

Producción de etanol a partir de *Cucumis melo* “melón” de descarte del Mercado La Hermelinda. Trujillo. Perú**Ethanol production from discarded *Cucumis melo* “melon” of La Hermelinda Market. Trujillo. Perú**OTINIANO GARCIA, Néida Milly¹; BENITES CASTILLO, Santiago²;
CABANILLAS CHIRINOS, Luis Alberto³
Universidad César Vallejo**RESUMEN**

Objetivo: Evaluar el rendimiento de la producción de etanol a partir de melón de descarte del mercado La Hermelinda de la ciudad de Trujillo. **Materiales y métodos:** Diseño no experimental, descriptivo y transversal, se trabajó con una muestra de 50 Kg de melón de descarte, por ser la fruta más abundante de la estación. Luego de la selección y limpieza de las frutas se obtuvieron 34.450 Kg de pulpa, que produjeron 17 litros de jugo con 8.5° Brix y pH 4.0. El jugo de melón fue suplementado con 1.03 Kg de azúcar doméstica, para elevar el Brix a 13°, y se desinfectó con Bisulfito de sodio. El proceso de fermentación se llevó a cabo a temperatura ambiental (20 ± 2°C) en condiciones anaeróbicas, durante 10 días con cultivo de *Saccharomyces cerevisiae*. **Resultados:** Se obtuvieron 14 litros de mosto fermentación. Se siguió dos métodos de destilación, a partir de un litro de mosto cada uno: A, realizado a 87 °C, 1 atm de presión, durante dos horas, y B a 85 °C, 1.5 atm, durante tres horas. Para comparar las medias del etanol obtenido por destilación se aplicó la prueba t de Student con 95% de confianza, obteniendo un valor p de 0.103, que indica que no hay diferencia en la producción del volumen de etanol en ambos procesos, sin embargo, hay diferencia significativa en la concentración de etanol (p<0.001), obtenida en el proceso B (66%). **Conclusiones:** El melón de descarte es una buena alternativa para la producción de etanol con un rendimiento promedio de 1864.28 Litros de etanol/tonelada de melón.

Palabras clave: Fruta de descarte, etanol, levadura, fermentación (ERIC 4097), mercado.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the performance of ethanol production from discarded melon from La Hermelinda market of Trujillo city. **Materials and Methods:** A non-experimental, simple and cross-sectional descriptive design was used, in a sample of 50 kg of discarded melon, which was the most abundant fruit of the season. After the selection and cleaning of the fruits, 34,450 kg of pulp were obtained, which produced 17 liters of juice with 8.5 ° Brix and pH 4.0. The melon juice was supplemented with 1.03 kg of domestic sugar, to raise 13 °Brix, and it was disinfected with sodium bisulfite. The fermentation process was carried out at room temperature (20 ± 2 ° C) under anaerobic conditions, for 10 days with *Saccharomyces cerevisiae* culture. **Results:** 14 liters of fermented must were obtained, from which one liter was taken for distillation following two procedures: A, carried out at 87 ° C, 1 atm of pressure, for two hours, and B at 85 ° C, 1.5 atm, for three hours. To compare the means of the ethanol obtained by distillation, the Student's t test was applied with 95% confidence, it was obtained a p value of 0.103, which indicates that there is no difference in the production of the volume of ethanol in both processes, however, there is significant difference in ethanol concentration (p <0.001), obtained in process B (66%). **Conclusions:** It is concluded that discard melon is a good alternative for ethanol production with an average yield of 1864.28 liters of ethanol / ton of melon.

Keywords: Discard fruit, ethanol, yeast, fermentation (ERIC 4097), market.


© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista UCV HACER Campus Chiclayo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Atribución - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional. (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.


Recibido: 10 de noviembre de 2021

Aceptado: 12 de mayo de 2022

Publicado: 03 de junio de 2022

¹Doctora en Ciencias Biológicas, email: notiniano@ucv.edu.pe  <https://orcid.org/0000-0001-9838-4847>

²Doctor en Ciencias Biomédicas, email: sbenites@ucv.edu.pe  <https://orcid.org/0000-0002-8511-7106>

³Biólogo – Microbiólogo, email: lcabanillas@ucv.edu.pe,  <https://orcid.org/0000-0002-9664-0496>

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Trujillo existen 44 mercados formales, los cuales producen 25 684.14 Kg/día de residuos sólidos, de estos, 19 578.24 Kg/día se producen en el mercado La Hermelinda. El 98.8 % de los residuos generados en los mercados son orgánicos, con un alto contenido de azúcares, celulosa y lignina que tratados apropiadamente podrían utilizarse como sustrato para la producción de etanol, en un proceso sostenible, de bajo costo, y con el valor agregado que al disminuir el volumen de residuos orgánicos se gozará de un ambiente más saludable (Municipalidad Provincial de Trujillo [MPT], 2019). Dentro de estos residuos orgánicos se encuentran las frutas de descarte, que no son aptas para su consumo y comercialización, y son desechadas o destinadas a la alimentación de animales, sin embargo, se puede dar un valor agregado a estos residuos, aprovechando los procesos tecnológicos y biotecnológicos para transformarlos en biocombustibles como el etanol.

