente surgió una nueva producción de bioetanol con nuevas materias primas, principalmente el polipropileno, esto se dio a consecuencia de la pandemia de COVID-19, la cual propició la generación de una cantidad muy grande de residuos sólidos, que tenían una mala disposición, puesto que muchos que eran utilizados por personal médico como los trajes EPI, los cuales terminaban en tiraderos de basura y lo cual representó un foco de infección muy grande, es por ello que se pensó en la opción de producir bioetanol a partir de estos trajes compuestos principalmente por polipropileno mediante la pirólisis, obteniendo eficiencia de producción del 88%.

Obtención del bioetanol

Actualmente, el proceso de fermentación es el más utilizado para obtener bioetanol, para este procedimiento, generalmente se lleva a cabo en dos fases, la primera que corresponde al crecimiento de la biomasa y para ello se hace uso de un prefermentador con un tamaño del 80% al 90% menor que el fermentador en el cual es necesario añadir como sustrato una concentración de 100 g/L de azúcares. Ya para la segunda fase, cuando la levadura se encuentra en la fase exponencial se inocula en el fermentador donde se llevará a cabo la fermentación alcohólica en ausencia de oxígeno con una concentración de azúcares alrededor de 155 g/L, alcanzando la velocidad máxima al cabo de 15 horas, transcurrido este tiempo irá

disminuyendo la producción de etanol durante las siguientes 30 horas obteniendo al finalizar una concentración de aproximadamente 7% de volumen de etanol. (García et al., 2000).

En el estudio realizado por (Fajardo, 2014) con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de etanol específicamente con melaza de caña y con el fin de aprovechar este residuo generado durante la elaboración de azúcar de caña se recurrió al uso de un biorreactor con un volumen de 1.5 L, se tomó el 10 % del inóculo conservando los mismos parámetros y únicamente añadiendo 8 horas más a las ya establecidas por lo que el proceso tuvo una duración de 20 horas a 1vvm. Además, se realizaron muestreos cada hora para analizar la cantidad de biomasa producida y se determinaron los azúcares reductores a través de dos métodos, el primero fue la hidrólisis de la sacarosa y la técnica DNS. Al biorreactor se le añadieron 0.75 L de medio a las mismas condiciones mencionadas anteriormente.

Estas condiciones son ideales para que exista una adecuada transferencia de los parámetros esenciales para el crecimiento de las levaduras como lo son el suministro de oxígeno y el sustrato que en este caso es la melaza que es rica en azúcares y permiten el crecimiento óptimo de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* durante la fase I (fase exponencial) porque a pesar de que el proceso de fermentación es anaeróbico y lo que se quiere producir es el bioetanol es necesario el suministro de oxígeno para lograr una producción inicial de biomasa de aproximadamente 30 g/L durante la fermentación en un periodo de tiempo de 30 horas y a partir de ello proceder a la fase II, en la cual se cierra el suministro de oxígeno para que así se lleve a cabo la fermentación anaeróbica (Fajardo, 2014)

En el caso de la pirólisis, el proceso consiste en tratar el PP a alta temperatura (573-773 K, (300 °C a 500 °C)) en ausencia de oxígeno para facilitar el agrietamiento térmico de las macromoléculas en forma de líquido, carbón y gas.

En un estudio realizado por (Jain, 2020) se diseñó y utilizó un reactor de pirólisis de 125 dm³ para la pirólisis de 1 kg de polipropileno a una temperatura de 523 K, 573 K, 623 K, 673 K (250 °C, 300 °C, 350 °C y 400 °C respectivamente), durante 30 y 60 minutos. Los resultados mostraron que a una temperatura de 673 K (400 °C), durante 60 min, es favorable para producir 88,86% p/p de combustible líquido.

El bioetanol en ciudades sustentables

Las ciudades sustentables tienen como objetivo reducir impactos ambientales, tener seguridad y brindar a los residentes condiciones dignas para vivir en aspectos económicos, sociales y ambientales, es por ello que van de la mano con los objetivos del desarrollo sustentable, los cuales constituyen un llamado universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda

2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años.

