

Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2014

“Producción de Bioetanol por Fermentación de Plátano de Rechazo”

Área temática:

Ingeniería / Energía & Transportación

Autores

Tec. Mario Alberto Martínez García

Tec. Dulce Alejandra Franco Castillo

M. en C. Miguel Ángel Quintana Aguado

IBQ. Pedro González López

Club de Ciencias “Halcones” CBTis 172

Producción de Bioetanol por Fermentación de Plátano de Rechazo

Bioethanol Production by Fermentation of Rejection Banana

Mario Alberto Martínez García¹, Dulce Alejandra Franco Castillo², Miguel Ángel Quintana Aguado³,
Pedro González López⁴

¹⁻⁴Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios N° 172. Cortazar, Gto. México.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo optimizar la producción de bioetanol por fermentación de plátano de rechazo aplicando Diseño de Experimentos (DOE) en cada etapa del proceso. La primera etapa es el pre tratamiento-hidrólisis, cuyo objetivo es romper las cadenas de polisacáridos para obtener una alta concentración de azúcares reductores. Para esta etapa determinamos tres factores que afectan su efectividad: el tiempo de molienda, para reducir de tamaño la materia prima e incrementar el área superficial de contacto con el ácido, el pH con el que se trató la materia prima para romper los polímeros y el tiempo de tratamiento térmico, para facilitar la hidrólisis de las macromoléculas. Una vez establecidos los 3 factores utilizamos un diseño factorial 2^k para estudiar sus efectos sobre la concentración de azúcares reductores. Cada factor se diseño con 2 niveles: para tiempo de molienda 2 y 3 minutos, para pH 1 y 2, y para tiempo de tratamiento térmico 25 y 35 minutos. Por lo tanto el plan experimental constó de $2^3 = 8$ corridas, cada una con tres réplicas. Los resultados se analizaron con el software estadístico Minitab 15. Los estadísticos utilizados para analizar las 8 corridas fueron la regresión lineal, el índice de correlación, el análisis de varianza (ANOVA) y las tablas de comparación de Tukey. Los análisis demostraron, con una confiabilidad del 95%, que el experimento 2, con un rendimiento de 28.02 g/L de azúcares reductores, es el más factible de acuerdo a sus condiciones (3 minutos de tiempo de molienda, pH de 1 y 25 minutos de tratamiento térmico). Se obtuvo una concentración de etanol de 20.47 g/L en la fermentación y se propone un diseño factorial 2^3 para optimizar esta etapa, considerando como variables: concentración de azúcares, pH y temperatura.

Palabras clave: Bioetanol, fermentación, plátano de rechazo.

Abstract

The present research has as an objective to optimize bioethanol production by fermentation of rejection banana applying Design of Experiments (DOE) in each stage in the process. The first stage is a pre treatment-hydrolysis. This stage will break the polysaccharide chains to obtain a high concentration of reducing sugars. For this stage three factors that affect its effectiveness were determined: the grinding time to reduce the size of the raw material to increase its contact with the acid, the pH which the raw material was treated to break the polymers and time of thermal treatment to facilitate the hydrolysis of the macromolecules. Once the 3 factors were established, a factorial design 2^k was performed to study its effects over reducing sugars concentration. Each factor was designed with two levels: for grinding time were 2 and 3 minutes, for pH the values were 1 and 2, and for time of thermal treatment 25 and 35 minutes were used. Therefore, the factorial design resulted as 2^3 with 8 experiments and each one with three replicates. The results were analyzed with Minitab 15. The statistics that were used to analyze were a linear regression, a correlation index, ANOVA and Tukey table. These analyses showed with a confidence interval of 95% that experiment number 2 with an output of 28.02 g/L of reducing sugars was the most feasible according to its conditions (3 minutes of grinding time, pH of 1, and 25 minutes of thermal treatment). It was obtained an ethanol concentration of 20.47 g/L in the fermentation and is proposed a factorial design 2^3 to optimize this stage, considering as variables: sugar concentration, pH and temperature.

Key words: *Bioethanol, fermentation, rejection banana.*

1. Introducción

Debido a la crisis energética que se vislumbra a futuro y a las problemáticas de contaminación ambiental actuales, es necesario evaluar el empleo de procesos biotecnológicos encaminados a la obtención de fuentes alternas de

energía. Una opción atractiva es el uso de productos ricos en almidón, capaces de ser transformados en biocombustibles, y que por sus características organolépticas se consideren no agradables para la

alimentación y por consecuencia su costo sea bajo.