La biomasa frutal generada en las ciudades, como producto de las actividades humanas y que se liberan al medio ambiente, se clasifica dentro de los residuos orgánicos y casi nunca se reutiliza, por lo que muchas veces pasa a ser un contaminante ambiental (Joner et al., 2011; Vargas & Pérez, 2018). Esta biomasa constituye un recurso renovable que puede ser utilizado como fuente de energía (Hernández, 2017).

Actualmente, un tercio de la fruta que no se exporta es destinada al consumo nacional como fruta fresca, otro tercio se utiliza como sustrato en la producción de fertilizantes orgánicos como el compost y, el tercer tercio, sigue considerándose como residuo (Guevara et al., 2012). En el caso de frutas y hortalizas se pierde entre el 40 y 50%. Esta gran cantidad de residuos hace necesaria la búsqueda de alternativas para darles un valor agregado. En este sentido, la generación de bioetanol, es una opción que permitirá reducir el volumen de residuos, planteando la producción de biocombustibles como alternativa al uso de combustibles fósiles. (Guevara et al., 2012; Joner et al., 2011)

La producción de etanol a partir de residuos orgánicos provenientes de frutas, ha despertado el

interés de muchos investigadores, quienes han empleado una gran diversidad de materias primas, así, Velásquez et al. (2010), reportaron que podría aprovecharse el excedente de la producción de banano para la producción de etanol, pues en Colombia esta producción alcanza 2 400 000 t/año entre banano de rechazo y material lignocelulósico. Por otro lado, Tejeda et al. (2010) lograron producir bioetanol por medio de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados obtenidos a partir de cáscaras de naranja y piña”, logrando mayor concentración de etanol, 8.4 mg/g, con las cáscaras de naranja que, con las cáscaras de piña, 1.0 mg/g.

Guevara et al. (2012), trabajaron con banano de rechazo, obteniendo rendimientos promedio de etanol en promedio de 0.065 litros por kilogramo de banano verde por litro de vinaza.

Guerrero et al. (2012), utilizaron hojas, tallos y pseudotallos de plátano, y reportaron que el proceso tiene un rendimiento de 24.47 litros de etanol por tonelada de materia prima, llegando a obtener 139.92 litros de etanol por una tonelada de celulosa y hemicelulosa, mientras que a nivel de laboratorio obtuvieron un volumen de etanol del 72% con un rendimiento del 4%, mientras Ospina et al. (2012), emplearon residuos agroindustriales del mango (*Mangifera Indica L*), hidrolizados con hongos, y obtuvieron un rendimiento de etanol en el hidrolizado con *Aspergillus brasiliensis* de 3,050 g alcohol/litro de solución y el hidrolizado con *Trichoderma spp* de 2,462 g alcohol/litro de solución.

El etanol o alcohol etílico pertenece al grupo de hidrocarburos naturales, su fórmula general es C_2H_5OH . Se produce industrialmente por fermentación de la glucosa, catalizada por enzimas producidas por microorganismos como la levadura *Saccharomyces cerevisiae* (Espinoza y Ovando, 2012; Artega et al., 2019), en un fermentador, en el cual se agregan determinados sustratos azucarados de origen vegetal (Dos Santos, 2016) que en el proceso son transformados en metabolitos y biomasa por acción de los microorganismos.

Según Espinoza y Ovando (2014), la producción industrial de etanol, ocurre en tres etapas bien definidas: 1) Reacciones bioquímicas, que transforman los azúcares fermentables en etanol, y otros subproductos metabólicos cuya

producción depende de los insumos utilizados y de las condiciones ambientales en las que se ocurre la reacción. 2) Clarificación o separación del etanol de los demás compuestos presentes en el mosto fermentado y la concentración para reducir su volumen. El método más utilizado es la destilación –separación de componentes– aprovechando su volatilidad relativa y sus diferentes temperaturas de ebullición y condensación, también se llevan a cabo otras operaciones unitarias como extracción, adsorción, etc. 3) El tratamiento, disposición y aprovechamiento de los subproductos remanentes de la destilación. Esta última etapa es muy importante porque permite un mejor aprovechamiento de recursos y se evita la contaminación del ambiente.

