

OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE LOS RESIDUOS FERMENTABLES DE MANGO Y DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS ÓPTIMOS DE DESTILACIÓN

OBTAIN BIOETHANOL FROM WASTE FERMENTABLE MANGO AND DETERMINATION OF PARAMETERS OPTIMAL DISTILLATION

Edward Florencio Aurora Vigo ¹
Eduardo Daniel Barrera Chiroque ²

Fecha de recepción: 17 mayo 2015

Fecha de aceptación: 20 de setiembre 2015

Resumen

La obtención de Bioetanol a partir de los residuos fermentables de Mango (*mangifera indica*), utilizando *Saccharomyces cerevisiae* como microorganismo fermentador, aplicando para la primera fase un Diseño Completamente al Azar (DCA) con arreglo factorial 3x2, teniendo como variables a la concentración de levadura (0.1 y 0.2 % v/v) y relación de Agua: Mosto (0:100; 35:65 y 50:50 % v/v). La caracterización de los residuos fermentables son: pH = 4.02±0.2, °Brix = 17±1.2; Azúcares reductores = 110± 2.2gr/L, Acidez titulable = 0.5±0.1, %Humedad = 79±2.1, cenizas = 3.5±0.1 y % recuperación de pulpa = 7.8 %, aplicando los métodos de análisis de la AOAC. La fermentación de los residuos (mosto), se realizó en un bioreactor de 2 Lt de capacidad (volumen de trabajo 1.5 Lt); a T°= 27°C y presión atmosférica; obteniéndose parámetros óptimos de: Levadura = 0.2% y una Relación Agua: Mosto (35:65); con una concentración de etanol (5.25%).

La obtención de Bioetanol se realizó por destilación rectificada en continuo, manejando como variables al flujo de alimentación (3, 4 y 5 L/h) y razón de reflujo (0.2, 0.5 y 0.8), resultando 9 tratamientos de los cuales se determinó que a un flujo de alimentación de 3 L/h y un reflujo de destilado de 0.8 en una columna de rectificación iniciando con 4 Lt. de fermentado, se obtiene el mejor destilado con un volumen de 994.625 mL, con una concentración de alcohol de 64.25% (p/v) y rendimiento de 60.85% de Etanol.

Palabras claves: Bioetanol, residuos fermentables, razón de reflujo, flujo de alimentación, destilación

Abstrac

Obtaining bioethanol from waste fermentable Mango (*Mangifera indica*), using *Saccharomyces cerevisiae* as a leavening microorganisms, applying for the first phase Completely Randomized Design (DCA) factorial arrangement 3x2, with the variables to the concentration of yeast (0.1 and 0.2% v / v) ratio of water: Wort (0: 100, 35:65 and 50:50% v / v). Characterization of fermentable residues are: pH = 4.02 ± 0.2, ° Brix = 17 ± 1.2; Reducers = 110 ± 2.2gr / L sugars, titratable acidity = 0.5 ± 0.1% humidity = 79 ± 2.1, 3.5 ± 0.1 ashes =% recovery and pulp = 7.8%, applying the methods of analysis of AOAC. The fermentation of waste (must), was performed in a bioreactor 2 Lt capacity (working volume 1.5 Lt); T ° = 27 ° C and atmospheric pressure; obtaining optimal parameters: yeast = 0.2% and a water: Mosto (35:65); with an ethanol concentration (5.25%).

Obtaining Bioethanol is performed by distillation rectified continuous driving as varying the feed flow (3, 4 and 5 L / h) and reflux ratio (0.2, 0.5 and 0.8), resulting 9 treatments of which is determined a feed flow of 3 L / h and a distillate reflux 0.8 in a rectification column starting with 4 Lt. fermented, best distillate is obtained with a volume of 994 625 mL, with an alcohol concentration of 64.25% (w / v) and yields 60.85% Ethanol.

¹Adscrito Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería. Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Ancash. Perú. eauroravigo@gmail.com

²Adscrito Escuela de Ingeniería Agroindustrial. Facultad de Ingeniería. Ing. Agroindustrial. Universidad Nacional del Santa. Chimbote. Ancash. Perú.

