

**LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y
Humanidades, Asunción, Paraguay.**

ISSN en línea: 2789-3855, 2025, Volumen VI

Evaluación de la viabilidad técnica de la producción de bioetanol a partir de papa china (*Colocasia esculenta*) en Pastaza, Ecuador

Evaluation of the technical feasibility of bioethanol production
from Chinese Taro (*Colocasia esculenta*) in Pastaza, Ecuador

Santiago Homero Cuichán Paucar

sh.cuichanp@uea.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0572-9880>

Universidad Estatal Amazónica

Puyo – Ecuador

Lida Abigail Guambuguete Chimbo

guambuguetelida@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9593-0929>

Universidad Estatal Amazónica

Puyo – Ecuador

Erika Thalya Herrera Ushap

erikaherrera1203@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-8297-5797>

Universidad Estatal Amazónica

Puyo – Ecuador

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4568>

Artículo recibido: 07 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 23 de
septiembre de 2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.


Redilat
Red de Investigadores
Latinoamericanos

NÚMERO

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4568>

Evaluación de la viabilidad técnica de la producción de bioetanol a partir de papa china (*Colocasia esculenta*) en Pastaza, Ecuador

Evaluation of the technical feasibility of bioethanol production from Chinese Taro (*Colocasia esculenta*) in Pastaza, Ecuador

Santiago Homero Cuichán Paucar

sh.cuichanp@uea.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0572-9880>
Universidad Estatal Amazónica
Puyo – Ecuador

Lida Abigail Guambuguete Chimbo

guambuguetelida@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9593-0929>
Universidad Estatal Amazónica
Puyo – Ecuador

Erika Thalya Herrera Ushap

erikaherrera1203@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-8297-5797>
Universidad Estatal Amazónica
Puyo – Ecuador

Artículo recibido: 07 de junio de 2025. Aceptado para publicación: 23 de septiembre de 2025.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Ante la creciente dependencia de los combustibles fósiles y sus impactos ambientales, la producción de biocombustibles se plantea como una alternativa sostenible para fortalecer la autosuficiencia energética y fomentar el desarrollo rural. En este estudio, tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de producir bioetanol a partir de *Colocasia esculenta*, una biomasa subutilizada con alto contenido de almidón. Las muestras fueron recolectadas en San Vicente (Km 31, vía Puyo-Tena, Pastaza) y procesadas en los laboratorios de la Universidad Estatal Amazónica. La metodología empleada se basó en el sistema de sacarificación-fermentación simultánea (SSF), utilizando levaduras específicas, como SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. diastaticus) y Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisiae* ex. bayanus), controlando variables clave para optimizar el proceso. Los resultados indicaron que la producción de bioetanol es técnicamente viable, logrando un rendimiento de 33.3°GL, lo que evidencia una conversión eficiente de los azúcares fermentables. Este estudio no solo demuestra el potencial de la *Colocasia esculenta* como materia prima para la producción de bioetanol, sino que también resalta su contribución a la sostenibilidad ambiental y al impulso de fuentes de energía renovables en la región.

Palabras clave: colocasia esculenta, biocombustible, sacarificación-fermentación simultáneas (SSF), bioetanol, sostenibilidad ambiental, energías renovables

Abstract

Given the growing dependence on fossil fuels and their environmental impacts, the production of biofuels is seen as a sustainable alternative to strengthen energy self-sufficiency and promote rural development. The objective of this study was to evaluate the feasibility of producing bioethanol from *Colocasia esculenta*, an underutilized biomass with high starch content. Samples were collected in San Vicente (Km 31, Puyo-Tena road, Pastaza) and processed in the laboratories of the Universidad Estatal Amazónica. The methodology employed was based on the simultaneous saccharification-fermentation (SSF) system, using specific yeasts, such as SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. diastaticus) and Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisiae* ex. bayanus), controlling key variables to optimize the process. The results indicated that bioethanol production is technically feasible, achieving a yield of 33.3°GL, which evidences an efficient conversion of fermentable sugars. This study not only demonstrates the potential of *Colocasia esculenta* as a raw material for bioethanol production, but also highlights its contribution to environmental sustainability and the promotion of renewable energy sources in the region.

Keywords: colocasia esculenta, biofuel, simultaneous saccharification-fermentation (SSF), bioetanol, environmental sustainability, renewable energies

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Cuichán Paucar, S. H., Guambuquete Chimbo, L. A., & Herrera Ushap, E. T. (2025). Evaluación de la viabilidad técnica de la producción de bioetanol a partir de papa china (*Colocasia esculenta*) en Pastaza, Ecuador. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (4), 4077 – 4096. <https://doi.org/10.56712/latam.v6i4.4568>

INTRODUCCIÓN

La creciente dependencia de los combustibles fósiles representa uno de los mayores desafíos ambientales a nivel mundial, debido a su contribución al aumento de gases de efecto invernadero (GEI) y cambio climático (Peña y López 2020). Esta problemática se ve agravada por la disminución de las reservas de crudo convencional, el incremento en la demanda de recurso energético y la creciente preocupación por el deterioro ambiental (Cuevas y Bravo 2021).

Además, la falta de avance en las políticas relacionadas con la resiliencia climática genera obstáculos; un claro ejemplo es el ámbito de las políticas energéticas. Si estas no impulsan la transición hacia energías renovables y el desarrollo de una matriz energética sostenible y resiliente, no se promueve de manera activa la sostenibilidad (Faerron y Mora 2023).

Roca Jusmet (2022) advierte que “quemar las reservas probadas de combustibles fósiles llevaría a escenarios catastróficos”, ya que su combustión genera más del 60% de emisiones globales de CO₂. Esto resalta la necesidad urgente de alternativa como los biocombustibles, que desempeñan un papel fundamental para satisfacer las futuras demandas energéticas (Torrentes Espinoza 2021), y se han consolidado como una opción viable y sostenible para reemplazar a los combustibles fósiles convencionales (Patel y Singh 2024).

En este contexto, la modernización económica en Ecuador en los últimos años ha facilitado la adopción de nuevas fuentes de energía limpia, y el uso de biocombustible, promoviendo la colaboración entre empresas de distintos sectores (Zambrano et al. 2022).

Los biocombustibles ofrecen múltiples ventajas, especialmente en términos ambientales, pues generan menores emisiones en comparación con los combustibles derivados del petróleo. Su implementación permite un importante ahorro de recursos públicos destinados a la importación y subsidio de combustibles de alto octanaje, favoreciendo la inversión en el mercado nacional y evitando la fuga de divisas (Villa, Crespo-Berti y Cruz 2021).

De esta forma, los biocombustibles representan una oportunidad para incrementar la autosuficiencia energética de las naciones en desarrollo y, al mismo tiempo, canalizar su potencial para reducir la pobreza rural sin generar mayores impactos negativos en el medio ambiente (Lorenzo 2012). Asimismo, constituyen una estrategia clave para mejorar la competitividad en el mercado agrícola a nivel internacional (Reynolds, Uribe y López 2019).

La Constitución del República del Ecuador (2008), en su Art. 15, respalda esta transición al establecer: “El estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto”. Sin embargo, para lograr una implementación efectiva, es necesario identificar materias primas locales que sean sostenibles y económicamente viables.

