



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 20
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

“Producción de hidrógeno, metano y etanol por fermentación bajo el esquema de biorrefinería.”

Autores:



Albo Josué Hernández Rojas.
Edad: 18 años
Domicilio: Rosales #526
Zona Centro,
Cortázar, Guanajuato
E-mail:
central_electrica_60@hotmail.com
Teléfono: Casa (411)155-0945
Celular: 044(411)-112-5003
Grado: 5to Semestre de bachiller



Daniela Zúñiga Gil
Edad: 17 años
Domicilio: Privada Emiliano Zapata #2, Mexicanos,
Municipio de Villagrán,
Guanajuato
E-mail:
danyxz_36@hotmail.com
Teléfono: Casa: (411)164-4018
Celular: 044(411)-101-7387
Grado: 5to Semestre de bachiller



Mahalet Sarai De Araro García
Tolentino
Edad: 17 años
Domicilio: Gutiérrez Nájera #536
Zona Centro,
Cortázar, Guanajuato
E-mail:
Sara_1962_1959@live.com.mx
Teléfono: Casa: (411)155-3732
Grado: 5to Semestre de bachiller

Asesor:

Rosalba Silva Granados
Teléfono: (461)-108-9986
Correo Electrónico:
rosalma4@hotmail.com
Área de Especialidad:
Ing. Bioquímica en
Biotecnología



Científico Calificado:

Miguel Ángel Quintana Aguado
Área de Especialidad:
Bioingeniería en Fermentaciones
Correo Electrónico:
pollo_071758@hotmail.com



“Producción de hidrógeno, metano y etanol por fermentación bajo el esquema de biorrefinería.”

“Production of hydrogen, methane and ethanol by fermentation under the scheme of biorefinery.”

Albo Josué Hernández, Mahaleth Sarai de Araro García, Daniela Zúñiga.

Resumen

El uso indiscriminado de los combustibles fósiles ha traído consigo una serie de problemas a todo el planeta, tales como contaminación, crisis económicas e incluso guerras, ya que son considerados como el motor del mundo actual, pues cerca del 80% de la demanda mundial de energía se cubre a partir de estos. A partir de ello ha surgido un interés creciente en la búsqueda de fuentes alternativas de energía, entre ellas la producción de hidrógeno, metano y etanol usando materias primas no alimenticias, destacándose los rastrojos de cereales. De acuerdo a lo expuesto, se ha planteado como objetivo producir hidrógeno, metano y etanol por fermentación de paja de sorgo bajo el esquema de biorrefinería, para esto se determinaron las mejores condiciones en una hidrólisis ácida con la ayuda de un diseño factorial completo 2^3 , teniendo como finalidad obtener la cantidad necesaria de azúcares reductores, que son destinados a un prototipo capaz de generar dichos biocombustibles. Las mejores productividades de hidrógeno, metano y etanol respectivamente fueron de 2.08 cm³/Ld, 1.39 cm³/Ld y 6.4245 g/Lh., lo que indica que el proceso de biorrefinería es una novedosa alternativa para la producción de energía.

Palabras clave: Hidrógeno, metano, etanol, fermentación, biorrefinería

Abstract

The indiscriminate use of fossil fuels has led to a number of problems around the globe, such as pollution, economic crises and even wars, as they are considered as the engine of the world, because about 80 % of global demand covered power from these. From this has emerged a growing interest in finding alternative sources of energy, including the production of hydrogen, methane and ethanol using non-food raw materials, especially the cereal stubble. According to the above, it has set targets to produce hydrogen, methane and ethanol by fermentation of sorghum straw biorefinery under the scheme for this identified best acid hydrolysis conditions with the help of a full factorial design 2^3 having the purpose to obtain the necessary amount of reducing sugars which are destined

for a prototype capable of generating these biofuels. The best productivities of hydrogen, methane and ethanol respectively were 2.08 cm³/Ld, 1.39 cm³/Ld and 6.4295 g/Lh., Indicating that the process is a novel biorefinery alternative for energy production.

Keywords: hydrogen, methane, ethanol, fermentation, biorefinery

1. Introducción

El ritmo de la utilización de combustibles fósiles en nuestras sociedades modernas es claramente insostenible debido a su escasez, a la inestabilidad de los precios y los impactos ambientales adversos, surgen como alternativa energética los biocombustibles pues además de ser una posible solución al problema energético se visiona como una alternativa mundial para la reutilización de desechos orgánicos

. En la actualidad, la producción de combustibles de segunda generación es prioridad debido a los problemas medioambientales que generan los combustibles fósiles. Por esto se precisa el maximizar el potencial de uso de los subproductos agrícolas para la obtención de biocombustibles, y así también evitar el empleo de cultivos destinados a la alimentación como el trigo, la caña de azúcar y el maíz. Sin embargo son muchos los limitantes que se han presentado en torno a la obtención de biocombustibles a partir de este tipo de materiales de desecho agrícolas debido a su estructura de compleja degradación, aún así es posible desdoblar los azúcares polisacáridos mediante una hidrólisis ácida o enzimática, para después ser fermentados.