Keywords: *Bioethanol, fermentable waste, reflux ratio, feed flow, distillation*

1. Introducción

En los últimos años, en Perú se ha destacado la urgencia de realizar reformas estructurales que permitan un mayor desarrollo para enfrentar las necesidades que la globalización trae consigo. El sector energético es uno de los campos en los que se resalta la importancia de efectuar cambios y mejoras. Sin embargo, por ser un bien de interés público, las dificultades de cambio se explican por la gran rigidez en las políticas y reglamentos que regulan los procesos de producción, almacenamiento, transporte y distribución de energía; principalmente de energías no renovables. Sin embargo, es importante buscar otras soluciones orientadas más al desarrollo de sistemas eficientes en cuanto al consumo de energía y a la búsqueda de nuevas fuentes de energía, que limitarse al cambio de políticas y reglamentos de explotación, de lo que queda, de las fuentes de energía no renovables existentes (Maurice, 2007). Según la EWG (Energy Watch Group) la producción de petróleo ha declinado y se reduciría a la mitad para el 2030. Las fuentes mundiales de energía tradicionales se están agotando a un ritmo acelerado y su utilización como combustible no es apropiada ni resulta en beneficio para el medio ambiente (Remiro et al, 2009). Una de las fuentes de energía que poco se menciona en los proyectos nacionales y que ha demostrado su factibilidad en otras regiones del mundo, es la producción de etanol. Desde el punto de vista industrial, trabajar en la producción de dicho producto es fundamental, pues el etanol no sólo es una fuente de energía sino una materia prima importante en la industria (química, farmacéutica, agroalimentaria, etc.).

Entre los principales usos del etanol está la preparación de carburantes para vehículos automotores. El etanol permite un aumento del índice de octano, y por lo tanto, la reducción del consumo y reducción de la contaminación (10 a 15 % menos de monóxido de carbono e hidrocarburos). El etanol se puede mezclar con la gasolina sin plomo de un 10 % a un 25 % sin dificultad. En ciertos motores, se ha logrado incorporar hasta en un 100 % (Almeida, 2006). El etanol podría así, sustituir al metil ter-butil éter (MTBE), producto oxigenante con el que se reformulan las gasolinas en México desde 1989, y que ha permitido reducir las emisiones de CO₂. Esta acción es muy importante pues el MTBE, por ser un compuesto muy estable, de baja degradación y muy soluble en agua, ha resultado ser un contaminante de aguas subterráneas (Nava, 2006)

Una de las opciones para producir etanol es por fermentación a partir de materias primas ricas en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa, etcétera). Por tal razón, es común designar al etanol obtenido por esta vía "bioetanol". Entre estas materias primas se encuentran las frutas y vegetales como la caña de azúcar y la remolacha, los cereales (trigo, maíz, sorgo), los tubérculos (papas, yuca) y en general, materias provenientes de ligno-celulosas o de residuos orgánicos. Por otro lado, una de estas alternativas es la obtención de etanol, teniendo como materia prima los residuos de frutas provenientes de procesos agroindustriales, en este caso los residuos del procesamiento del mango (*Mangifera Indica*), con lo que buscaremos por una parte aprovechar la disponibilidad, ya que se constituyen en una alternativa viable, que amplía las posibilidades de solución a la contaminación ambiental, al ser esta una fuente de energía de costo ambiental bajo y que puede ser utilizada durante un período de tiempo más amplio si se lo compara con los combustibles fósiles. Es conveniente que los residuos agroindustriales del mango (*Mangifera Indica*), sean sometidos a un pre-tratamiento y un proceso de extracción donde se puedan liberar los azúcares fermentables.

En el Perú contamos aproximadamente con 30 empresas dedicadas a la exportación de Mango Congelado IQF, donde sus principales desechos fermentables suman aproximadamente 3000TM/día, siendo actualmente utilizadas como abonos para campos. Por lo que, en el presente trabajo se utilizara los residuos fermentables del Mango (*Mangifera Indica*) variedad "Kent" proveniente de la Industria Agroexportadora de Mango Congelado "IQF". Esto debido a

su alto contenido de azúcares, las cuales son susceptibles a someterse a un proceso de fermentación para la obtención de etanol; asimismo se busca aprovechar de estos residuos fermentables que actualmente representan aproximadamente el 5% de la Materia Prima Inicial, y así podremos contribuir con tecnologías que den un mayor valor agregado, para generar una mayor rentabilidad así como contribuir con disminución de la contaminación del medio ambiente.

