

Producción de Etanol Anhidro a partir de residuos agrícolas y comerciales de Mango (*Mangifera Indica L.*) de la variedad Manila

CRUZ, Alvaro†, GUILLERMO, Fanny, SUAREZ, Arturo, GONZALEZ, Edith

Recibido 11 de Enero, 2016; Aceptado 24 de Marzo, 2016

Resumen

En la actualidad el uso de las energías fósiles se ha vuelto indispensable, ya que estas son las que mayormente se utilizan o por lo menos las que son comúnmente más utilizadas, pero estas energías no son renovables, siendo actualmente las alternativas la producción de bioenergía a partir de desechos agrícolas. En este documento se presenta el resultado de la determinación de las condiciones idóneas para la producción de etanol a partir de los desechos orgánicos del mango (*Mangifera indica L.*). Haciendo énfasis en el aprovechamiento de los residuos de la producción agrícola debido a que las técnicas actuales de producción de etanol a partir de cosechas destinadas al consumo humano presentan la problemática de la seguridad alimentaria. Para la generación del bioetanol se procedió a elaborar un conjunto de muestras con la materia prima antes indicada y posteriormente sometidas a la prueba de Fehling para la determinación de la aptitud del contenido de azúcares necesarios para la producción de etanol. Se presentan los resultados obtenidos a partir de la experimentación con un conjunto de muestras seleccionadas bajo condiciones controladas y basados en los resultados obtenidos se procede a concluir con las condiciones adecuadas para la producción de etanol basado en los desechos orgánicos del mango (*Mangifera indica L.*).

Mango, Etanol, Desechos, Orgánicos, Agricultura.

Abstract

At the present moment, the use of fossil fuels has become essential as these are used more frequently, but these aren't renewables energies, currently a bioenergy production from agricultural waste are becoming the alternatives to the energy's production. In this document we show the results of the determination of the best conditions for ethanol's production from organic wastes of the mango (*Mangifera indica L.*). Making an emphasis on the use of waste from agricultural production due the current used techniques production of ethanol from crops intended for human consumption present the problem of safety food. For the generation of bioethanol we proceeded to develop a set of samples with the raw material above-indicated. These samples were put through Fehling test for determining fitness of the sugar content required for the production of ethanol. We presents the results obtained from the samples under experimentation, and based on the obtained results we proceed to conclude with the remark of the optimal conditions for the ethanol's production based on the organic waste of the mango (*Mangifera indica L.*).

Mango, Ethanol, Organic, Waste, Agricultural.

Citación: CRUZ, Alvaro, GUILLERMO, Fanny, SUAREZ, Arturo, GONZALEZ, Edith. Producción de Etanol Anhidro a partir de residuos agrícolas y comerciales de Mango (*Mangifera Indica L.*) de la variedad Manila. Revista de Simulación y Laboratorio 2016, 3-6: 1-8

† Investigador contribuyendo como primer autor

Introducción

Los biocombustibles como es el caso del biogás y el bioetanol, que son extraídos de la biomasa; producto de los desechos orgánicos, así como el uso de elementos químicos como el hidrógeno, resultan ser idóneas para la sustitución de los combustibles tradicionales (no renovables) y de esta forma ayudar a mejorar la calidad del medio ambiente y al mismo tiempo impulsar la economía gracias al valor agregado a estos desechos. La agricultura puede ser un medio de obtención de recursos orgánicos, pues durante las cosechas o las temporadas frutales se generan desechos que pueden ser aprovechados a nivel energético.

Partiendo de este panorama general nace la idea del estudio de los medios idóneos a escala laboratorio con ambientes controlados por medios artesanales y sin alteración química para la producción de etanol a partir de residuos agrícolas y comerciales de mango de la variedad manila (*Mangifera indica L.*) y aprovechar los residuos fermentables con el fin de producir insumos de mayor valor agregado.