Entre los objetivos que se mencionan anteriormente, el bioetanol está relacionado con el número 7 que habla sobre energía asequible y no contaminante, y a la vez con el número 13 que se refiere a la acción por el clima, puesto que el bioetanol permite que las refinerías cumplan con las especificaciones más estrictas para el azufre, aromáticos, y RVP, todos los cuales han demostrado mejorar significativamente la calidad del aire, puesto que mantiene bajas las emisiones de evaporación, reduce el monóxido de carbono en vehículos antiguos, mejora la eficiencia de los combustibles, reduce las emisiones de PM10 y ozono y reduce la contaminación global.

En este sentido y como parte del compromiso asumido ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), Canadá, Estados Unidos y México han generado estimaciones relativas a las emisiones de GEI provenientes de rellenos sanitarios en sus respectivos territorios, mediante el uso de metodologías aprobadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Con base en documentos nacionales presentados ante la CMNUCC, en la figura que se muestra a continuación se resumen las estimaciones de emisiones de GEI derivadas de los residuos orgánicos en cada uno de los tres países de América del Norte.

Canadá	Estados Unidos	México*
26 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^a (0.73 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)	148 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^b (0.46 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)	18-25 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^c (0.15 a 0.21 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)

*Ilustración 2 Emisiones estimadas de GEI procedentes de la disposición final de residuos orgánicos en América del Norte.
Fuente: CCA (2017)*

Gran parte de las emisiones estimadas que se muestran en la figura anterior podrían eliminarse si el total de residuos orgánicos se desviara y se evitara su depósito en rellenos sanitarios para, en cambio, someterse a DA o compostaje; sin embargo, este escenario dista actualmente de ser real para cualquiera de los tres países de América del Norte. Como se muestra en la ilustración 3 la presente investigación llegó a la conclusión de que el desvío y aprovechamiento mediante producción de energía limpia por procesos como fermentación, digestión anaerobia y compostaje de una mayor cantidad de residuos orgánicos podría traducirse en una reducción de 3 millones de toneladas en emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO₂) en Canadá, 60 millones de toneladas de CO₂ en Estados Unidos, y entre 2 y 38 millones de toneladas de CO₂ en México.

Canadá	Estados Unidos	México
3.4 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^a (0.09 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)	60 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^b (0.19 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)	2-38 millones de toneladas de CO ₂ -eq ^c (0.02 a 0.32 toneladas de CO ₂ -eq per cápita)

Ilustración 3 Reducción anual estimada de GEI. Fuente: CCA(2017)

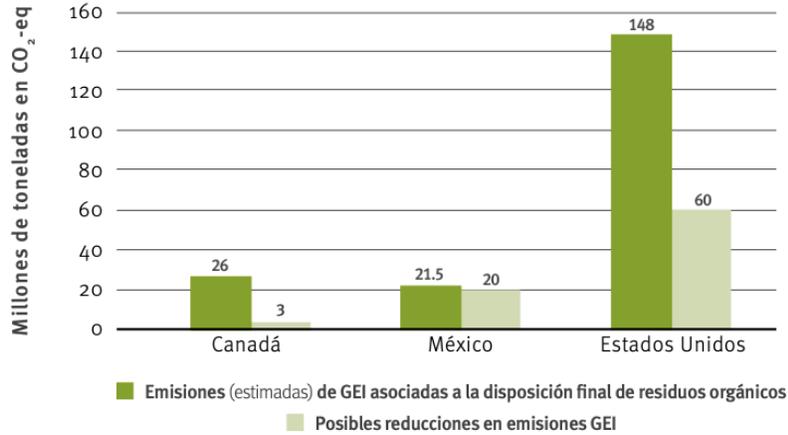


Ilustración 4 Beneficios del aprovechamiento de residuos orgánicos en materia de reducción de GEI.