Entre las opciones disponibles, la papa china (*Colocasia esculenta*) se destaca como una materia prima prometedora para la producción de bioetanol debido a su amplia disponibilidad en la región oriental de Ecuador, especialmente en la provincia de Pastaza (Espinoza y Pérez 2019; Caicedo 2013). Es el quinto cultivo de raíces más relevantes, destacando por sus usos ornamentales, alimentarios y medicinales (Zubair et al. 2023). A diferencia de otros tubérculos como la yuca, la papa o el camote, posee un alto contenido de almidón (Wang et al. 2020).

Esta ventaja hace que su aprovechamiento no solo impulse la economía del sector agrícola del país, sino que también facilite la producción de otros productos que sean más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Chuiza, Haro y Brito 2021). Además, su uso no compite directamente con

cultivos alimentarios como la caña de azúcar o el maíz, lo que la convierte en una alternativa sostenible (Chauvet y Gonzáles 2008).

La producción de bioetanol a partir de este tubérculo contribuye a reducir emisiones de monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂) (Huayta Mamani 2021). Fomentando así el desarrollo económico local y la diversificación de la matriz energética del país (Delgado Noboa 2023).

Para producir etanol a partir del almidón, es necesario descomponer las cadenas de este polisacárido mediante hidrólisis enzimática. Este proceso se divide en dos fases sucesivas —licuefacción y sacarificación—, después de una previa gelatinización (Castaño, Mejía 2008 ; Montenegro y Pérez 2016). La segunda etapa consiste en la fermentación microbiana, llevada a cabo principalmente por bacterias o levaduras, siendo la cepa más común la de *Saccharomyces cerevisiae*, cuyo objetivo es transformar los azúcares en alcoholes (Gutiérrez 2009).

Con el fin de minimizar el tiempo y el consumo energético, el proceso de sacarificación y fermentación de manera simultánea, tras la licuefacción del almidón, se presenta como una opción eficiente. Esta modalidad ofrece dos alternativas en cuanto al uso de enzimas o microorganismos durante la fase de sacarificación: la sacarificación enzimática y la sacarificación mediante microorganismos (Castaño, Mejía 2008).

El objetivo de esta investigación es evaluar la factibilidad de la producción de bioetanol a partir de papa china (*Colocasia esculenta*) mediante la estrategia SSF (Sacarificación-fermentación simultaneas) con microorganismos. Este enfoque no solo busca aprovechar una materia prima local y sostenible, sino también contribuir a la transición hacia energías renovables que promuevan la conservación ambiental y el desarrollo con el fin de aprovechar esta materia prima de amplia disponibilidad local.

METODOLOGÍA

Esta evaluación utiliza una metodología integral permite un enfoque sistemático y detallado para evaluar la producción de bioetanol, abarcando desde la recolección de la materia prima hasta la obtención y análisis del producto final. La combinación de análisis físico-químicos, control de variables, y pruebas experimentales proporciona una base sólida para determinar la viabilidad técnica de usar papa china como materia prima para biocombustibles. Además, resalta la importancia de optimizar cada etapa del proceso para mejorar el rendimiento y la calidad del bioetanol producido.

Materia Prima

Para la producción de bioetanol, se utilizó papa china (*Colocasia esculenta*) como sustrato principal debido a su alto contenido de almidón. Se empleó 1 kg de tubérculos frescos, seleccionados en condiciones óptimas para garantizar la eficiencia del proceso de conversión y la calidad del bioetanol obtenido.

Preparación de muestra

Los tubérculos se lavaron con agua corriente y pelaron para eliminar impurezas como tierra y otros residuos, asegurando la eficiencia en las etapas siguientes.

Pretratamiento de la muestra

El procedimiento comenzó con la molienda: primero se cortaron en fragmentos de aproximadamente 1 cm y se procesaron en un molino tradicional tolva baja, marca Corona, modelo CO1, con el objetivo de reducir el tamaño de partícula y obtener un puré fresco homogéneo. La molienda se realizó en condiciones controladas a 20 °C y con una velocidad de procesamiento de 50 rpm.

Caracterización del pure de papa china fresca

Determinación de humedad

Mediante un analizador de humedad halógeno modelo AS 220.R2, a una temperatura de 105 °C. Se incorporó 1g del pure fresco y se analizó durante 1 hora con 30 minutos. El procedimiento se repitió tres veces para obtener un promedio del contenido de humedad en porcentaje (Tirado, Montero y Acevedo 2015).

Determinación de cenizas

Se pesó un crisol vacío en una balanza analítica y se agregó aproximadamente 1 g de muestra seca. Posteriormente, el material se llevó a una mufla a 650 °C durante 1 hora. Luego, el crisol con la muestra se dejó enfriar por 10 minutos antes de colocarlo en un desecador hasta su enfriamiento completo, permitiendo un pesaje final en la balanza analítica del crisol más cenizas (Aguilar Romero 2019).

El cálculo se realizó mediante la ecuación planteada por Enríquez y Ojeda (2020). (Ec.1)

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P-\rho)*100}{M} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde: P= Peso del crisol con las cenizas (g), ρ =peso del crisol vacío (g), y M= peso de la muestra (g)

Determinación de proteínas

El contenido de proteínas se determinó mediante el método Kjeldahl, conforme a la norma 984.13 de la AOAC (2023). Se pesó 1 g de muestra y se colocó en un matraz Kjeldahl con ácido sulfúrico concentrado y un catalizador de cobre. La mezcla se mantuvo a 420 °C durante 6 horas hasta obtener sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Posteriormente, la solución se destiló con hidróxido de sodio (NaOH) y se recolectó en un matraz con 5 mL de una solución indicadora mixta de rojo de metilo (CH_3) y azul de metileno (CH_2). Finalmente, se valoró con una solución de ácido clorhídrico HCl con concentración 1N (1mol/L). El contenido de nitrógeno obtenido se multiplicó por el factor 6,25 para determinar el porcentaje de proteína (Pillco, Guzmán y Cuéllar 2021).

Determinación de almidón

Para la determinación del almidón, primero se cuantificaron los carbohidratos totales. Se pesaron 0.355 g de muestra en un tubo de ensayo y se agregaron 3 mL de ácido sulfúrico concentrado, manteniéndolo en un baño de hielo. Luego de 5 minutos de reposo, el contenido del tubo de ensayo se trasvasó a un matraz aforado de 50 mL y se completó con agua destilada. La concentración de carbohidratos totales se determinó mediante la siguiente ecuación (Ec.2)

$$A = 1.002C - 0.0368 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: A= Absorbancia de la muestra; y C= Concentración de la muestra (mg L^{-1}).

La muestra que contenía todos los reactivos, excepto la sustancia objeto de análisis conocido como "el blanco" en espectrofotometría, se preparó agregando 1 mL de agua destilada y 3 mL de ácido sulfúrico concentrado en un tubo de ensayo mantenido en un baño de hielo, siguiendo el mismo procedimiento que la muestra.