Una de las mayores problemáticas en la producción del etanol es su producción a partir de cosechas destinadas al consumo humano, tal es el caso de la caña o el maíz, lo cual llegaría a poner en riesgo la seguridad alimentaria. Por otro lado la producción de etanol a partir de estas cosechas no ha alcanzado a llenar las expectativas en la reducción de gases de invernadero, esto al mismo afectando en la tala de grandes extensiones de árboles para alcanzar la demanda del producto. La propuesta sobre la utilización de residuos agrícolas es una propuesta lo bastante importante en el tema de la producción de biocombustibles y con ella reducir la necesidad de emplear especies destinadas al consumo humano y que afectarían a la canasta básica, dando con ello la generación de un valor agregado a los desechos.

Apoyando a la economía de los productores y creando sistemas de producción con un mayor aprovechamiento de materias primas.

Justificación

El mango (*Mangifera indica L.*) es considerado a nivel mundial como uno de los frutos de mayor importancia a nivel comercial. México tiene una superficie plantada de 181,00 has de mango y ocupa el tercer lugar de producción en el mundo con un 6% del total. De esta cantidad, el estado de Campeche aporta el 2% de la producción con 33,258 toneladas en una superficie de 2,868 has las cuales 1834 son cosechadas bajo condiciones de riego y 661 son de temporal con humedad residual de las riberas de los ríos en el sur del estado. Las plantaciones están ubicadas a lo largo del estado, generando una derrama económica de más de 23 millones de pesos entre cultivos de riego y de temporal. (Reyes Montero, 2014).

De esta producción, al finalizar la temporada, puede observarse que la comercialización del producto depende del tiempo de vida que pueda ofrecerse al consumidor final, se observa, sobre todo en los mercados, que cierto porcentaje del producto es desechado debido a su maduración excesiva siendo no apto para el consumo humano después de cierto tiempo. Esto indica que existe cierta producción que finalmente se desecha debido a que no se logra comercializar en tiempo para su consumo y que por tanto, representa una pérdida económica en todo el proceso productivo ya que se invirtió tiempo, dinero y esfuerzo para él mismo, cuyo destino final no fue su comercialización.

Por tanto en este trabajo se busca proporcionar un valor agregado al producto con la finalidad de aprovechar los residuos agrícolas y proveer de alternativas de desarrollo basadas en la sustentabilidad para las comunidades rurales donde se encuentre la producción del mango.

Marco teórico

Como se mostrará a continuación en la descripción de la metodología a emplear, el principal proceso a utilizar es el uso de procesos de fermentación, mediante los cuales es posible la producción de compuestos de valor agregado. Básicamente con este proceso se busca la descomposición de los azúcares presentes en el producto por medio de lo cual se obtengan los productos de valor agregado, en este caso, el bioetanol. La celulosa y la hemicelulosa son los principales polisacáridos de la pared celular de las plantas, y pueden ser fácilmente degradados a azúcares fermentables por enzimas secretadas por hongos filamentosos. Por otra parte, las enzimas celulolíticas son un sistema complejo de enzimas compuesto de exo- β -1, 4-glucanasas, endo- β -1, 4-glucanasas y β -glucosidasas, que actúan sinérgicamente para degradar el sustrato de celulosa y otros oligosacáridos a glucosa. De esta forma se obtienen azúcares que pueden ser utilizados para la producción de etanol. (Figuroa, Toledo, Junquera, & Aguilar, 2010).

La fermentación es un proceso que realizan muchos microorganismos, efectuando reacciones sobre algunos compuestos orgánicos y liberando energía. Hay muchos tipos diferentes de fermentación, pero en condiciones fermentativas solamente se efectúa una oxidación parcial de los átomos de carbono del compuesto orgánico y, por consiguiente, sólo una pequeña cantidad de la energía potencial disponible se libera.

