

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS**

**“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE
GLUCOAMILASA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN
EL RENDIMIENTO DEL DESTILADO ETANÓLICO A
PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

AUTOR : Bach. Fernando Vásquez Fernández
Bach. Deicy Elisabeth Vilchez Leyva

ASESORES : M. Cs. Adán Diaz Ruiz
Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán

Línea de Investigación: LI_IIA_03: Desarrollo y Caracterización de Productos

JAÉN-PERÚ

2026

Fernando Vásquez Fernández Y Deicy Elisabeth Vílc...

INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOAMILASA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL DESTI...

Quick Submit
Quick Submit
Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3556104527

Fecha de entrega

30 abr 2026, 11:09 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

30 abr 2026, 11:13 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

ABETH_VILCHEZ_LEYVA_-INFORME_-_Deicy_Elisabeth_vilchez_leyva.pdf

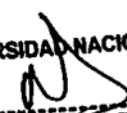
Tamaño del archivo

1.0 MB

51 páginas

8094 palabras

44.915 caracteres

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marteni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

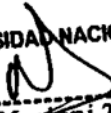
Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marteni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2019-SUNEDU/CD

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 17 de junio del año 2026, siendo las 11:00 horas, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos
Secretario: Dr. Ralph Stein Rivera Botonares
Vocal: Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo

para evaluar la Sustentación de:

- () Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOAMILASA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL DESTILADO ETANÓLICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)"

presentado por los Bach. Fernando Vásquez Fernández y Deicy Elisabeth Vilchez Leyva de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

(X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

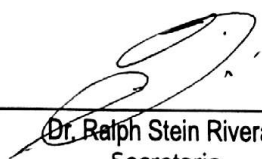
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | () |
| c) Bueno | 14, 15 | (14) |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | () |

Siendo las 12:15 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Jaén, 17 de junio de 2026


Mg. Segundo Alipio Cruz Hoyos
Presidente


Dr. Ralph Stein Rivera Botonares
Secretario


Mg. Andrea Fioreli Velarde Santoyo
Vocal

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Fernando Vásquez Fernández y Deicy Elisabeth Vilchez Leyva, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 75588493 y 71724838.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE GLUCOAMILASA Y TIEMPO DE FERMENTACIÓN EN EL RENDIMIENTO DEL DESTILADO ETANÓLICO A PARTIR DE ALMIDÓN DE YUCA (*Manihot esculenta*)”.

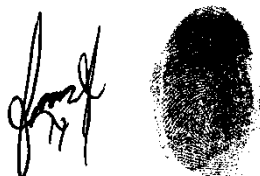
Asesorado por el M. Cs. Adán Díaz Ruiz y la Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán.

El mismo que presento bajo la modalidad de tesis para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero de Industrias Alimentarias

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

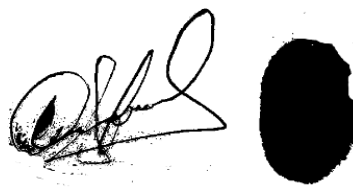
El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Jaén, 03 de setiembre 2026



Fernando Vásquez Fernández

DNI: 75588493



Deicy Elisabeth Vilchez Leyva

DNI: 71724838

Índice General

Índice de Tablas.....	iii
Índice de Figuras	iv
Índice de Anexos.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	5
2.1. Lugar de ejecución	5
2.2. Población, muestra y muestreo.....	5
2.3. Métodos, técnicas, procedimiento e instrumentos de recolección de datos	6
2.4. Análisis de datos.....	13
2.5. Diseño Estadístico (Experimental).....	13
2.6. Variables de estudio	15
III. RESULTADOS	16
IV. DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
5.1. Conclusiones	22
5.2. Recomendaciones.....	22
VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	23
ANEXO.....	28

Índice de Tablas

Tabla 1	Formulación de los tratamientos	10
Tabla 2	Matriz de experimentación para la obtención de destilado alcohólico de almidón de yuca.....	14
Tabla 3	Rendimiento de la obtención de almidón de yuca.....	16
Tabla 4	Valores de pH de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación.....	17
Tabla 5	Valores de acidez de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación.....	18
Tabla 6	Valores de extracto seco de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación.....	18
Tabla 7	Valores de grado alcohólico de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación.....	19

Índice de Figuras

Figura 1	Diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca	6
Figura 2	Diagrama de flujo para la obtención del destilado etanólico	9

Índice de Anexos

Anexo 1	Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad.....	28
Anexo 2	Pruebas no paramétricas de diferencias significativas	32
Anexo 3	Valores de pH, acidez, extracto seco y grado alcohólico, de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación	38
Anexo 4	Norma Técnica Peruana 211.013:2015 Bebidas Alcohólicas Vodka.....	40
Anexo 5	Álbum de las operaciones de obtención de almidón de yuca	41
Anexo 6	Álbum de fotos, proceso de obtención del destila etanólico.....	42
Anexo 7	Álbum de fotos, análisis fisicoquímicos grado alcohólico, pH y extracto seco.....	44

RESUMEN

La finalidad de la investigación fue evaluar la influencia de la concentración de glucoamilasa y tiempo de fermentación en el rendimiento del destilado etanólico a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*). Se realizó un estudio experimental con dos factores 3x3. Siendo el primer factor el tiempo de fermentación (5, 10 y 15 días) y el segundo factor la concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg). Se extrajo almidón de yuca, cuyo rendimiento promedio fue de 16.02% y humedad promedio de 10.12%. Se realizó una primera hidrólisis utilizando enzima α -Amilasa (1.5 mL/kg) por 40 min a 85°C a todos los tratamientos y una segunda hidrólisis empleando glucoamilasa durante 60 min a 60 °C de acuerdo a las concentraciones de estudio, se realizó la fermentación empleando *Saccharomyces cerevisiae*. Se encontró que la concentración de glucoamilasa tiene influencia significativa en el rendimiento alcohólico. Así mismo, se observó diferencias significativas en los días de fermentación 5 y 10 para los tratamientos E0 y E1 respectivamente, no encontrándose diferencias con el tratamiento E2, lo que implica que el incremento de glucoamilasa reduce los días de fermentación. Los valores de acidez y extracto seco se encuentran dentro de lo establecido en la NTP 211.013:2015. Bebidas Alcohólicas Vodka.

Palabra clave: Hidrólisis enzimática, α -Amilasa, glucoamilasa, fermentación alcohólica.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the influence of glucoamylase concentration and fermentation time on the yield of ethanolic distillate from cassava starch (*Manihot esculenta*). A 3x3 two-factor experiment was conducted. The first factor was fermentation time (5, 10, and 15 days), and the second factor was glucoamylase concentration (0, 0.5, and 1.0 mL/kg). Cassava starch was extracted, with an average yield of 16.02% and an average moisture content of 10.12%. A first hydrolysis was performed using α -amylase enzyme (1.5 mL/kg) for 40 min at 85 °C for all treatments, and a second hydrolysis using glucoamylase for 60 min at 60 °C, according to the concentrations studied. Fermentation was then carried out using *Saccharomyces cerevisiae*. Glucoamylase concentration was found to have a significant influence on alcoholic yield. Significant differences were also observed on fermentation days 5 and 10 for treatments E0 and E1, while no differences were found for treatment E2. This suggests that increasing glucoamylase concentration reduces the number of fermentation days. Acidity and dry extract values are within the limits established by NTP 211.013:2015 Alcoholic Beverages - Vodka.

Keyword: Enzymatic hydrolysis, α -Amylase, glucoamylase, alcoholic fermentati.

I. INTRODUCCIÓN

La yuca es un tubérculo de raíz comestible originario de América del sur y que se cultiva principalmente en los países tropicales de América, Asia y África (Mentta, 2024). En la región Cajamarca se cultivan 6 056 ha de yuca, con una producción de 7 4755 t al año, (MIDAGRI, 2022). La producción de yuca en Jaén durante el periodo 2021 -2022 fue 7.8% (INEI, 2022) lo que equivale a una producción de 5 830 t/año.