Los microorganismos que más se utilizan para la producción de etanol son las levaduras, ya que gracias a su capacidad fermentativa y a que permiten un mejor procedimiento de separación al finalizar la fermentación, además a diferencia de otros microorganismos, la producción de toxinas durante el proceso es muy baja (Yu et al., 2010), siendo la especie *Saccharomyces cerevisiae* la levadura más empleada en la producción de etanol (Naghshbandi et al., 2019). Estas levaduras reducen el piruvato a etanol en condiciones anaeróbicas, con emisiones de CO₂, usando *S. cerevisiae* se obtiene, un rendimiento estequiométrico teórico de 0,511 g de etanol y 0,489 g de CO₂ por 1 g de glucosa metabolizada. *Saccharomyces cerevisiae*, se caracteriza también porque presenta mayor eficiencia en la conversión de azúcares y por su tolerancia a concentraciones elevadas de etanol y SO₂ (Miranda-Castilleja, 2019).

Sin embargo, a nivel experimental e industrial se ha observado que solamente se logra un rendimiento teórico de etanol entre el 87% y el 95%, esto se debe a que parte de la glucosa es utilizada para producir otros subproductos. Sin embargo, su uso es preferido porque los costos de manejo son menores, y porque los subproductos de la fermentación y la concentración no crean efectos colaterales (Hernández & Acevedo, 2013).

Cuando se establece el sistema de fermentación, se debe tener en cuenta que, para lograr una buena fermentación, durante el tratamiento preliminar de debe cuidar que la concentración del azúcar, pH y temperatura sean los óptimos; así mismo si es necesario adicionar sustancias nutritivas al mosto,

y controlar la contaminación por otros microorganismos. También es importante que el microorganismo empleado sea resistente a altas concentraciones de alcohol y a las condiciones anaerobias. La destilación inmediata del producto fermentado favorece la calidad del producto fermentado (Garzón & Hernández, 2009).

Otros factores que se deben tener en cuenta son los nutrientes, para brindar a la levadura todos los elementos necesarios para su crecimiento, así como la agitación. Así mismo, controlar algunos factores que actúan como limitantes de la fermentación, entre los que se encuentra la concentración de etanol, que no debe sobrepasar el nivel de tolerancia de las levaduras (Miranda & Castilleja, 2019)), la acidez del sustrato, que debe estar en el rango de 3.5 hasta 5.5, la concentración de azúcares, cuyo rango óptimo es de 10 a 18%, la temperatura, que no puede sobrepasar los 50°C, y se debe controlar cuidadosamente para mantenerla en su valor óptimo que es de 30 °C (Garzón & Hernández, 2009).

Los vegetales ricos en carbohidratos (azúcar, almidón, celulosa, etcétera), por su alto contenido de azúcares fermentables, constituyen una buena alternativa para la producción de etanol, y el etanol obtenido por el proceso de fermentación se conoce como "bioetanol". Entre estos vegetales se encuentran las frutas, la caña de azúcar y la remolacha, los cereales (trigo, maíz, sorgo), los tubérculos (papas, yuca) y en general, las materias derivadas de ligno–celulosas o de residuos orgánicos (Vásquez y Dacosta, 2007; Vargas-Corredor et al., 2018). En la actualidad para cuidar los recursos agrícolas, se buscan materias primas no convencionales de bajo costo, como subproductos y recursos que no se utilizan para la alimentación humana o animal, y que poseen un alto contenido de almidón o azúcares fermentables (Alonso - Gomez & Bello Pérez, 2018).

Las frutas de descarte generalmente poseen un alto contenido de azúcares simples y fermentables, entre las que se encuentran la glucosa, fructosa, galactosa y sacarosa, entre otras. La ventaja de utilizar estas frutas, es que los azúcares se encuentran disponibles y no hay necesidad de realizar tratamientos previos de hidrólisis o extracción para obtener los azúcares fermentables (Garzón & Hernandez, 2009).

Esta investigación ayudará a cumplir con el objetivo de desarrollo sostenible N° 7, que trata de la producción de energía asequible y no contaminante, y también, con la Política Ambiental y el Plan de Acción Ambiental del Gobierno Regional de La Libertad, elaborada en el marco de la Política Nacional del Ambiente, el Plan Nacional de Acción Ambiental del Gobierno Regional de La Libertad – PAA-GRLL- 2013 – 2021, según el cual se espera que el 50% de los residuos sólidos no reutilizables se traten de manera adecuada, de modo que la población tenga una mejor calidad de vida, ya que al evitar la contaminación se generan ecosistemas más saludables, viables y funcionales a largo plazo. Así mismo, se contribuirá con los principios del desarrollo sostenible de la región, que son la prevención y protección del ambiente, así como la conservación y el aprovechamiento de los recursos naturales, de una manera responsable y congruente con el respeto de los derechos fundamentales de las personas (MPT, 2019).

Teniendo en cuenta que en los mercados de Trujillo se produce una alta cantidad de residuos de frutas, que pueden ser aprovechados de manera sostenible no solo para darles un valor agregado sino también para contribuir al cuidado del medio ambiente, la presente investigación se realizó con el objetivo general de “Evaluar el rendimiento de la producción de etanol a partir *Cucumis melo* “melón” de descarte procedente del mercado La Hermelinda de la ciudad de Trujillo”.