Por otra parte, se utiliza una disolución descubierta por el químico alemán Hermann von Fehling y que se utiliza como reactivo para la determinación de azúcares reductores conocido como el reactivo de Fehling. Sirve para demostrar la presencia de glucosa o sacarosa. Consiste en dos soluciones acuosas:

- Sulfato de cobre cristalizado, 35 g y agua destilada hasta 1.000 mL.
- Sal de Seignette o Tartrato mixto de potasio y sodio 150 g, solución de hidróxido de sodio al 40%, 3 g y agua hasta 1.000 mL.

Ambas se guardan separadas hasta el momento de su uso, para evitar la precipitación del hidróxido de cobre. El ensayo con el licor de Fehling se fundamenta en el poder reductor del grupo carbonilo de los aldehídos, éste se oxida a ácido y reduce la sal de cobre en medio alcalino a óxido de cobre, formando un precipitado de color rojo. (de Jaime Lorén, 2010)

Metodología

Selección de Materia Prima: La materia prima para la elaboración de este estudio fue el mango (*Mangifera indica L.*) debido a la gran cantidad de desechos que se tienen cada temporada. Por otra parte, y de acuerdo con (Canseco-Pérez, Couder-García, Pérez-Luna, Álvarez-Gutiérrez, & Saldaña-Trinidad), se observó que la materia prima con mayor rendimiento en producción de bioetanol es el mango (*Mangifera indica L.*) en comparación con otras materias primas utilizadas por los autores. Los residuos de mango se obtuvieron de la especie común proveniente de puestos ubicados en el mercado de la ciudad de Escárcega, Campeche, así como de hogares particulares donde el fruto yace regado en el suelo y ya no es óptimo para su consumo.

La metodología para la transformación de la materia prima se basó en el trabajo realizado en (Aurora & Barrera, 2015), consistente en los pasos siguientes:

1. *Extracción*.- se retiran la cáscara y semilla del fruto.
2. *Licuada*.- se homogeneizan las partículas usando un proceso de licuado.
3. *Separación de la fibra*.- homogeneizar la pasta separando las fibras.
4. *Pasteurizado*.- proceso de pasteurización para eliminación de agentes biológicos.
5. *Enfriamiento y almacenamiento*.- preparación y almacenamiento de las muestras.

Para la evaluación de la fermentación se realizó una relación de 35:65 (0.5) en la relación agua:mosto con 0.1% y 0.2% de levadura. De acuerdo a los resultados presentados en (Aurora & Barrera, 2015) la concentración de levadura de 0.2% con una relación de 0.5% en la relación agua:mosto produce la mayor concentración de etanol producido con un 5.35% por lo que se tomó dicha concentración como base para los resultados presentados en este trabajo.

Sitio de trabajo de laboratorio: El trabajo de laboratorio relacionado a la pruebas experimentales para la obtención de etanol a partir de Mango Común (*Mangifera indica L.*) se realizó en el laboratorio de Industrias Alimentarias del Instituto Tecnológico Superior de Escárcega.

1.- Determinación de azúcares presentes en el Mango Común (*Mangifera indica L.*) por reactivos de Fehling.

La presente prueba se realizó para determinar el tipo de Azúcar presente en el Mango Común con el fin de identificar si su azúcar es idónea para la producción de alcohol.

La prueba de Fehling es un método de determinación de azúcares presentes por coloración en la que los reactivos de Fehling A y B que reaccionan con dichas azúcares y se tornan de un color rojo fuerte si es Sacarosa o un Anaranjado tenue si es Glucosa.

Preparación de la solución de mango: Esta solución fue preparada con un contenido de 5 ml de jugo de mango puro y 45 ml de agua purificada. Esto para diluir los azúcares totales del jugo de mango y los reactivos de Fehling A y B puedan reaccionar.

Preparación de las muestras: Se realizaron 3 muestras en tubos de ensayo las cuáles se etiquetaron como M1, M2 y M3.

Las muestras M1 y M2 contuvieron 1 ml de solución de mango, 1 ml de reactivo de Fehling A y 1 ml de reactivo de Fehling B.