En la región Cajamarca se cultivan yuca que generalmente es destinada al consumo doméstico, a la alimentación de animales y expendido en los mercados locales. Jaén es una zona productora de yuca, que es parte de nuestra dieta alimentaria prácticamente diaria, además debido al alto contenido de humedad, la yuca se deteriora muy rápido, de tal forma que gran parte de la cosecha se pierde por esta razón si no es comercializada inmediatamente después de la recolección. Así mismo, este producto agrícola es muy poco industrializado, a lo más, algunas familias lo emplean como materia prima para extracción de almidón de manera artesanal para consumo local.

Frente a esta problemática nace el interés de aprovechar la yuca para obtener almidón como materia prima, para la producción de un destilado etanólico, el proceso se realizó mediante hidrólisis enzimática, utilizando (α -amilasa y glucoamilasa) y se le agregó levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) para el proceso de fermentación alcohólica, con el propósito de estudiar la influencia de las enzimas en el rendimiento del destilado alcohólico.

Para obtener etanol a partir de almidón, es necesario romper las cadenas de este polisacárido utilizando tipos de enzimas como son las amilasas, siendo las más conocidas la α -amilasa y la glucoamilasa, para obtener jarabe de glucosa, el cual se puede convertir en alcohol etílico mediante levaduras (Herrera, 2019). Recientes avances en el desarrollo de amilasas termoestables han permitido mejorar la eficiencia del proceso de licuefacción y en la actualidad son grandes los avances a nivel de la tecnología para la obtención de enzimas industriales de este tipo (Martínez, 2014).

La fermentación alcohólica es el proceso en el que se produce la degradación anaeróbica de la glucosa, con la transformación de los azúcares en etanol y CO₂. Catalizada por enzimas y llevado a cabo principalmente por levaduras, para obtener energía en forma de ATP, que se utiliza para realizar sus funciones fisiológicas, actividades de crecimiento y reproducción. El etanol es un subproducto de este proceso (Machado et al., 2023).

Wangpor J. et al (2017), obtuvieron alcohol a partir de almidón de yuca, las variables fueron, efectos de la cantidad de enzima, temperatura de licuefacción y el tiempo de licuefacción sobre las concentraciones de dextrina y los efectos de la cantidad de enzima, la temperatura de sacarificación y el tiempo de sacarificación sobre las concentraciones de glucosa. Utilizó la metodología de superficie de respuesta (RSM) para optimizar las condiciones de licuefacción y sacarificación de las concentraciones de azúcar. Teniendo como resultado que contenido máximo de glucosa fue de 273.1 g/L cuando el almidón de yuca (30 % p/v) se licuó con 0.9 mg/g de alfa-amilasa/almidón a 85 °C durante 180 min y se sacarificó con 1.5 mg/g de glucoamilasa/ almidón a 60 °C durante 90 min. El etanol máximo producido después de un período de 72 h de fermentación por *S. cerevisiae* en un biorreactor de 10 litros fue de 43.5 g/L, lo que dio como resultado un rendimiento de etanol de 5.5°GL con una eficiencia de fermentación del 85.4 %.

Herrera (2019), evaluaron las variedades de papa tumba y huagalina para producir vodka. Extrajeron almidón de cada variedad con rendimientos de 15.5% de almidón para la variedad tumbay y 13.26 % de almidón para la variedad huagalina. Obtuvieron etanol mediante hidrólisis enzimática con α -amilasa, fermentación durante 16 días empleando levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Así mismo, determinaron una acidez total de 3.7 g/100 mL para la variedad tumbay y 3.0 g/100 mL para la variedad huagalina. En cuanto al contenido alcohólico, reportó un rendimiento promedio de 42.25 °GL para la variedad tumbay y de 45.58 °GL para la variedad huagalina.

Peláez, H. (2020), obtuvo etanol a partir de yuca fresca, donde la cantidad de enzima utilizada afecta la reducción de viscosidad de las masas de yuca. Utilizaron los procesos de hidrólisis y fermentación simultáneos en la producción de etanol a partir de yuca fresca, en esta fase tanto la carga enzimática del complejo Stargen 001 de 70.65 AGU/g almidón, y una concentración de etanol esperada de 79.22 g/L. Estas condiciones fueron validadas en el biorreactor de 3 L y se alcanzaron a las 72 h concentraciones de 78.5 y

85.16 g etanol/L para las dos replicas. El investigador concluye que la cantidad de inóculo presentaron efecto sobre la producción de etanol, fue posible validar experimentalmente las condiciones de proceso obtenidas por optimización del proceso.

Rafael (2024), obtuvo alcohol etílico a partir de almidón de oca, sus variables de estudio fueron, conversión de almidón a dextrina mediante hidrólisis y la concentración de enzimas Alpha amilasa 0.41%, glucoamilasa 0.75%. En la etapa de fermentación obtuvieron una eficiencia de conversión de azúcares fermentables del 89%, como resultado obtuvieron que por cada 1000 kg de oca se obtiene 30 L de destilado.

Díaz (2023), determinó el efecto de la concentración de almidón de yuca y el tiempo de cocción de la suspensión en la obtención de un destilado alcohólico, utilizó almidón de yuca en concentraciones de 15, 25 y 35% (p/p), enzima Mega DS9 (alfa amilasa) en la concentración de 1.5 mL/Kg, con una temperatura entre 90 - 95 °C y en los tiempos de cocción de 20, 30 y 40 min por cada tratamiento para la sacarificación. Fermentó durante 7 días, utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Evaluó parámetros fisicoquímicos como el grado alcohólico, pH, extracto seco. El tratamiento con 35% de almidón y 40 min de cocción fue el que tuvo mayor rendimiento alcohólico de 29.62 °GL, su pH fue de 3.91 y extracto seco de 0.091 g/L.

Calle, C y Villacorta, M (2025), obtuvo alcohol a partir de almidón de pituca, sus variables de estudio fueron, condiciones de hidrólisis, cantidad de enzimas 1 g, proporción 1:1, pH 6 y 7, brix de 12.7 y tiempo de fermentación 7 días. Obtuvieron como resultado 280.7 mL con un contenido de alcohol 40 °GL.

Palacios et al. (2025), obtuvieron alcohol etílico a partir del almidón de yuca (*Manihot esculenta*), evaluaron el rendimiento y volumen de etanol bajo diferentes condiciones de procesamiento, utilizaron tres variedades de esta materia prima: yuca dulce, yuca amarga, y yuca amarilla. Para cada variedad realizaron cinco tratamientos diferentes. Cada tratamiento tuvo una solución de almidón en 1 L al 30% (p/v), emplearon dos tipos de enzimas (alfa-amilasa, glucoamilasa y dextrasa) hidrolizaron durante 24 h. La fermentación lo realizaron durante 7 días empleando levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Obtuvieron como mejor el tratamiento con almidón de yuca dulce hidrolizado con glucoamilasa que obtuvo un rendimiento de 20% de alcohol.

La investigación buscó mejorar los procesos de producción tradicional y la falta de conocimiento sobre herramientas biotecnológicas que conducen, principalmente a obtener bajos rendimientos. Las herramientas biotecnológicas están constituidas por métodos, equipos, organismos vivos o parte de ellos como las enzimas que actúan como catalizadores de las reacciones químicas de los sistemas biológicos. Se conocen alrededor de 400 enzimas de interés industrial, entre ellas las amilasas degradadoras de almidón para producir azúcares fermentables entre las que se conocen a las α -amilasas o amiloglucosidasas obtenidas de *A. niger* (Rendueles y Díaz, 2014).

El estudio proporciona información valiosa sobre la mejora del proceso de obtención de etanol mediante hidrólisis enzimática del almidón de yuca, estudiando la influencia de la concentración de glucoamilasa y tiempo de fermentación para obtener mejores rendimientos en el destilado que permitirá compensar los costos de producción de este importante producto abaratado su costo en el mercado.

Por otra parte, al emplear almidón de yuca se promoverá la producción de este producto agrícola y se obtendrá etanol de excelente calidad para ser empleado en la industria de licores y derivados, en medicina como desinfectante e inclusive como combustible ecológico beneficiando a la sociedad, industrias y medioambiente.