METODOLOGÍA

Se trabajó con un diseño no experimental, descriptivo, transversal.

Como población se consideraron las frutas de descarte que se generan en el mercado La Hermelinda de la provincia de Trujillo, en este caso se trabajó con el melón por ser la fruta de estación más abundante. La muestra estuvo constituida por 50 Kg de melón descartado por deterioro, obtenido mediante muestreo no probabilístico consecutivo.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Material Biológico:

Para la fermentación alcohólica se empleó un

cultivo puro de *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51, donado por el laboratorio de Ingeniería genética de la Universidad Nacional de Trujillo.

Toma de muestra y transporte

El muestreo se realizó de preferencia en horas de la mañana, aprovechando la descarga de frutas en los camiones de transporte y la eliminación de las frutas en mal estado y residuos.

Las muestras se colocaron en bolsas de polipropileno de 25 x 17 y fueron transportadas al laboratorio del Instituto de Investigación en Ciencia y Tecnología de la Universidad César Vallejo.

Obtención de etanol

La obtención de etanol se llevó a cabo en 3 etapas: recepción y caracterización físico química de la fruta, fermentación alcohólica y evaluación del rendimiento.

Etapa I. Selección y caracterización físico química de frutas y pre tratamiento

Se seleccionó la parte más fresca de la materia prima con una humedad de 86%, se retiraron la cáscara y las pepas, y se descartaron las partes que se encontraban en estado de descomposición o muy deterioradas. Se obtuvieron 18.50 Kg de pulpa de melón para su procesamiento.

Evaluación físico química del jugo de fruta

Se extrajo el jugo de una parte de las frutas y se procedió a determinar los sólidos totales, por el método de refractometría a temperatura ambiental (20 ± 2 °C), empleando un brixómetro, y el pH, que se determinó por potenciometría, mediante lectura directa en un pH metro digital (Pájaro-escobar et al., 2018; Artega et al., 2019).

Etapa II: Fermentación alcohólica.

El proceso de fermentación se llevó a cabo siguiendo el método de García et al. (2016), con algunas modificaciones, siguiendo el siguiente procedimiento:

Preparación de inóculo

El cultivo de *Saccharomyces cerevisiae*, se activó mediante siembra en superficie sobre 3 placas de agar Sabouraud e incubación a 30°C durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, se cosecharon las células de *Saccharomyces* haciendo un lavado de las placas con el jugo de melón, luego en un matraz habilitado con suministro de aire de 0.5vvm, se colocaron 1.7 litros de jugo de melón suplementado con azúcar (10% v/v del volumen total de fermentación), se inoculó con las levaduras y se colocó en un agitador orbital a temperatura ambiental (20 ± 2 °C) durante 24

horas.

Preparación y suplementación del mosto

La pulpa de melón fue pasada por un extractor de jugos, obteniendo 17 litros de jugo, con un pH de 4.0 y 8.5 °Brix. Como el melón es una fruta que contiene poca cantidad de azúcar, se optó por agregar azúcar doméstica para facilitar el proceso de fermentación, aumentando el °Brix de 8.5 a 13 (Rojas, 2017). El azúcar añadido se calculó en base a la siguiente fórmula (Pájaro-escobar et al., 2018):

$$PJ(\text{°Bd}-\text{°Ba})$$

$$\text{Azúcar añadida} = \frac{100-\text{°Bd}}{PJ}$$

En donde:

Pj = Peso del jugo.

°Bd = Grados Brix deseados.

°Ba = Grados Brix actuales

De acuerdo a esto, se agregaron 1.03 Kg de azúcar.

Posteriormente, se procedió a la desinfección del mosto agregando Bisulfito de sodio en una proporción de 0.025 g/L de jugo y se dejó en reposo 30 minutos.

Fermentación

Se preparó el sistema de fermentación utilizando un recipiente un hermético de 20 litros, en donde se colocó el jugo de melón suplementado, el inóculo de levadura y una cápsula de Complejo B para fortalecer el crecimiento de las levaduras. El recipiente se cerró herméticamente y se habilitó en la tapa una trampa de aire con filtro de algodón que permita la expulsión de CO₂, e impida la entrada de aire. se dejó en reposo a temperatura ambiental (20 ± 2 °C) durante 10 días para que ocurra el proceso de fermentación.

Término de la fermentación

Para detener el proceso de fermentación el licor obtenido se pasteurizó a 65 °C durante 30 minutos, luego se enfrió rápidamente, se colocó en botellas de 3 litros y se dejó en reposo durante 7 días para que ocurra la sedimentación de la levadura dando lugar a la clarificación del mosto fermentado.

