

Obtención de bioetanol a partir de un fermentado de tuna (*Opuntia ficus indica*) residual en la región de Tacna

*Obtaining bioethanol from a residual fermented prickly pear (*Opuntia ficus indica*) in the Tacna region*

Ibeth Machaca Catacora¹

Luciana Carrera Leiva²

Nicolle Paredes Ureta³

Paola Pilar Quispe Barrera⁴

ORCID: 0000-0001-7372-3136

ORCID: 0000-0002-0385-113X

ORCID: 0000-0002-6803-259X

ORCID: 0000-0001-9199-9371

Resumen

Encontrar sustitutos a los hidrocarburos combustibles es uno de los focos de investigación más importantes en la ciencia. Desde años atrás, los residuos lignocelulósicos fueron identificados como eficientes materias primas para la producción de lo que hoy en día se conoce como etanol. Es así que, en este artículo se plantea como objetivo obtener bioetanol a partir de un fermentado de tuna residual en la región de Tacna, justificando el uso de esta materia prima debido a que sus residuos son de fácil obtención y costo gratuito. Mediante un proceso fermentativo usando *Saccharomyces cerevisiae* y una posterior destilación, fue posible obtener bioetanol con un grado alcohólico máximo de 48° alcohólicos; resultados que demuestran factibilidad para llevar las pruebas a laboratorios especializados y obtener porcentajes aún mayores de pureza alcohólica.

Palabras clave: bioetanol; fermentación; residuos orgánicos; *Saccharomyces cerevisiae*; tuna

Abstract

*Finding substitutes for hydrocarbon fuels is one of the most important research focuses in science. Years ago, lignocellulosic residues were identified as efficient raw materials for the production of what is now known as ethanol. Thus, in this article, the objective is to obtain bioethanol from a fermented residual prickly pear in the Tacna region, justifying the use of this raw material because its residues are easily obtained and cost free. Through a fermentation process using *Saccharomyces cerevisiae* and subsequent distillation, it was possible to obtain bioethanol with a maximum alcohol content of 48° alcohol content; results that demonstrate the feasibility of taking the tests to specialized laboratories and obtaining even higher percentages of alcoholic purity.*

Keywords: bioethanol; fermentation; organic waste; *Saccharomyces cerevisiae*; prickly pear

¹ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. E-mail: imachacac@unjbg.edu.pe

² Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. E-mail: lcarreral@unjbg.edu.pe

³ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. E-mail: nparedesu@unjbg.edu.pe

⁴ Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú. E-mail: paolaqb@unjbg.edu.pe

Introducción

El proceso de obtención de combustibles (biocombustibles) de materia orgánica por la acción de organismos desde hace décadas viene siendo estudiado en muchos países (Amaris *et al.*, 2015), la variedad y tipo de biocombustible se relaciona con la materia prima y el tipo de proceso puede ser de una primera hasta una tercera generación (Salinas y Gasca, 2009).

La utilización y obtención de energías alternativas representan una oportunidad de reaprovechamiento respecto a los residuos sólidos orgánicos, además de tener actual relevancia permite que se aprovechen los residuos orgánicos, contribuir con la salud ambiental y generar un impacto positivo desde el punto de vista económico como también social. Uno de los biocombustibles es el alcohol etílico que puede ser producido de residuos orgánicos contaminantes del ambiente y que se genera en grandes cantidades (Serna *et al.*, 2011). El bioetanol elaborado a partir de productos o subproductos orgánicos es considerado como una energía renovable que se basa su obtención en procesos fermentativos de substratos azucarados como el de la tuna.

El presente trabajo busca proponer una alternativa de solución a través del reaprovechamiento de residuos orgánicos de la tuna, los cuales se disponen como materia prima para la elaboración de bioalcoholes. Los residuos de la tuna (*Opuntia ficus indica*), como la cáscara, suponen una problemática de acumulación de residuos sólidos orgánicos en distintos puntos de la ciudad, sobre todo en centros de abasto y mercados locales, generando problemas ambientales. En la búsqueda del cumplimiento de dicho objetivo se realizará un proceso de fermentación y destilación a la cáscara de la tuna, posteriormente se pretende calcular el rendimiento y realizar un análisis estadístico para determinar la variación entre tratamientos.

El alcohol etílico, combustible de segunda generación, obtenido de materiales lignocelulósicos bioetanol producido a partir de materias lignocelulósicas, también llamado de segunda generación, es un producto del futuro, no tiene competencia con el uso de áreas agrícolas porque emplea los residuos lignocelulósicos. Este alcohol comercialmente ya es producido en EUA y Brasil de forma masiva y alternativa al de la gasolina por competir energéticamente y en precio (Chandel *et al.*, 2014).