La muestra M3 tuvo un control de agua usada para la dilución de mango, esto para determinar si en el agua existía o no algún azúcar disuelto que pueda ser reflejado en la reacción.

Calentamiento de las muestras: Las tres muestras fueron calentadas a 80°C durante 30 minutos para que por acción de hidrólisis se desprendan las cadenas de azúcares y los reactivos puedan reaccionar con ellas.

2.- Evaluación de las partes fermentables del fruto.

Este procedimiento es realizado con el propósito de identificar las partes de la materia prima más susceptibles para la fermentación por acción enzimática de forma natural y analizar si es posible el uso integral del mango.

Preparación de las Muestras:

El mango fue lavado con alto detalle antes de realizar las muestras para tratar de eliminar bacterias que pudieran afectar procesos futuros.

Para las muestras 1 y 2 (M1 y M2) 400 ml de las mezclas obtenidas fueron vertidas en contenedores plásticos separados y se le adicionaron 100 ml de agua a cada una. Estos contenedores cumplían con la función de ser una especie de fermentador natural sin la adición de agentes biológicos o químicos.

Muestra 1 (M1):

Para esta muestra se retiró la cascara y la semilla, dejando de esta manera solo la pulpa. La pulpa fue licuada hasta quedar completamente molida y de esta forma si existen enzimas naturales en el mango se les facilite más la degradación de las cadenas de glucosa.

Muestra 2 (M2):

En esta muestra se licuaron los mangos con todo y cascara, solo se dejó de un lado la semilla. Esta muestra fue con el fin de observar si era posible el uso integral del mango con casi el 90% de su masa.

Proceso de fermentación anaerobia:

Tal como se describió en la preparación de las muestras, cada una fue vertida y almacenada en contenedores de plástico que funcionaron como fermentadores naturales.

Las muestras fueron almacenadas sin presencia de oxígeno, esto para evitar que se desarrollaran microorganismos que pudieran alterar el proceso de fermentación y formar compuestos como ácido acético principal componente del vinagre, fueron almacenadas a temperatura ambiente (entre los 30 y 35 °C) en un lapso de 3 semanas (21 días).

3.- Estudio del rendimiento de etanol por ambientes controlados de fermentación y por adición de enzimas fermentativas (*Saccharomyces cerevisiae*).

El estudio del rendimiento en la producción de etanol al controlar los ambientes de fermentación surgió de la idea de poner a prueba en que medio se puede desarrollar mejor la degradación por acción enzimática y obtener mayores grados de alcohol.

Preparación de las Muestras

Los frutos pasaron a un proceso de eliminación de bacterias y hongos para prevenir contaminantes en el proceso de fermentación. Los mangos fueron pelados, despulpados manualmente la pulpa del mango se utiliza para elaborar las muestras. La pulpa del mango pasa a ser licuada dejando aparte solo 400 ml sin licuar.

Se mide los grados Brix con un refractómetro digital para alimentación Hi 96801 - % Brix que contiene la pulpa del mango dando como resultado un porcentaje de 13.3 %Brix así como el pH que fue medido con un medidor de pH digital -HI221- Hanna Instruments teniendo un pH de 3.81 llevándolo a una condición optima de pH de 4.5 con la adición de 100 ml de agua por cada muestra.

Antes del envasado se añaden a tres muestras (M1, M3 Y M4) levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) ya es la especie de levaduras utilizada por sus altos rendimientos para la obtención de etanol a nivel industrial, puesto que es un microorganismo de fácil manipulación.

Se controlan 3 muestras (M1, M2 Y M3) con una temperatura a 3°C y 2 muestras (M4Y M5) a una temperatura ambiente. Las muestras se almacenaron en botellas con un globo de diferente color cada una para identificarlas. Se llevaron a cabo 5 muestras cada una con diferente elaboración.

