

# SÍNTESIS DE NANOCATALIZADORES PARA LA OBTENCIÓN DE H<sub>2</sub> A PARTIR DEL BIOETANOL PRODUCIDO DE LA FERMENTACIÓN DEL MANGO(MANGÍFERA)

Carlos Montalvo Romero  
Claudia A. Aguilar Ucán  
Rosa M. Cerón Bretón\*



## Resumen

El presente trabajo forma parte de una línea de investigación sobre la obtención de hidrógeno (H<sub>2</sub>) a partir del bioetanol producto de la fermentación alcohólica del mango (mangífera). En la caracterización realizada al jugo de mango se evaluó: el pH utilizando un pH-metro; grados Brix y alcohol a 20° C mediante el uso

de un densímetro Anton Paar. La fermentación fue realizada inoculando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, El bioetanol pasó posteriormente a ser destilado por medio de una torre de destilación y el destilado, luego, se concentró en un rota-vapor Buchi obteniéndose diferentes concentraciones (% v/v de alcohol).

Los resultados indican que mediante la fermentación alcohólica del mango se obtiene etanol en el periodo de una semana, partiendo de la materia prima caracterizada.

En la síntesis del catalizador se utilizó 0.5 gr de TiO<sub>2</sub>, 0.03 gr de

\* Profesores Investigadores de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma del Carmen.

Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, los cuales reaccionaron en un fotorreactor por un tiempo de 5 horas, luego fue filtrado y el sólido calcinado por 2 horas a 550° C.

En la obtención del hidrogeno se procedió a utilizar el fotorreactor para llevar a cabo una reacción heterogénea con el catalizador TiO<sub>2</sub>/Ag junto con el bioetanol obtenido de la fermentación alcohólica del mango, cuantificándose su volumen en una probeta de 25 ml. Los resultados muestran que la pureza de alcohol es un punto importante en la cantidad de hidrógeno producido, la pureza del alcohol que dio mejor resultados fue la de 77% v/v.

Palabras claves: Bioetanol, fermentación alcohólica, °Brix, mango, nanocatalizadores, hidrógeno, fotorreactor.

## Introducción

Aunque el uso de combustibles fósiles está cambiando hacia el gas natural desde 1990, el petróleo sigue siendo la fuente predominante, con una demanda del 37% de la demanda mundial [1]. Su consumo ha aumentado un 20% desde 1994 y se proyecta que la demanda de petróleo se incrementará en un 1.6% anual [1]. No obstante, el consumo energético mundial se caracteriza por una gran dispersión. En 2004 y en línea con el crecimiento económico, la demanda creció sólo ligeramente en Europa (1.3%) y Japón (1.9%), mientras que en las economías emergentes la demanda creció el 5% en Centro-Sur de América y en Asia-Pacífico aumentó un 8.9% [1]. La reducción mundial de los problemas derivados del uso de combustibles fósiles requiere un gran desarrollo tecnológico de alternativas y reestructuración de los sistemas de energía [2].

El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza, sino for-

mando parte de compuestos como los hidrocarburos y el agua. Por tanto, el hidrógeno puede ser producido a partir de una de estas materias primas mediante aporte de energía. Posteriormente, durante su consumo para producir energía se libera en forma de agua, sin producir ninguna otra emisión. De este modo, no puede ser destruido, al contrario que los hidrocarburos, y simplemente cambia de estado [3].

Entre las propiedades que hacen del hidrógeno un candidato ideal para resolver el problema de la energía del futuro, se pueden destacar las siguientes [4]: Se puede obtener a partir de multitud de fuentes, renovables y no renovables. El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, no tóxico y el más ligero de todos los compuestos. El producto de la utilización del hidrógeno como fuente de energía es agua, por lo que no existen emisiones de sustancias contaminantes. Ello es de especial importancia en el transporte. A diferencia de la energía eléctrica, el hidrógeno se puede acumular y almacenar en grandes cantidades. Además, se puede transportar largas distancias en fase gas o líquida y, en caso de fuga, se disipa rápidamente en la atmósfera, sin ser tóxico.