Es por ello que el objetivo general de la investigación fue evaluar en qué medida influye la concentración de glucoamilasa y el tiempo de fermentación en el rendimiento del destilado etanólico a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*). Tratándose los siguientes objetivos específicos: a) caracterizar los parámetros fisicoquímicos (pH, acidez y extracto seco) del destilado etanólico elaborado a partir de almidón de yuca mediante hidrólisis enzimática y a tres tiempos de fermentación alcohólica (5, 10 y 15 días) y tres concentraciones de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg) b) evaluar la relación de la concentración de glucoamilasa y del tiempo de fermentación en el rendimiento del destilado etanólico.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de ejecución

El proyecto se ejecutó en las instalaciones de Laboratorios de Química del Departamento Académico de Ciencias Básicas y Aplicadas de la Universidad Nacional de Jaén.

2.2. Población, muestra y muestreo

Población

Raíz de yuca utilizadas en el presente estudio fueron sembradas y cultivadas en las chacras del Sr. Hilario Vásquez Paredes en el C.P. El Triunfo, distrito de Huarango, provincia de San Ignacio, región Cajamarca.

Muestra

La muestra estuvo conformada por 80.522 kg de raíces de yuca de la variedad blanca, fueron cosechadas luego de 12 meses desde la siembra, la recolección se realizó el 11 de enero del año 2025, a partir de las cuales se extrajo el almidón.

Muestreo

Se realizó muestreo no probabilístico según su conveniencia de los investigadores, considerando criterios orientados a la edad del cultivo, variedad, el tamaño de las raíces y peso similar.

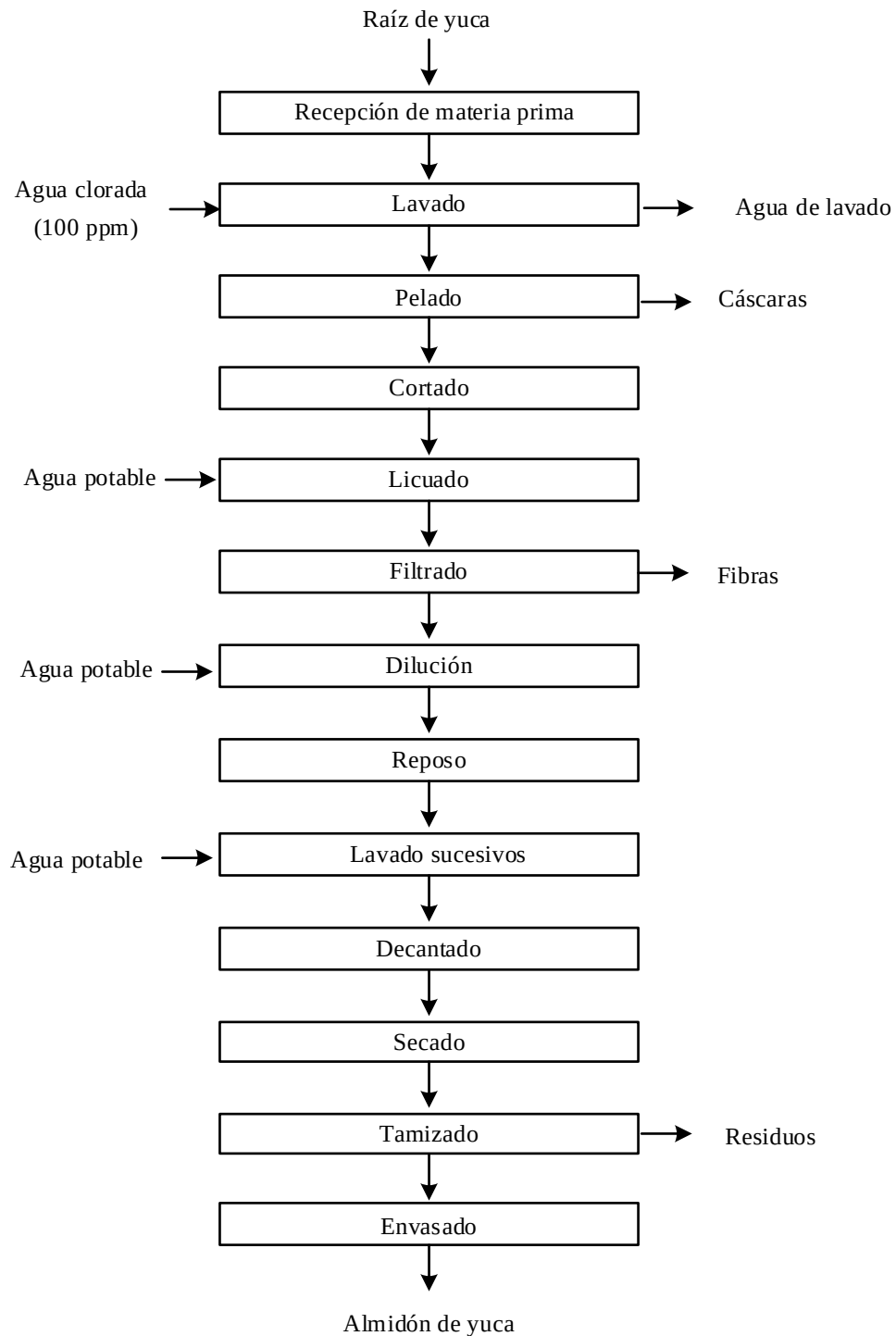
2.3. Métodos, técnicas, procedimiento e instrumentos de recolección de datos

2.3.1. Procedimiento para la obtención de almidón de yuca

En la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo para la obtención de almidón de yuca.

Figura 1

Diagrama de Flujo para la obtención de almidón de yuca.



- **Recepción de materia**

Las raíces de yuca fueron recepcionadas en sacos de yute en la cantidad requerida para procesar anticipadamente, se realizó una selección para descartar daños físicos. Se pesó en una balanza (EUROTECH, F5000-1BF, EE. UU) el producto recepcionado.

- **Lavado**

Se realizó mediante un proceso manual, utilizando agua potable en baldes de plástico de 20 L de capacidad para quitar todo tipo de suciedad, filamento de raíces y tierra y luego se sumergió en agua clorada 100 ppm para una desinfección adecuada.

- **Pelado**

El proceso fue realizado manualmente con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable limpio y desinfectado, se retiró la cáscara. Se pesó la raíz sin cáscara para determinar el rendimiento.

- **Cortado**

Para trabajar a nivel de laboratorio, la raíz de yuca fue picado en trozos pequeños con un cuchillo de acero inoxidable desinfectado con el objetivo de disminuir el tamaño de las raíces.

- **Licuada**

Se utilizó una licuadora semi industrial (RYUSAC, LQ17, PERU), se colocaron los trozos de yuca con agua helada en la misma proporción. Se licuó durante 5 min. El licuado se recepcionó en baldes de plástico limpios y desinfectados de 20 L de capacidad.

- **Filtrado**

Se procedió a filtrar utilizando una tela organza, con la finalidad de separar la fibra y el agua lechosa que contiene el almidón que fue recolectado en un balde (La operación de licuado y filtrado se repitió una vez más con la fibra separada).

- **Dilución**

El agua lechosa fue colocada en baldes de plástico de dos litros limpios y desinfectados. Por cada litro de agua lechosa se añadió 1 L de agua potable a la temperatura de 4 °C. Se agitó la mezcla con una varilla de madera por un tiempo 10 min.

- **Reposo**

La mezcla se dejó en reposo durante un tiempo de 24 h a una temperatura ambiente, con el objetivo que sedimenten los gránulos de almidones.

- **Lavados sucesivos**

Se utilizó agua potable a la temperatura de 4 °C en relación de 1:4 (almidón: agua). Se agitó la suspensión de almidón por un tiempo de 10 min, luego se dejó en reposo por un tiempo aproximado de 12 h, al término del cual se decantó el agua sobrenadante, se volvió a añadir agua, se agitó y se colocó en reposo aproximadamente otras 12 h, este procedimiento se repitió hasta que las aguas sobrenadantes sean transparentes.