Muestra 1 (M1): Fue añadido al envase 400 ml de pulpa de mango licuada, 100 ml de agua y 3 grs de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y se deja fermentar a una temperatura de 3°C

Muestra 2 (M2): Fue añadido al envase 400 ml de pulpa de mango licuada, 100 ml de agua y se deja fermentar a una temperatura de 3°C

Muestra 3 (M3): Fue añadido al envase 400 ml de pulpa de mango licuada, 100 ml de agua se somete al pasteurizar a una temperatura de 65°C y enfriada por choque térmico a 5°C. Seguidamente fu añadido 3 grs de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) dejándolo fermentar a una temperatura de 3°C. En esta muestra se decidió pasteurizar para eliminar bacterias que pudieran afectar al proceso de fermentación a pesar de que se llevó a un proceso de eliminación de bacterias.

Muestra 4 (M4): Fue añadido al envase 400 ml de pulpa de mango licuada, 100 ml de agua y 3 grs de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) dejándolo fermentar a una temperatura ambiente entre 28° C y 35° C

Muestra 5 (M5): Fue añadido al envase 400 ml de pulpa de mango sin licuar, 100 ml de agua dejándolo fermentar a una temperatura ambiente entre 28° C y 35° C

Proceso de fermentación

Teniendo las muestras preparadas controlando las muestras (M1, M2 Y M3) a una temperatura de 3°C con un % brix de 13.3, un Ph de 4.5 se deja fermentar por 3 semanas de la misma manera se deja fermentar a temperatura ambiente las muestras (M4 Y M5) en estas muestras los envases se han envuelto con bolsas negras para evitar el contacto con la luz.

Resultados

Los resultados que se observaron fueron la degradación del %Brix de las muestras por acción de las enzimas, en especial de la *Saccharomyces cerevisiae*. Estos resultados pueden observarse en la Tabla 1. Como puede verse, el porcentaje Brix disminuye después de la fermentación para cada muestra realizada, sin embargo, no se pudo determinar una correlación exacta con algún factor causante de esto.

Muestras	% Brix inicial	% Brix después de la fermentación
M1	13.3%	4.9%
M2	13.3%	12.9%
M3	13.3%	5.9%
M4	13.3%	4.9%
M5	13.3%	5.4%

Tabla 1 Degradación de la glucosa durante el proceso de fermentación.

La destilación fue realizada a 80°C debido a que esta es la temperatura a la que se evapora el alcohol y de esta forma intentar obtener un producto más puro.

Los porcentajes de alcohol en cada medición fueron obtenidas mediante el uso de un refractómetro de alcohol ATC de 0-80 Vol.% (RHW-80 ATC). Podemos observar en la Tabla 2 los resultados del % de alcohol que variaron respecto al tiempo de destilación al que fue sometida cada muestra. Es interesante observar que el porcentaje de alcohol obtenido varió de manera considerable al respecto de las muestras empleadas para la producción del etanol.

Muestras	% de alcohol diluido	% de alcohol a los 15 minutos	% de alcohol a los 30 minutos
M1	10%	54%	34%
M2	33%	7%	3%
M3	11%	43%	37%
M4	13%	61%	33%
M5	13%	40%	33%

Tabla 2 Resultados de % de alcohol en la vinaza y obtenido por tiempos de destilación

Al finalizar con pruebas en las que no se le agrego ningún tipo de agente biológico presentaba resultados de fermentación muy similares a los enriquecidos con enzimas especializadas como es el caso de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) con esto surge el campo de estudio relacionado a la identificación de las enzimas fermentativas presentes en el mango puesto de la misma manera presentan la particularidad que a bajas temperaturas el índice de degradación de la glucosa es bajo pero con un grado alcohólico considerable de 33% en la vinaza obtenida al finalizar el proceso de fermentación.

Agradecimiento

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Escárcega por permitir realizar nuestras pruebas en su laboratorio de Industrias Alimentarias.