Es importante mencionar que la mayoría de los procesos de producción de biocombustibles se llevan a cabo bajo la perspectiva de obtener un solo producto, por lo que surge la necesidad de desarrollar e implementar una tecnología versátil que permita la obtención de diferentes productos como el hidrógeno, metano y etanol que se pueden producir a partir de la misma materia prima; por lo tanto el objetivo de este trabajo será mostrar el enfoque de la biorrefinería aplicado a la producción de hidrógeno, metano y etanol por fermentación de la paja de sorgo.

2. Metodología

Tipo de estudio y diseño general

El tipo de estudio efectuado es de investigación aplicada o tecnológica con aplicación inmediata para la solución de un problema de orden energético y ambiental. Para lo cual se manejó el siguiente diseño general de estudio, considerando los siguientes procesos:

- a) Reducción del tamaño de la materia prima.
- b) Reducción del tamaño de partícula de la paja de sorgo mediante una hidrólisis ácida.

- c) Fermentar la paja hidrolizada con un inóculo de excreta bovina para producir hidrógeno.
- d) Usar la paja de sorgo sin hidrolizar e inocular con excreta bobina para fermentar y producir hidrógeno.
- e) Utilizar la biomasa generada en el proceso c para fermentarla y producir metano.
- f) Usar paja sin hidrolizar e inocular con excreta bobina para fermentar y producir metano.
- g) Inocular con excreta bobina parte de la paja hidrolizada para fermentar y producir etanol.
- h) Inocular con excreta bobina parte de la paja sin hidrolizar para fermentar y producir etanol.
- i) Aplicar a la paja hidrolizada un inóculo de *Saccharomyces cereviseae* para producir etanol.
- j) Usar la fase liquida de la paja hidrolizada e inocular con *Saccharomyces cereviseae* para fermentar y producir etanol.

Para el proceso de hidrólisis ácida de la paja de sorgo se manejó un diseño factorial completo 2³ con tres replicas, tomando en cuenta los parámetros controles tiempo 40min, H₂SO₄ al 5% y temperatura a 4% (Ver tabla 1):

Tabla 1. Diseño factorial de la hidrólisis ácida

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Temperatura °C	Tiempo minutos	Concentración %H2SO4
4	1	1	1	122	50	3
7	2	1	1	117	50	5
3	3	1	1	117	50	3
5	4	1	1	117	30	5
2	5	1	1	122	30	3
6	6	1	1	122	30	5
1	7	1	1	117	30	3
8	8	1	1	122	50	5

Universo de estudios, selección y tamaño de muestra

El universo de estudio es la paja de sorgo y las excretas de ganado bovino, existentes en el estado de Guanajuato.

Según la SAGARPA (2011) en el estado de Guanajuato al año hay 201,539 hectáreas cosechadas con sorgo de grano de las cuales el 29% de ellas son cosecha siniestrada (59,276.19 Hectáreas) obteniendo por hectárea de siniestrada de 1.9575 Ton/Ha, habiendo una producción al

año de 116, 033.41 Ton de siniestros, aprovechando que estos residuos en su mayoría son quemados serán usados como materia prima en la generación de energía alterna.

Así mismo la SAGARPA (SIAP, 2011) reporta para el estado de Guanajuato un inventario de 681,493 cabezas de ganado bovino, los cuales generan 2720 kg. Estiércol /día, lo que representara el inóculo a usar en la fermentación..

❖ Selección y toma de muestra de inóculo

Para la obtención de la materia prima y el inóculo, se siguió el método de muestreo propuesto por ICA en el libro “Análisis de suelos, plantas y aguas para riego” (Fonseca Santanilla E.B,et al., 2006) el cual básicamente consistió en tomar muestras en los 4 extremos y en el centro de una zona de cultivo delimitado de 100 m² y se conservan en frascos de cierre hermético, recolectándose 3 kg de paja y 500g de excreta . El inóculo lo obtuvimos de un criadero de bovinos localizados en el municipio de Mexicanos ubicado entre Villagrán y Salamanca Gto. Para las fermentaciones de hidrógeno y metano se usaron 60 gr y para las de etanol 40 gr de paja de sorgo grano, posteriormente es hidrolizada y fermentada, e inoculada con 175 gramos de excreta por cada 500 gramos de medio preparado (Esto es parte sólida y líquida del hidrolizado)..

Procedimientos para la recolección de información, instrumentos a utilizar y métodos para el control y calidad de los datos.

❖ Pre tratamiento de la materia prima:

La materia prima se sometió a una trituración manual, en la cual primero se trozo a un tamaño aproximado de 10 cm, luego de esto se sometió a una molienda mecánica con una licuadora marca *OSTER CLASSIC* a una velocidad alta durante 2 minutos y finalmente se tamizo con una malla 140 y 100 y se guardaran en envases en donde guardaran la misma humedad.

❖ Hidrólisis química de la paja de sorgo

Se lleva a cabo una hidrólisis acida con la paja de sorgo molida usando una relación 1:10 (Pintau Loeza 2006) (paja de sorgo molido / H₂SO₄ al 5%), a una temperatura de 117° C durante 30 min. en una olla de presión marca *PRESTO Steele*.