Clarificación

Una vez transcurridos los 7 días, se trasvasó el mosto fermentado, cuidando de no arrastrar el sedimento. Se obtuvieron 14 litros de mosto fermentado, a los cuales se les determinó el grado alcohólico, empleando un alcoholímetro de vidrio con escala de 0 a 100%, el pH y los grados °Brix finales, a 20 ± 2 °C.

Evaluación del mosto fermentado:

En el mosto clarificado, se evaluó el pH final, por el método de potenciometría, los sólidos solubles totales (°Brix) por refractometría y el grado alcohólico, empleando un alcoholímetro de vidrio con escala de 0 a 100% 20 ± 2 °C.

Destilación

Se realizó el proceso de destilación fraccionada que es una variante de la destilación simple, partiendo de 1L del mosto fermentado.

Se llevó a cabo utilizando 2 procedimientos:

Proceso A: destilación a 85 °C, a 1 atm de presión durante dos horas.

Proceso B: destilación a 85 °C, a 1.5 atm de presión durante tres horas.

Se midió el volumen de etanol obtenido en una probeta graduada y se determinó el grado alcohólico del destilado mediante la medición de la densidad con un alcoholímetro de vidrio con escala de 0 a 100%.

Cada proceso se realizó por quintuplicado.

Etapa III: Evaluación del rendimiento del bioproceso

Se calculó la cantidad de etanol producido por tonelada de melón de descarte (Litros de etanol/ tonelada de fruta).

Métodos de análisis de datos

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando las medidas de tendencia central y desviación estándar. Para comparar el volumen de producción de etanol en los procesos de destilación, se analizaron los datos para ver si tenían una distribución normal, y se utilizó la prueba t de Student para comparar las medias del volumen de etanol obtenido en ambos procesos de destilación con 95% de confianza. Se siguió el mismo procedimiento para comparar el rendimiento de etanol entre ambos procesos.

RESULTADOS

Preparación y suplementación del mosto para la fermentación:

Para la producción de etanol a partir de melon de descarte procedente del mercado La Hermelinda de la ciudad de Trujillo, se estableció un sistema anaeróbico en un recipiente hermético de 20 litros (Figura1), en el cual se colocó el jugo de melon suplementado, el inóculo y se dieron las condiciones para iniciar adecuadamente el proceso de fermentación (Tabla 1).



Figura 1.

Tanque de fermentación en condiciones de anaerobiosis para la producción de etanol a partir de *Cucumis melo* "melón" de descarte procedente del mercado La Hermelinda de la ciudad de Trujillo.

Tabla 1

Componentes y características del mosto de melón para la obtención de etanol.

| Componentes y características | Cantidad |
|--|------------|
| Volumen de mosto | 17.00 L |
| Azúcar | 1.03 Kg |
| Volumen de inóculo de <i>S. cerevisiae</i> | 1.7 L |
| Complejo B | 1 cápsula |
| Bisulfito de Sodio | 0.43 g |
| Sólidos totales de mosto suplementado con azúcar | 13.0 °Brix |
| pH inicial | 4.0 |
| Volumen total de trabajo | 18.70 L |
| Tiempo de fermentación | 10 días |

Obtención del mosto fermentado:

Después de 10 días de fermentación a temperatura ambiental (20 ± 2 °C), se obtuvo un mosto fermentado con un pH final promedio de 3.0 y grado alcohólico de 9% (volumen), como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2

Características del mosto fermentado de *Cucumis melo* "melón".

| Característica | Valor promedio |
|------------------|----------------|
| Sólidos totales | 8.0 °Brix |
| Grado alcohólico | 9.0 %/vol |
| pH | 3.0 |
| Volumen total | 14 L |

Evaluación del rendimiento del proceso

En la Tabla 3, se muestra la comparación de los promedios del volumen y del porcentaje de etanol producido mediante proceso de destilación del mosto fermentado, en donde se puede observar que no hay diferencia en las medias de los volúmenes de etanol producidos en ambos procesos de destilación ($p > 0.05$), lo que se corrobora en la Tabla 4, al comparar el

rendimiento de la producción en ambos procesos. Sin embargo, en la Tabla 3, también se puede observar que, al comparar las medias de la concentración de etanol, se obtuvo un valor p menor de 0.001, que indica que existe una diferencia altamente significativa en la concentración de etanol obtenida en el proceso B.