Conclusiones

Desde el inicio de este trabajo de investigación la meta fue probar el rendimiento del mango como materia prima para la producción de etanol, esto con el fin de abrir campos de investigación en el aprovechamiento integral de los residuos orgánicos agrícolas y comerciales, al mismo tiempo para brindar una opción que ayuda a amenorar la dependencia de cultivos destinados a la alimentación.

Basados en los resultados obtenidos el mango resulta ser un fruto idóneo para la producción de alcohol sin la necesidad de ser sometido a procesos químicos que pudiesen considerarse como costosos.

El fruto llega a ser el punto de partida de varias investigaciones pues como manifiestan (Figuroa, Toledo, Junquera, & Aguilar, 2010) con la cascara del mango es posible producir un complejo enzimático celulolítico a partir del hongo *Trichoderma II* por SSF con alta actividad endoglucanasa y poligalacturonasa y en (Tapia Santos, Pérez Armendáris, Cavazos Arroyo, & Mayett Moreno, 2013) se analiza el uso de la semilla de mango para la extracción de aceite.

Trabajo a Futuro

Enmarcado dentro del mismo proyecto de investigación se pretende la identificación de las variedades de mango que sean más susceptibles a la acción enzimática y la determinación en cada una de ellas de la presencia en forma natural de enzimas que lo ayuden en este proceso.

Referencias

- Almeida, C., & Esteves, B. (2006). Nouveaux Défis pour les Biocarburants Bresiliens. *Biofutur*, 32-36.
- Aurora, E., & Barrera, E. (2015). Obtención de bioetanol a partir de los residuo fermentables de mango y determinación de los parámetros óptimos de destilación. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 2(2), 31-40.

Canseco-Pérez, M., Couder-García, B., Pérez-Luna, Y., Álvarez-Gutiérrez, P., & Saldaña-Trinidad, S. (s.f.). Producción de Bioetanol a partir de desechos agroindustriales. *Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*.

de Jaime Lorén, J. M. (Julio de 2010). *Epónimos Científicos*. Recuperado el 2 de Septiembre de 2016, de Reactivo de Fehling: <https://blog.uchceu.es/eponimos-cientificos/reactivo-de-fehling/>

Figuroa, J. J., Toledo, h. d., Junquera, V. I., & Aguilar, c. n. (2010). Aprovechamiento de las cáscaras de mango como soporte para la producción de polisacáridas. *Acta Química Mexicana, II(3)*, 1-5.

Mejía Giraldo, Martínez Correa, Betancour Gutierrez, & Castrillón Castaño. (2007). Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango comun (*Mangifera Indica L*) en la obtención de azúcares fermentables. *Ingeniería y Ciencia, III(6)*, 41-62.

Otero, A, M., Estevéz, R., Gustavo, S., Martinez, J. A., Garcia, R., y otros. (Enero-Abril de 2010). los Derivados de la Caña de Azúcar. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba, XLIII(1)*, 29-34.

Quintero, V. C., Giraldo, G., Lucas, J. A., & Vasco, J. (Enero-Junio de 2013). Caracterización fisicoquímica del mango común (*Mangifera indica L.*) durante su proceso de maduración. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, XI(1)*, 10-18.

Reyes Montero, J. A. (2014). *Tecnología para la Producción de Mango en Alta Densidad de Plantación*. Campeche: Colegio de Postgraduados, Campus Campeche.

Tapia Santos, M., Pérez Armendáris, B., Cavazos Arroyo, J., & Mayett Moreno, Y. (2013). Obtención de aceite de semilla de mango manila (*Mangifera indica L.*) como una alternativa para aprovechar subproductos agroindustriales en regiones tropicales. *Revista Mexicana de Agronegocios, XXXII*, 257-266.

Tejeda, L., Quintana, J., Pérez, J., & Harold, Y. (2010). Obtención de etanol a partir de residuos de poda, mediante hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 1-6.

Vazquez , H., & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *INGENIERIA Investigacion y Tecnologia, VIII(4)*, 249-259.