Estas ventajas hacen al hidrógeno atractivo, además de convertirlo en el combustible del futuro, ya que representa una clara oportunidad de proteger el medio ambiente y proporcionar una fuente de energía enormemente versátil, pues al contrario que los combustibles fósiles [3,5]. El hidrogeno se puede sintetizar a partir de la oxidación de diferentes compuestos orgánicos, entre ellos el etanol. En diversas regiones del país se producen diferentes cantidades de etanol. Puede biotenaol puede producirse por diferentes procesos y materias primas. Actualmente son muchos productos naturales de los cuales se obtiene etanol, pero principalmente de la caña de azúcar. Campeche posee diferentes productos que pueden ser utilizados como materia prima para producir el bioetanol y, a partir de ello, poder producir el hidrógeno. Uno de esos productos es el mango, fruta que abunda en gran parte de Ciudad del Carmen y se desecha en grandes proporciones por no tener las características comerciales adecuadas.

El mango crece principalmente en las regiones tropicales. La temperatura óptima de su crecimiento ronda entre los 24° C y los 28° C, en suelos franco arenoso y franco arcilloso cuyo pH se encuentre entre 5 y 8. Se cosecha en los meses de noviembre a febrero. Es una planta sumamente noble: no requiere de riego, ni es propensa a los incendios debido a que durante la época de sequía, se halla en período de máximo crecimiento de biomasa y de mayor actividad de la fotosíntesis por la menor nubosidad. Los frutos del mango constituyen un valioso suplemento dietético, pues es muy rico en vitaminas A y C, minerales, fibras y antioxidantes, siendo bajo en calorías, grasas y sodio. La parte comestible del fruto corresponde entre el 60 y el 75%. La piel del mango no es comestible; cuando está verde puede resultar tóxica, ya que contiene un látex el cual puede resultar irritante y causar ampollas en la piel. Su valor calórico es de 62-64 calorías/100g de pulpa. [2]. Cuando se habla de fermentación, se refiere al proceso metabólico energético que comprende la descomposición de moléculas, tales como carbohidratos, de manera anaerobia. El proceso de fermentación es producido por acción de las enzimas, las cuales producen cambios químicos en las sustancias orgánicas. [5]

## Metodología

Para la obtención de bioetanol a partir de fermentación de frutas se

toman en cuenta la cantidad de azúcares que pudieran tener. Se tiene en cuenta que el mango es factible de fermentarse, porque tiene un elevado porcentaje de azúcares.

### Equipos

Los equipos utilizados para el proceso de destilación y seguimiento de la fermentación es una columna de destilación de diez platos (PS-DA-005/PE), y un densímetro que mide los grados brix y el porcentaje de etanol en volumen (DMA 4100M), los cuales se muestran a continuación.



Fig. 1. Destilador en columna de platos a pequeña escala. PS-DA-005/PE



Fig. 2. Vista del lado frontal e izquierdo del DMA 4100 M

### Materiales

Para la realización de la fermentación se usaron 1 matraz erlenmeyer de 4000 ml, 1 matraz erlenmeyer de 200 ml, papel filtro, 1 vaso de precipitados de 500 ml, 1 vaso de precipitados de 80 ml, 1 probeta graduada de 2000 ml y viales color ámbar para guardar las muestras.

### Reactivos y/o materias primas

Se partió de 3 kg de mango de la variedad mangloba en estado óptimo de madurez, el CaO, agua destilada, levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y sacarosa.

### Descripción del proceso

Procedimiento para su fermentación y posteriormente para su destilación. Una vez separadas la pulpa y la semilla se procede a triturar toda la pulpa con un mortero para luego colocarla en un matraz erlenmeyer de 2 litros, en el cual se obtuvieron 2.300 kg de pulpa de mango.

Preparación de la cepa. Para aclimatar las levaduras, en este caso la *Saccharomyces cerevisiae*, se necesitó pesar 10 gr de levaduras en un matraz kitazato de 1 litro, se procedió a la agitación para luego agregar 300 g de pulpa de mango con 500 ml de agua destilada; se le añadió solución de NaOH para adecuar su pH a 6 y por último 10 g iniciales de levadura. Se taparon los orificios del matraz kitazato con algodón y papel aluminio. Las condiciones de operación fueron las siguientes: una temperatura de 33° C, con una agitación de 80 rpm por 24 horas (figura 3).



Figura 3. Producción y aclimatación de la cepa con néctar de mango y proceso de fermentación a un volumen de 4 L.