2. Materiales y métodos

2.1. Análisis Físico y Químicos de los Residuos Fermentables

Se determinó la humedad por secado y por diferencia de los pesos de acuerdo al método 934.06 (37.1.10) del A.O.A.C (1996). Las Cenizas por incineración de la muestra a 650°C por 3 horas según A.O.A.C (1995) El Índice de Acidez se determinó por el Método de Titulación directa. Así como la acidez total se determinó en las muestras utilizando Hidróxido de Sodio al 0.1N, utilizando como indicador fenoltaleína, el contenido de Azúcares Reductores, por el método DNS, a una longitud de onda de 540 nm. Para la determinación de la densidad se utilizó el método del picnómetro y los grados brix con un refractómetro ABBE, el pH con un potenciómetro portátil marca Hanna Instruments. Y por último para la determinación de Grados Alcohólicos se utilizó un cromatógrafo de gases.

2.2. Descripción del proceso

Obtención de Residuos Fermentables de Mango: Los residuos de Mango fueron los generados en la industria agroexportadora de Mango Congelado IQF variedad "Kent", proveniente de la Empresa Chavin de Huantar S.A, ubicada en la Ciudad de Casma. A continuación se describen los pasos hasta la obtención del Mosto de Mango. *Extracción:* se realizó manualmente retirando de la cascara y pepa con un cuchillo, la cantidad posible de residuos representando el 8% de los residuos orgánicos totales. *Licuada,* a fin de homogenizar el tamaño de las partículas con la ayuda de una licuadora. *Separación de la fibra:* Separación de Fibra con la ayuda de un colador, con la finalidad de eliminar las fibras contenidas y así obtener un mosto homogéneo; *Pasteurizado:* a una temperatura de 70°C por 5 minutos, *Enfriamiento:* a 30°C, de tal modo de realizar un choque térmico. Al mosto obtenido se realizó los análisis fisicoquímicos anteriormente mencionados. *Almacenamiento:* a T°= 5°C, a fin de poder utilizar posteriormente en la Fermentación.

2.3. Parámetros para la evaluación de las Condiciones Óptimas de Fermentación

En la Tabla 1, se presenta la combinación de tratamientos, contando con las variables levadura (gr/L) y Relación Agua:Mosto (nivel inferior 0 / nivel medio 0.5 / nivel superior 1) y así establecer las condiciones óptimas para la fermentación de los residuos de mango para la obtención del etanol. para eliminar los microorganismos indeseables en la mezcla mosto-agua, ésta se calentara a una temperatura aproximada de 70-73 °C, y enseguida se dejó enfriar hasta los 40 °C. La activación de la levadura *Sacharomyces cerevisiae*, se realizó en 100ml de Mosto, e incubado por espacio de 30 a 45 minutos. Enseguida cada mezcla se transfirió al Biorreactor de fermentación (recipiente de plástico), donde se le agregó el inóculo, según las diferentes concentraciones de trabajo: 0.1 y 0.2%. Se aplicaron análisis de varianza (ANOVA), para un Diseño Factorial 3x2, con 6 tratamientos con 12 experimentos. Los valores reportados para las variables evaluadas con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 1
Tratamientos para la evaluación de la fermentación

Levadura (gr/L)	Relación Agua : Mosto
0.1%	0:100 (0)
	35:65 (0.5)
	50:50 (1)
0.2%	0:100 (0)
	35:65 (0.5)
	50:50 (1)

Posteriormente la mezcla mosto-agua-microorganismo de cada uno de los sistemas fue aireada (la aireación se llevó a cabo mediante adición de O₂) durante dos horas, esto con la finalidad de aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el medio, esencial para el desenvolvimiento de las levaduras. La temperatura se mantuvo en el intervalo de 29 a 31 °C, en el caso de la *Saccharomyces cerevisiae* se tiene un desarrollo óptimo entre 28 a 35°C, recomendable 30 °C. A lo largo de la fermentación, se tomaron muestras a ciertos intervalos de tiempo, para determinar la cantidad de azúcares reductores totales.