El desarrollo y aplicación de las tecnologías limpias implica aprovechar residuos de materiales orgánicos y esto es lo que actualmente se viene implementando sobre todo en la agroindustria, por lo cual las diferentes partes de un fruto como coronas o extremos, pieles, semillas y cáscaras se utilizan para la generación de alimentos con beneficio económico y ambiental para el hombre (Cerezal & Duarte, 2005).

Las partes de las frutas no comestibles como las pieles, cáscaras y semillas de tuna son usadas para extraer sustancias importantes. Cuando la pulpa residual de la cáscara se aprovecha, esta es fermentada y destilada para producir alcohol. Por esta razón, los residuos de cáscaras de tuna están siendo estudiados para su fermentación considerando que tienen a su vez abundante lignocelulosa. La tuna se cultiva y tiene una distribución amplia en los andes peruanos y es importante en las actividades agropastoriles, es una planta de gran importancia en los sistemas agropastoriles en valles interandinos de los andes peruanos (Gerencia Regional Agraria La Libertad, 2009). Los frutos lo consumen campesinos y pobladores de estos valles, asimismo son comercializados; se obtiene de ellos bebidas y mermeladas. Los tallos se usan para el ganado como forraje, principalmente en tiempos de sequía, y para cercos vivos. Cuando la planta muere, es usada para obtener fertilizantes orgánicos.

A nivel mundial, cada día aumenta el número de productores de tuna, para aprovechar el fruto, en Chile, Perú, Sudáfrica, Colombia, Argentina, Bolivia, EE. UU, etc. Los frutos de la tuna presentan una alta concentración de azúcares como fructosa y glucosa, los cuales son sustratos para obtener etanol (López-Espinosa, et al, s/f).

En la fermentación para producir bioetanol, es recurrente el uso de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Una levadura glucolítica que obtiene la energía a partir de la glucosa y con elevada capacidad fermentativa. Este microorganismo esponja el pan y realiza una fermentación alcohólica en la obtención de cerveza y vino, y provee de energía en presencia o no de oxígeno, producto de un proceso redox endógeno, por la que la mitad de moléculas del azúcar dona electrones a la otra mitad (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Los alimentos proveen de energía a los seres vivos transformándose en glucosa para la respiración celular, ya sea aerobia o anaerobia. La fermentación es una respiración anaerobia, que comprende la degradación de sustancias o un proceso catabólico, es propia de bacterias y levaduras. Cuando la fermentación es alcohólica sucede el metabolismo del piruvato que origina como producto etanol.

En las fermentaciones alcohólicas, el etanol se produce junto con otras sustancias por lo que es necesario separarlo y para esto se emplea la destilación, que permite separar los diversos componentes de una mezcla líquida sustentado en las diferencias de los puntos de ebullición de cada componente de la mezcla que, cuando esta diferencia es más amplia y la destilación es más eficaz, habrá un grado de pureza mucho mayor (TP - Laboratorio Químico, 2015). El etanol actualmente está reemplazando al consumo de hidrocarburos.

Materiales y métodos

Para el proceso de fermentación se usaron: Cáscara de tuna, baldes, plástico, manguera de látex (01), levadura *Saccharomyces cerevisiae* seca de marca Mauripan y azúcar rubia. Posteriormente, para la destilación se utilizó: olla a presión, alambre de cobre de un cuarto de pulgada, dos picos enroscables, clavos, varilla de madera del diámetro del balde, abrazaderas, cocina eléctrica, alcoholímetro y cerillos. Finalmente, para el análisis de productos fueron necesarios: una luna de reloj, así como los cerillos y alcoholímetro ya mencionados.

Obtención de materia prima

A partir de 32 kilogramos de cáscara de tuna recolectada, se obtuvo 12.155 k de pulpa. Luego, se licuaron y se dispusieron en dos baldes, cada uno con 6.150 litros.

Activación de la levadura

- La levadura usada fue *Saccharomyces cerevisiae*, obtenida de la levadura seca instantánea de marca Mauripan.
- Se realizó la activación siguiendo la relación de: para 250 mL de líquido a fermentar son necesarios 20 mL de levadura activada. La activación previa se hizo con 20 mL de agua hervida tibia y 3 g de azúcar; luego, se adicionó y diluyeron 0.4 g de levadura (Arimuya y Tecco, 2014).
- Para calcular la levadura necesaria en nuestro caso (T1), se realizaron los cálculos correspondientes que indicaron que eran necesarios 9.48 g de levadura seca para los 6150 mL de jugo de nuestro primer balde.