❖ Fermentación para producción de hidrógeno y metano

Se llevaron a cabo 2 procesos para la producción de hidrógeno, el primero se hizo con paja de sorgo sin hidrolizar y el segundo proceso se hizo con paja de sorgo hidrolizada ambos inoculados con excreta bobina

Para la producción de metano se llevaron a cabo dos procesos, el primero se hizo con paja de sorgo sin hidrolizar e inoculada con excreta bobina, y el segundo se hizo con los subproductos generados en la fermentación hidrogenogénica con paja de sorgo hidrolizada.

En los procesos que se inoculan con excreta bobina se usa una relación por cada 32 gr de sustrato se utiliza 8 gr de inóculo de acuerdo a Poggi- Varaldo et al. S.f, se procede a evaluar los azúcares reductores con el fin de conocer la cantidad de azúcares iniciales disponibles para después ajustarlos a 15 g/L, posteriormente se ajusta el pH (Fermentación hidrogenogénica a 6.65 y metanogénica 7.5) y finalmente se ajusta del 10-15% en peso, la materia orgánica. Ya ajustadas las condiciones se inició con la fermentación llevándola a un sistema de anaerobiosis con una temperatura de $35^{\circ}\text{C} \pm 2$ y con el paso de los días de fermentación se registró la variación del volumen que se presentó en el gasómetro, para con ello saber la cantidad de gas generado. Una vez terminado el proceso para fermentar y producir hidrógeno, se utilizaron los subproductos generados para la producción de metano únicamente se hace cambio de pH a 7.5 y se evalúan las condiciones iniciales.

❖ Fermentación para producción de etanol

Se llevaron a cabo 4 procesos para la producción de etanol, el primer proceso se hizo con paja de sorgo sin hidrolizar e inoculada con excreta bobina, el segundo proceso se hizo con la paja de sorgo hidrolizada e inoculada con excreta bobina, el tercer experimento se hizo con la paja de sorgo hidrolizada usando como inóculo una cepa pura de *Saccharomyces cerevisiae* y por último se utilizó la parte líquida de la paja hidrolizada usando como inóculo *Saccharomyces cerevisiae*. Los 4 procesos se ajustaron a un pH de 4.5, y luego se le agregaron las siguientes sales con una concentración por 1 litro (Monsalve John F. et al. 2006); 0.75g KH_2PO_4 , 0.71g $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$, 0.01g FeSO_4 , 1g NaCl y 2g de $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$.

Una vez agregadas las sales se procedió a evaluar los Azúcares Reductores (AR) para saber la concentración con la cual se inició la fermentación, por último se inóculo; en el caso de la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) para su conteo y tiraje se utilizó la cámara de Neubauer y para inocular con excreta se usó la relación del 25% peso (Poggi- Varaldo et al. S.f); Manteniéndolos así a una temperatura de 32 a 35°C .

Las evaluaciones se hicieron cada 4 horas y en cada evaluación se ajustó el pH a 4.5 o aproximadamente. El propósito de estos 4 procesos fue conocer el experimento viable con un gasto energético menor y una mayor productividad de etanol en menor tiempo.

Para la evaluación de cada uno de los factores antes mencionados se llevaron a cabo las siguientes técnicas:

- Determinación de azúcares por el método DNS (Manual de prácticas de biotecnología del I.P.N. ,2009)

- Reducción de bióxido de carbono producido en la etapa hidrogenogénica y metanogénica con trampa NaOH 1N: (Orosco D.F., 1989)
- Reducción de ácido sulfhídrico producido en la etapa metanogénica por uso de una solución de yodo decinormal (Orosco D.F., 1989)
- Método para calcular la cantidad producida de hidrógeno y metano por desplazamiento de líquidos tomado del diseño de M. Menna, et al.- 2007 siendo este adaptado
- Método de Warder para afirmar y cuantificar CO₂ en la trampa de NaOH (Orosco D.F., 1989)
- Determinación de sólidos totales se maneja la norma oficial mexicana NMX-AA-034-8CFI-2001
- Método lodo métrico para la cuantificación de sulfuros NMX-AA-084-1982
- Determinación del pH por medio de un potenciómetro marca HANNA instruments
- Determinación de etanol por el método de Bicromato de potasio. (Vela Arévalo et al. S.f.)

3. Plan de análisis de resultados

Método y modelos de análisis de los datos según tipo de variables

Se manejó para el proceso de hidrólisis ácida de la paja de sorgo un diseño factorial completo de 2³ con tres replicas.

Para el análisis de los datos obtenidos se maneja una correlación y regresión lineal a un nivel de significancia del 95%. Los datos obtenidos se tabularan y graficaran.

Programas a utilizar para análisis de datos:

Software estadístico Minitab 16.