2.4. Parámetros para la evaluación de las Condiciones Óptimas de Destilación

Una vez detenida la fermentación se determinó la concentración final de etanol en cada una de los tratamientos estudiados, así el rendimiento en azúcares reductores, y volumen de fermentado, con la finalidad de determinar los mejores parámetros de fermentación. Una vez seleccionado el mejor tratamiento, se llevó a cabo la centrifugación a 4500 rpm por 20 minutos y posteriormente la destilación (a condiciones de trabajo antes mencionadas), con la finalidad de determinar los parámetros óptimos de destilación rectificadora en continuo, en la UDCA/EV; El diseño estadístico que se va a usar consiste en un diseño completamente al azar con un arreglo factorial de 3x3, es decir 9 tratamientos con 27 experimentos, cuyos resultados serán evaluados estadísticamente a fin de determinar las diferencias significativas entre ellos. Teniendo como variables independientes: flujo de alimentación (3, 4 y 5 L/h), razón de reflujo (0.2, 0.5 y 0.8); variable dependiente: concentración de alcohol del destilado. Las muestras obtenidas de las destilaciones del mosto se almacenaron en refrigeración hasta su posterior análisis por cromatografía de gases.

Se utilizó el programa Statgraphics® para optimización, el diseño a emplear es superficie de respuesta con una (1) variable de respuesta y dos (2) factores experimentales; y se empleará el diseño completamente al azar con arreglo factorial.

Las *Condiciones cromatográficas*, temperatura del inyector 200°C; temperatura del detector 200°C, velocidad de gas de arrastre (He) a 30mL/min; flujo de hidrógeno 40.0mL/min; flujo de aire 399.8 mL/min; radio de división (split) de 300.

3. Resultados

3.1. Característica Físicoquímica de los Residuos Fermentables de Mango:

Los resultados de los análisis físicoquímicos de los residuos fermentables de Mango (pulpa) se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Caracterización físicoquímica de la materia prima

Análisis	Resultados
Humedad (%)	79 ± 2.1
Cenizas (%)	3.5 ± 0.1
Índice de Acidez (%)	0.5 ± 0.2
Viscosidad (mm ² /s)	64.32 ± 1.5
° Brix	17 ± 1.2
pH	4.02 ± 0.5
Densidad	1.02 ± 0.2

3.2. Evaluación de la Fermentación Alcohólica del Mosto de Mango.

Comportamiento del pH durante el proceso de Fermentación: La medición del pH, se realizó en las tres relaciones de Agua: Mosto (0:100,35:65,50:50) para cada porcentaje de levadura (1gr/l, 2gr/l) durante todo el proceso de fermentación. Para esto, en cada intervalo de tiempo, se homogenizó el mosto mediante agitación y se efectuaba la medición respectiva del pH.

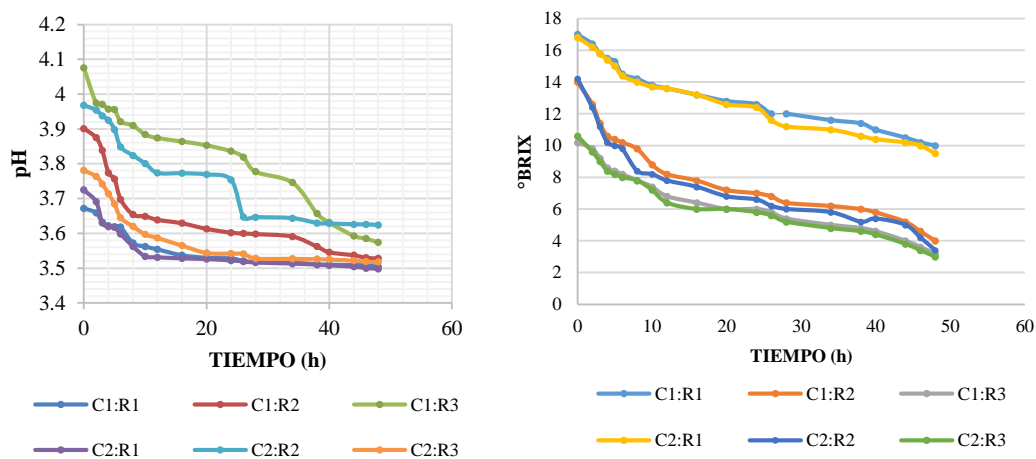


Figura 1
Comportamiento del pH y °Brix durante el proceso de Fermentación.