Proceso de elaboración del bioetanol mediante el sistema de Sacarificación- Fermentación Simultanea (SSF)

Gelatinización

Se utilizó una relación de 1:3 (puré fresco: agua). Se pesó 1 kg de puré en una balanza SARTORIUS y se midieron 3 litros de agua destilada. La mezcla se calentó en una plancha BIOEVOPEAK, siguiendo la metodología de Acosta, Alzate y Ruiz (2020). Se agitó continuamente a 200 rpm y se mantuvo a 85°C durante 2 horas. Finalmente, se dejó enfriar para continuar con la siguiente etapa.

Licuefacción

Siguiendo la metodología de Guerrero, Yépez (2018) se ajustó el pH a 5.5 con ácido cítrico y se añadió 0.5 g de enzima α -amilasa por cada 1 kg de puré fresco. La mezcla se mantuvo a 80°C en un baño maría PRECISION durante 2 horas. Se monitorearon los grados Brix con un refractómetro Milwaukee para confirmar la conversión de almidones en azúcares. Para verificar el proceso, se realizó una prueba de coloración con yodo: se tomó 1 mL de muestra, se agregó una gota de solución de yodo en un tubo de ensayo limpio, según Moreno et al. (2020).

Sacarificación – Fermentación Simultánea (SSF)

T1: Sacarificación con levadura SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Diastaticus*).

Se inoculó 2,08 g de levadura seca SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Diastaticus*) en el mosto a 26 °C, manteniéndolo durante 8 horas. Se verificó que el pH se mantuviera en 4,5, óptimo para el desarrollo de la levadura.

T2: Sacarificación con levadura SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Diastaticus*) y Sulfato de amonio [(NH₄)₂SO₄].

En este tratamiento, se repitió el procedimiento descrito en el tratamiento T1 con la adición de 0.9 mL de sulfato de amonio [(NH₄)₂SO₄] como suplemento nutricional, siguiendo la metodología de Tortoló et al. (2023) , y las especificaciones técnicas de Enologica Vason (2016).

A las mezclas con los tratamientos T1 y T2, se les realizaron pruebas cualitativas para evaluar la conversión de almidón en azúcares fermentables:

La prueba de Fehling (reactivos A y B) utilizada para detectar presencia de azúcares reductores.

Prueba colorimétrica con el reactivo de Lugol empleada para verificar la conversión del almidón en dextrinas.

Fermentación

Se diseñaron dos sistemas de fermentación anaeróbica con galones de 5 litros. Se añadió 0.6 g de levadura Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisiae* ex. *Bayanus*), rehidratada en agua caliente con azúcar para activarla. Las muestras T1 y T2 se incubaron a 22°C, asegurando condiciones óptimas según las instrucciones del proveedor para garantizar la eficiencia y reproducibilidad del proceso (Beerland Store).

Destilación

Este proceso se realizó a 85°C, por 2 horas (Alvarado Ludeña 2021).

Determinación de grados alcohólicos

En una probeta de 100 mL se agregó la muestra de alcohol, en la cual se introdujo un alcoholímetro de vidrio volumétrico. Se dejó que el instrumento se estabilizara y flotara libremente, sin que se adhiriera a las paredes del recipiente. Por último, se registró la lectura en el vástago del alcoholímetro (Alvarado Ludeña 2021).

RESULTADOS

Caracterización del pure de papa china fresca

En la Tabla 1 se presentan los resultados del análisis bromatológico de la papa china (*Colocasia esculenta*), obtenidos mediante la metodología descrita previamente. Este análisis permite evaluar la composición química del puré fresco, proporcionando información relevante sobre su contenido de humedad, carbohidratos, proteínas y cenizas. La caracterización bromatológica es fundamental, ya que estos parámetros influyen directamente en la eficiencia del proceso de sacarificación y fermentación, determinando el rendimiento potencial en la producción de bioetanol.

Tabla 1

Características bromatológicas de la papa china (Colocasia esculenta)

Almacenamiento	Valor	Unidad
Humedad	74	%
Cenizas	4	%
Proteínas	2,10	%
Almidón	33,5	%

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 1, el porcentaje de humedad de la papa china (*Colocasia esculenta*) obtenido es de 74%, el contenido de cenizas es del 4%, proteínas un 2.10%, y el almidón representa el 33.5%. En comparación con los resultados reportados por Bradbury y Holloway (1988), quienes determinaron con lo que respecta a este tubérculo en base fresca valores de 69.1% (humedad), 0.87% (cenizas), 1.12% (Proteínas), y 24.5% (almidón). Por su parte, Acán Acán (2020) reportó valores de 81 %, 3.2%, 5.84%, y 12.44%, respectivamente. Existe una mínima diferencia entre los resultados reportados por estos autores, y los determinados tras el análisis de la composición de bromatológica en la presente investigación.

En el estudio “Características químicas de la harina de tubérculos de Taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) de rechazo y su efecto sobre el desempeño productivo de cerdos en posdestete”, de Caicedo (2013), mediante el “Método Oficial de Análisis de la Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales (AOAC)” obtuvieron los siguientes resultados: 4,23% de cenizas, y 3,37% de proteína cruda, lo que muestra una tendencia similar en el contenido mineral de la papa china analizada en este estudio. Aboubakar et al. (2008), indicaron que el contenido de carbohidrato en este tubérculo varía entre 90,5% y 95,5%, mientras que el almidón oscila entre 66,5% y 86,6%.

En otros estudios la humedad, cenizas y proteína varían entre: 9,00–12,22%; 1,64–3,11%; y 14,73–16,28%, respectivamente Arıcı et al. (2016). Asimismo, Calle, Benavent-Gil y Rosell (2020), determinaron que la harina de *Colocasia esculenta* en base seca tiene un contenido de $6.33 \pm 0.02\%$ (humedad), $8.28 \pm 0.07\%$ (proteína), $5.04 \pm 0.00\%$ (ceniza), $0.53 \pm 0.00\%$ (grasa), $4.38 \pm 0.23\%$ (fibra cruda) y $75.44 \pm 0.35\%$ (carbohidratos). La harina de *Colocasia esculenta*, contiene mayor porcentaje de cenizas, fibra, proteínas y grasas, que las harinas de arroz y maíz (Hendek Ertop, Atasoy y Akın 2019).

En comparación con la yuca (*Manihot esculenta*), Huacho, Rodríguez, Brito (2021) reporta que presenta un contenido de humedad de 65.2%, cenizas de 0.6%, proteínas de 1%, grasa de 0.5%, carbohidratos totales de 32.6%, fibra de 1% y almidón de 28.07%. Por otra parte, el camote (*Ipomoea batatas*) contiene $78.4 \pm 0.17\%$ de humedad, $2.82 \pm 0.07\%$ de proteínas, $1.23 \pm 0.01\%$ de grasas, $0.94 \pm 0.01\%$ de cenizas,

3.81 ± 0.07 % de fibra cruda, 12.9 ± 0.11 % de carbohidratos y $21,96 \pm 0,09$ % de almidón (Caro Hernández 2025; Parra Pérez 2019 y Jiménez et al. 2019).

Esto indica que la papa china (*Colocasia esculenta*) tiene mayor contenido de humedad, cenizas y almidón en comparación con la yuca, lo que la posiciona como una alternativa de mayor potencial para la producción de bioetanol. Estos resultados resaltan la versatilidad de la papa china (*Colocasia esculenta*) no solo como una fuente de alimento, sino también como materia prima en la producción de productos biodegradables y energías renovables, lo que la convierte en una opción atractiva para el desarrollo sostenible del sector agrícola, especialmente en la región amazónica.