- Para el segundo balde (T2) y la evaluación del efecto de la levadura en el fermento, se duplicó la cantidad de esta, mas no la de agua. Siendo en este caso necesarios 19.68 g. de levadura seca.

Fermentación

Se dejaron fermentar los baldes por 6 días, fermentación alcohólica donde se aseguró la generación de CO₂. Se midió el peso cada 12 horas. De igual modo, se midió su pH.

Transcurridos los 5 días, se realizó la filtración de los productos, se efectuó la medición de pH y de grados alcohólicos.

Elaboración del destilador

Una vez conseguido todos los materiales, lo primero que se realizó fue enroscar el alambre de cobre dándole un diámetro de una (1) pulgada para tener el condensador. Luego, se conectó la manguera por un extremo al pico de la olla a presión, y el otro extremo al condensador. Posterior a eso, se colocó el condensador de cobre dentro de un balde con tres agujeros, dos de ellos para que se mantenga el flujo de agua y uno para la salida del destilado.

Destilación

Se encendió la cocina eléctrica y se dejó calentar 30 minutos antes de colocar la olla, controlando siempre la temperatura.

Análisis de productos

El líquido obtenido pasó por un análisis organoléptico, prueba de la llama, medición de pH, y medida de grados alcohólicos.

Cálculo de rendimiento

Se calculó el rendimiento del alcohol con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{\text{Alcohol destilado en mL}}{\text{Volumen de disolución}} \times 100$$

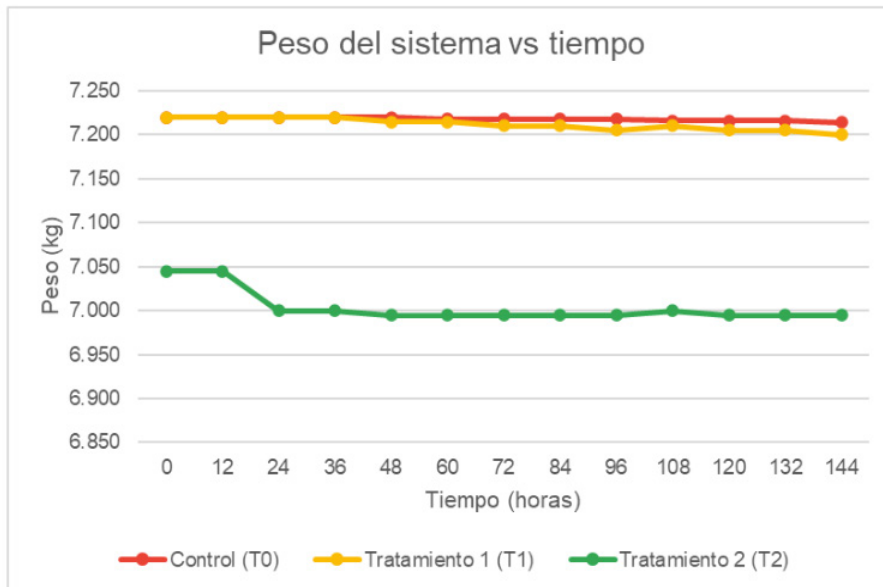
Resultados

Los resultados obtenidos se contrastan por la cantidad de levadura considerada para el proceso de fermentación. Para el análisis de resultado, se tomó en cuenta que el control se denominó "T0", el tratamiento 1 fue denominado "T1" (correspondiente a una proporción 1:1 de levadura) y el tratamiento 2 se denominó "T2" (correspondiente a una proporción 2:1 de levadura).