Análisis del Efecto de la Concentración de Levadura y Relación Agua: Mosto sobre la Concentración de Etanol Obtenido en la Fermentación.

Tabla 3
Concentración de etanol obtenido de 1.5 litros de Mosto de Mango.

MUESTRA	CONCENTRACION DE LEVADURA (%)	RELACION AGUA: MOSTO (%)	CONCENTRACION DE ETANOL PRODUCIDO (%)
1	0.1	0	3.95
2	0.1	0.5	4.68
3	0.1	1	2.95
4	0.2	0	4.25
5	0.2	0.5	5.25
6	0.2	1	3.15
7	0.1	0	3.45
8	0.1	0.5	4.5
9	0.1	1	2.85
10	0.2	0	4.15
11	0.2	0.5	5.35
12	0.2	1	3.05

Tabla 4

Análisis de Varianza (ANOVA) para el modelo matemático que evalúa la concentración de etanol.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Concentración de Levadura	0.6627	1	0.6627	21.72	0.0035
B:Relación Agua : Mosto	1.805	1	1.805	59.16	0.0003
AB	0.045	1	0.045	1.47	0.2702
BB	5.7624	1	5.7624	188.86	0.00001
Bloques	0.0645	1	0.0645	2.12	0.1961
Error total	0.1831	6	0.0305		
Total (corr.)	8.5227	11			

Fuente: Statgraphics Centurion

Del análisis estadístico mostrado en el Tabla 4, se tiene que el valor de F para los factores Concentración de Levadura y Relación Agua: Mosto son altos lo que indica que son estadísticamente significativos, a un nivel de error del 5%, así mismo los valores de P menores a 0.0500 muestra que los variables A, B y BB son significativos.

Así mismo de este análisis se obtiene que $R^2 = 97.85$, lo cual es aceptable para determinar una respuesta significativa. De esta manera se ha definido la ecuación Final del Diseño Estadístico para la concentración en alcohol. Siendo:

$$\text{Concentración de Etanol} = 3.02 + 6.2 * \text{Concentración de Levadura} + 5.38 * \text{Relación Agua: Mosto} - 3.0 * \text{Concentración de Levadura} * \text{Relación Agua: Mosto} - 5.88 * \text{Relación Agua: Mosto}^2$$

Ecuación 01^(*)

En la Figura 2, muestra que la interacción de la la concentración de Levadura y la Relación Agua: Mosto influye Concentración de Etanol, siendo así que para una Relación Agua: Mosto al 50%, Concentración de Etanol aumenta, al utilizar una concentración de Levadura al 0.2%.

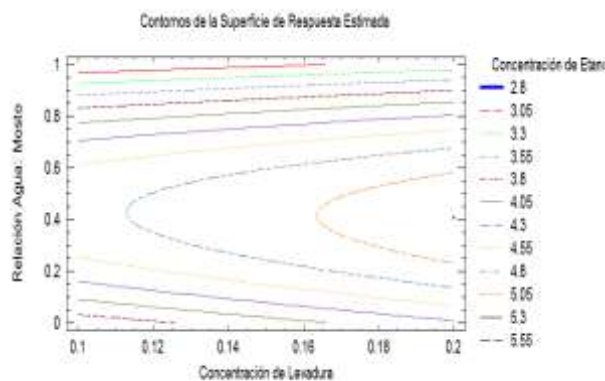


Figura 2

Efecto de la interacción de la concentración de levadura y la relación agua: mosto para la concentración de etanol.

Análisis de las Condiciones Óptimas de Destilación del Fermentado de Residuos de Mango.