Evaluación de la eficiencia del proceso de sacarificación- fermentación simultanea (SSF) usando las levaduras SafAle WB-06 y Fermivin CHAMPION.

Previo al inicio del proceso de SSF, se implementaron diversas etapas claves para optimizar la conversión del almidón en azúcares fermentables. En primer lugar, el puré fresco de papa china (*Colocasia esculenta*) fue sometido a un proceso de gelatinización, en el cual se controló periódicamente la temperatura durante 2 horas. Estudios previos realizados por Ríos y Zelada (2017), así como Acán Acán (2020), destacan la importancia de controlar variables críticas como temperatura y pH para maximizar la eficiencia de la conversión enzimática.

La etapa de gelatinización tuvo como finalidad romper la estructura del almidón, permitiendo una mayor accesibilidad para las enzimas hidrolíticas, lo que facilitó la conversión de los polisacáridos en azúcares simples fermentables. Para verificar la presencia de almidón en la muestra y evaluar la efectividad del proceso, se realizó la prueba colorimétrica de Lugol, la cual evidenció la presencia de almidón antes de la acción enzimática.

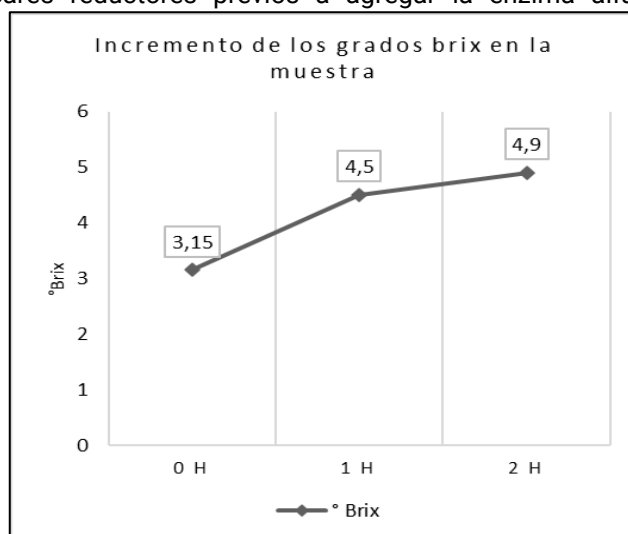
Durante la licuefacción se obtuvieron las siguientes lecturas de los grados brix en la muestra (gráfico 1):

Gráfico 1

Grados brix tomados durante la licuefacción con la enzima alfa-amilasa

Fuente: elaboración propia.

El porcentaje de azúcares reductores previos a agregar la enzima alfa-amilasa fue de 3,15%,



posteriormente de agregar los 0,5g de la enzima, al transcurrir un lapso de 1 hora se obtuvo una lectura

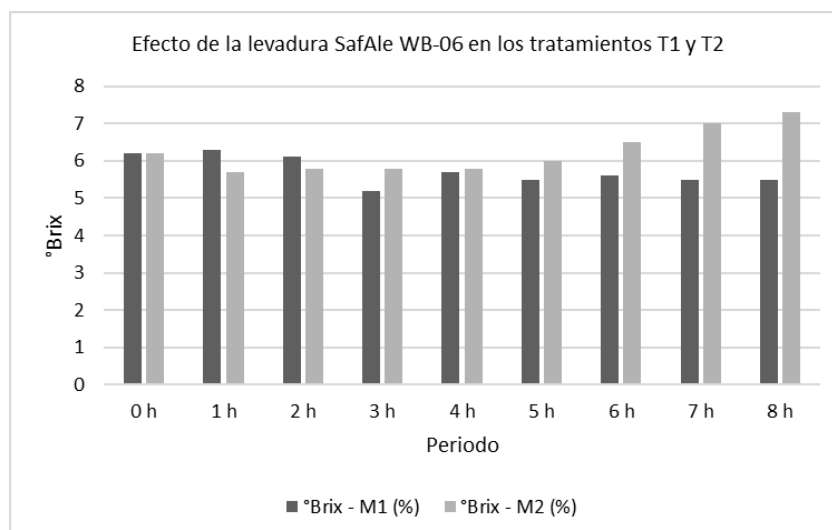
de 4,5%, y tras concluir las 2 horas de licuefacción fue de 4,9 %. En comparación con otro ensayo realizado por Ríos y Zelada (2017), los resultados en este estudio son menores (2.968%) a los que se obtuvieron.

Para el sistema de sacarificación-fermentación simultánea (SSF), se utilizaron dos levaduras: SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisae* var. *Diastaticus*) y Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisae* ex. *Bayanus*). Previo a la incorporación de la primera levadura en las muestras con los tratamientos T1 y T2, se midieron los grados brix donde se determinó que ambas muestras contaban con 6.2% de azúcares reductores presentes. Los resultados obtenidos tras la adición de la primera levadura en ambos tratamientos fueron los siguientes (gráfico 2):

Gráfico 2

Registro de Grados Brix en función del tiempo para las dos muestras

Fuente: elaboración propia.



Los resultados expresan que, durante las 8 horas que se llevó a cabo el proceso de sacarificación en T1 no se observa un aumento significativo en la concentración de azúcares reductores, lo que sugiere que las dextrinas no se hidrolizaron por completo. Por el contrario, en el tratamiento T2 si se registró un incremento en los azúcares reductores. La diferencia entre ambos tratamientos se atribuye a la incorporación de un nutriente (0.9g de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) en el tratamiento T2. La adición de nutrientes al mosto mejora la actividad metabólica de la levadura, tal como lo respaldan estudios previos (Valle-Rodríguez, Córdova López y Díaz-Montaño).

En el estudio titulado “Obtención de alcohol etílico a partir de dos variedades de Cabuya: alternativa para su industrialización”, se afirma que el sulfato de amonio actúa como una fuente de nitrógeno esencial para el crecimiento y la actividad de las levaduras (Loor-Ponce 2020). Esta afirmación coincide con lo expuesto por Blanco, Quicazán y Cuenca (2012), quienes destacan que la incorporación de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ reduce significativamente el tiempo necesario para que la levadura inicie su actividad.

Al alcanzar las 8 horas, los grados Brix se estabilizaron, lo que indicó que la primera levadura (SafAle WB-06) estaba terminando de hidrolizar las dextrinas en azúcares reductores. Este tiempo de espera permitió que al incorporar la segunda levadura (Fermivin CHAMPION), esta comenzará la fermentación

de los azúcares disponibles, mientras que la primera levadura continuaba generando nuevos azúcares a partir de la hidrólisis de los polisacáridos restantes.

Se llevaron a cabo la identificación cualitativa mediante la prueba de Lugol (Figura 1) y la de Fehling (utilizando reactivos A y B) (Figura 4), obteniéndose los siguientes resultados:

Figura 1

Prueba cualitativa de Lugol en los tratamientos T1 y T2

Fuente: elaboración propia.