Tabla 3

Volumen y concentración de etanol obtenido mediante proceso de destilación a partir de *Cucumis melo* "melón" de descarte procedente del Mercado La Hermelinda. Trujillo. Perú.

| | Grupos | N | Media | DS | Desv. Error promedio | Significancia (t de Student) |
|-----------------------------|-----------|---|-------|------|----------------------|------------------------------|
| Volumen de etanol/L | Proceso A | 5 | 93.94 | 0.69 | 10.41 | 0.103 |
| | Proceso B | 5 | 93.21 | 0.55 | 8.33 | |
| Concentración de etanol (%) | Proceso A | 5 | 51.20 | 1.64 | 0.73 | 0.000 |
| | Proceso B | 5 | 66.00 | 4.18 | 1.87 | |

Tabla 4

Rendimiento de la producción de etanol a partir de *Cucumis melo* "melón" de descarte procedente del Mercado La Hermelinda. Trujillo. Perú.

| | Grupos | N | Media | Desv. Desviación | Desv. Error promedio | Significancia (t de Student) |
|-------------|-----------|---|---------|------------------|----------------------|------------------------------|
| Rendimiento | Proceso A | 5 | 1878.84 | 13.84 | 6.19 | 0.103 |
| | Proceso B | 5 | 1864.28 | 10.98 | 4.91 | |

DISCUSIÓN

En la tabla 1 se presentan los componentes y características del mosto de melón para la obtención de etanol antes de ser sometido al proceso de fermentación, en donde se observa que el sistema de fermentación inicia con una concentración de Sólidos Solubles Totales (SST) de 13 °Bx. Este contenido de SST, fue corregido agregando azúcar doméstica, ya que el jugo de melón presentó una concentración de 8.5 °Brix.

El contenido de SST es importante, no solamente porque sirve como referencia de aceptación de la fruta en el mercado, con una variación mínima de 8 a 10 °Brix, ya que algunos autores como Padin (2012), señalan que un melón con un índice de refracción menor a 8.5 no es aceptable para el

consumo, en este caso la fruta estaba en el límite de aceptación. La concentración de azúcar expresada en grados Brix, también da una idea del grado alcohólico que se puede obtener de la fruta, una mayor concentración de azúcar garantiza una mayor producción de etanol, por esta razón hubo una necesidad de incrementar los sólidos solubles totales (SST) mediante la adición de azúcar doméstica, para incrementar los SST de 8.5 a 13 ° Brix, y de este modo garantizar una buena fermentación alcohólica por *Saccharomyces cerevisiae*.

A pesar que existen bacterias y otros microorganismos productores de etanol, en este caso, para la fermentación se utilizó *Saccharomyces cerevisiae*, porque esta levadura posee atributos únicos como una rápida velocidad de crecimiento, alta producción de etanol y una buena tolerancia a las condiciones ambientales adversas como los altos niveles de etanol y la baja concentración de oxígeno (Naghshbandi et al., 2019).

En cuanto al pH inicial, se inició con pH 4, el cual es apropiado para lograr el proceso de fermentación ya que *Saccharomyces* crece óptimamente en pH de 3.5 a 4.5. (Vasco-Echevarry et al., 2013; Freitez et al., 2019). El pH ácido es importante porque además de evitar el crecimiento de bacterias contaminantes, garantiza la calidad del proceso de fermentación ya que, para mantener la actividad de las levaduras, es necesario mantener la acidez. (Rafael, 2020). Este PH inicial, tiende a disminuir durante el proceso de fermentación, alcanzando un valor de 3 como se puede observar en la Tabla 2, esto se debe a que, durante la fermentación, también ocurre la producción de ácidos orgánicos, que se forman al tomar los nitrógenos de los aminoácidos, que pierden su carácter anfótero. Este resultado coincide con lo reportado por Freitez et al. (2019), quienes obtuvieron un pH final de 3 cuando realizaron la producción de etanol a partir de residuos de frutas, debido a la producción de ácidos orgánicos.

También se observa una disminución de la concentración de azúcares al disminuir los SST de 13 a 9 °Brix, mientras se produce una concentración de etanol de 9% (volumen), lo que podría compararse con lo observado por Gong et al. (2017), quienes al producir un vino de Pitaya, obtuvieron 11.2% de etanol (v/v), con una

variación en la concentración de azúcar de 173.79, aún cuando emplean otras unidades de medida, se puede observar la disminución de la concentración de azúcar para producir el etanol por *Saccharomyces cerevisiae*, que se encarga de convertir los azúcares en OH (alcohol) y CO₂ (Artega et al., 2019), estableciendo la siguiente ecuación $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2ATP$ (Freitez et al., 2019; Rafael, 2020).