- **Decantado**

Al finalizar el último lavado se decantó el agua sobrenadante para segregar los almidones.

- **Secado**

El almidón obtenido se colocó en placas petri grandes y se llevó a una estufa (KERTLAB, TC25-26339. EE. UU) por un tiempo de 24 horas a una temperatura constante de 45 °C.

- **Tamizado**

El almidón seco se tamizó utilizando un tamiz de 200 µm para lograr partículas homogéneas. El almidón tamizado se pesó para calcular el rendimiento. Además, se determinó el porcentaje de humedad empleando un analizador de humedad (SARTORIUS, MA35, EE. UU)

- **Envasado**

Se utilizó bolsas de polietileno de baja densidad con cierre hermético para proteger el almidón de una contaminación y libre de humedad.

- **Almacenado**

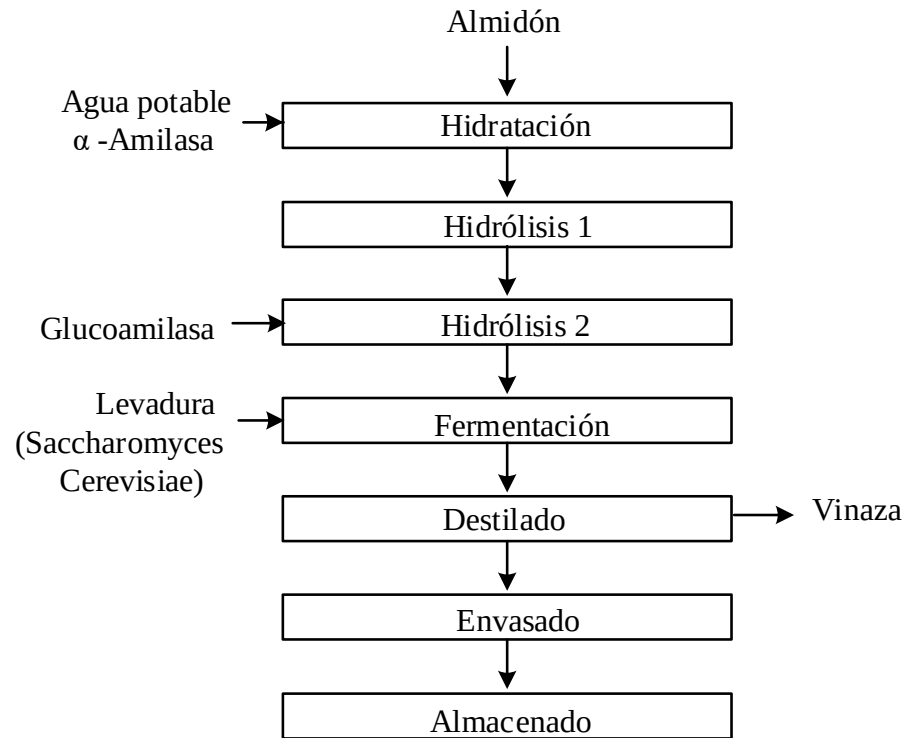
El almidón se almacenó en cajas de cartón corrugado en un lugar fresco y seco hasta ser procesado.

2.3.2. Procedimiento para la obtención del destilado etanólico

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo para la obtención del destilado etanólico.

Figura 2

Diagrama de flujo para la obtención del destilado etanólico



- Hidratación

En una olla de acero inoxidable previamente desinfectada, se dosificó agua, almidón y la enzima α -amilasa (ENDOZIN ALPHAMYL SB1) conforme a la formulación establecida, tal como se muestra en la Tabla 1 para cada uno de los tratamientos. Se añadió la enzima en una proporción de 1.5 mL/kg de suspensión y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 20 min.

Tabla 1

Formulaciones de los tratamientos para un kilogramo de suspensión.

Formulación	Agua (g)	Almidón (g)	α -amilasa (mL)	Gluco-amilasa (mL)
F1	700	300	1.5	0
F2	700	300	1.5	0.5
F3	700	300	1.5	1.0

Nota: La formulación F1 es considerado como testigo, dado que solo se emplea α -amilasa, no se utiliza la glucoamilasa.

- **Hidrólisis 1**

La suspensión hidratada α -amilasa (ENDOZYN ALPHAMYL SB1), se colocó a hidrolizarse a temperaturas entre 85-90 °C durante 40 min, cumplido el tiempo se enfrió el jarabe formado a 60 °C.

- **Hidrólisis 2**

Al jarabe se le adicionó glucoamilasa (ENDOZYN AMG), en la proporción que se indica en la Tabla 1 para cada tratamiento respectivamente. Se mantuvo en agitación empleando una espátula de madera a una temperatura de 60 °C en baño maría (JP Selecta, TM 6001, ESPAÑA) durante 60 min.

- **Fermentación**

Una vez completado los tiempos de hidrólisis, el jarabe obtenido se enfrió a 40 °C se corrigió el pH a 4.5 empleando bicarbonato de sodio o ácido cítrico según corresponda. Se adicionó la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) previamente activada, el jarabe se colocó en recipientes cerrados con trampas conteniendo solución de metabisulfito de sodio al 1% para evitar el ingreso de aire y microorganismos, se dejó fermentar durante 5, 10 y 15 días de acuerdo al diseño experimental. La temperatura de fermentación fue entre 25 – 30 °C.

- **Destilado**

El preparado fermentado se destiló utilizando un equipo de destilación simple de vidrio de laboratorio Anexo 9, para ello se colocó una muestra de 200 mL de líquido fermentado en el balón de destilación, el proceso se detuvo al obtener 100 mL de destilado, recolectándose en un matraz Erlenmeyer.

- **Envasado**

Se realizó en botellas de vidrio de 350 mL de presentación normal en el mercado, las botellas fueron desinfectadas y esterilizadas para eliminar malos olores y sabores desagradables.

- **Caracterización**

Obtenido el destilado etanólico de todos los tratamientos se procedió a la caracterización de sus parámetros fisicoquímicos (pH, acidez y extracto seco) y rendimiento alcohólico (°GL).

2.3.3. Evaluación de las características Fisicoquímicas

Determinación de pH. AOAC 981.12.2005 (Potenciométrico)

Para la medición del pH se usó pH-metro de sobremesa (HANNA INSTRUMENTS, pH/ORP.ISE, PERU), previamente calibrado utilizando soluciones buffer de pH 4, 7 y 10, una vez validado se enjuagó el electrodo con agua destilada, se secó cuidadosamente con papel adsorbente. En un vaso de precipitados de 20 mL se colocó unos 10 mL de destilado etanólico y posteriormente se introdujo el electrodo en la muestra y se dejó a estabilizarse y se leyó el pH.

Determinación de la acidez. AOAC 942.15 (Acidez titulable)

Empleando una pipeta volumétrica se midió 25 mL de destilado etanólico y en un Erlenmeyer de 250 mL, se añadió 25 mL de agua destilada medidos con una probeta, luego se agregó tres gotas de fenolftaleína al 2%. Se procedió a su titulación con una disolución de NaOH 0.1362 N estandarizada. Esta operación se realizó por triplicado.

La acidez titulable se expresa como el porcentaje de ácido acético, y se calculó empleando la ecuación 1.

$$\% (ac.) = \frac{PE(ac) * V(NaOH) * N(NaOH)}{10 * V(ac)} \dots \dots \dots (1)$$

PE = Peso equivalente expresado en gramos de ácido acético (60 g/eq).

V(NaOH) = Volumen de NaOH usado para la titulación (mL)

N (NaOH) = Normalidad del NaOH (eq/L)

V(ac) = Volumen de la muestra (mL)

10 = factor se convierte L a mL.

Determinación del extracto seco. NTP 211. 211:041

Para realizar este análisis se utilizó el método Gravimétrico.