4. Resultados

De acuerdo al diseño factorial se encontró que el experimento 7 con las condiciones 117°C / 5% H₂SO₄ / 50 minutos obtuvo la mayor cantidad de Azúcares Reductores (AR) equivalentes a 38.81 g/L, sin embargo el objetivo del diseño factorial fue encontrar una concentración cercana a la del control y optimizar su proceso en cuanto menor gasto energético y en menor tiempo de hidrólisis siendo que el experimento 1 cumple con estas características y con las condiciones 117°C / 5% H₂SO₄ / 30 min teniendo una concentración de 33.68 g/L AR, con una mínima diferencia de 0.79 g/L del experimento control (Tabla 2)

Tabla 2. Resultados de la hidrolisis de acuerdo al diseño factorial.

Concentración de AR en g/L en los diferentes experimentos				
Experimento	Temperatura	Conc. H ₂ SO ₄	Tiempo	Conc. de AR en g/L
Control	121°C	4%	40 minutos	34.81 g/L
1	117°C	5%	30 minutos	33.68 g/L
2	122°C	3%	30 minutos	32.38 g/L
3	122°C	5%	30 minutos	34.60' g/L
4	117°C	3%	30 minutos	28.65 g/L
5	122°C	5%	50 minutos	33.78 g/L
6	122°C	3%	50 minutos	34.44 g/L
7	117°C	5%	50 minutos	38.81 g/L
8	117°C	3%	50 minutos	33.61 g/L

Para la producción de hidrógeno y metano consideramos un prototipo que cuantifica la producción de dichos gases (Figura 1). Este prototipo fue adaptado de Menna M. *et al* (2007)

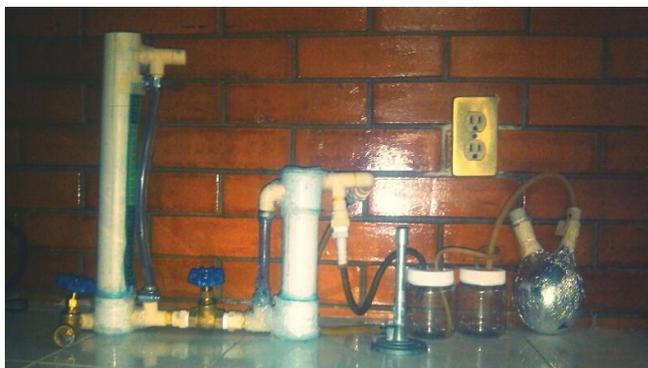


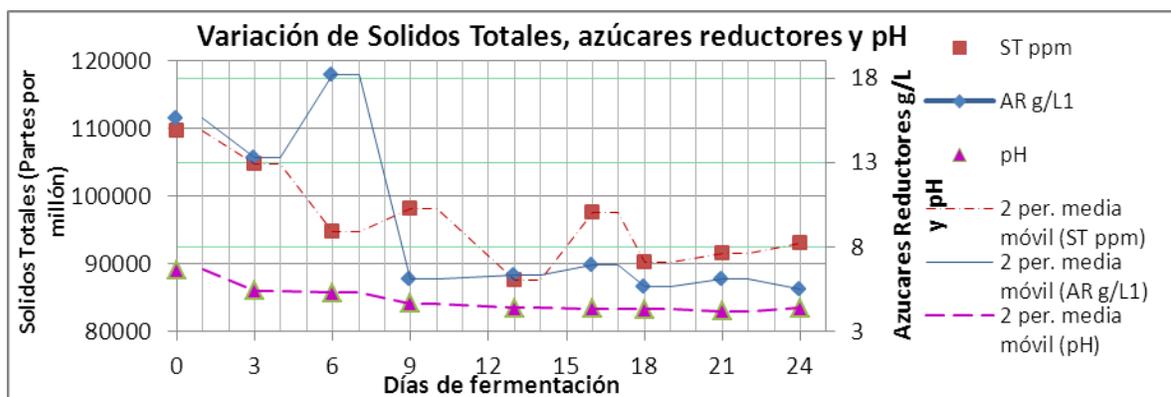
Figura 1. Prototipo para cuantificar y producir metano e hidrógeno por fermentación.

En nuestro esquema de **Biorrefinería** para producir hidrógeno, experimentamos hasta el momento dos procesos, observando que la mejor productividad con un valor de $2.08 \text{ cm}^3/\text{Lh}$, se presentó en la fermentación de paja de sorgo hidrolizada con excreta bobina (Ver tabla 3)

Tabla 3. Productividad de los procesos fermentativos para producir hidrógeno

	Fermentación de paja de sorgo Hidrolizada con excreta bobina	Fermentación de paja de sorgo sin hidrolizar con excreta bobina.
Hidrógeno	$2.08 \text{ cm}^3/\text{Ld}$	$1.84 \text{ cm}^3/\text{Ld}$