Peso del sistema

Figura 1

Comportamiento del peso del sistema con respecto al tiempo de fermentación

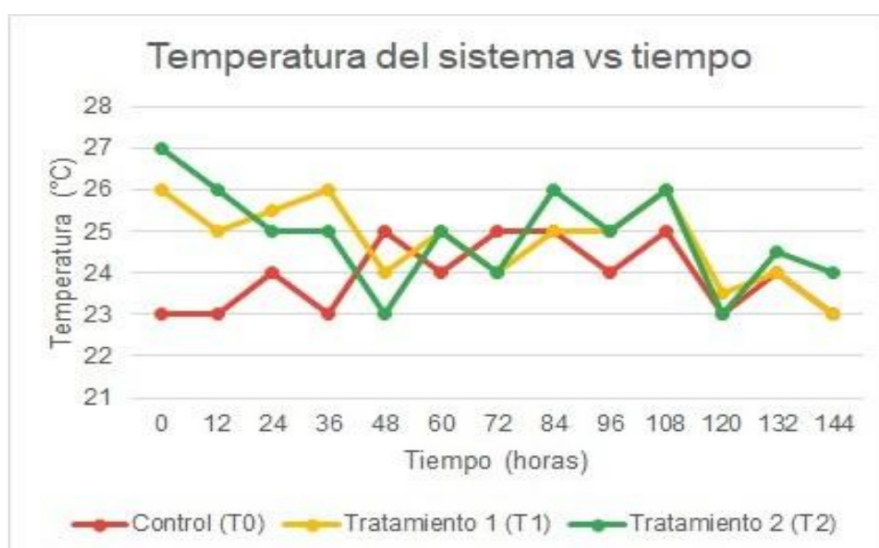


En la figura 1 se indica la evolución del peso del sistema en el periodo de las 144 horas de fermentación a las que se realizó el seguimiento. Las gráficas lineales corresponden al control y a los dos tratamientos que se contrastan según la cantidad de levadura utilizada en el proceso de fermentación: Control (T0), Tratamiento 1 (T1) y Tratamiento 2 (T2). Esas tendencias de la pérdida del peso se deben a la liberación de CO₂ producido durante el proceso fermentativo, donde T0 mostró una mínima pérdida de peso en el sistema (6 gramos), T1 presentó una pérdida de 20 gramos, mientras que el T2 perdió 50 gramos.

Temperatura del sistema

Figura 2

Comportamiento de la temperatura del sistema con respecto al tiempo de fermentación



Con respecto a la figura 2, se analizó el comportamiento de la temperatura en el periodo de 144 horas del seguimiento del proceso fermentativo, donde el T0 tuvo una temperatura máxima de 25 °C y mínima de 23 °C. El T1 llegó a un mínimo de 23 °C en las 144 horas de fermentación y un máximo de 26 °C en las horas iniciales y a las 36 y 108 horas del experimento; en el seguimiento del T2 se obtuvo un mínimo de 23 °C a las 48 y 120 horas del proceso de fermentación y un máximo de 27 °C en la hora inicial del proceso. En general, el parámetro de temperatura en el proceso llevado a cabo para ambos tratamientos se encontró entre 23 - 27°C, una temperatura adecuada para la fermentación alcohólica y el funcionamiento de la *Saccharomyces cerevisiae*.

pH del sistema

Figura 3

Comportamiento del pH del sistema con respecto al tiempo de fermentación



En la figura 3 se muestra el resultado de la medición del pH en las horas establecidas, obteniendo un pH de 4.5 para el control (T0) y un pH de 4 en cada momento para ambos tratamientos (T1 y T2), lo que indica que el nivel de acidez se encontraba dentro del rango aceptado para el desarrollo de la fermentación alcohólica

Análisis organoléptico

Para este análisis se identificó para el Tratamiento 1 un olor característico del pisco, no tenía coloración y un sabor picante; mientras que para el Tratamiento 2 se obtuvo un olor frutado/dulce, color amarillento y de sabor ácido.

Tabla 1*Resultados del análisis organoléptico*

Propiedades	Alcohol obtenido	
	T1	T2
Olor	Pisco	Frutado/dulce
Color	Incoloro	Amarillento
Sabor	Picante	Ácido

Nota. Elaboración propia

Prueba de la llama

Se obtuvo una llama de coloración azul, indicando positivo para presencia de etanol.

Comparación de rendimiento

Después de los dos destilados a los que fueron sometidos cada tratamiento, se obtuvo un rendimiento de 31.4 % y 26.53 % para el Tratamiento 1 y 2, respectivamente.

Tabla 2

Comparación del rendimiento

	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2
Grado alcohólico	45	48
Destilados	2	2
Dosis de levaduras	1:1	2:1
Volumen inicial (ml)	3746	3695
Volumen final (ml)	1117.5	980.2
Rendimiento (%)	31.4	26.53

Nota. Elaboración propia

Análisis estadístico

En primer lugar, se hizo un análisis de tabla ANOVA para las temperaturas obtenidas en los diferentes tratamientos, la cual indicó que existe diferencia significativa entre los tratamientos que sí poseen levadura y el control. Luego, se realizó una prueba de múltiples rangos de Tukey, la cual también arrojó diferencia significativa entre los tratamientos.