Se lavó las cápsulas de porcelana y se puso a secar en una estufa a la temperatura de 105 °C durante 30 min, luego dejó enfriar en un desecador a temperatura ambiente y se pesó en una balanza analítica (PIOWAY MEDICAL, JA103P, ALEMANIA). Luego se colocó en las cápsulas 25 mL de muestra medidos con una pipeta volumétrica. Seguidamente, se colocaron las cápsulas conteniendo las muestras en baño maría durante 2 h a una temperatura de 85°C. Al término del tiempo, se retiraron del baño maría y se colocaron en una estufa a 105°C, hasta su sequedad total. Finalmente, se retiran las cápsulas, se dejó enfriar en el desecador y se pesaron.

El cálculo del extracto seco se realizó empleando la ecuación 2.

$$\% Extracto seco = \frac{P_1}{P} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

P1= peso en gramos de la muestra después de la desecación.

P = peso en gramos de la muestra más la capsula porcelana antes de la desecación.

Determinación del grado alcohólico. (Método alcoholímetro)

Luego de la destilación, el destilado se colocó en una probeta de 100 mL, se introdujo el alcoholímetro Gay-Lussac y se midió el grado alcohólico a temperatura ambiente de 24 °C.

Calculo para determinar la concentración del grado alcohólico de la muestra se realizó empleó la ecuación 3.

$$C_1V_1 = C_2V_2 \dots \dots (3)$$

C1= concentración de la muestra

V1=volumen de la muestra

C2=concentración del destilado

V2=volumen del destilado

2.4. Análisis de datos

El análisis de datos inició con una exploración y validación de supuestos (normalidad con Shapiro–Wilk y homogeneidad de varianzas con Levene) de cada una de las variables evaluadas. Dado el incumplimiento de supuestos en varias respuestas, se optó por una prueba estadística no paramétrico.

La inferencia se realizó con Kruskal–Wallis y comparaciones múltiples Nemenyi ($\alpha = 0,05$), organizando los contrastes entre concentraciones dentro de cada día y entre días dentro de cada concentración. En los gráficos se utilizaron letras para señalar diferencias significativas. El análisis se realizó con el software R con paquetes como tidyverse, rstatix, PMCMRplus, car y ggplot2.

2.5. Diseño Estadístico (Experimental)

La metodología de la experimentación es un diseño experimental factorial con dos factores 3x3. Las variables de estudio son tiempo de fermentación T₁, T₂ y T₃ (5, 10 y 15 días) y la concentración de glucoamilasa E₀, E₁ y E₂ (0, 0.5 y 1.0 mL/kg) constituyendo nueve tratamientos con tres repeticiones, siendo en total 27 unidades experimentales (UE).

Tabla 2

Matriz de experimentación para la obtención de destilado alcohólico de almidón de yuca.

Tiempo de fermentación	Concentración de Glucoamilasa	Repeticiones	Código Tratamiento	Código UE
T1	E0	R1	T1E0	T1E0R1
		R2		T1E0R2
		R3		T1E0R3
	E1	R1	T1E1	T1E1R1
		R2		T1E1R2
		R3		T1E1R3
	E2	R1	T1E2	T1E2R1
		R2		T1E2R2
		R3		T1E2R3
T2	E0	R1	T2E0	T2E0R1
		R2		T2E0R2
		R3		T2E0R3
	E1	R1	T2E1	T2E1R1
		R2		T2E1R2
		R3		T2E1R3
	E2	R1	T2E2	T2E2R1
		R2		T2E2R2
		R3		T2E2R3
T3	E0	R1	T3E0	T3E0R1
		R2		T3E0R2
		R3		T3E0R3
	E1	R1	T3E1	T3E1R1
		R2		T3E1R2
		R3		T3E1R3
	E2	R1	T3E2	T3E2R1
		R2		T3E2R2
		R3		T3E2R3

T: Tiempo (5, 10 y 15 días)

E: concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg)

R: Repeticiones (R₁, R₂ y R₃)

2.6. Variables de estudio

Variable independiente:

- **Concentración de glucoamilasa**
 - 0, 0.5 y 1.0 mL/kg de mosto
- **Tiempo de fermentación**
 - 5, 10 y 15 días

Variables dependientes:

- **Rendimiento del destilado etanólico**
 - Concentración de alcohol
- **Características fisicoquímicas**
 - pH
 - Acidez
 - Extracto seco

III. RESULTADOS

3.1. Rendimiento de obtención de almidón de yuca

En la Tabla 3 se muestra las ocho extracciones de almidón a partir de la raíz fresca, empleando en total 80522 g de raíz de yuca que arrojó 60992 g de raíz pelada para obtener en total 8561 g de almidón que corresponde a un rendimiento promedio de $16.02\% \pm 0.23$ con una humedad del 10.12%.

Tabla 3

Rendimiento de la obtención de almidón de yuca

Nº	Peso de raíz de yuca (g)	Peso de la cáscara (g)	Peso de la yuca pelada (g)	Peso almidón (g)	Rendimiento (%)
1	10143.00	2445.00	7698.00	1225.00	15.91
2	10000.00	2440.00	7560.00	1200.00	15.87
3	10058.00	2441.00	7617.00	1206.00	15.83
4	10200.00	2446.00	7754.00	1270.00	16.38
5	10007.00	2440.00	7567.00	1201.00	15.87
6	10100.00	2443.00	7657.00	1255.00	16.39
7	10005.00	2436.00	7569.00	1204.00	15.91
8	10009.00	2439.00	7570.00	1209.00	15.97
	80522.00	17091.00	60992.00	8561.00	16.02 ± 0.23

3.2. Caracterización de los parámetros fisicoquímicos del destilado etanólico obtenido a partir de almidón de yuca.

En el Anexo 3 se tienen los valores de los parámetros fisicoquímicos de las tres concentraciones de glucoamilasa para cada día de fermentación. Considerando que los datos no cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad como se observa en el Anexo 1, se realizó un análisis de diferencias significativas mediante el test de Kruskal-Wallis, dentro de cada día de fermentación indicado

en el Anexo 2. Como resultado de este análisis, se asignan letras diferentes (a y b) a las concentraciones que guardan diferencias significativas entre sí, dentro de cada día de fermentación.

En el Anexo 3 se muestra el efecto de la concentración de glucoamilasa y los días de fermentación en el pH del producto obtenido, se observa que existe variación en los valores de pH en todos los tratamientos. Los promedios se encuentran tabulados en la Tabla 4, donde se tiene que, para los días 5 y 15 de fermentación la concentración de glucoamilasa E2 presentó niveles de pH significativamente superiores a la concentración E0 (letra a y b, respectivamente); mientras que en el día 10 no se encontraron diferencias significativas del pH entre las concentraciones. Para la concentración E0, se observaron diferencias significativas entre el día 5 (letra x) y el día 15 (letra y). Para las otras concentraciones no se observaron diferencias significativas de pH, entre el inicio y fin de la fermentación.

Tabla 4

Valores de pH de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación

Concentración	Días de fermentación		
	5	10	15
E0	2.33 ^{xb} ± 0.01	2.06 ^{xya} ± 0.03	1.95 ^{yb} ± 0.08
E1	3.60 ^{xab} ± 0.05	3.36 ^{xa} ± 0.03	3.37 ^{xab} ± 0.04
E2	3.66 ^{xa} ± 0.08	3.37 ^{ya} ± 0.06	3.59 ^{xya} ± 0.10

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar. E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente). Las letras diferentes (a y b) indican diferencias significativas entre las concentraciones en cada día de fermentación. Letras diferentes (x e y) indican diferencias significativas entre los días de fermentación en cada una de las concentraciones, con un nivel de significancia del 5%, según Test de Kruskal-Wallis

En el Anexo 3 se muestra el efecto de la concentración de glucoamilasa y los días de fermentación en la acidez del producto obtenido, se observa que existe variación en los valores de acidez en todos los tratamientos, presentándose para el día 5 de fermentación mayor variabilidad respecto a los otros días, sin embargo,

en la Tabla 5 se puede ver que, para las tres concentraciones de glucoamilasa, los valores de acidez no resultaron ser diferentes significativamente en ninguno de los días de fermentación (todos comparten la letra a), de la misma manera, los valores de acidez no variaron significativamente a través de los días de fermentación (todos comparten la letra x). Un comportamiento similar se observa en el Anexo 3 y Tabla 6, para los valores de extracto seco.