En las últimas décadas ha surgido un fuerte interés por darle un manejo adecuado y eficiente a los desechos agrícolas, empleándolos en el desarrollo de bioprocesos, en los que se involucran como sustratos para la producción de ácidos orgánicos, etanol, enzimas y otros metabolitos secundarios importantes para la industria farmacéutica y alimentaria.

Teniendo en cuenta que día a día se generan grandes cantidades de plátano de rechazo, tras la práctica agronómica del corte de la planta de plátano, surge el interés de su utilización mediante fermentaciones alcohólicas que permitan darle un valor agregado a estos residuos, aprovechando su alto contenido de carbohidratos (aproximadamente 20% de su peso) que posibilita el uso de microorganismos capaces de transformar dichos desechos en un producto industrial como el bioetanol.

Es importante mencionar que el bioetanol se considera un combustible biodegradable derivado del uso de la energía solar almacenada en la

biomasa, oxigenado y libre de azufre; lo que le permite ser utilizado en automóviles, mezclado con la gasolina en proporciones de 10% a 85%.

Aunque el bioetanol lignocelulósico se considera una opción atractiva como energía alternativa, requiere de la optimización del proceso de producción, es por esto que, las apuestas en investigación están dirigidas al estudio e incursión de tratamientos viables.

De esta manera el objetivo de la presente investigación es optimizar la producción de bioetanol por fermentación de plátano de rechazo, para usarlo como fuente alterna de energía.

2. Métodos de estudio

a. Tipo de estudio y diseño general.

El tipo de estudio efectuado fue una investigación aplicada o tecnológica ya que pretendíamos adquirir nuevos conocimientos técnicos con aplicación inmediata para resolver problemáticas de orden energético y ambiental.

El diseño general de estudio consistió en la optimización de las etapas de pre

tratamiento-hidrólisis ácida, fermentación y destilación, con el fin de obtener los mejores rendimientos de etanol a partir de plátano rechazo.

b. Definición operacional de las variables.

Para el pre-tratamiento e hidrólisis ácida, las variables independientes fueron el tiempo de molienda (T.Mol.) para disminuir el tamaño de la muestra e incrementar su área superficial, el pH de la muestra debido a la adición de ácido sulfúrico (H_2SO_4), y tiempo de tratamiento térmico (T.Ter.) durante la hidrólisis. Se declaró como variable dependiente a la concentración de azúcares reductores, ya que esta se ve afectada por la hidrólisis y los diferentes valores de las variables independientes. El incremento de la concentración de estos azúcares indica la efectividad de la hidrólisis para romper las cadenas de almidón.

En la etapa de la fermentación las variables independientes fueron la concentración de azúcares reductores, la concentración de levadura utilizada, la temperatura, los gramos de $(NH_4)_2SO_4$, KH_2PO_4 , $MgCO_3$ y pH. La variable

dependiente fue la concentración de alcohol obtenida.

c. Universo de estudio, selección y tamaño de muestra, unidad de análisis y observación. Criterios de inclusión y exclusión.

Para el desarrollo de este proyecto el universo de estudio fue el plátano de rechazo del país, principalmente de las zonas costeras. El tipo de plátano manejado fue el "Tabasco" en estado de maduración 3 (Figura 1). La unidad de análisis fue el plátano adquirido en el mercado municipal de Cortazar. En cada experimento se utilizaron muestras de 40 gramos de plátano de rechazo y cada uno de estos se manejo por triplicado.

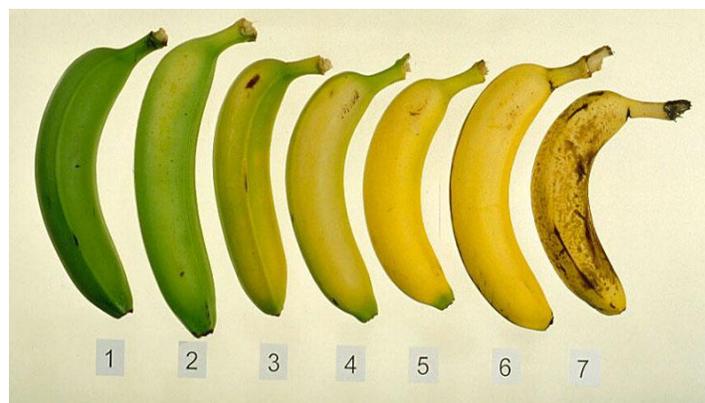


Figura 1.- Estados de maduración de la banana. Fuente: (Kader A, 2008).