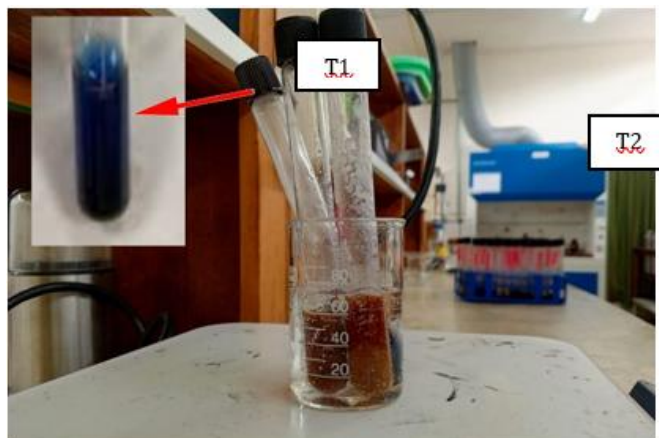


La prueba de Lugol permitió identificar diferencias notables entre los dos tratamientos analizados. En el T1, se detectó un color rojo, lo que evidenció la presencia de dextrinas o almidón parcialmente hidrolizado, ya que este tono es característico de la reacción de yodo con cadenas cortas de polisacáridos. La formación de dextrinas puede deberse a una actividad enzimática limitada o a condiciones subóptimas para la degradación completa, lo que explicaría la falta de azúcares reductores.

Por el contrario, en el tratamiento T2, se observó un color verde oscuro, asociándolo a la formación de azúcares reductores, influenciada por la presencia del aditivo. Estos hallazgos resaltan el efecto del sulfato de amonio en la degradación del almidón y la generación de azúcares reductores, aspecto clave para procesos como la fermentación, donde la disponibilidad de sustratos fermentables es determinante.

Figura 2

Resultados cualitativos con el reactivo de Fehling en los tratamientos



Fuente: elaboración propia.

En la prueba de Fehling, se observaron diferencias entre los tratamientos analizados. En T1, la solución mantuvo un color azul oscuro, lo que indica ausencia de azúcares reductores o una concentración demasiado baja para ser detectada. Este resultado sugiere que no hubo reducción significativa de los iones de cobre II (Cu^{2+}), lo que es consistente con la falta de compuestos capaces de donar electrones, como glucosa, fructosa o maltosa. Mientras que, en T2, se formó un precipitado de color rojo ladrillo, característico de la presencia de azúcares reductores.

En el estudio realizado por Zhang y Chen (2020), menciona que este cambio de color es resultado de la reducción de los iones de cobre II (Cu^{2+}) a óxido de cobre I (Cu_2O), determinando la existencia de azúcares reductores en el tratamiento. Coincidiendo con Alvarado-Santiago et al. (2024), quienes confirman que dicho color sugiere la presencia de este tipo de azúcares. Además, la prueba de Fehling genera resultados consistentes y exactos (Tapia Zarate 2024). La diferencia entre ambos tratamientos puede atribuirse a factores como la composición inicial de las mismas, la presencia de compuestos interferentes o la acción de aditivos que favorecieron la liberación o formación de azúcares en el tratamiento T2.

En los sistemas de fermentación diseñados se llevó un seguimiento de forma periódica de la interacción entre las levaduras: SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. Diastaticus) y Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisiae* ex. Bayanus). (Figura 3).

Figura 3

Muestras en el sistema de fermentación SF1 y SF2 colocados en incubación



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3 se puede observar las muestras en su sistema de fermentación (SF). En esta fase se agregó $\frac{1}{4}$ de Yeast energizante al SF2, para ayudar a que la levadura actué de forma eficaz. Durante los 12 días que se desarrolló la fermentación se obtuvieron los siguientes registros (Tabla 2):

Tabla 2

Variación de los grados brix (%) en las muestras con los T1 y T2, durante el periodo de interacción entre las levaduras SafAle WB-06 y Fermivin CHAMPION

Periodo	°Brix Sistema de fermentación (SF1)– T1 (%)	°Brix Sistema de fermentación (SF2) – T2 (%)
Día 1	5,6	7,3
Día 2	6,2	6,3
Día 3	6,5	5,9
Día 4	6,2	5,2
Día 5*	-	-
Día 6*	-	-
Día 7*	-	-
Día 8	6,1	4,8
Día 9	6	4,6
Día 10	6	4,6
Día 11	6	4,5
Día 12	6	4,5

Nota: *Esos días no se llevó registro de los °Brix en ambos sistemas de fermentación.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 2, se presenta la variación de los grados Brix en las muestras con los T1 y T2 durante el proceso SSF. Se observó la interacción entre las dos levaduras incorporadas (SafAle WB-06 y Fermivin CHAMPION), con el objetivo de analizar cómo los azúcares reductores presentes en el medio fueron fermentados.

En el Sistema de Fermentación SF1, no se observó una variación significativa en los grados Brix a lo largo del tiempo. Los valores iniciales fueron de 5.6%, con un ligero aumento a 6.2% en el día 2,

manteniéndose constantes hasta el día 12. Esta falta de variación sugiere que no hubo una fermentación por parte de las levaduras. Esto podría explicarse por la ausencia de azúcares reductores, lo que concuerda con Fleet (2008), quien señala que la presencia de azúcares fermentables es esencial para iniciar y mantener la actividad de las levaduras. En este sentido, la prueba de Fehling realizada en el T1 confirma la ausencia de estos sustratos, lo que justifica la falta de actividad fermentativa. Asimismo, Walker y Walker (2018) han destacado que la disponibilidad de azúcares reductores es un factor crítico para iniciar y mantener la actividad fermentativa de las levaduras.

En el Sistema de Fermentación SF2, se observó un comportamiento diferente. Los grados brix comenzaron en 7.3% y disminuyeron progresivamente a lo largo del tiempo, indicando una fermentación activa. Sin embargo, entre los días 11 y 12, se estabilizaron, sugiriendo que la fermentación había alcanzado su punto final. De acuerdo con los hallazgos de Verbelen et al. (2009), la fermentación puede detenerse debido al agotamiento de los sustratos fermentables o a la acumulación de inhibidores metabólicos, como el etanol (C_2H_6O). Este fenómeno es particularmente relevante en procesos de SSF, donde la disponibilidad de sustratos puede variar significativamente durante el proceso.

Cabe destacar que, en el sistema SF2, se incorporó $\frac{1}{4}$ de Yeast Energizer al inicio de la fermentación, lo que pudo haber mejorado la actividad metabólica de las levaduras. Según Bisson (1999) los nutrientes adicionales, como los proporcionados por los energizantes de levadura, pueden mejorar la tasa de fermentación y la viabilidad celular, especialmente en medios con limitaciones nutricionales.

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con los reportados por otros investigadores. Por ejemplo, Tondini, Onetto y Jiranek (2020), analizaron la adaptación de *Saccharomyces cerevisiae* y *Torulaspora delbrueckii* en medios con alta concentración de azúcares. Ellos observaron que la co-inoculación de levaduras puede mejorar la eficiencia de la fermentación, siempre y cuando exista una adecuada disponibilidad de nutrientes y azúcares reductores.