En un estudio la ONU reveló en el año de 1992 que la ciudad de México era la más contaminada del mundo y en el año de 1993 México optó por aplicar bioetanol a sus combustibles formando un compuesto llamado MTBE el cual mejora la eficiencia de combustibles y reduce las emisiones de escape, y 20 años después los factores de calidad del aire han ido reduciendo con la aplicación de este compuesto (Lyondellbasedd., 2015). En la siguiente gráfica se muestra la reducción que ha tenido el CO, ozono y las PM10 en la Ciudad de México.

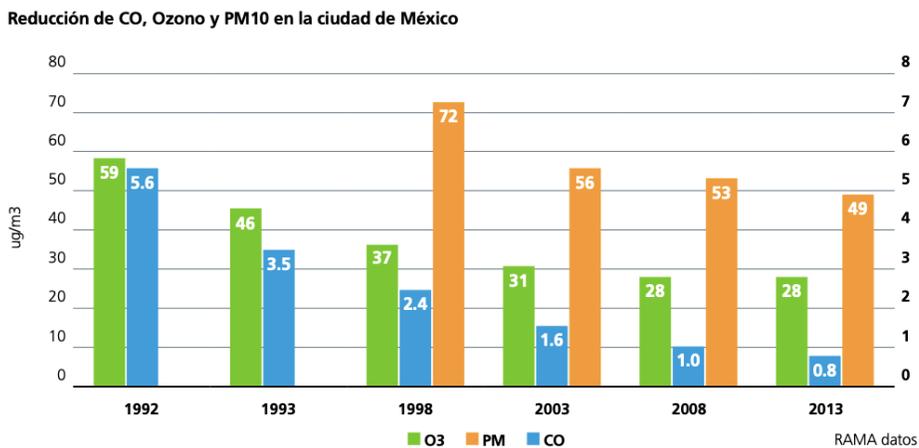


Ilustración 5 Reducción de Emisiones en CDMX. Fuente: Lyondellbasedd. (2015).

Además de mitigar las emisiones de contaminantes de corta vida que contribuyen al cambio climático, la producción de bioetanol a partir de residuos tanto orgánicos como inorgánicos existe la ventaja de el aprovechamiento de residuos orgánicos evitando con ello su depósito en rellenos sanitarios y a la vez se evita la contaminación de aguas subterráneas y de agua potable evitando efectos negativos en la salud humana, con ello se contribuye indirectamente a dos objetivos más que es el número 3 referente a la salud y bienestar y el número 6 que habla sobre agua limpia y saneamiento.

Por otro lado la producción de bioetanol está relacionado con el objetivo número 8 que hace referencia al trabajo decente y crecimiento económico puesto que la producción de esta fuente de energía genera empleos y mayor seguridad energética, así como un desarrollo de infraestructura mayor.

Hablando específicamente de México, el sector energético tiene un papel decisivo, ya que en él se sustenta en gran medida su desarrollo económico y social, y abarca desde la generación de electricidad e hidrocarburos como insumos para la economía y la prestación de servicios públicos, dando empleo a más de 300,000 trabajadores. Anteriormente la comercialización de hidrocarburos en el plano internacional es un factor determinante para la generación de divisas y de importantes contribuciones fiscales para el gobierno federal, sin embargo al saber que ya se están agotando los hidrocarburos, se piensa en que México tiene la posibilidad de generar biocombustibles por las producciones que tiene de materia orgánica. (SENER, 2006)

El bioetanol desde un enfoque de economía circular

El parlamento Europeo define a la economía circular como un modelo de producción y consumo que implica compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido. De esta forma, el ciclo de vida de los productos se extiende.(Europeo, 2017)

En la práctica, implica reducir los residuos al mínimo. Cuando un producto llega al final de su vida, sus materiales se mantienen dentro de la economía siempre que sea posible. Estos pueden ser productivamente utilizados una y otra vez, creando así un valor adicional. En este sentido podemos ver al bioetanol como un producto proveniente de la economía circular, puesto que para su producción se utilizan principalmente residuos orgánicos como residuos de caña de azúcar, maíz, cereales variados, algunas frutas o vegetales, además como se mencionó anteriormente, en pleno 2020 surgió una nueva materia prima para la producción de este biocombustible y se trata de un residuo inorgánico.