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

La obtención de la materia prima fue a través de la recolección de plátano de rechazo en el mercado municipal de Cortazar, Gto.

Las etapas que se llevaron a cabo para el procesamiento del plátano de rechazo, dirigido a la obtención del etanol fueron:

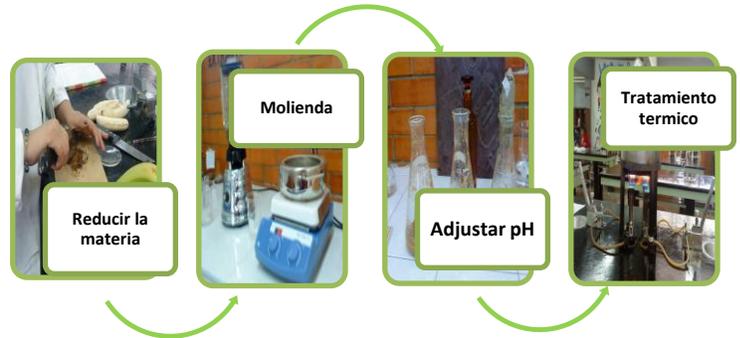
- Pre tratamiento-Hidrólisis Ácida (Proceso control. Oviedo, L., 2009)

Materiales	Equipo	Reactivos
Cuchillo	pH metro	Ácido Sulfúrico (H ₂ SO ₄) 10%
Licuadaora	Olla de presión	Agua destilada

Proceso

1. Reducir el tamaño del plátano de rechazo, para facilitar la molienda.
2. Reducir el tamaño de partícula moliendo 40g de plátano de rechazo con 60mL de agua utilizando una licuadora durante 2.5 minutos.
3. Ajustar el pH de la mezcla a 1.5 con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 10%.

4. Someter las muestras a una temperatura de 121°C y 15 psi., durante 30 minutos.



Fotografías tomadas por los autores.

Para optimizar esta etapa se utilizó un diseño factorial 2^k, donde k representa el número de factores que afectan a la variable dependiente, en este caso 3. Por lo cual el diseño 2³ nos indicó 8 corridas con diferentes niveles como lo muestra la tabla 1.

Tabla. 1- Pre tratamiento-hidrólisis; diseño factorial completo, 2³ con 8 corridas.

Orden Estadístico	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	T.Mol.	pH	T.Ter.
1	1	1	1	2	1	25
8	2	1	1	3	2	35
7	3	1	1	2	2	35
3	4	1	1	2	2	25
2	5	1	1	3	1	25
4	6	1	1	3	2	25
6	7	1	1	3	1	35
5	8	1	1	2	1	35

- Fermentación en lote.

(Proceso control. Oviedo, L., 2009 y Monsalve, J., 2006).

Materiales	Equipo	Reactivos
Matraz erlenmeyer	Incubadora	Hidróxido de sodio NaOH 10%
Termómetro	pH metro	Sulfato de amonio $(NH_4)_2SO_4$
		Fosfato di acido de potasio KH_2PO_4
		Carbonato de magnesio $MgCO_3$

Proceso

1. Colocar 60 mL del hidrolizado con una concentración de azúcares reductores de 20g/L en un matraz Erlenmeyer.
2. Ajustar el pH a 4.5 con NaOH al 10%
3. Complementar el mosto de fermentación con 0.048g de $(NH_4)_2SO_4$, 0.1mg de KH_2PO_4 y 0.0030mg de $MgCO_3$.
4. Inocular con 1g de cepa pura de levadura: *S. Cerevisiae*.
5. Fermentar en condiciones de anaerobiosis a 27°C
6. Por cada lapso de 24 horas realizar muestreos, en condiciones de esterilidad durante 48 horas.

Para esta etapa se realizó un diseño factorial 2^3 que nos indica 8 corridas con dos diferentes niveles como lo muestra la tabla 2.

Tabla. 2- Fermentación; diseño factorial fraccionado (1/2), 2^3 con 8 corridas.

Orden Estadístico	Orden Corrida	Punto Central	Bloques	Conc. de azúcares	Temperatura	pH
7	1	1	1	20	30	4
1	2	1	1	20	25	5
8	3	1	1	40	30	5
6	4	1	1	40	25	4
3	5	1	1	20	30	4
11	6	1	1	20	30	4
5	7	1	1	20	25	5
12	8	1	1	40	30	5

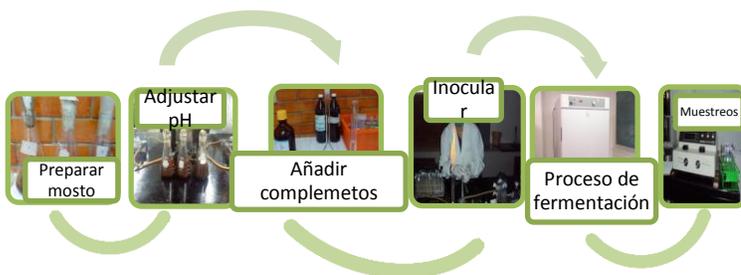
- Destilación.