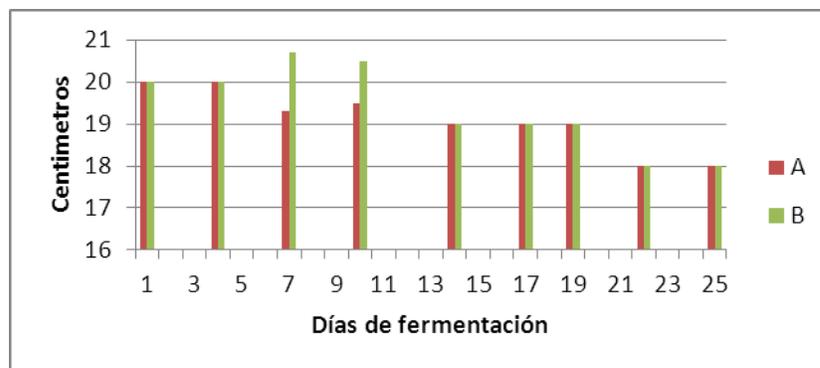
En el comportamiento que presenta este proceso podemos observar que las variaciones de Sólidos Totales (ST) al iniciar la fermentación disminuyeron al igual que el pH y los AR, sin embargo en los siguientes 3 días los AR aumentaron probablemente debido a una hidrólisis enzimática, causando una adaptación de los microorganismos; por lo tanto la relación más importante de ST, AR, y pH es durante el 6^{to} - 9^{no} día debido a que se presentó una variación de volumen en el gasómetro en los cuales el pH decae junto con los AR y los ST aumentaron, después del 9^{no} día se observa que los demás parámetros se mantienen sin ningún cambio significativo. (Ver gráfica 1)



Gráfica 1. Resultados de la fermentación de la paja hidrolizada con excreta bobina para producir hidrógeno

En la gráfica siguiente interpretar A como el tubo donde es acumulado el H₂ producido y B como el tubo donde el agua se desplaza a causa de la acumulación de H₂ dentro del gasómetro, la diferencia del volumen entre estos dos, es la producción de H₂, siendo que 1 cm de diferencia entre estos dos es igual a 5 cm³ en volumen de gas.

Los días de 6^{to} al 9^{no} fueron los más significativos habiendo una mayor acumulación de hidrógeno, con una diferencia de 1.4 cm y 1 cm que es equivalente a 7 cm³ y 5 cm³ de hidrógeno. (Ver gráfica 2)



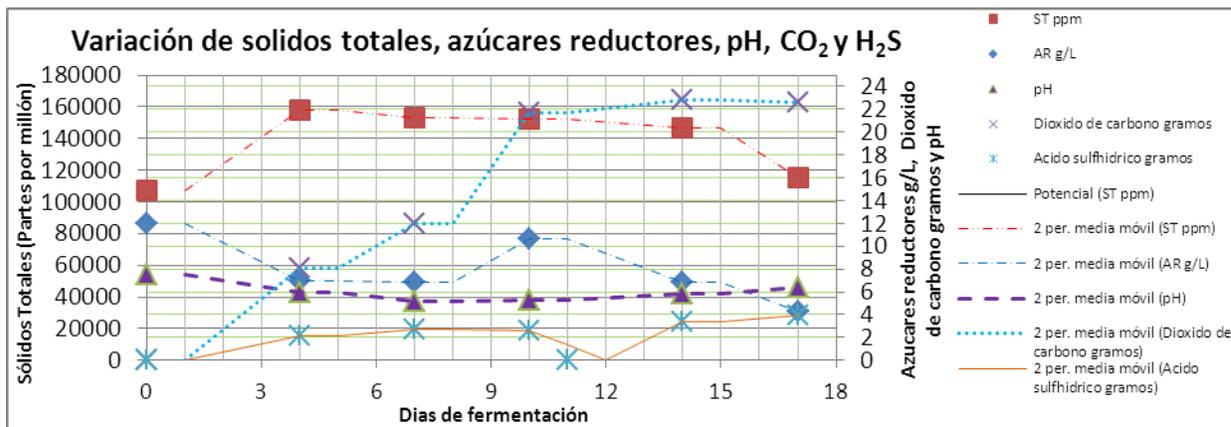
Gráfica 2. Resultados de la variación de volumen durante la fermentación para producir hidrógeno

En relación a la producción de metano, experimentamos hasta el momento con dos procesos, observando que la mejor productividad tiene un valor de 1.39 cm³/L.h, el cual se presentó en la fermentación de paja de sorgo sin hidrolizar con excreta bobina (ver tabla 4)

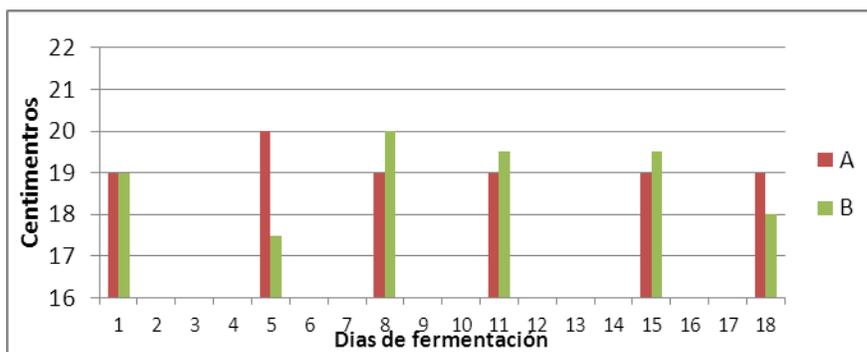
Tabla 4. Productividad de los procesos fermentativos para producir metano