Los Parámetros fisicoquímicos del Fermentado de Mango, Concentración de Etanol (%) 5.25, pH 3.89, Acidez Total (%) 0.546 y Solidos Solubles (°Brix) 3.2. Para optimizar el proceso en función de la concentración de etanol se buscó las relaciones agua: mosto y concentración de levadura que nos dieran mayor concentración en alcohol. Los parámetros óptimos de concentración de levadura y relación agua: mosto son 0.2% y 0.5 (35:65) respectivamente, siempre buscando una mayor concentración de etanol. Teniendo en cuenta que la fermentación alcohólica se inició con 14°Brix y termino con 3.2°Brix podemos hablar de un buen rendimiento de etanol al final de la fermentación

Muestra	Condición De Reflujo	Condición De Flujo De Alimentación (L/H)	Área	(*)	Concentración De Etanol (%)
1	0.2	3	15302	0.1153	34.5793
2	0.5	3	30534	0.2060	49.4439
3	0.8	3	125712	0.7731	66.6452
4	0.2	4	22675	0.1592	31.8385
5	0.5	4	43517	0.2834	34.0042
6	0.8	4	74335	0.4670	40.2570
7	0.2	5	26565	0.1943	41.1238
8	0.5	5	52283	0.3356	46.9835
9	0.8	5	123567	0.7603	57.0229

de 5.25°G.L (aproximadamente 95%). Optimizar Respuesta, Meta: maximizar la Concentración de etanol , Valor óptimo = 5.35%

Tabla 5

Determinación de la concentración de etanol empleando la curva patrón.

De la Tabla 5, podemos apreciar que a mayor reflujo mayor es la concentración de etanol y a mayor flujo de alimentación también y si empleamos la interacción de ambas los resultados es similar que a medida que vamos aumentando los parámetros va aumentando la concentración.

4. Discusión

El mango es una fruta con una humedad del 0.80%. (Sansen y Vargas, 2009). Del contenido de humedad de los residuos fermentables (pulpa) estuvo próximo a la de la literatura en donde se reportó un valor de 0.81% para el mango. (USDA, 2006).

El contenido de agua en un fermentado es importante porque está en proporción de la cantidad de solidos (°Brix) y porque en fermentación es un medio que proporciona oxígeno, que es una fuente de alimentación de las levaduras. (Sansen y Vargas, 2009).

El valor promedio obtenido en esta investigación para el pH fue de 4.02%. El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación ya que las levaduras se encuentran afectadas claramente por el ambiente, bien sea alcalino o ácido. Por regla general el funcionamiento de las levaduras está en un rango que va aproximadamente desde 3.5 a 5.5 pH. Se procura mantener los niveles óptimos de acidez durante la fermentación usualmente mediante el empleo de disolución (Gutiérrez S, 2009).

El mango es una fruta con un pH entre 3.6 y 4.6 según ficha técnica del CEPICAFE. Por otro lado, este resultado es comparable con la de la bibliografía pH = 3.86 (Sansen L y Vargas F,

2009), similar al de este trabajo. Con respecto al pH se pueden observar que existen fluctuaciones, esto puede ser generado por diversos factores, principalmente a la actividad enzimática de las levaduras quienes degradan los agentes acidificantes, produciendo de esta manera un aumento del pH, o la producción de otros agentes acidificantes dentro de la reacción (Peynaud y Blouin 2004)

Actualmente, si revisamos los reporte de producción de todas las empresas de Mango Congelado IQF, nos daremos cuenta que su RENDIMIENTO esta entre 42 a 46%, y según bibliografía el 46% del mango representan la cascara y pepa del Mango, por lo que verificamos que existe un % de Pulpa de Mango que se está desperdiciando (residuo), siendo este aproximadamente el 8%, el cual sirvió de Materia Prima para la Presente Investigación.

En la Figura 1 se puede observar la descendencia del pH con respecto al tiempo de fermentación del mosto, registrado al inicio así como a lo largo de la fermentación. De esta figura, se puede observar como el pH inicial de 4.075 va disminuyendo lentamente a lo largo del proceso de fermentación hasta llegar a un pH de 3.504, a las 30 horas de fermentación. A mayor tiempo de fermentación, la disminución del pH es lenta debido a que la concentración de azúcares es muy baja, por lo que su conversión a etanol es mínima, por lo tanto, al no haber cambios en la concentración de azúcares y etanol el pH se mantiene prácticamente constante. Entre los tratamientos se verificó que el tratamiento C1:R3, presenta valores más altos de pH, mientras que el tratamiento C2:R1, es el que presenta valores más bajos de pH, esto está en relación del contenido de azúcares.