Se destila el mosto fermentado a una temperatura de 78.4°C.

3. Resultados

Pre tratamiento-Hidrólisis Ácida

En el pre-tratamiento e hidrólisis ácida las variables independientes involucradas fueron el tiempo de molienda (T.Mol), pH y el tiempo de tratamiento térmico (T.Ter). Los tres



Fotografías tomadas por los autores.

factores se diseñaron con dos niveles cada uno, como lo muestra la tabla 3.

Tabla 4. Factores y niveles considerados para el diseño de experimentos.

Factor	Niveles	
Tiempo de molienda (T.Mol)	2 min	3 min
pH	1	2
Tiempo de tratamiento térmico (T.Ter)	25 min	35 min

Se consideraron tres réplicas para incrementar la precisión mediante la reducción de errores estándar.

A medida que la hidrólisis ácida rompe las macromoléculas del almidón en azúcares reductores, la concentración de estos va aumentando a medida que la reacción avanza. Una forma de saber si los factores planteados tienen significancia en este proceso, es cuantificar el incremento de la concentración de los AR para cada uno de los experimentos con sus diferentes factores y niveles.

La razón de incremento de la concentración de azúcares reductores (R.Incremento) se define con la fórmula:

$$R. incremento = \frac{\text{concentracion final}}{\text{concentracion inicial}}$$

La R.Incremento se tomó como variable dependiente y para la comparación en el análisis de resultados

de los 8 experimentos como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Experimentos del diseño 2^k con sus factores, niveles y su R.Incremento.

Orden Est	T.Mol	pH	T.Ter	Conc. Inicial	Conc. final	R.Incremento
1	2	1	25	10.422	39.797	3.8
2	3	1	25	5.940	32.660	5.5
3	2	2	25	6.043	11.008	1.8
4	3	2	25	10.629	36.935	3.5
5	2	1	35	8.905	34.108	3.8
6	3	1	35	7.595	36.793	4.8
7	2	2	35	6.250	12.560	2.0
8	3	2	35	7.664	22.489	2.9
9	2	1	25	10.422	37.453	3.6
10	3	1	25	5.354	25.970	4.9
11	2	2	25	5.561	14.215	2.6
12	3	2	25	9.664	40.590	4.2
13	2	1	35	13.939	30.247	2.2
14	3	1	35	7.802	34.867	4.5
15	2	2	35	6.009	13.525	2.3
16	3	2	35	10.008	25.558	2.6
17	2	1	25		42.797	
18	3	1	25	5.906	25.454	4.3
19	2	2	25	5.630	11.422	2.0
20	3	2	25	9.767	40.418	4.1
21	2	1	35	8.595	28.499	3.3
22	3	1	35	6.526	41.176	6.3
23	2	2	35	6.009	13.422	2.2
24	3	2	35	8.009	23.144	2.9

Se introdujeron los datos al diseño en el software estadístico MINITAB 15 para realizar un análisis de varianza y poder determinar si existe relación significativa entre la variable dependiente (**R.Incremento**) y el conjunto de los tres factores como variables independientes.

El análisis de varianza muestra:

Análisis de varianza para R.Incremento (unidades codificadas)							
Fuente	GL	SC Sec.	SC Ajust.	MC Ajust.	F	P	
Efectos principales	3	25.8629	25.8624	8.6208	26.92	0.000	
T.Mol	1	13.1300	11.5181	11.5181	35.97	0.000	
pH	1	12.0452	12.1808	12.1808	38.04	0.000	
T.Ter	1	0.6876	0.6872	0.6872	2.15	0.164	
2° orden (interacciones)	3	0.6552	0.4843	0.1614	0.50	0.685	
T.Mol*pH	1	0.2920	0.2564	0.2564	0.80	0.385	
T.Mol*T.Ter	1	0.0369	0.0224	0.0224	0.07	0.795	
pH*T.Ter	1	0.3263	0.2470	0.2470	0.77	0.394	
3° orden (interacciones)	1	1.5513	1.5513	1.5513	4.84	0.044	
T.Mol*pH*T.Ter	1	1.5513	1.5513	1.5513	4.84	0.044	
Error residual	15	4.8028	4.8028	0.3202			
Error puro	15	4.8028	4.8028	0.3202			
Total	22	32.8720					

Un efecto principal se presenta cuando diferentes niveles de un factor afectan la respuesta de manera diferente.