	Fermentación usando los subproductos generados en la etapa hidrogenogénica	Fermentación de paja de sorgo sin hidrolizar con excreta bobina.
Metano	0.00 cm ³ /L/d	1.39 cm ³ /L/d

Para el proceso que se utilizó paja de sorgo sin hidrolizar para fermentar y producir metano se obtuvo que los AR disminuyeron en los primeros cuatro días al igual que el pH, sin embargo la cantidad de ST aumenta en los días mencionados y la generación de CO₂ es significativa hasta el décimo día. Después del quinto día el pH se encuentra en un rango de 5 a 6, por lo que no hay una gran variación en él. (Ver grafica 3)



Gráfica 3. Resultados de la fermentación de la paja sin hidrolizar con excreta bobina para producir metano



Gráfica 4. Variación del volumen durante la fermentación con paja de sorgo sin hidrolizar para producir Metano.

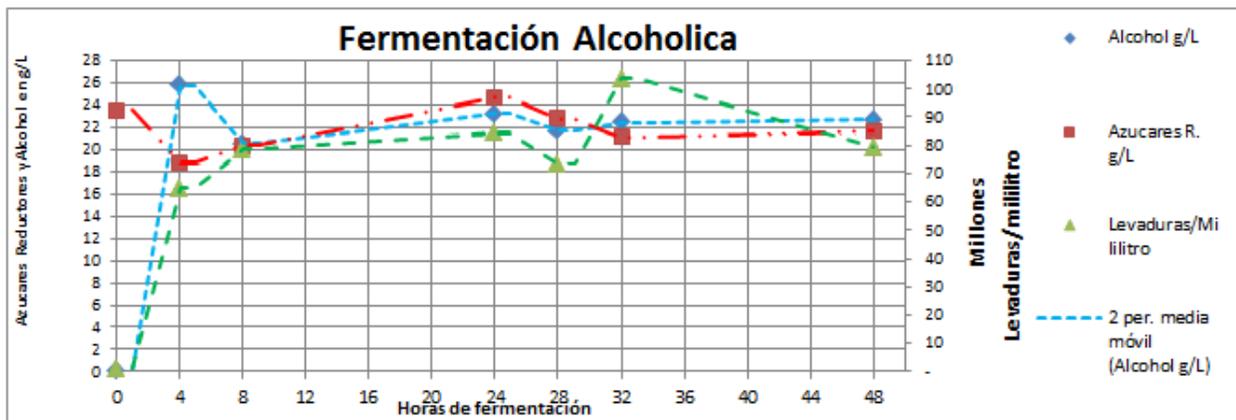
La mayor producción de metano, se encuentra al día 5^{to} día con una diferencia de 2.5cm lo que equivale a un rendimiento de 12.5 cm³ de Metano, después de estos días la variación del volumen disminuyó y se mantuvo a 5 cm³ de Metano. (Ver grafica 4)

En nuestro esquema de biorrefinería para producir etanol, experimentamos cuatro procesos observando que la mejor productividad con un valor de 6.4295 g/L/h se presentó cuando fermentamos hidrolizado puro (liquido) de paja de sorgo y *Saccharomyces cerevisiae*. (Ver tabla 5)

Tabla 5. Productividad de los procesos fermentativos para producir etanol

	Fermentación de paja de sorgo sin hidrolizar con excreta bobina	Fermentación de paja de sorgo hidrolizada con excreta bobina	Fermentación de paja de sorgo hidrolizada con <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Fermentación de hidrolizado puro de paja de sorgo y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>
Productividad (g/Lh) de Etanol	0.0625 g/Lh	0.5570 g/Lh	4.0225 g/Lh	6.4295 g/Lh

De acuerdo al comportamiento que presento este proceso pudimos observar que en las primeras 4 horas se obtuvo un rendimiento de 25.7183 g/L, con una productividad de 6.42 g/L.h, además la levadura presentó un crecimiento durante la máxima producción de alcohol para después no presentar crecimiento significativo. Esto seguramente porque cuando los materiales lignocelulosicos se someten a condiciones severas durante el pre tratamiento (alta temperatura, alta presión, ambiente ácido, etc.) puede darse cierta degradación de la lignina y de los azúcares, ya sean hemicelulósicos o celulósicos, generándose productos tóxicos potencialmente inhibidores para las levaduras en la etapa de fermentación. La *Saccharomyces cerevisiae* presenta una gran limitación cuando se quiere utilizar en la fermentación de los azúcares hemicelulósicos ya que no es capaz de fermentar pentosas, como la xilosa, que también están presentes en los materiales lignocelulosicos, por eso podemos observar que después de obtener el máximo rendimiento de etanol, los azucares reductores prácticamente permanecen constantes. (Ver gráfica 5)



Gráfica 5. Fermentación alcohólica del hidrolizado puro de la paja de sorgo con *Saccharomyces cerevisiae*.

5. Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos para la producción de biocombustibles bajo el esquema de Biorrefinería se están cumpliendo los objetivos de diseño y construcción de un prototipo para la producción de hidrógeno y metano, se determinó las mejores condiciones para un pre tratamiento mecánico por molienda de la paja de sorgo que consiste en una molienda durante 2 minutos y por último se realizó una tamización obteniendo un tamaño de partícula inferior a 1 mm.

Se obtuvo las mejores condiciones de hidrólisis ácida para obtener la mayor cantidad de AR cuyas características son $117^{\circ}\text{C}/5\% \text{H}_2\text{SO}_4 / 30 \text{ min}$ teniendo una concentración de 33.68 g/L de AR. Para la fermentación alcohólica la mejor productividad con un valor de 6.4295 g/Lh se presentó cuando fermentamos hidrolizado puro de paja de sorgo y *Saccharomyces cerevisiae*. En la fermentación hidrógenogénica la mejor productividad con un valor de $2.08 \text{ cm}^3/\text{Lh}$, se presentó en la fermentación de paja de sorgo hidrolizada con excreta bobina. Con la fermentación de paja de sorgo sin hidrolizar con excreta bobina para producir metano tenemos hasta el momento una productividad de $1.39 \text{ cm}^3/\text{L/d}$. Los resultados obtenidos confirman que se cumplió nuestra hipótesis de investigación. De acuerdo a los resultados obtenidos hasta el momento se propone el siguiente esquema Biorrefinería para producir hidrógeno, metano y etanol. (Ver figura 2)

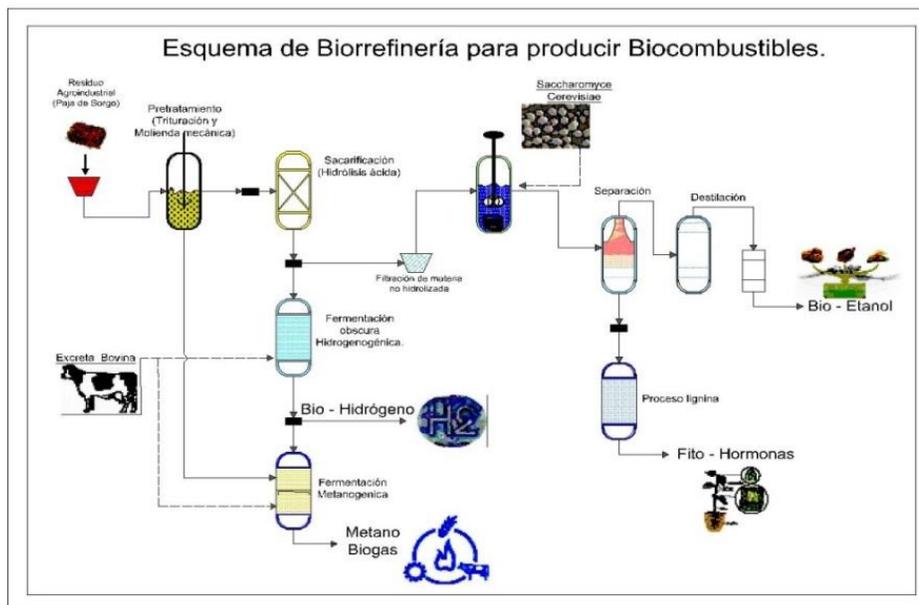


Figura 2. Producción de biocombustibles por proceso de Biorrefinería

En planes a futuro tenemos planeado verificar el proceso de producción de metano e hidrogeno más adecuado para nuestro esquema de Biorrefinería, así como optimizar cada proceso de nuestro esquema propuesto, aplicando un diseño factorial. Así mismo a los resultados obtenidos de productividad de cada proceso les realizaremos un análisis de ANOVA, tablas de medias de Tukey, para un nivel de significancia del 95%.

6. Referencias

1. Ayala Sarmiento A.E. & E.M. Escamilla Silva (S.f.) *Produccion de etanol a partir del hidrolizado de sorgo empleando saccharomyces cerevisiae inoivilizada en acido poligaracturunico*
2. Bernal Gutiérrez P., G. Velardo Pinacho, J.L. Díaz Fernández N. Carpintero Santamaría, J. Cervera Valverde, C. Ahnner Iglesias, R. Caro Manso...& J. Velarde Fuertes (2008), La crisis energética y repercusión en la economía. Seguridad y defensa nacional.
3. Castellano, E., V. Perna, C. Etchebehere & L. Borzacconi (S.f) *Producción de Biohidrógeno a partir de residuos orgánicos* .
4. Escamilla Alvarado, C.H., H., Poggi Varaldo, & M.T., Ponce Noyola (2011) Producción de hidrógeno y metano como biocombustible bajo el esquema de biorrefinería *Ide@s CONCYTEG*, 6 (71), pp. 526-539.
5. Escamilla Alvarado, C., E. Ríos Leal, M.T. Ponce Noyola & H.M., Poggi Varaldo,