Eficiencia de la producción de bioetanol

Los resultados de este estudio evidencian que la eficiencia en la producción de bioetanol (C_2H_5OH) a partir de 1 kg de papa china (*Colocasia esculenta*) varió significativamente entre los tratamientos analizados. En el tratamiento T2, se obtuvo un rendimiento de 90 mL de etanol con una concentración de 33.3° GL (grados alcohólicos), lo que indica una conversión efectiva de los azúcares reductores presentes en el sustrato.

En contraste, el tratamiento T1 no logró completar el proceso de destilación debido a la ausencia de una disminución en los grados Brix, lo que sugiere una fermentación ineficiente de los azúcares. Este fenómeno podría atribuirse a factores como la baja actividad microbiana, condiciones subóptimas de fermentación o la presencia de inhibidores en el sustrato.

DISCUSIÓN

Al comparar estos hallazgos con la investigación de Praputri y Sundari (2019), titulada "Production of Bioethanol from *Colocasia esculenta* (L.) Schott (Talas Liar) by Hydrolysis Process", se observa que dicho estudio reportó un rendimiento del 19.1% de bioetanol utilizando un proceso de hidrólisis enzimática y fermentación separada en 96 horas. Comparando con el presente estudio que alcanzó 33.3°GL, sugiere una mayor eficiencia en la conversión de almidón ($(C_6H_{10}O_5)_n$ a etanol (C_2H_6O). Esto se debe a la implementación del sistema de sacarificación-fermentación simultánea (SSF) y un tiempo de fermentación prolongado de 12 días.

Asimismo, Montenegro y Pérez (2016) reportaron una concentración de 6,0° GL de bioetanol a partir de 160 g/L de almidón de vituca (*Colocasia esculenta*), un valor inferior al obtenido en este estudio.

Además, Rosalina et al. (2022), lograron un 41,14% de etanol mediante hidrólisis ácida con HCl (15%) y fermentación con *Saccharomyces cerevisiae* durante cinco días, lo que refuerza el potencial de *Colocasia esculenta* como materia prima para la producción de bioetanol.

Estos resultados demuestran que la papa china (*Colocasia esculenta*) es una materia prima prometedora para la producción de bioetanol mediante el método SSF. Comparando estos hallazgos con estudios similares como el de Castaño, Mejía (2008) con yuca (*Monihot esculenta*), se observa que el proceso SSF es altamente eficiente, ya que evita la inhibición por acumulación de producto y maximiza la conversión de almidón en bioetanol. Sin embargo, la productividad de etanol en el estudio con yuca (1.33 ± 0.07 g/L*h) fue superior a la obtenida en el presente estudio, lo que podría atribuirse a diferencias en la composición de almidón y la adaptación de las levaduras al sustrato.

Por otra parte, Tenkolu, Kuffi y Gindaba (2024) emplearon residuos de patata para la producción de bioetanol, logrando obtener un rendimiento máximo del 34,5% (v/v) de etanol puro. Su estudio identificó que la temperatura es el factor más influyente en el rendimiento de etanol, seguido del tiempo de fermentación y el pH.

Futuras investigaciones podrían explorar la co-inoculación de levaduras o el uso de cepas modificadas genéticamente para mejorar su tolerancia al etanol y aumentar los rendimientos. Estos estudios resaltan la importancia de optimizar condiciones de fermentación y destilación para mejorar la pureza del etanol y cumplir con los estándares requeridos para su uso como biocombustible.

Para que el bioetanol obtenido sea viable como biocombustible, es necesario que alcance una pureza mínima de 99.5°GL, requisito indispensable para su uso en motores y en mezclas con gasolina. Actualmente, el etanol producido en este estudio requeriría un proceso adicional de redestilación y deshidratación para cumplir con este estándar, lo que resalta la necesidad de optimizar y mejorar las etapas de producción.

En este sentido, el estudio de Ponce y Gonzales (2024), evidenciaron cómo la implementación de sistemas automatizados en la etapa de destilación mejora la recuperación y pureza del etanol producido. Su estudio alcanzó concentraciones de 42°, 49°, 48° y 66° GL de etanol anhidro en distintos tratamientos mediante un sistema controlado de temperatura y presión, lo que redujo pérdidas energéticas y mejoró el rendimiento final. En concordancia, Castillo y Tenganán (2024), destacan la importancia de diseñar sistemas de supervisión en tiempo real de variables críticas como temperatura y tiempo de producción. Además, el monitoreo continuo permite una mejor comprensión de los factores que influyen en la eficiencia del sistema, facilitando su mejora continua. Así, la implementación de tecnologías de monitoreo y control en la etapa de destilación representa una alternativa clave para optimizar el proceso de producción de bioetanol.

En Ecuador, el Decreto Ejecutivo 675 (2015) establece que, desde 2010, el programa piloto “Ecopaís” ha promovido la incorporación de hasta un 10% de bioetanol anhidro en la mezcla con gasolina. Por lo tanto, mejorar la eficiencia de producción y pureza del bioetanol derivado de *Colocasia esculenta* podría contribuir significativamente a la diversificación de fuentes renovables, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y generando beneficios ambientales y económicos a nivel nacional.

CONCLUSIÓN

Este estudio demuestra que la producción de bioetanol a partir de papa china (*Colocasia esculenta*) es técnicamente viable mediante la estrategia Sacarificación- fermentación simultáneas (SSF), utilizando las cepas de levadura SafAle WB-06 (*Saccharomyces cerevisiae* var. *Diastaticus*) y Fermivin CHAMPION (*Saccharomyces cerevisiae* ex. *Bayanus*). Este hallazgo es de relevancia ya que evidencia el potencial

de aprovechamiento de un recurso local de gran disponibilidad en la provincia de Pastaza, promoviendo así la valoración de materias primas subutilizadas y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y economía circular en la región.

Sin embargo, los grados alcohólicos obtenidos en el bioetanol producido no alcanzaron las concentraciones mínimas requeridas para su uso como biocombustible, según los estándares técnicos establecidos. Este resultado subraya la necesidad de optimizar parámetros operativos claves como la relación sustrato-agua, el tiempo de fermentación, y el pH, además de evaluar pretratamientos más eficientes para mejorar la liberación de azúcares fermentables. Asimismo, se recomienda realizar un análisis detallado de las condiciones cinéticas y termodinámicas del proceso, con el fin de identificar y corregir las limitaciones que afectan el rendimiento final.

Para superar estas limitaciones, mejorar la eficiencia y pureza del bioetanol, es importante considerar acciones complementarias a las optimizaciones ya mencionadas. Una opción prometedora es explorar el uso de cepas de levaduras genéticamente modificadas o adaptadas que presenten mayor tolerancia al etanol y mejor rendimiento en la conversión de azúcares, lo que podría incrementar significativamente los grados alcohólicos.

Además, el implementar técnicas de purificación avanzadas, como la destilación al vacío o el uso de tamices moleculares, contribuirían a la purificación del etanol, permitiendo cumplir con los estándares requeridos para su uso como biocombustible. Estas acciones, junto con un control riguroso de los parámetros de fermentación, ayudarían a superar las barreras actuales y mejorar la viabilidad técnica del proceso.

Desde la perspectiva de Ingeniería Ambiental, este estudio se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7 de la ONU, que busca impulsar la transición hacia fuentes de energías renovables para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar el impacto ambiental de los combustibles fósiles. La producción de bioetanol a partir de la biomasa local, como la papa china, representa una alternativa sostenible, siempre y cuando se optimicen los procesos para garantizar su viabilidad técnica y ambiental.