En cuanto al proceso de fermentación propiamente dicho, en la figura 1 se presenta el tanque de fermentación que operó en condiciones de anaerobiosis, se trabajó en un tanque transparente ya que esto posibilita visualizar el proceso y tomar medidas correctivas en caso de presentarse exceso de espuma u otros problemas asociados. En este caso se dejó fermentar durante 10 días para lograr la completa transformación del contenido de azúcar a etanol, ya que el objetivo no fue preparar un “vino de fruta”, sino obtener etanol que pueda utilizarse a nivel industrial. Se trabajó a temperatura ambiental (20 ± 2 °C), porque la mayoría de microorganismos de uso industrial son mesófilos y trabajan entre 20 a 45 °C, siendo la temperatura ideal para los procesos de fermentación, adecuación y reproducción de la levadura entre 22 y 27 °C, a más de 45°C se produce la muerte de las levaduras (Rafael, 2020)

En la Tabla 3, se muestra la comparación de los promedios del volumen y de la concentración de etanol producido mediante proceso de destilación del mosto fermentado, en donde se puede observar que no hay diferencia en las medias de los volúmenes de etanol producidos en ambos procesos de destilación ($p > 0.05$), lo que se corrobora en la Tabla 4, al comparar el rendimiento de la producción en ambos procesos. En la Tabla 3, también se puede observar que, al comparar las medias de la concentración de etanol, se obtuvo un valor p menor de 0.0001, que indica que existe una diferencia altamente significativa en la concentración de etanol obtenida en el proceso B, lo que indicaría que tanto la presión como el tiempo de destilación influyen en la concentración de etanol.

Los resultados obtenidos en esta investigación, indican que las frutas de descarte como el melón son una buena alternativa para la producción de etanol, y que de este modo se puede contribuir a disminuir el volumen de biomasa vegetal que pasa

a convertirse en un contaminante ambiental. Sin embargo, se debe seguir haciendo pruebas para optimizar la producción de etanol y evaluar algunos aspectos como la composición del etanol obtenido y el rendimiento que podría obtenerse con otras frutas de estación.

CONCLUSIONES

Se determinaron las características del mosto fermentado de melón, el cual presentó 8.0°Brix, pH 5,5, con un grado alcohólico de 9:0%.

No hay diferencia significativa en el volumen de etanol obtenido cuando se varía la presión atmosférica y el tiempo de destilación ($p > 0.05$), obteniéndose un volumen promedio de 93.6 mL/litro de mosto fermentado.

Hay diferencia significativa en la concentración de etanol obtenido en los dos procesos de destilación ($p < 0.001$), obteniéndose mayor concentración de etanol (66% v/v) cuando la destilación se lleva a cabo a 85 °C, 1.5 atm de presión durante 3 horas.

No hay diferencia significativa en el rendimiento de etanol obtenido cuando se varía la presión atmosférica y el tiempo de destilación ($p > 0.05$), obteniéndose un rendimiento promedio de 1864.28 Litros de etanol/tonelada de melón cuando la destilación se lleva a cabo a 85 °C, 1.5 atm de presión durante 3 horas.

REFERENCIAS

- Alonso-Gómez, L., y Bello-Pérez, L. (2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia*, 52(7), 967-990. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000700967&lng=es&tlng=es.
- Arteaga, R., Mendoza F., Vargas, P., Y Barre R. (2019). Monitoreo del proceso fermentativo de cuatro licores de frutas (*Passiflora edulis*, *Citrus cinensis*, *Citrus nobilis* y *Citrus máxima*). *KOINONIA*, V (8), 752 – 764. <http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v4i8.485> M.
- Dos Santos, R. (2016). *Producción de etanol a partir de frutas tiradas a la basura en el Centro de Abastecimiento Caruaru (CEACA) (Tesis de pregrado)*. Fundación Universidad de América. Caruaru. Brasil. <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/546/1/6102511-2016-2-IQ.pdf>
- Espinoza, R., y Ovando. C. (2014). Producción de etanol en: Melgar M, Menser A, Orozco A, Perez O, Espinoza R. (Ed.), *El cultivo de la caña de azúcar en Guatemala* (p 382). Artemis Edinter S.A. 978-9929-40-469-4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=572719>
- Freitez N., Vásquez, M., Gonzáles, C., y Renaud, D. (2019). Producción de etanol a partir de desechos frutales mediante fermentación alcohólica. *Ciencia en Revolución*, 5(15), 61-71. <http://cienciaenrevolucion.com.ve/15/Art6Agosto2019.pdf>
- García, L., Florez, C., Marrugo, Y. (2016). Elaboración y caracterización fisicoquímica de un vino joven de fruta de borjón (*B. patinoi* Cuatrec). *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 27(52), 507-519, <https://www.redalyc.org/pdf/145/14547610020.pdf>
- Garzon, S., Hernández, C. Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae* silvestre, *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 9763 y *Candida utilis* ATCC 9950 (Tesis de pregrado) Universidad tecnológica de Pereira. Colombia. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1689/66182g245.pdf;jsessionid=71E2EF4A02AF126F3BCD4755C02A4D08?sequence=1>
- Guevara, A., Arenas, A., Mejía, A., y Peláez, C. (2012). Obtención de Etanol y Biogás a Partir de Banano de Rechazo. *Información Tecnológica*, 23(2), 19–30. doi:10.4067/s0718-07642012000200004
- Gong X., Yang, Y., Ma, Li., Peng, S., & Lin, M. (2017). *Fermentation and Characterization of Pitaya wine*. IOP Conf. Series: 1st International Global on Renewable Energy and Development (IGRED 2017). doi:10.1088/1755-1315/100/1/012029
- Hernández, J., y Acevedo, J. (2013). Producción