Tabla 5

Valores de acidez de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación

Concentración	Días de fermentación		
	5	10	15
E0	0.11 ^{xa} ± 0.01	0.09 ^{xa} ± 0.01	0.07 ^{xa} ± 0.03
E1	0.06 ^{xa} ± 0.06	0.07 ^{xa} ± 0.02	0.08 ^{xa} ± 0.01
E2	0.02 ^{xa} ± 0.00	0.06 ^{xa} ± 0.01	0.06 ^{xa} ± 0.01

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar. E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente). Las letras diferentes (a y b) indican diferencias significativas entre las concentraciones en cada día de fermentación. Letras diferentes (x e y) indican diferencias significativas entre los días de concentración en cada una de las concentraciones, con un nivel de significancia del 5%, según Test de Kruskal-Wallis

Tabla 6

Valores de extracto seco de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación

Concentración	Días de fermentación		
	5	10	15
E0	0.04 ^{xa} ± 0.03	0.05 ^{xa} ± 0.03	0.03 ^{xa} ± 0.00
E1	0.07 ^{xa} ± 0.05	0.08 ^{xa} ± 0.00	0.06 ^{xa} ± 0.02
E2	0.04 ^{xa} ± 0.00	0.06 ^{xa} ± 0.02	0.05 ^{xa} ± 0.02

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar. E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente). Las letras diferentes (a y b) indican diferencias significativas entre las concentraciones en cada día de fermentación. Letras diferentes (x e y) indican diferencias significativas entre los días de concentración en cada una de las concentraciones, con un nivel de significancia del 5%, según Test de Kruskal-Wallis

3.3. Relación de la concentración de glucoamilasa y el tiempo de fermentación en el rendimiento del destilado etanólico.

Para evaluar la influencia de la concentración y del tiempo de fermentación en el rendimiento del destilado etanólico se analizaron los resultados del grado alcohólico. Como se puede ver en el Anexo 3 y Tabla 7, las letras a y b representan que si hubo diferencias significativas entre las concentraciones en cada día (para analizar la influencia de la concentración); mientras que las letras “x” e “y” indican si hubo diferencias significativas entre los días de fermentación en cada concentración (para analizar si hubo influencia de los días). Se puede ver que para cada día de concentración E2, resultó significativamente mayor que E0 (no comparten la misma letra). Así mismo se observa que para las concentraciones E0 y E1 en el día 15 presentaron valores significativamente más altos que el día 5 (no comparten letra); mientras que para la concentración E2, no hubo cambios significativos a través de los días.

Tabla 07

Valores de grado alcohólico de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación

Concentración	Días de fermentación		
	5	10	15
E0	6.73 ^{y^b} ± 0.51	7.77 ^{x^{y^b}} ± 0.41	8.56 ^{x^b} ± 0.28
E1	12.08 ^{y^{ab}} ± 0.91	15.50 ^{x^{y^{ab}}} ± 0.56	18.05 ^{x^{ab}} ± 0.68
E2	19.05 ^{x^a} ± 0.45	19.28 ^{x^a} ± 0.51	21.00 ^{x^a} ± 0.67

Nota: Los valores representan el promedio ± desviación estándar. E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente). Las letras diferentes (a y b) indican diferencias significativas entre las concentraciones en cada día de fermentación. Letras diferentes (x e y) indican diferencias significativas entre los días de concentración en cada una de las concentraciones, con un nivel de significancia del 5%, según Test de Kruskal-Wallis.

IV. DISCUSIÓN

En la caracterización de los parámetros fisicoquímicos, se observó que el tratamiento con solo α -amilasa presentó valores de pH comprendidos entre 1.95 y 2.33. En contraste, los tratamientos con adición de glucoamilasa mostraron valores de pH más elevados: entre 3.36 y 3.60 para la concentración de 0.5 mL/kg, y entre 3.37 y 3.59 para 1.0 mL/kg, durante los tres periodos de fermentación evaluados.

Asimismo, se evidenció que, en los días 5 y 15 de fermentación, el tratamiento con 1.0 mL/kg de glucoamilasa presentó valores de pH significativamente superiores en comparación con el tratamiento sin adición de esta enzima. Este comportamiento podría explicarse porque el uso exclusivo de α -amilasa favorece la formación de dextrinas que, durante la fermentación, pueden dar lugar a la generación de ácidos carboxílicos, disminuyendo el pH del medio. Por el contrario, la incorporación de glucoamilasa permite una hidrólisis más completa de las cadenas glucosídicas, produciendo mayores cantidades de glucosa, la cual es posteriormente transformada en etanol, lo que contribuiría a mantener valores de pH relativamente más altos. No obstante, los resultados obtenidos sugieren que, si bien la presencia de glucoamilasa influye en el pH del sistema, la variación en su concentración no ejerce un efecto significativo sobre este parámetro.

Por otra parte, los valores reportados en el presente estudio difieren de los obtenidos por Díaz (2023), quien reportó un pH de 3.9 para un tratamiento hidrolizado únicamente con α -amilasa tras 7 días de fermentación. Estas diferencias podrían atribuirse a variaciones en las condiciones experimentales, tales como el mayor porcentaje de almidón utilizado en la hidrólisis enzimática en el presente estudio, así como a los distintos tiempos de fermentación evaluados (5, 10 y 15 días).

En la caracterización de la acidez titulable, expresada como ácido acético, se determinó que los valores se encuentran en un rango de 0.02 a 0.11 %. Asimismo, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, tanto en función de la concentración de glucoamilasa como de los días de fermentación, lo que sugiere que estos factores no ejercen una influencia significativa sobre la acidez del producto final.

Un comportamiento similar se observó en el contenido de extracto seco, cuyos valores oscilaron entre 0.03 y 0.08 g/L, sin presentar diferencias significativas entre tratamientos. Estos resultados son comparables a los reportados por Díaz (2023) y se encuentran dentro de los límites establecidos por la NTP 211.013:2015, correspondiente a la elaboración de vodka.

En cuanto al rendimiento, expresado como la concentración de etanol obtenida en los diferentes tratamientos, se evidenció una influencia significativa tanto de la adición de glucoamilasa como del tiempo de fermentación. En particular, el tratamiento E2 (1 mL/kg de glucoamilasa) presentó un mayor grado alcohólico en comparación con el tratamiento E0 (sin adición de glucoamilasa). No obstante, entre los tratamientos que incluyeron glucoamilasa, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas.

El rendimiento máximo alcanzado fue de 21 °GL, valor que difiere de lo reportado por Wangpor (2017), quien obtuvo una concentración máxima de 43.5 g/L (equivalente a 44 °GL) utilizando 0.9 mg/g de α -amilasa/almidón y 1.5 mg/g de glucoamilasa bajo condiciones similares de hidrólisis enzimática. Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias en las concentraciones y formulaciones enzimáticas empleadas. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que el incremento en la concentración de glucoamilasa favorece el aumento del rendimiento en etanol.

Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de glucoamilasa en el proceso de hidrólisis enzimática influye de manera diferenciada sobre los parámetros evaluados. Mientras que su presencia contribuye a mantener valores de pH más elevados, sin que la variación en su concentración genere efectos significativos, no se observa influencia sobre la acidez titulable ni el contenido de extracto seco. En contraste, tanto la adición de glucoamilasa como el tiempo de fermentación ejercen un efecto significativo sobre el rendimiento alcohólico. Estos hallazgos permiten inferir que la optimización del proceso debe orientarse principalmente al control de las condiciones de hidrólisis y fermentación para maximizar el rendimiento, sin comprometer la estabilidad fisicoquímica del producto final.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- a) El pH del destilado etanólico estuvo comprendido entre 1.95 y 3.66, la acidez entre 0.02 y 0.66 % de ácido acético, el extracto seco entre 0.03 y 0.08 g/L, estos valores están comprendidos dentro de la NTP 2011.013:2015 para bebidas alcohólicas tipo Vodka. Así mismo, la concentración de glucoamilasa y los días de fermentación tienen efecto significativo en el pH, pero no en la acidez ni extracto seco.
- b) La incorporación de glucoamilasa en el proceso de hidrólisis enzimática y el tiempo de fermentación mejora el rendimiento alcohólico. Observándose que a mayor concentración de glucoamilasa, se obtiene destilados con mayor grado alcohólico.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a los profesionales de Ingeniería de Industrias Alimentarias promover y desarrollar investigaciones orientadas al aprovechamiento del destilado alcohólico obtenido a partir de almidón de yuca, evaluando su aplicación en la formulación y desarrollo de bebidas alcohólicas frutadas y productos afines, con el fin de diversificar su uso y generar alternativas de valor agregado.