En este análisis de varianza podemos observar que la fuente de varianza *Efectos principales* tiene un estadístico F (distribución de Fisher) alto que indica que hay mayor probabilidad de que suceda la H_1 (la fuente tiene efecto sobre la variable respuesta), esto lo reafirma el estadístico P con valores menores al $\alpha(0.05)$, es decir, con un nivel de confianza del 95%.

Por lo tanto los efectos principales si afectan la variable respuesta:

Efectos principales	3	25.8629	25.8624	8.6208	26.92	0.000
---------------------	---	---------	---------	--------	-------	-------

De la misma forma los factores T.Mol, pH y la interacción de tercer orden afectan significativamente la variable de respuesta R.Incremento por presentar valores de F altos y valores de P menores a 0.05.

A diferencia del factor T.Ter que no tiene relevancia significativa sobre la variable R.Incremento.

T.Ter	1	0.6876	0.6872	0.6872	2.15	0.164
-------	---	--------	--------	--------	------	-------

Es decir, estadísticamente, no hay diferencia en los efectos al tratar térmicamente la muestra durante 25 o 35 minutos. La gráfica de efectos estandarizados confirma lo anterior (Grafico 1):

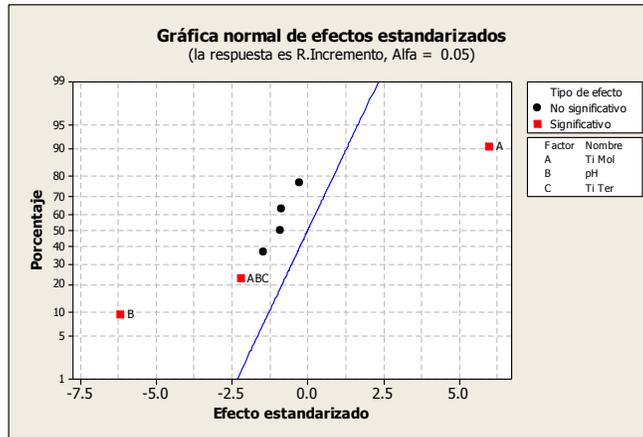


Gráfico 1.- Grafica normal de fectos estandarizados

En esta grafica se observan los efectos que sufre la variable R.Incremento al momento de modificar los factores; si los factores son significativos el cambio de estos tendrá un efecto mayor, si el factor no es significativo los efectos son nulos; por lo tanto, los factores que están lejos del

cero son los significativos, es decir, el factor A, B y ABC.

Al realizar una gráfica de efectos principales, vemos el comportamiento de cada uno de los factores con respecto a la variable de respuesta R. Incremento (Gráfico 2).

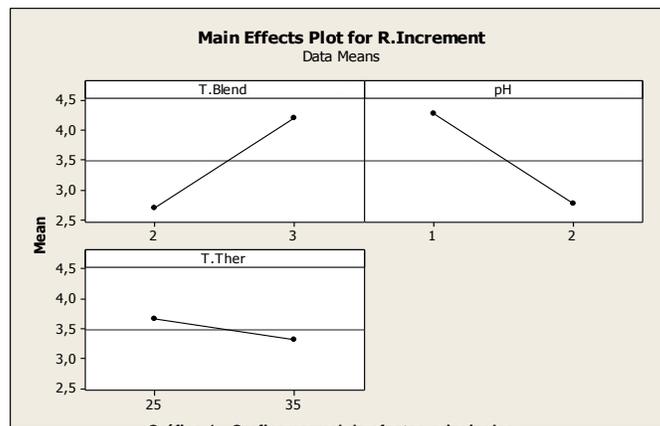


Gráfico 1.- Grafica normal de efectos principales

Por lo anterior deducimos que el factor C (T.Ter) no tiene significancia por si solo en el proceso de la hidrólisis, es decir, se producen los mismos resultados al utilizar cualquiera de los dos niveles (25 o 30 min). Por lo tanto se elige como el experimento más

apropiado aquel que presente la R.Incremento más alta cuyo tratamiento térmico sea de 25 minutos debido a que se utiliza menor cantidad de energía.