- de etanol por *Saccharomyces cerevisiae* a partir de glicerina, subproducto de biodiesel. *Ingeniería solidaria*, 9(16), 97. <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i16.532>
- Hernández, C. (2017). Obtención de bioteanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta (Tesis de maestría). Oviedo. España. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43613/TFM_CeliaHernandezGalindo.pdf?sequence=6&isAllowed=y
- Joner, G., Schutz, F., & Steinmacher, N. (24 – 28 julho 2011). *Obtencao de etanol a partir de biomasa de frutas*. XL Congresso brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2011. – Cuiabá-MT. Brasil. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/22000715>
- Miranda-Castilleja, D., Ortiz-Barrera, E., Arvizu-Medrano, S., Ramiro-Pacheco, J., Aldrete-Tápia, J., y Martínez-Peniche, R. (2015). Aislamiento, selección e identificación de levaduras *Saccharomyces* spp. nativas de viñedos en Querétaro, México. *Agrociencia*, 49(7), 759-773. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952015000700005&lng=es&tlng=es.
- Municipalidad Provincial de Trujillo – SEGAT. (2019). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del distrito de Trujillo. Perú.
- Naghshbandi, M. P., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Gupta, V. K., Sulaiman, A., Karimi, K., ... Maleki, M. (2019). *Progress toward improving ethanol production through decreased glycerol generation in Saccharomyces cerevisiae by metabolic and genetic engineering approaches*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115, 109353. doi: 10.1016/j.rser.2019.109353
- Ospina, S., Hernández, E., y Lozano C. Estudio experimental del proceso de fermentación de residuos agroindustriales del mango (*Mangifera Indica* L) usando *Saccharomyces cerevisiae*. [Tesis de pregrado]. Universidad Católica de Manizales. Facultad de Salud Programa de Bacteriología Grupo de Investigaciones Biológicas-GIBI; 2012.
- Padin, C., Goitia, Hernández, R., y Leal I. (2012). Caracterización química y sensorial de vino artesanal de melón (*Cucumis melo* L. var. *reticulatus* Naud., cv. Ovation). *Revista Venezolana de Ciencia y tecnología de Alimentos*, 3(2), 270-284. C., Goitia, R., (2012) <https://drive.google.com/file/d/1xCJTjQUq5oi2gFxFxJiCftvFaV1nbjKdIy/view>,
- Pájaro-Escobar, H., Benedetti, J., y García-Zapateiro, L. (2018). Caracterización Físicoquímica y Microbiológica de un Vino de Frutas a base de Tamarindo (*Tamarindus indica* L.) y Carambola (*Averrhoa carambola* L.). *Información tecnológica*, 29(5), 123-130. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000500123>
- Rafael, K. (2020). Diseño de un proceso de Fermentación alcohólica (Tesis de pregrado). Universidad nacional Faustino Sánchez Carrión. Huacho. Perú. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4336>
- Rojas, A. (2017). Elaboración de una bebida destilada a partir de *Prunus pérsica* (Durazno Huaycott) procedente del distrito de Atavillos Bajos – Huara (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Perú. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/4378>
- Tejeda, L., Tejeda, C., Villabona, A., Alvear, M., Castillo, C., Henso, D., Marimón, W., Madarriaga, N., y Tarón A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. *Revista Educación en Ingeniería*, (10), 120-125. <https://educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/104/91>
- Vargas, Y., y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad De Ciencias Básicas*, 1(1), 59-72. <https://doi.org/10.18359/rfcb.3108>
- Vasco Echeverri O., Ramírez Carmona M., Vélez Salazar Y., y Ramírez M. G. (2014). Producción de bioetanol empleando

fermentación tradicional y extractiva a partir de jugo de fique. *Hechos Microbiológicos*, 4(2), 91-97. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/hm/article/view/21090>

- Vázquez, H.J, & Dacosta, O. (2007). Fermentación alcohólica: Una opción para la producción de energía renovable a partir de desechos agrícolas. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 8(4), 249-259. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432007000400004&lng=es&tlng=es.
- Velásquez, H., Ruíz, A., y De Oliveir, S. (2019), Análisis energético y exergético del proceso de obtención de etanol a partir de la fruta del banano. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, (51), 87-96. <https://www.redalyc.org/pdf/430/43016341010.pdf>
- Yu, K.O., Kim, S.W., & Han, S.O., 2010. Engineering of glycerol utilization pathway for ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresour. Technol.* 101(11), 4157–4161. ISSN: 0120-6230. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.066>