Asimismo, se recomienda a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias y a profesionales afines impulsar investigaciones relacionadas con el aprovechamiento integral de la raíz de yuca, particularmente de su fracción fibrosa, mediante su incorporación en el desarrollo de productos alimenticios con valor funcional. En este contexto, se sugiere evaluar su enriquecimiento con Espirulina, debido a su alto contenido proteico, para la elaboración de productos como galletas con características nutricionales mejoradas.

VI. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arévalo M. (2011). *Uso del almidón de yuca para la obtención de alcohol etílico*. [Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/3212>.
- Andrade, M. (2022). *Optimización del proceso de elaboración de bebidas fermentadas a base de yuca (Manihot esculenta) mediante parámetros enzimáticos* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Cotopaxi].
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/9067/1/MUTC-001315.pdf>
- Barbosa, A., y Muños, A. (2021). *Informe de Laboratorio de Bioquímica: Glucoanálisis Anaerobia: fermentación alcohólica*.
<https://www.coursehero.com/file/82456039/INFORMEFERMENTACI%C3%93N-ALCOH%C3%93LICA-BIOQU%C3%8DMICApdf/>
- Castaño, I. (2020). Producción de etanol a partir de yuca fresca utilizando la estrategia de proceso hefs (hidrólisis enzimática y fermentación simultáneas) usando enzimas reductoras de viscosidad. *Revista politécnica*, 16(31), 19-28.
<https://www.redalyc.org/journal/6078/607863449002/html/>
- Carlos, C., Marcelo, V. (2025). *Optimización del proceso de hidrólisis enzimática en la producción de vodka a partir de papa pituca (colocasia esculenta)* [tesis de grado, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana].
<https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/items/80f2ffa0-eb2f-481f-8803-85c7c5d018b4>
- Diaz, P. (2023). *Efecto de la concentración de almidon y del tiempo de cocción de la suspensión en la obtención de un destilado alcohólico de yuca (Manihot esculenta)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén].
https://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/590/1/T_Diaz%20Ruiz_IIA.pdf
- Herrera, S. (2019). *Obtención del vodka por hidrólisis enzimática a partir de la papa (solanum tuberosum) de las variedades huagalina y tumbay* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao].

<https://repositorio.unac.edu.pe/item/3784e51b-631a-4850-a53c-d7b684fa792f>

Jiménez, E., y Martínez, S. (2016). *Obtención y caracterización física y química del almidón de yuca (manihot esculentum) variedad guayae* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].

<https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/865/BC-TES-4008.pdf?sequence=1>

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2022*. www.inei.gob.pe

Machado, A. R., Machado, M. I. R., y Viana, L. F. (2023). Uso de la biotecnología para producir fermentación alcohólica y acética: Una Revisión. *Investigación, Sociedad y Desarrollo*, 12(12), Artículo e102121223288.

<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i12.23288>

Martines, J. (2014). *Bioenergética*. Universidad Autónoma de Aguas Calientes. <https://libroelectronico.uaa.mx/capitulo-1-bioenergetica/index.html>.

Mentta. (2024). *Yuca: origen, propiedades y beneficios de este alimento*. <https://mentta.com/blog/yuca-propiedades>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2022). *El Agro en Cifras*. siea.midagri.gob.pe

Nghia, C., y Mai, T. (2014). Sacarificación y fermentación simultánea a escala piloto a muy alta densidad de harina de yuca para la producción de etanol. *Industrial Crops and Products*, 56, 160-165.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092666901400082X?via%3Dihub>

Peláez, H. (2020). Producción de etanol a partir de yuca fresca utilizando la estrategia de proceso HEFS (Hidrólisis enzimática y fermentación simultánea) usando enzimas reductoras de viscosidad. *Revista Politécnica*, 16(31), 19-28. <https://www.redalyc.org/journal/6078/607863449002/html/>

- Rafael, C. (2024). *Optimización de la hidrólisis enzimática y fermentación alcohólica para la obtención de etanol a partir de almidón de oca (oxalis tuberosa)* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del norte] <https://repositorio.upn.edu.pe/item/7cf843e0-1e95-4a6a-93bb-9d3aa6a02508>
- Ramírez, J. (2014). Enzimas: ¿Qué son y cómo funcionan? *Revista digital Universitaria*, 15(12).
<https://www.revista.unam.mx/vol.15/num12/art91/art91.pdf>.
- Rendueles, M., y Díaz, M. (2014). Biotecnología industrial. *Arbor*, 190 (768), Artículo a 155. <http://dx.doi.org/10.3989/arbor.2014.768n4009>
- Reyes, D., y Rodríguez, N. (2016). *Producción de bioetanol a partir del almidón de yuca*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira].
<https://core.ac.uk/download/pdf/84108797.pdf>.
- Téllez, J., y Cote, M. (2022). alcohol etílico: Un tóxico de alto riesgo para la salud humana socialmente aceptado. *Revista de la facultad de Medicina*, 54(1)].
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/revfacmed/article/view/23096/6371> 4.
- Tunqui, C., y Figueroa, A. (2019). Evaluación de la calidad del destilado alcohólico de anís verde (*pimpinella anisum l.*) obtenido por destilación fraccionada. *Revista de sociedad Química del Perú*, 85(2), 147-158.
<http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v85n2/a02v85n2.pdf>.
- Vásquez, E., y Rojas, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas*. Universidad Autónoma Metropolitana.
<https://www.cua.uam.mx/pdfs/conoce/libroselec/17pHTeoriayproblemas.pdf>.
- Wangpor, J., Prayoonyong, P., Sakdaronnarong, C., Sungpet, A., y Jonglertjunya, W. (2017). Producción de bioetanol a partir de almidón de yuca mediante hidrólisis enzimática, fermentación y nanofiltración ex situ. *Energy Procedia*, 139, 883 – 888.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217350579#section-cited-by>.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en especial a dios,
por iluminar y orientar cada paso de
vida alcanzado y llegar hasta esta fase
de mi formación profesional.

A mis padres Hilario y Georgina, por
brindarme todo el apoyo incondicional
durante el proceso de formación, y por
ser el motivo de seguir luchando cada
día.

A mis hermanos Medaly y Edgar por
estar siempre durante el proceso y a
todas las personas que estuvieron a mi
lado y contribuyeron y creyeron en mi
a pesar de las dificultades de la vida.

De: Fernando Vázquez Fernández

A Dios por la vida, salud, fuerza y
conocimiento, por permitir culminar esta
etapa académica.

A mis padres Juan y María, por su apoyo
incondicional y consejos para hacer de mí, una
mejor persona, quienes me enseñaron el valor
del esfuerzo y perseverancia sin límites.

De: Deicy Vílchez Leyva

AGRADECIMIENTO

A Dios por protegernos y brindarnos fortaleza y vitalidad para culminar cada una de las etapas y alcanzar los logros trazados.

A los docentes de la Carrera Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, por haber aportado de forma significativa en nuestra formación académica, de manera especial a nuestros asesores, al M. Cs Adán Díaz Ruiz y la Dra. Delicia Liliana Bazán Tantaleán por habernos compartido su valioso tiempo, dedicación, paciencia, conocimientos y orientación durante el desarrollo de la investigación.