T.Mol	pH	T.Ter	Conc. Inicial	Conc. final	R.Incremento
3	1	25	5.940	32.660	5.5

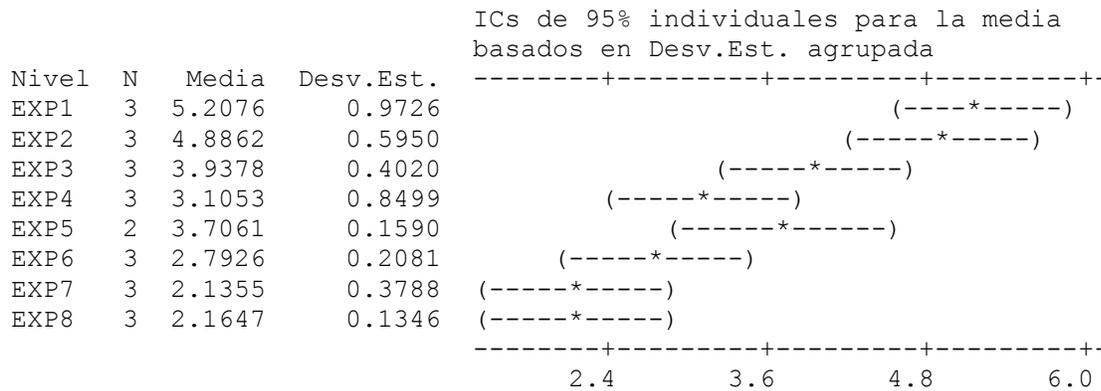
Ahora, para determinar que experimentos son significativamente iguales o diferentes realizamos una ANOVA unidireccional y el método de comparación de Tukey.

EXP1	EXP2	EXP3	EXP4	EXP5	EXP6	EXP7	EXP8
6.3	5.5	4.2	3.8	3.8	2.9	2.6	2.3
4.8	4.9	4.1	3.3	3.6	2.9	2.0	2.2
4.5	4.3	3.5	2.2		2.6	1.8	2.0

ANOVA unidireccional: EXP1, EXP2, EXP3, EXP4, EXP5, EXP6, EXP7, EXP8

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Factor	7	28.069	4.010	12.52	0.000
Error	15	4.803	0.320		
Total	22	32.872			

S = 0.5658 R-cuad. = 85.39%
R-cuad. (ajustado) = 78.57%



En esta tabla se observa el valor de F que es lo suficientemente grande para rechazar la hipótesis de igualdad (H_0), por lo cual existe al menos un par de medias que son diferentes.

A continuación se muestra el estudio de comparación múltiple de Tukey con un intervalo de confianza del 95%.

Comparación de medias mediante el método de Tukey:

	N	Media	Agrupación
EXP1	3	5.2076	A
EXP2	3	4.8862	A
EXP3	3	3.9378	A B
EXP5	2	3.7061	A B C
EXP4	3	3.1053	B C
EXP6	3	2.7926	B C
EXP8	3	2.1647	C
EXP7	3	2.1355	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Intervalos de confianza simultáneos de Tukey del 95%.

A continuación se comenta el análisis factorial:

Ajuste factorial: R.Incremento vs. T.Mol, pH, T.Ter

Efectos y coeficientes estimados para R.Incremento (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		3.4920	0.1191	29.33	0.000
T.Mol	1.4282	0.7141	0.1191	6.00	0.000
pH	-1.4687	-0.7343	0.1191	-6.17	0.000
T.Ter	-0.3488	-0.1744	0.1191	-1.47	0.164
T.Mol*pH	-0.2131	-0.1065	0.1191	-0.89	0.385
T.Mol*T.Ter	-0.0630	-0.0315	0.1191	-0.26	0.795
pH*T.Ter	-0.2091	-0.1046	0.1191	-0.88	0.394
T.Mol*pH*T.Ter	-0.5241	-0.2621	0.1191	-2.20	0.044

Mediante el Ajuste factorial pudimos encontrar un modelo matemático que representa nuestro proceso de hidrólisis donde el R.incremeto es la variable respuesta y T.Mol, pH y T.Ter las variables predictoras.

El modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned} R.Incremento = & 3.4920 + 0.7141 T.Mol \\ & - 0.7343 pH - 0.1747 T.Ter \\ & - 0.1065 T.Mol * pH \\ & - 0.0315 T.Mol * T.Ter \\ & - 0.1046 pH * T.Ter \\ & - 0.2621 T.Mol * pH * T.Ter \end{aligned}$$

Fermentación

Se llevo a cabo el proceso control de la fermentación con una concentración inicial de azúcar reductores de 30,36 g / l, un pH de 4.5 y una temperatura de

27°C, en un lapso de 24 horas.