Si bien los resultados obtenidos indican que el bioetanol producido aún no es apto para su uso como combustible en su estado actual, este estudio establece una clave precedente para futuras investigaciones dirigidas a mejorar la eficiencia del proceso y alcanzar los grados alcohólicos requeridos.

REFERENCIAS

Aboubakar, A., et al. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering*, 86(2), 294–305. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.10.006>

Acán Acán, A. (2020). Efecto de la temperatura y pH sobre el proceso industrial para la obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática a partir de *Colocasia esculenta* (Papa china) [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14502/1/20T01361.PDF>

Acosta, J. C., Alzate, L., & Ruiz, A. A. (2020). Enzymatic hydrolysis of wheat starch for glucose syrup production. *DYNA (Colombia)*, 87(214), 173–182. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V87N214.82669>

Aguilar Romero, D. A. (2019). Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el cantón Machala, El Oro, Ecuador [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18090/1/UPS-CT008600.pdf>

Alvarado Ludeña, G. R. (2021). Obtención de bioetanol a partir del bagazo de la caña de azúcar mediante hidrólisis enzimática [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21229>

Alvarado-Santiago, F. de J., et al. (2024). Análisis cualitativo de extractos fitoquímicos de la Calahuala (*Phlebodium aureum*), como alternativa de un aprovechamiento sustentable. *Revista Huella Científica*, 1, 92–107. https://huellacientifica.villahermosa.tecnm.mx/huella_cientifica/article/view/20

AOAC. (2023). *Official methods of analysis of AOAC INTERNATIONAL* (22nd ed.). Oxford University Press.

Arici, M., et al. (2016). Physicochemical and nutritional properties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flour as affected by drying temperature and air velocity. *LWT*, 74, 434–440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.006>

Beerland Store. (n.d.). Beerland Store. Retrieved February 12, 2025, from <http://www.beerlandstore.com>

Bisson, L. F. (1999). Stuck and sluggish fermentations. *American Journal of Enology and Viticulture*, 50(1), 107–119. <https://doi.org/10.5344/ajev.1999.50.1.107>

Blanco P, A., Quicazán S, M., & Cuenca Q, M. (2012). Efecto de algunas fuentes de nitrógeno en la fermentación alcohólica de miel. *Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 19, 234–236. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169823914069>

Bradbury, J. H., & Holloway, W. D. (1988). *Chemistry of tropical root crops: significance for nutrition and agriculture in the Pacific*. Australian Centre for Agricultural Research.

Caicedo, W. O. (2013). Tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) como una fuente energética tropical para alimentar cerdos. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 20. <https://acortar.link/dhKD5d>

Cali Palacios, G. (2021). Plan de marketing digital para reactivar el sector económico del cantón Santa Clara, provincia de Pastaza [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/15393/1/42T00606.pdf>

Calle, J., Benavent-Gil, Y., & Rosell, C. M. (2020). Development of gluten free breads from Colocasia esculenta flour blended with hydrocolloids and enzymes. *Food Hydrocolloids*, 98, 105243. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105243>

Caro Hernández, O. C. (2025). Estudio de propiedades fisicoquímicas, compuestos bioactivos y atributos de calidad en botanas de camote (Ipomoea batatas (L.) Lam.) horneadas [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Sinaloa]. http://repositorio.uas.edu.mx/jspui/handle/DGB_UAS/917

Castañó, H. I., & Mejía, C. E. (2008). Ethanol production from cassava starch using the process strategy simultaneous saccharification-fermentation. *Vitae*, 15, 251–258. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-40042008000200007&script=sci_abstract

Castillo, J. S., & Tenganán, D. A. (2024). Desarrollo de un sistema de monitoreo y control de una destiladora de bioetanol [Tesis de licenciatura, Universidad Mariana]. <https://hdl.handle.net/20.500.14112/28346>

Chauvet, M., & Gonzáles, R. L. (2008). Biocombustibles y cultivos biofarmacéuticos: ¿oportunidades o amenazas? *El Cotidiano*, 147, 51–61. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32514707>

Chuiza, M. R., Haro, C. V., & Brito, H. L. (2021). Identificación de las variables de proceso óptimas para la producción del almidón de papa china (Colocasia esculenta). *Revista científica Dominio de las ciencias*, 7(1), 837–848. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i1.1680>

Constitución del República del Ecuador. (2008). Constitución del República del Ecuador 2008. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf

Cuevas, R., & Bravo, I. (2021). Producción de combustibles renovables. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 16(30), 1e–50e. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2023.30.69635>

Decreto Ejecutivo 675. (2015). Decreto 675 - Dispónese que la gasolina ECOPAÍS estará compuesta por un porcentaje de hasta el 10% de bioetanol anhidro, grado carburante, y la diferencia por naftas necesarias para alcanzar el número de octanos que establece la correspondiente norma INEN aplicable. 512-Primer Suplemento. <https://vlex.ec/vid/disponese-gasolina-ecopais-compuesta-583918334>

Delgado Noboa, J. W. (2023). Producción de etanol anhidro a partir de la fermentación de residuos de cacao para uso como biocombustible [Tesis de licenciatura, Universidad de Zaragoza]. <http://zaguan.unizar.es>

Enologica Vason. (2016). Sulfato de amonio nutriente para levadura composición. *Enologica Vason*. <https://www.vason.com/index.cfm/es/>

Enríquez, M. Á., & Ojeda, G. L. (2020). Evaluación bromatológica de dietas alimenticias, con la inclusión de harina de plátano de rechazo. *REVISTA ESPAMCIENCIA*, 11(1), 12–18. <https://doi.org/10.51>

Espinoza, G. E., & Pérez, B. A. (2019). Comportamiento térmico de la Colocasia esculenta (Papa china) [Tesis de licenciatura, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/869>

Faerron, C. A., & Mora, W. (2023). Progresividad o regresividad en las políticas públicas y la agenda internacional de Costa Rica en materia ambiental. [Tesis de licenciatura]. <https://hdl.handle.net/20.500.12337/8589>

Fleet, G. H. (2008). Wine yeasts for the future. *FEMS Yeast Research*, 8(7), 979–995. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2008.00427.x>

Guerrero, E. I., & Yépez, A. C. (2018). Elaboración de una bebida alcohólica destilada a partir de yuca (Manihot esculenta) y zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza) [Tesis de licenciatura, Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7471/1/138951.pdf>

Gutiérrez, S. E. (2009). Obtención de bioetanol a partir del mangocriollo del Istmo de Tehuantepec [Tesis de licenciatura, Universidad del Istmo]. <https://es.scribd.com/document/225266983/Obtencion-de-Bio-Etaol-Mango>

Hendek Ertop, M., Atasoy, R., & Akin, Ş. S. (2019). Evaluation of taro [Colocasia Esculenta (L.) Schott] flour as a hydrocolloid on the physicochemical, rheological, and sensorial properties of milk pudding. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.14103>

Huacho, I. F., Rodríguez, A. I., & Brito, H. L. (2021). Síntesis de un polímero biodegradable a base de la yuca (Manihot esculenta Crantz). *Dominio de las Ciencias*, 7(1), 216–232. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i1.1701>