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

- (S.f.) *Energías renovables biológicas-hidrógeno-Pilas de combustible-II: Capítulo 5, Incremento del rendimiento bioenergético de residuos sólidos urbanos como procesos acoplados H-M.*
II D.F., México: CINVESTAV del IPN., pp. 53-72.
6. Fonseca Santillana, E.B., A.M. Oviedo., I.J. Vargas., (2006), “Hidrólisis ácida de sustratos residuales agroindustriales colombianos”, *Umbral científico*, 6 (008), pp. 5-11.
 7. Fuentes alternas de energía (S.f.) Recuperado de www.conacyt.mx/.../fuentesalternas/intoadfuentersalternasdeenerggy.http.../
 8. Frías Hernández, J.T., (2009), Potencial y oportunidades de desarrollo de biocombustibles a partir de materiales no alimenticios en Guanajuato, *Ide@s CONCYTEG*, 4(54), pp.1271-1286.
 9. Flores, L.M. (2009) “Producción de biogás mediante la reutilización de desechos orgánicos a través de biodigestores”, Autor.
 10. Gutiérrez García, G. de J., I. Moncada Fernández, M.M. Meza Montenegro, A. Félix Fuentes, J. de J. Balderas Cortés y P. Gortáres Moroyoqui (2012), “Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía”, *ide@s CONCYTEG*, 7(85), pp. 881-894.
 11. Hernández C.C., E. Pérez Carrillo, E. Olea & S.O. Serna Saltiva, (2011), Sorgo como cultivo oportunidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Monterrey, 3(10), pp 529-549.
 12. Hilbert, J.A. (S.f) *Manual para la producción de Biogas*. Castelar
 13. Islas Sampeiro, J., A. Martínez Jiménez, (2009), “La bioenergía: oportunidades y retos tecnológicos”, *Ide@s CONCYTEG*, 4(54), pp. 1185-1197.
 14. Martínez A., A.L., E. Ocaranza-Sanchez & V.E., López López (2009), “Alternativas para la producción de biocombustibles en México” *Ide@s CONCYTEG*, 4(54), pp. 1234-1245.
 15. Martínez Jiménez, A. (2009) “biocombustibles biotecnológicos” ,*Ide@s CONCYTEG* , 4(54),pp.1198-1215 .
 16. Martínez L.V., E.R. García, G.A. Curutchet & J.I. Franco (2011) SELECCIÓN DE CONSORCIOS BACTERIANOS PARA LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO BIOLÓGICO. *HYFUSEN*
 17. Menna M., J. Branda, G. Murcia, E. Garin, G. Belliski, & E. Moschione (2007) “Metodología de bajo costo para la cuantificación de biogás en biodigestores de laboratorio.” *Avances en energías renovables y medio ambiente*. (11) Argentina. ISSN 0329 – 5184.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

18. Moncada Fernández, I. (2012) “Energía y sustentabilidad. Nota editorial”, *Ide@s CONCYTEG*, 7(85), pp. 873-880.
19. Monsalve G. J.F., V.I. Medina de Pérez & A.A. Ruiz Colorado (2006) PRODUCCION DE ETANOL A PARTIR DE LA CASCARA DE BANANO Y DE ALMIDON DE YUCA. “*Dyna*” 73(150) pp. 21-27 Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia
20. Muñoz-Páez, P.N. Robledo-Narváez, E. Ríos-Leal, N. Rinderknecht-Seijas y H.M. Poggi-Varaldo (SF), *Energías renovables biológicas- hidrogeno-pilas de combustible-II: Capítulo 4: Foto fermentación heterótrofa y biohidrógeno*. DF, México: CINVESTAV del IPN.
21. Pintau Loeza M.G., (Marzo 2006). *Caracterización e Hidrolisis de Residuos Agrícolas Como Sustrato Para La Producción De Etanol*. Morelia, Mich.: Autor. pp: 32-69.
22. Poggi-Varaldo, H.M., P.N. Robledo-Narváez, G. Calva-Calva, M.T. Ponce-Noyola, E. Ríos-Leal, J. Galíndez-Mayer.....N. Rinderknecht-Seijas. (SF). *Energías renovables biológicas- hidrogeno-pilas de combustible-II: Capítulo 3. Uso de residuos agroindustriales en la generación de biohidrógeno*. DF, México: CINVESTAV del IPN.
23. Tapia Pérez A. & I. Valdez Vázquez (S.f) Biorrefinería para la producción de biocombustibles y plásticos biodegradables a partir de aguas residuales. *Veranos UG de investigación científica*.
24. Valverde María, E. y V. Olalde-Portugal, (2009), “Rutas, procesos y microorganismos implicados en la producción de biocombustibles”. *Ideas CONCYTEG*, 4(54), PP. 1216-1233
25. Zumaque Oviedo L., C. Lara Mantilla & Mizger Pantoja M. (Julio 2009) Levaduras Autóctonas con capacidad fermentativa en la producción de etanol a partir de pulpa de excedentes de plátano *Musa (AAB Simmonds)* en el departamento de Córdoba, Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 11(1) pp. 40-47