De los datos de la Figura 1 podemos deducir que la mayor disminución de grados °Brix se da entre los días 12 y 36 horas, a partir de la 36 horas vuelve a ser lenta la disminución lo cual es correcto debido que a medida que el curso de la fermentación alcohólica avanza y la concentración de etanol aumenta la acción de las enzimas se ve frenada por este último factor (Hansen, 2000).

Otro factor importante a tener en cuenta en la fermentación es la Aireación, ya que contribuye considerablemente al adecuado crecimiento de los microorganismos. El oxígeno es especialmente necesario cuando se lleva a cabo una fermentación por lotes con altos niveles de azúcares que requieran un crecimiento prolongado de la levadura, o en procesos continuos, ya que la levadura es incapaz de crecer por más de cuatro o cinco generaciones en condiciones totalmente anaeróbicas (Kosaric et al, 1987, 603). Para ello, es necesario disponer de un sistema adecuado de agitación, de tal forma que haya un contacto permanente entre las células y el sustrato nutritivo; asimismo, es importante desalojar el dióxido de carbono que se va produciendo, ya que en concentraciones relativamente pequeñas inhibe el crecimiento celular. Este factor influyó directamente en el crecimiento y en la producción de etanol, pues cuando se obtuvo un fermentado con mayor concentración (mosto puro), se observó un medio con mayor viscosidad, por lo que existe una menor difusividad del O₂ en el medio, razón por la que se obtuvo al final una mayor concentración de azúcares residuales. Mientras que para el tratamiento que tenía una mayor dilución, se puede observar una mayor aprovechamiento de los azúcares, pero debido a que tenía una menor concentración de los mismos, la concentración de etanol resultante era baja. Por lo que se pudo verificar, que los mejores parámetros de trabajo se encontraban cuando se tenía una relación agua: mosto (35:65), pues se obtuvo una mayor concentración final de etanol.

Teniendo en cuenta que la fermentación alcohólica se inició con 14°Brix y termino con 3.2°Brix podemos hablar de un buen rendimiento de etanol al final de la fermentación de 5.25°G.L (aproximadamente 95%). Jacques et al 1999, manifiesta que según Pasteur, solo puede lograrse un máximo de 95% del rendimiento teórico, es decir, que a partir del azúcar reductor que ingresa al proceso solo el 95%, máximo ha de ser convertido a alcohol por parte de la levadura. El 5% restante es empleado para crecimiento celular, producción de otro metabolitos como ácidos orgánicos, consumo por parte de la contaminación bacteriana, conversión en productos

fermentables, entre otros; esto se pudo verificar en la experiencia, pues tuvimos un rendimiento aproximado del 95%.

Según Sansen L y Vargas M, 2009, refieren que en el proceso de fermentación de Mango se puede observar una disminución de los grados Brix, debido al consumo de los azúcares fermentables por parte de las levaduras. Es importante señalar que a partir del cuarto día, los grados Brix se mantienen constantes, indicando que la fermentación ha cesado. Con respecto al pH se pueden observar que existen fluctuaciones, esto puede ser generado por diversos factores, principalmente a la actividad enzimática de las levaduras quienes degradan los agentes acidificantes, produciendo de esta manera un aumento del pH, o la producción de otros agentes acidificantes dentro de la reacción.

Jacques et al 1999, manifiesta que según Pasteur, solo puede lograrse un máximo de 95% del rendimiento teórico, es decir, que a partir del azúcar reductor que ingresa al proceso solo el 95%, máximo ha de ser convertido a alcohol por parte de la levadura. El 5% restante es empleado para crecimiento celular, producción de otros metabolitos como ácidos orgánicos, consumo por parte de la contaminación bacteriana, conversión en productos fermentables, entre otros; esto se pudo verificar en la experiencia, pues tuvimos un rendimiento aproximado del 95%.