Huayta Mamani, B. W. (2021). Obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática del almidón de papa cardenal. *Revista Facultativa de Divulgación Científica*, 2, 35–47. <https://dicyt.uajms.edu.bo/revistas/index.php/ciencia-sur/article/view/744/744>

Jiménez, K., et al. (2019). Characterization of batatas flours and starches (Ipomoea batatas Lam.) from the Colombian Caribbean coast. *Revista U.D.C.A Actualidad and Divulgacion Cientifica*, 22(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n1.2019.1185>

Lloor-Ponce, D. (2020). Obtención de alcohol etílico a partir de dos variedades de cabuya: alternativa para su industrialización. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 1(1), 2–16. <https://doi.org/10.46296/ig.v1i1.0001>

Lorenzo, C. (2012). La configuración del perfil de la política exterior en biocombustibles de Argentina. *Revista Mural Internacional*. <https://acortar.link/8V1jyl>

Montenegro, E. C., & Pérez, Y. del R. (2016). Obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática y fermentación a partir de almidón de vituca (Colocasia esculenta) Lambayeque, 2015 [Tesis de licenciatura]. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/3190>

Moreno, M. E., et al. (2020). Formulación de un pegamento a base de dextrina y pectina obtenidas de residuos vegetales. *Revista ULA*, 15(1), 13–22. www.saber.ula.ve/avancesenquimica

Parra Pérez, J. B. (2019). Obtención de biofilm a partir del almidón de zanahoria blanca (Arracacia xanthorrhiza) y de camote (Ipomoea batatas) como alternativa al uso de material plástico derivado de petróleo [Tesis de licenciatura, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13808>

Patel, K., & Singh, S. K. (2024). Sustainable waste management: a comprehensive life cycle assessment of bioethanol production from agricultural and municipal waste. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(39), 51431–51446. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34612-z>

Peña, S. E., & López, J. E. (2020). Desarrollo sostenible y oportunidad de aprendizaje de las biorrefinerías: Una alternativa de la biomasa. *Revista de Ciencias Sociales*, XXVI(2), 401–413. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7599953>

Pillco Cochán, C. J., Guzmán Loayza, D., & Cuéllar Bautista, J. E. (2021). Composición fisicoquímica y análisis proximal del fruto de Sofaique "Geoffroea decorticans (Hook. et Arn.)" procedente de la región Ica-Perú. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 87(1), 14–25. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i1.319>

Plan de Desarrollo Turístico. (2021). Plan de desarrollo turístico del cantón Santa Clara periodo 2022-2026. https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/Plan-Final-de-Turismo-Santa-Clara-2022_compressed.pdf

Ponce, J. M., & Gonzales, G. A. (2024). Desarrollo de un destilador automatizado para la producción de etanol de yuca para su uso y aplicación como biocombustible en el sector de energías renovables [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/683329/Gonzales_GG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Praputri, E., & Sundari, E. (2019). Production of bioethanol from *Colocasia esculenta* (L.) Schott (Talas Liar) by hydrolysis process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 543, p. 012056). Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012056>

Reynolds, M. A., Uribe, S., & López, J. A. (2019). Cuantificación energética del proceso de producción de maíz para la generación de etanol de primera y segunda generación. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, 1, 602–610.

Rios, E. P., & Zelada, H. M. (2017). Determinación del rendimiento de glucosa por hidrólisis enzimática de almidones de yuca (*Manihot esculenta*), camote (*Ipomoea batatas*) y papa (*Solanum tuberosum*) [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/1061>

Roca Jusmet, J. (2022). La política climática y los combustibles fósiles: una perspectiva desde la oferta. *Journal of Critical Economics*, 34, 9. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02974-4>

Rosalina, et al. (2022). Bioethanol production using Taro roots waste (*Colocasia esculenta*) from Bogor Indonesia and analysis of chemical compounds. *RASAYAN Journal of Chemistry*, 15(2), 870–874. <https://doi.org/10.31788/RJC.2022.1526575>

Tapia Zarate, K. M. (2024). Influencia de la temperatura, tiempo y dosis de HCl para la obtención de jarabe de glucosa a partir de los residuos de la papa Canchán [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro de Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/11165>

Tenkolu, G. A., Kuffi, K. D., & Gindaba, G. T. (2024). Optimization of fermentation condition in bioethanol production from waste potato and product characterization. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(4), 5205–5223. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02974-4>

Tirado, D. F., Montero, P. M., & Acevedo, D. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias. *Información Tecnológica*, 26(2), 3–10. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000200002>

Tondini, F., Onetto, C. A., & Jiraneck, V. (2020). Early adaptation strategies of *Saccharomyces cerevisiae* and *Torulaspora delbrueckii* to co-inoculation in high sugar grape must-like media. *Food Microbiology*, 90, 103463. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2020.103463>

Torrent Espinoza, G. (2021). Retrospectiva y prospectiva del desarrollo de las generaciones de biocombustibles. *Ciencia y Tecnología*, 21, 53–63. <https://doi.org/10.18682/cyt.vi21.2593>

Tortoló, K., et al. (2023). Replacement of the nitrogen source in the fermentation process of *Candida utilis* at laboratory scale. *Revista Centro Azúcar*, 50. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_serial&pid=2223-4861&lng=es&nrm=iso

Valle-Rodríguez, J. O., Córdova, J. A., & Díaz-Montano, D. M. Influencia de la adición de nutrientes al jugo de Agave tequilana, en la fermentación con *Kloeckera africana* [Tesis de licenciatura]. https://smbb.mx/congresos%20smbb/acapulco09/TRABAJOS/AREA_X/CX-21.pdf

Verbelen, P. J., et al. (2009). The role of oxygen in yeast metabolism during high cell density brewery fermentations. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 82(6), 1143–1156. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-1909-8>

Villa, M. P., Crespo-Berti, L. A., & Cruz, J. I. (2021). Biocombustibles, una alternativa ecológica para el desarrollo sostenible en el Ecuador provincia de Imbabura. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 8. <https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2719>

Walker, G. M., & Walker, R. S. K. (2018). Enhancing yeast alcoholic fermentations. In *Advances in Applied Microbiology* (pp. 87–129). <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.05.003>

Wang, S., et al. (2020). *Starch structure, functionality and application in foods*. 1. Singapore: Springer Singapore. ISBN 978-981-15-0621-5.

Zambrano, E., et al. (2022). Sistemas aplicados al cambio de matriz productiva de combustibles fósiles por biocombustibles en el Ecuador. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, 413–423. <https://www.proquest.com/openview/83e29c5c76280fbb1c79bb6144dbf990/1?pq-origsite=g>

Zhang, Y., & Chen, Q. (2020). Improving measurement of reducing sugar content in carbonated beverages using Fehling's reagent. *Emerging Investigators*, 2. <https://pdfs.semanticscholar.org/29a0/4c6da031c77a8c61eb13bbe3cc1f1368b3cb.pdf>

Zubair, M. W., et al. (2023). Functional profile and encapsulating properties of *Colocasia esculenta* (Taro). *Food Science & Nutrition*, 11(6), 2440–2449. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3357>

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) .