Desde esta perspectiva se aprecia que actualmente, el mundo está pasando por una situación muy crítica puesto a que debido a la sobrepoblación y el consumo y producción irresponsable se ha generado una cantidad de residuos sólidos muy

grande, aunado a ello la mala disposición final que se les da a estos genera problemas de generación de emisiones de GEI que contribuyen a la contaminación del aire, además los lixiviados que se filtran a los mantos de la tierra provocan contaminación de suelo y contaminación de agua subterránea y superficial, dañando a flora y fauna y a la vez a la salud humana, es por ello que se ha pensado en la recuperación de productos como se muestra en la figura que a continuación se expone, en donde se sugiere como primer medida reducción de la producción y posterior a ello algunos procesos que contribuyen a la economía circular, para al final tener como última opción la disposición final de los residuos.



Ilustración 6 Proceso deseado para aprovechamiento de residuos orgánicos. Fuente CCA(2017)

Si el bioetanol se produce en su totalidad a partir de residuos orgánicos como bagazo de caña de azúcar o de cereales como maíz, sorgo, trigo, yuca, residuos de frutas y verduras se puede tener un proceso económicamente viable puesto que se invierte poco o prácticamente nada en materia prima, y solo se requeriría inversión en los procesos de producción que relativamente resultan accesibles pues son procesos naturales ayudados por levaduras que son las encargadas de fermentar el producto, en el estudio realizado por (Valdés et al., 2015) utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de bioetanol, llevado a cabo en un reactor con funciones tanto de gas-lift como de columna de burbuja y un volumen total de 3 L y un volumen de trabajo de 2 L, en el cual se registró el consumo de sustrato alrededor de las 24 horas obteniendo así una concentración final de 51 g/L de etanol a partir de 100 g/L con un rendimiento del 97.2 %.

Por otro lado, si el bioetanol se produce también mediante materiales compuestos por polipropileno habrá mayores reducciones de residuos sólidos y por ende menos contaminación, además el combustible líquido de pirólisis obtenido es comparable con las normas comerciales de combustible establecidas. Ahmad y otros (2014) realizaron la pirólisis de polipropileno en un rango de temperatura de 523 K-673K (250-400 °C). El producto, compuesto por 98,7% en líquido; 69,8% en gas; 28,8% en residuo; 1,34% en agua, se obtuvo a 673 K (400 °C). (Jain, 2020)

Es por esto que la obtención de bioetanol resulta un proceso viable y amigable con el ambiente puesto que reduce los residuos sólidos y su eficiencia como combustible es alta, además resulta más barato que el precio de los combustibles actuales, además las emisiones que genera este biocombustible son menores reduciendo de esta forma la contaminación del aire.

A continuación se presenta una imagen de autoría propia en la que se representa como a partir de los residuos tanto orgánicos como plásticos se realiza un proceso para la obtención de bioetanol, el cual es utilizado como biocombustible por medios de transporte y con ello se ayuda a la reducción de emisiones del GEI, además la utilización de los residuos ayuda a la reducción de residuos sólidos lo que a la vez contribuye a tener un agua limpia, preservar la biodiversidad de especies y tener una salud humana digna, además se contribuye a la creación de empleos y con todo esto a las ciudades sustentables.