Discusión

En la investigación desarrollada se obtuvo bioetanol con una concentración máxima de 48 ° alcohólicos, el cual al comparar con el alcohol obtenido por Decheco-Egúsqiza (2019), quien usó cáscaras de plátano de seda para conseguir etanol de 56.3% de alcohol, tiene una concentración menor. La variación de estos resultados puede ser por diversos factores, como la diferencia en la materia prima utilizada o su cantidad y en el contenido de carbohidratos en ella, ya que, a comparación de la cáscara de tuna tomada para la presente investigación, la cáscara de plátano de seda posee otras características lignocelulósicas.

Correlativo al contraste realizado, se consideró a Velásquez-Arellano, quien realizó una tesis de sacarificación y fermentación empleando a la cáscara de tuna para obtener bioetanol. Este autor determinó

que dicho residuo orgánico es una materia potencial para obtener azúcares fermentables, cabe resaltar que al igual que en la presente investigación, se hizo el uso de *Saccharomyces cerevisiae* como fuente de carbono. Además, el autor citado obtuvo 20.9 g/ L de etanol en un tiempo de fermentación de 36 horas y a 25 °C, estos resultados difieren relativamente, ya que en el presente experimento se realizaron dos tratamientos con diferentes cantidades de *Saccharomyces cerevisiae* y se tomó en cuenta un mayor tiempo de fermentación como lo muestran las figuras incluidas en el texto. Otra razón a resaltar en esta última diferencia, es que Velásquez-Arellano logró alcanzar sus objetivos y resultados mediante pretratamientos de hidrólisis ácida e hidrólisis por explosión, procedimientos que en esta investigación no se llevaron a cabo.

Conclusiones

Se logró obtener bioetanol a partir del proceso fermentativo y destilado de residuos de tuna y fundamentar que la tuna como materia prima puede ser empleada para la obtención de bioetanol, debido a que esta tiene un alto contenido de glucosa y fructosa (14 %), lo que la haría una fuente potencial de sustrato para la producción de etanol, además que cumple con los principios de la economía circular, ya que se obtiene a partir de desechos y los residuos que genera son reaprovechados en compostaje.

Se destilaron los fermentos de ambos tratamientos, obteniendo alcoholes: para el tratamiento 1 con 45 grados alcohólicos y el tratamiento 2 con una concentración de 48 grados. Para el tratamiento 1, se calculó un rendimiento de 31.4 % y para el tratamiento 2 de 26.53 %.

Con base al análisis estadístico realizado, quedó demostrado que existe diferencia estadísticamente significativa entre la proporción de levadura empleada en la fermentación y el rendimiento obtenido, al 95 % de nivel de confianza.

Referencias

- Amaris, J., Manrique, D., & Jaramillo, J. (2015). biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. *Revista Fuentes*, 23-24. <https://doi.org/10.18273/revfue.v13n2-2015003>
- Cerezal P. & Duarte G. (2005); Utilización de cáscaras en la elaboración de productos concentrados de tuna (*Opuntia ficus-índica*). *Journal of the Professional Association for Cactus Development* 7, 61-83
- Chandel, A. K., Junqueira, T. L., Morais, E. R., Gouveia, V. L. R., Cavalett, O., Rivera, E. C., Geraldo, V. C., Bonomi, A., & Da Silva, S. S. (2014). Techno-economic analysis of second-generation ethanol in Brazil: Competitive, complementary aspects with first-generation ethanol. *Biofuels in Brazil*. Springer Int. Pub. pp: 1-29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-05020-1_1
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). (n.d.). Seres modélicos. *Entre la naturaleza y el laboratorio*. <http://seresmodelicos.csic.es/llevat.html>
- Gerencia Regional Agraria La Libertad. (2009). *CULTIVO DE TUNA*. [agrolalibertad.gob.pe. http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf](http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf)

- López-Espinosa, E., Arana-Cuenca, A., Medina, S., & Téllez-Jurado, A. (n.d.). Factibilidad de producción de etanol a partir del zumo del fruto de la *Opuntia* spp. Xii Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. https://smbb.mx/congresos%20smbb/morelia07/TRABAJOS/Area_III/Carteles/CIII-5.pdf
- Salinas, E., & Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. Researchgate. https://www.researchgate.net/publication/45087460_Los_biocombustibles.
- Serna, F., Barrera, L., & Montiel, H. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. *Journal of Technology Management & Innovation*, 1(6), 100-114.
- TP-Laboratoria Químico. (2015, February 12). *¿Qué es la Destilación? – TP – Laboratorio Químico*. TP – Laboratorio Químico. <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-destilacion.html>