Una vez logrado un acondicionamiento de la cepa con un pH 5 y temperatura de 33° C, se procedió a utilizar un recipiente de mayor capacidad. Fue uno de 4 L. Primero agregamos 300 g de pulpa y 500 ml de agua destilada con 5 g de levaduras; se le fue acondicionando su pH a 5.5 para estabilizarla antes de agregar 200 ml de cepa ya acondicionada. Esto se hace, porque puede afectar la condición de la cepa madre. Este paso se repitió cada 30 minutos hasta aforar 4 litros (figura 3). La fermentación trabajó bajo las condiciones establecidas inicialmente con la cepa. Tras agregar todo el contenido se obtuvo un pH de 5.5 y temperatura de 34° C. Se procedió dejarlo por 120 horas para luego tomar registro.

Después de haber pasado el tiempo establecido, se registró un pH de 5.1 con temperatura de 35° C, lo cual está en condiciones óptimas de desarrollo y producción.

Se dejó fermentar 120 horas aproximadamente. Al final de ese tiempo, colocamos 4 vasos de precipitados de 500 ml y se filtró el

mosto obtenido para extraer los sólidos del mango. Este procedimiento se repite varias veces hasta quitar el mayor residuo sólido posible.

Ya lista, la muestra filtrada se cuantificó y depositó en un matraz erlenmeyer de 4000 ml. El volumen obtenido fue de 1608 ml teniendo esta cantidad de muestra se destiló en un destilador de platos PS-DA-005/PE. (Fig. 1).

Se encendió el destilador de platos y la muestra se calentó, tomando las temperaturas en tiempos parciales con termómetros. Al llegar a una temperatura de 78° C se obtuvo la primera gota del destilado, finalmente a los 87° C se obtuvo la última gota.

El destilado dio como resultado 500 ml. Se colocó la muestra en un vaso de precipitado de 500 ml y con una jeringa se tomó una muestra de dos ml, se colocó la muestra en el densímetro DMA 4100 M que se muestra en la Fig. 2., para obtener el porcentaje de alcohol en el destilado.

### Síntesis del catalizador dopado para obtención de hidrógeno

Se prepararon dos muestras de catalizador a diferentes condiciones una a 300 ppm y la otra a 100 ppm, para ver su rendimiento de producción dentro del foto reactor.

La muestra de 300 ppm se preparó de la siguiente manera. A un matraz erlenmeyer de 250 ml se le agregaron 0.03gr de  $Ag_2SO_4$  y su aforo se vació a un reactor de vidrio de tipo cilíndrico de 500 ml de capacidad, donde también se agregó una cantidad de 0.5gr de  $TiO_2$ . Se introdujo en un foto reactor durante 5 horas. Después se sacó y se filtró. El sólido se introdujo a la estufa y luego a la mufla a una temperatura de 550° C por dos horas. El resultado fue el nanocatalizador dopado. Este mismo procedimiento se realizó

para la concentración de 100 ppm. En la siguiente figura se muestran las diferencias de composición y de color del catalizador sintetizado (figura 3).



Figura 3. Catalizador de óxido de titanio dopado con diferentes concentraciones de iones plata (TiO<sub>2</sub>/Ag) (a) 100ppm y (b) 300ppm

### Obtención y Cuantificación de H<sub>2</sub>

Para obtener el hidrógeno se ha empleado un fotorreactor que cuenta con 4 lámparas UV de 375 nm cada una en su interior.

Se agregó 25 ml de etanol al 77.7% v/v o en cualquier otra concentración manejada u obtenida y se saturó con O<sub>2</sub>. Luego se añadió 0.125gr de catalizador TiO<sub>2</sub>/Ag de 300 ppm en el reactor con orificio abierto para introducirle una manguera de plástico en el cual pasara el gas, es decir, el hidrógeno hacia una probeta invertida que midió el nivel de hidrogeno obtenido.

### Resultados

Luego de 5 horas se tomó lectura del contenido de azúcar y de alcohol, los cuales fueron 1.5° brix, de alcohol no se registró nada. En lo que respecta al porqué no se detectó alcohol, aun cuando se percibe su olor, se debe a que es un jugo en presencia de agua, es decir, una mezcla donde existe mosto y no permite una lectura adecuada del densímetro. Después de 24 horas los resultados mostraron ya pequeñas concentraciones de alcohol que fueron de 1.4 a 2.0 % v/v.

Durante 5 días se mantuvo la fermentación en condiciones óptimas para la producción de bioetanol, periodo en el cual se registraron los siguientes datos:

Día	pH	Temp. ° C	°Brix
1	5.03	33	1.8
2	5	33	1.5
3	4.95	33	1.7
4	4.9	33	2
5	4.8	33	2.4

Tabla 1. Datos obtenidos del % de azúcares encontrados.