5. Conclusiones

- Se obtuvo etanol por medio de la fermentación alcohólica de los residuos fermentables del Mango, usando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, en un periodo de una semana, alcanzando una concentración de etanol de 5.25% (p/v).
- La caracterización fisicoquímica de los residuos fermentables del Mango, dio como resultados valores adecuados: 17°Brix, Humedad =79%, pH = 4.02 y Densidad (kg/cm³)= 1.02, % Recuperación = 7.8% que permitieron obtener bioetanol de calidad.
- Los resultados Fermentativos obtenidos en este trabajo demuestran que a una concentración de Levadura de 0.2% y una Relación Agua: Mosto de 0.5 (35:65) se obtiene una mayor Concentración de Etanol de 5.25%.
- Del presente trabajo se puede observar que la cantidad aproximada de azúcares va disminuyendo lentamente en las 12 primeras horas, esto se debe a que los microorganismos, en ese tiempo comienzan a reproducirse. Mientras que de las 16 a 34 horas, la disminución fue más rápido, y es directamente proporcional a la cantidad de sólidos solubles (° Brix).
- Se observó el comportamiento del pH es forma descendente debido al aumento de los ácidos producto de proceso de fermentación.
- Los parámetros óptimos determinados a partir del presente trabajo para la obtención de Bioetanol mediante destilación rectificadora en continuo en una UDCA/EV son: 3L/h de flujo y 0.8 de reflujo de destilado, obteniendo 994.625 mL de Destilado a 64.25°G.L, con un rendimiento de 60.85% de Etanol.
- Se cuantificó la Cantidad de Etanol presentes en los diversos tratamientos de trabajo de Destilación, cuyo valor óptimo fue 64.25% (p/v)

6. Referencias

1. Cerro Ruiz S. (2005), Evaluación de parámetros influyentes en la caracterización de un pisco mosto verde de uva Italia (*Vitis vinífera* L) de Magollo, Tacna, Ciencia & Desarrollo. Pag. 71 – 74.
2. León Castro (2009). Valoración del potencial de frutos de tres musáceas para la producción de alcohol a nivel de laboratorio. Tesis Ing. Agropecuario Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil – Ecuador.

3. Ligerio L. E. (1999), Proceso alternativo para la producción de Etanol anhidro usando una sal como agente de separación. Tesis doctoral. Universidad estatal de Campinas, Facultad de Ing. Química, Departamento de Ing. de Sistemas Químicos. Campinas - Brasil.
4. Norma UNIT 184-70, BEBIDAS ALCOHÓLICAS, Método usual, por picnometría, para determinar la densidad y la densidad relativa.
5. Salinas Fernández M. R. (2003), La destilación a presión reducida como método de separación de componentes aromáticos mayoritarios de mostos y vinos. Área de Edafología y Química Agrícola de la Escuela Universitaria Politécnica de Albacete. Universidad de Castilla - La Mancha. Pág. 217 – 222.
6. Valdés-Duque B. E., Castaño-Castrillón J. J. y Arias-Zabala M. (2002), Obtención de etanol y una bebida alcohólica tipo aperitivo por fermentación de plátano maduro. Cenicafé 53(3): 239-251.
7. Valiente-Barderas, Antonio, (1990). Diccionario de Ingeniería Química, Alhambra, México.
8. Vázquez H. J. y Dacosta O, 2007, Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas, INGENIERÍA Investigación y Tecnología VIII. 4. 249-259, 2007 (artículo arbitrado).
9. Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. Ed. Mc Graw Hill. 2007.
10. OCON, J. y TOJO, G. 1982. Problemas de Ingeniería Química Operaciones Básicas. Tomo I. Tercera Edición. Editorial Aguilar S.A. Madrid. España.
11. Gutiérrez, S. 2009. Tesis: Obtención de Bioetanol a partir del Mango Criollo del Istmo de Tehuantepec. Santo Domingo Tehuantepec Oaxaca.
12. OWEN, Wourd. 1991. Biotecnología de las Fermentaciones. Editorial Acribia, Zaragoza.
13. QUIZHPI LÓPEZ, Luis Fernando. 2008. "Obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del mercado mayorista de Riobamba". Riobamba, Ecuador. Tesis Ingeniero en Biotecnología Ambiental.
14. Ibarz, A. y Barboza – Canovas, 2009. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Segunda Edición. Ediciones Mundi – Prensa. Barcelona – España.
15. Geankoplis, C. 1995. Procesos de transporte y Operaciones Unitarias. Segunda Edición. Editorial Continental S.A. México.