La concentración de etanol obtenida fue 20.47g / L.

4. Conclusiones

Después del análisis estadístico de los resultados, se seleccionó el experimento 2 del diseño factorial del pre tratamiento-hidrólisis, ya que mostró la mayor concentración de azúcares reductores usando menos energía en comparación con otros experimentos.

Las referencias consultadas indican que la etapa de molienda no afecta significativamente la producción de etanol y que sólo genera un gasto de energía, pero el desarrollo de este trabajo y su análisis nos ha permitido comprobar que esta etapa si es

relevante en el proceso y debe ser utilizada para obtener una mejor concentración de etanol.

Se requiere la aplicación de procesos adicionales para hacer más eficiente la producción de etanol, como la desintoxicación después de la hidrólisis, que nos permite obtener un mosto sin inhibidores para la levadura y así mejorar el rendimiento; además implementar la reutilización de la biomasa al final de la fermentación aumentaría la eficiencia.

5. Bibliografía

1. Ayala, A.; Escamilla, E. (s.f.) Producción de etanol a partir del hidrolizado del sorgo empleando *Saccharomyces Cerevisiae* inmovilizada en ácido poligalacturónico. *Facultad de Química*. Universidad Autónoma de Querétaro. 5 pp.
2. Bastidas, T. y Cols. (s.f) Aislamiento, selección y preservación de cepas para la obtención de bioetanol a partir del rechazo de banano. *Facultad de Ciencias Químicas*. Universidad central de Ecuador. 9 pp.
3. Becerra L (s.f) La industria del etanol en México. *ECONOMIAUNAM*. Vol. 6. 82-97 pp.
4. Bullón, F. (2006) El mundo ante el cenit del petróleo. Asociación para el Estudio de los Recursos Energéticos (AEREN). 12 pp.
5. Capitulo 2. Extraído el día 2 de mayo de 2012 desde [https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:C4AijSuXCiJ:www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11963/4/CAPITULO%25202%2520BAN.doc+Los+bananos+utilizados+para+las+diferentes+experimentaciones+ fueron+obtenidos+en+mercados+locales+procedentes+del+cant%C3%B3n+Milagro.+Se+procedi%C3%B3+hacer+una+selecci%C3%B3n+de+color+como+se+muestra+en+la+figura+2.1+\(7\).&hl=es-](https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:C4AijSuXCiJ:www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/11963/4/CAPITULO%25202%2520BAN.doc+Los+bananos+utilizados+para+las+diferentes+experimentaciones+ fueron+obtenidos+en+mercados+locales+procedentes+del+cant%C3%B3n+Milagro.+Se+procedi%C3%B3+hacer+una+selecci%C3%B3n+de+color+como+se+muestra+en+la+figura+2.1+(7).&hl=es-419&gl=mx&pid=bl&srcid=ADGEEsjsKuViZdM7lydFLj8u3WhwqgO4XcEs5xcwZPl0NmjC1vnqyPB_YUJAYQen8elaJQ5bTRPNobeU_-A7cJDsE_j4ZgTurx_Zcu6Z5exyf52ty1C4R_icT7HfDv55D1d8vcpldyv&sig=AHIEtbSk3s3XvnlvyNzrMLol-oq3mbvrvw)
6. Castro, C; Valverde, M; Paredes, O; (2 de diciembre de 2009) Biocombustibles: biomasa lignocelulósica y procesos de producción. Ide@s CONCYTEG. 1246-1270 pp.
7. Demain, A. (2009). "Biosolutions to the energy problem". *Journal Industry Microbiology & Biotechnology*. 14 pp.
8. *Desechos de naranja a fabricar biocombustible*, *Zumosoil* (13 de febrero de 2007) extraído el 10 de noviembre de 2011 desde <http://www.biodieselspain.com/2007/02/13/desechos-de-naranja-a-fabricar-biocombustible-zumosoil>.
9. Determinación de azúcares por el método de DNS (2009). *Manual de prácticas de Biotecnología*. Instituto Politecnico Nacional. 2 pp.
10. Fernández, C. Garro, O. (2004) Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación. *Cátedra microbiología de alimentos, facultad de Agroindustrias*, UNNE. 3 pp.
11. Fraga, E.; (2005) Plan rector del sistema producto plátano. Extraído el día 20 de mayo de 2012 desde http://www.funprover.org/formatos/normatividad/Planes%20Rectores/Sistema_Producto_PLaTANO/Plan_Rector_PLATANO.pdf.
12. Frías, J.; (2 de diciembre de 2009) Potencial y oportunidades de desarrollo de biocombustibles a partir de materiales no alimenticios en Guanajuato. *Ide@s CONCYTEG*. 1271- 1286pp.
13. *Fuentes alternativas de energía*. Extraído el 10 de noviembre de 2011 desde <http://www.energia.gob.mx/wb2/SenerNva/ibGlosario4>.
14. Garcés A. (s.f) Detoxificación de banano verde. *Revista Lasallista de investigación*. Vol. 1. 48-55 pp.
15. Hernández, F. y Cols. (2009) Producción de Bioetanol a partir de pulpa de plátano hidrolizada. Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. 1 pp.
16. Instituto de investigaciones porcinas (2004) Bananas y plátanos para alimentar cerdos: aspectos de la composición química de las