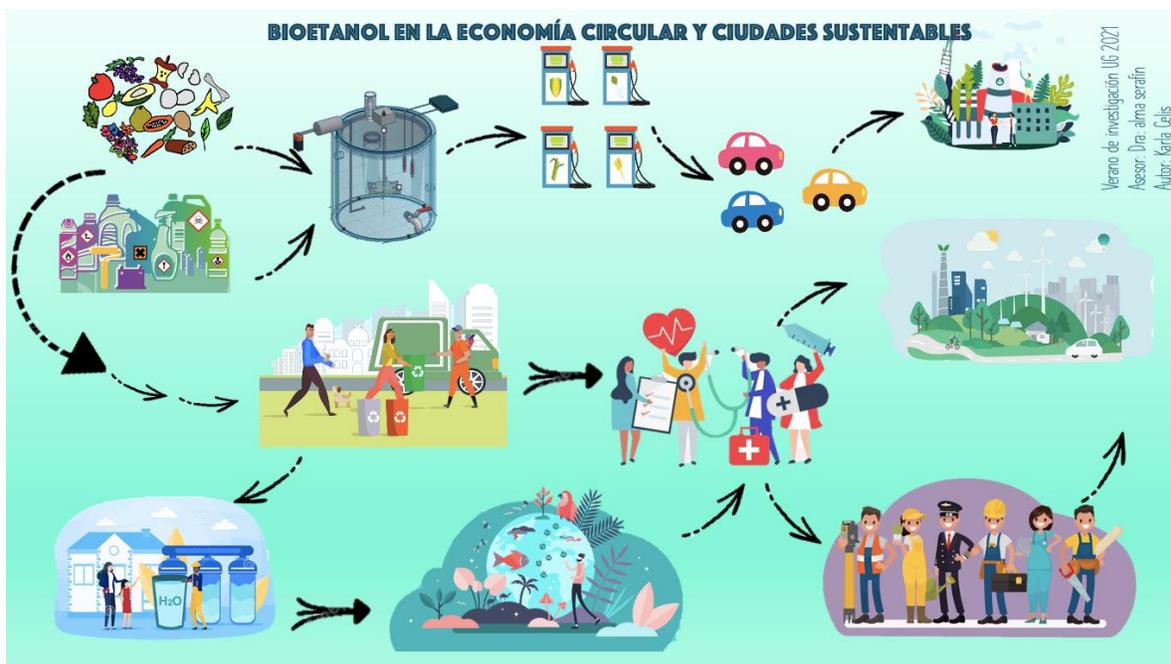


Ilustración 7E1 bioetanol en la economía circular y las ciudades sustentables. Autoría propia

- CCA. (2017). Residuos orgánicos de América del Norte. In.
- DOF. (Octubre 2018). LINEAMIENTOS por los que se establecen las especificaciones de calidad y características para etanol anhidro (bioetanol), biodiésel y bioturbosina puros. In.
- Europeo, P. (2017). Economía Circular- Definición. In (pp. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO20105603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>).
- Fajardo, E. (2014). Evaluación de Melaza de Caña Como Sustrato Para La Producción de *Saccharomyces Cerevisiae*. In S. Sarmiento (Ed.): Universidad Pontificia Javeriana.
- García, J., Suarez, M. A., Domenech, F. L., Blanco, G. C., & Santiesteban. (2000). Manual de los Derivados de la Caña de Azúcar.. In (Vol. Tercera Edición, pp. pág.197 -201.).
- Jain, S. (2020). *Strategy for repurposing of disposed PPE kits by production of biofuel : Pressing priority amidst COVID-19 pandemic* Strategy for repurposing of disposed PPE kits by production of biofuel : Pressing priority amidst COVID-19 pandemic. *Biofuels*, . In B. Y. Lamba (Ed.), (pp. <https://doi.org/10.1080/17597269.17592020.11797350>).
- Lyondellbasedd. (2015). *MTBE y ETBE en Combustibles Avanzados Gasolina Más Limpia para América Latina* . In.
- Marcos Ortiz, S. (2013). Buscando combustibles alternativos : el bioetanol. *Mecánica Y Electricidad*. In.
- SENER, S. D. E. (2006). Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México.” In *Mexico’s energy picture with regard to bioethanol and biodiesel*. In (pp. <https://doi.org/10.13140/13142.13141.13755.18568>).
- Valdés, A., Bruno, D., Mota, A. M., Cristóbal, N., Aguilar, C. N., Iliana, A., . . . H.A. (2015). Cinética para la producción de bioetanol usando la levadura *Saccharomyces cerevisiae* pe-2 para su escalamiento en reactores en Columna y gas-lift. In. XVI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Guadalajara. México.