La Tabla 1 nos indica los valores de las temperaturas y el tiempo en el cual se llevó a cabo la obtención del etanol a partir de la uva, de mago durante la destilación en la torre de platos.

Temperatura ( °C)	Tiempo ( min )	Destilado
71	75	“
72	80	“
73	85	“
75	90	“
77	95	“
78	100	Primera gota (p.rocio)
79	105	Destilado
82	110	Destilado
85	115	Destilado
87	120	Última gota
90	125	
TOTAL:		500 mL de alcohol

Tabla 5.1. Datos de la obtención de etanol, a partir de la uva de mar.

La cantidad obtenida de alcohol fue de 500 ml alcanzando un 16% v/v de alcohol. Se procedió a destilar nuevamente la muestra de 500 ml para concentrar más la muestra en un rota-vapor Büchi 205 bajo las siguientes condiciones:

Cantidad (mL)	500
Presión de vacío (mbar)	175
Temperatura (°C)	65
Rotación	150
Tiempo de destilación (min)	240
Cantidad obtenida (ml)	45
% v/v alcohol a 20 °C	77.7

Tabla 2. Condiciones de operación del rotavapor y resultados de la destilación a vacío.

La tabla 2 muestra los resultados después de la segunda destilación con un rotavapor observándose que se obtuvo alcohol de 77.7 % v/v

Para la obtención de hidrógeno se realizaron dos pruebas. Una con el etanol obtenido de la torre de destilación de platos y otra con el alcohol obtenido del rotavapor. (Se muestran resultados en la tabla 3).

Como se mencionó, éste se realizó en un reactor para fotocatalisis, nada más que el hidrógeno es medido mediante una probeta invertida. Los resultados muestran que el alcohol con una mayor pureza es mucho mejor para la obtención de alcohol, es decir, es 44% mejor que si se utilizara alcohol con una concentración más baja.

Parámetros	Etanol 77.7 % v/v	Etanol 16 % v/v
Muestra (ml)	25	25
Tiempo de Inyección de O <sub>2</sub> (min)	5	5

Tabla 3. Resultados de obtención de hidrógeno por medio de fotocatalisis.

Cantidad de Cat. TiO <sub>2</sub> /Ag 300 ppm (gr)	0.125	0.125
Tiempo de reacción (min)	75	95
Cuantificación de H <sub>2</sub> (cm <sup>3</sup> )	68	38

Como resultado se obtuvo mayor cantidad de H<sub>2</sub> con el etanol al 77.7% v/v, además que en mucho menor tiempo (3 horas). Esto se debe a que hay un mayor contenido de agua en la otra muestra, lo cual interfiere, y que las constantes de reacción son muchos menores en la producción de hidrógeno en medio acuoso.

**Conclusión**

- Se obtuvo bioetanol por medio de la fermentación alcohólica del mango, usando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en un periodo de 5 días, alcanzando una concentración de 16% v/v.
- Se corroboró que el mango contiene los carbohidratos, monosacáridos, disacáridos y nutrientes necesarios con la finalidad de crear un ambiente ideal, para que la levadura inicie el proceso fermentativo.
- Utilizando un rotavapor como equipo de separación, se destila etanol de la fermentación del mango, resultando en un rendimiento global de la separación del 77.7%.
- La producción de hidrógeno se puede lograr a partir de un producto renovable como es mango, con el uso de catalizadores adecuados (TiO<sub>2</sub>/Ag) en las condiciones adecuadas, dándole un valor agregado a este producto.



**Referencias**

1. **Taniguchi M.**, Tohma T., Itaya T., Fuji M. (1997). Ethanol production form mixture of glucosa and xylose by co-culture of pichina and a respiratory deficient mutant of *Saccharomyces cerevisiae*
2. **Haryanto, A. S.** Fernando, Murali, N. S. Adhikari. (2005). Current status of hydrogen production techniques by steam reforming of ethanol: A review. *Energy & Fuels* 19, 2098-2106.
3. **Baykara S. Z.** (2005). Hydrogen as fuel: a critical technology? *International Journal of Hydrogen Energy* 30 , 545-553
4. **J.O'M.** (2002). Bockris. The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment. *International Journal of Hydrogen Energy* 27 731-740.
5. **Momirlan, M.** Veziroglu T.N. (2005). The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. *International Journal of Hydrogen Energy* 30 795-802.