- frutas y de su palatabilidad. *Rev.Com. de Producción Porcina*. Vol. 11. No 3. 5-24 pp.
17. Quintana, J.; Ruiz, A. (s.f) Efecto del pretratamiento térmico sobre la hidrólisis ácida del fruto de banano. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Bioprocesos y Flujos Reactivos. 2 pp.
 18. Margeot, A., y Cols. (2009). "New improvements for lignocellulosic ethanol". *Current Opinion in Biotechnology*. 2 pp.
 19. Mena, X.; Barahona, F.; Canto, B.; Rodríguez, R.; Solis, S. (s.f.) Optimización de pretratamientos para la sacarificación de residuos de plátano para la posterior obtención de etanol. Centro de investigación científica de Yucatán. 1 pp.
 20. México genera el 2% mundial de los gases con efecto invernadero. (s.f) extraído el día 8 junio de 2012 desde <http://www.cambio-climatico.com/mexico-genera-el-2-mundial-de-los-gases-con-efecto-invernadero>.
 21. MINITAP, (s.f.) *Estadísticas sobre azúcar, sazón y cualquier cosa posible: utilizando el diseño de experimentos para hornear mejores galletas*. Extraído el día 27 de Enero de 2012 desde <http://www.minitab.com/es-MX/company/basic.aspx?id=10290>.
 22. Monografía del plátano (s.f) extraído el día 7 de diciembre de 2011 desde <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20PL%20TANO2010.PDF>.
 23. Monsalve, J.; Medina, V.; Ruíz, A. (Noviembre 2006) Producción de etanol a partir de la cáscara de banano y almidón de yuca. *Grupo de bioprocesos- Grupo de combustibles alternativos*. Universidad Nacional de Colombia- Sede Medellín. 6 pp.
 24. Oviedo, L.; Lara, C.; Mizger, M. (1 de julio de 2009) Levaduras autóctonas con capacidad fermentativa en la producción de etanol. *Rev.Colomb.Biotecnol*. Vol. XI. No 1. 5-24 pp.
 25. Rubin, E. M. (2008). "Genomics of cellulosic biofuel". *Nature Reviews*, 454, 841-845.
 26. SAGARPA, (2011). *Producción Agrícola*. Extraído el día 11 de Agosto de 2012, desde http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
 27. SAGARPA, (2012). *Producción Agrícola*. Extraído el día 11 de Agosto de 2012, desde http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350
 28. Saha, B.; Iten, L.; Cotta, M.; y Wu, V. (2005). Dilute acid pretreatment, enzymatic saccharification and fermentation of wheat straw to etanol. *Process Biochemistry*. 8 pp.
 29. Sánchez, A; Gutiérrez, A; Muños, J; Rivera, C. (2010) Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. *TUMBAGA*. 61-91 pp.
 30. SENER, (2006) "Potenciales y Viabilidad del Uso de Bioetanol y Biodiesel para el Transporte en México". Informe
 31. Tiffany, D. y Edaman, V. (2005). *Agriculture as a producer and consumer of energy*. Eds Outlaw J, Collins. 8 pp
 32. Torres, J. y Cols. (Noviembre 2002) Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidro. Evaluación de propiedades físicoquímicas. *CT&F-*
 33. *Ciencia Tecnología y Futuro*. Vol.2. Núm 3. 12 pp
 34. Velásquez, H.; Ruiz, A.; Oliveira, S.; (Febrero 2010) Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. 87-96 pp.
 35. Zapata, A; Peláez, C (s.f.) Producción en continuo de etanol a partir de banano de rechazo (cáscara y pulpa) empleado células inmovilizadas. *TUMBAGA*. 49-60 pp.