Un agradecimiento a todas las personas por su colaboración desinteresada, hicieron posible la culminación de nuestra tesis.

ANEXO

Anexo 1

Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad

Figura 3: Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad para los datos de grado alcohólico

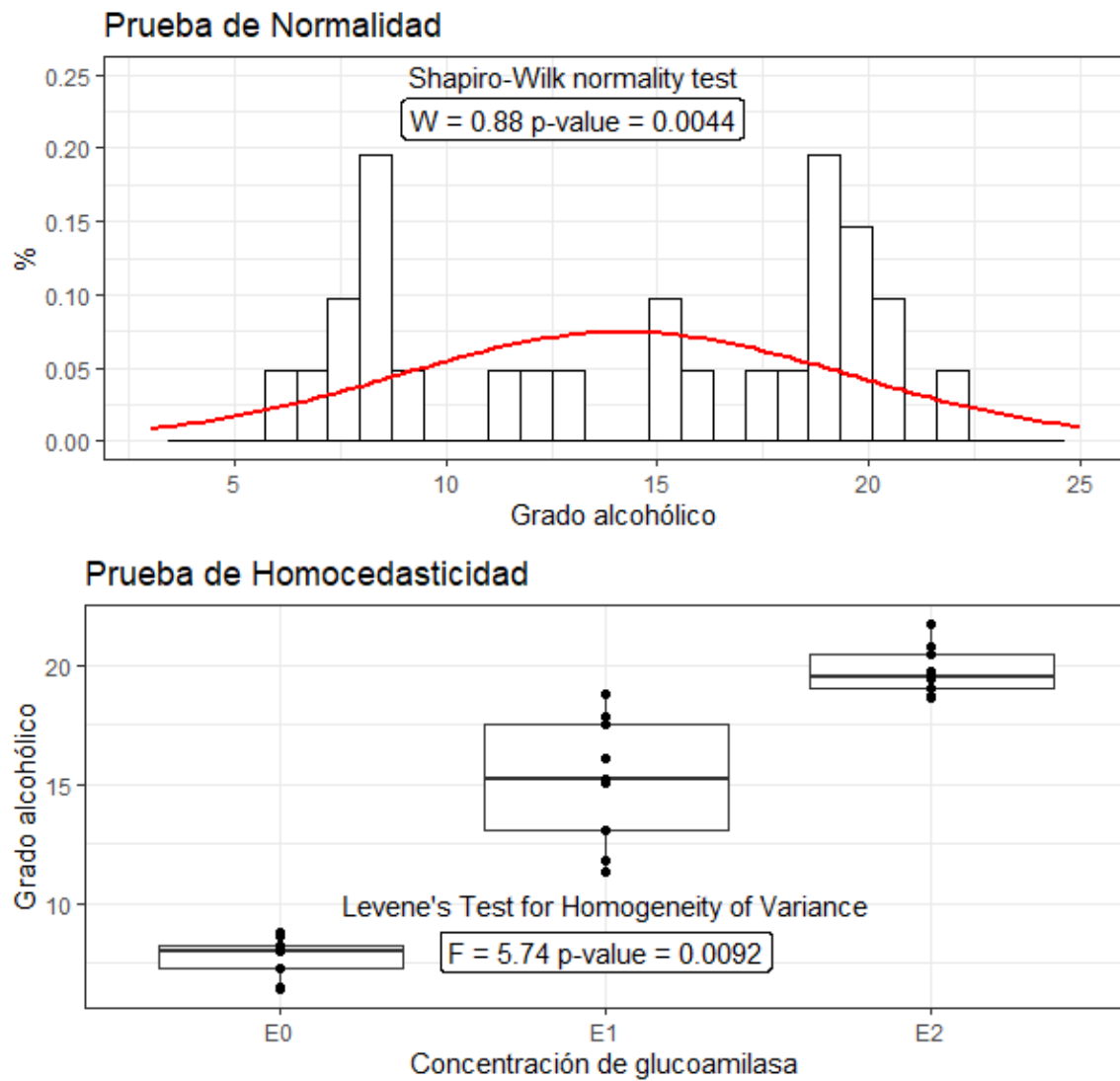


Figura 4: Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad para los datos de pH

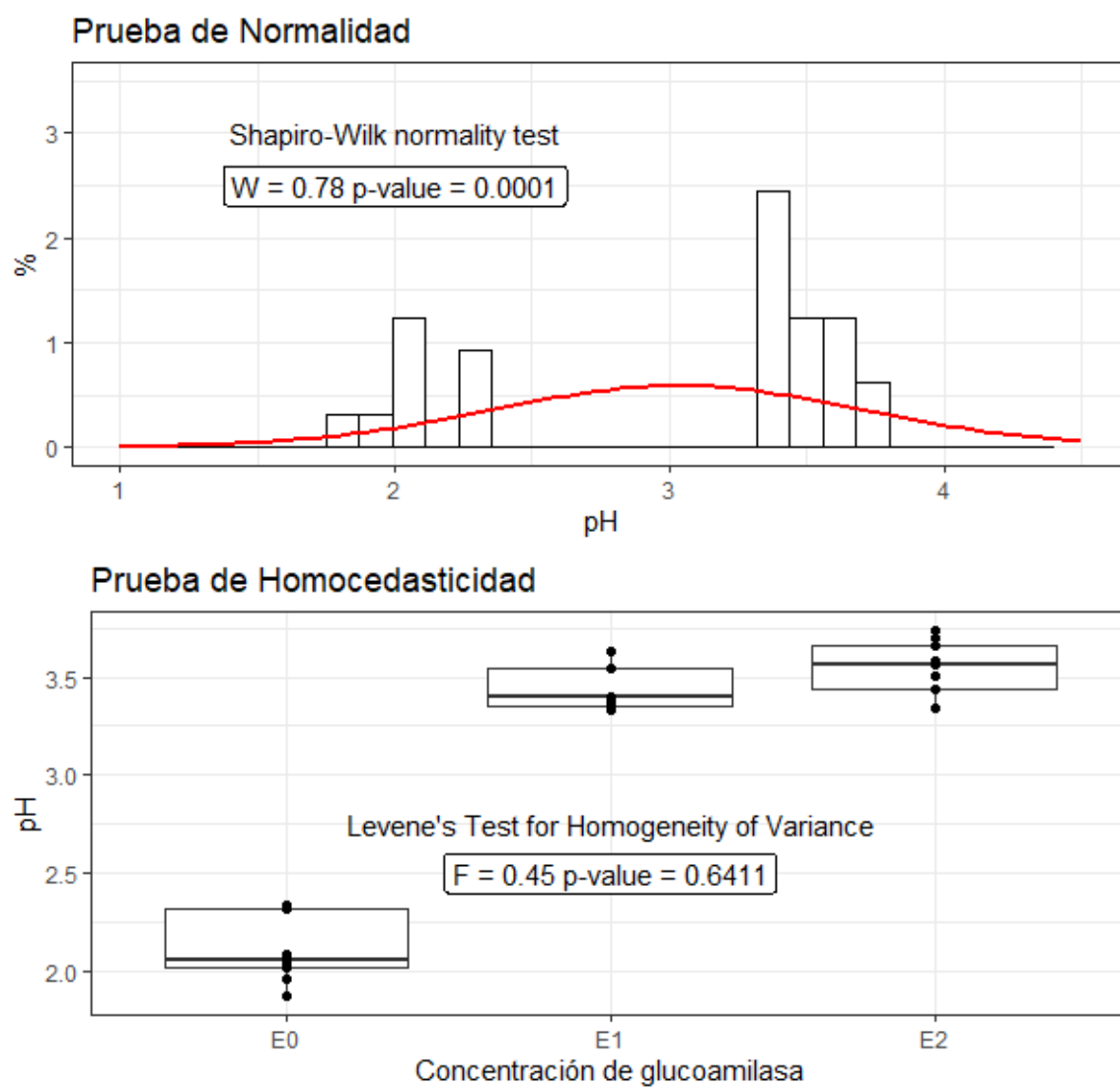


Figura 5: Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad para los datos de acidez

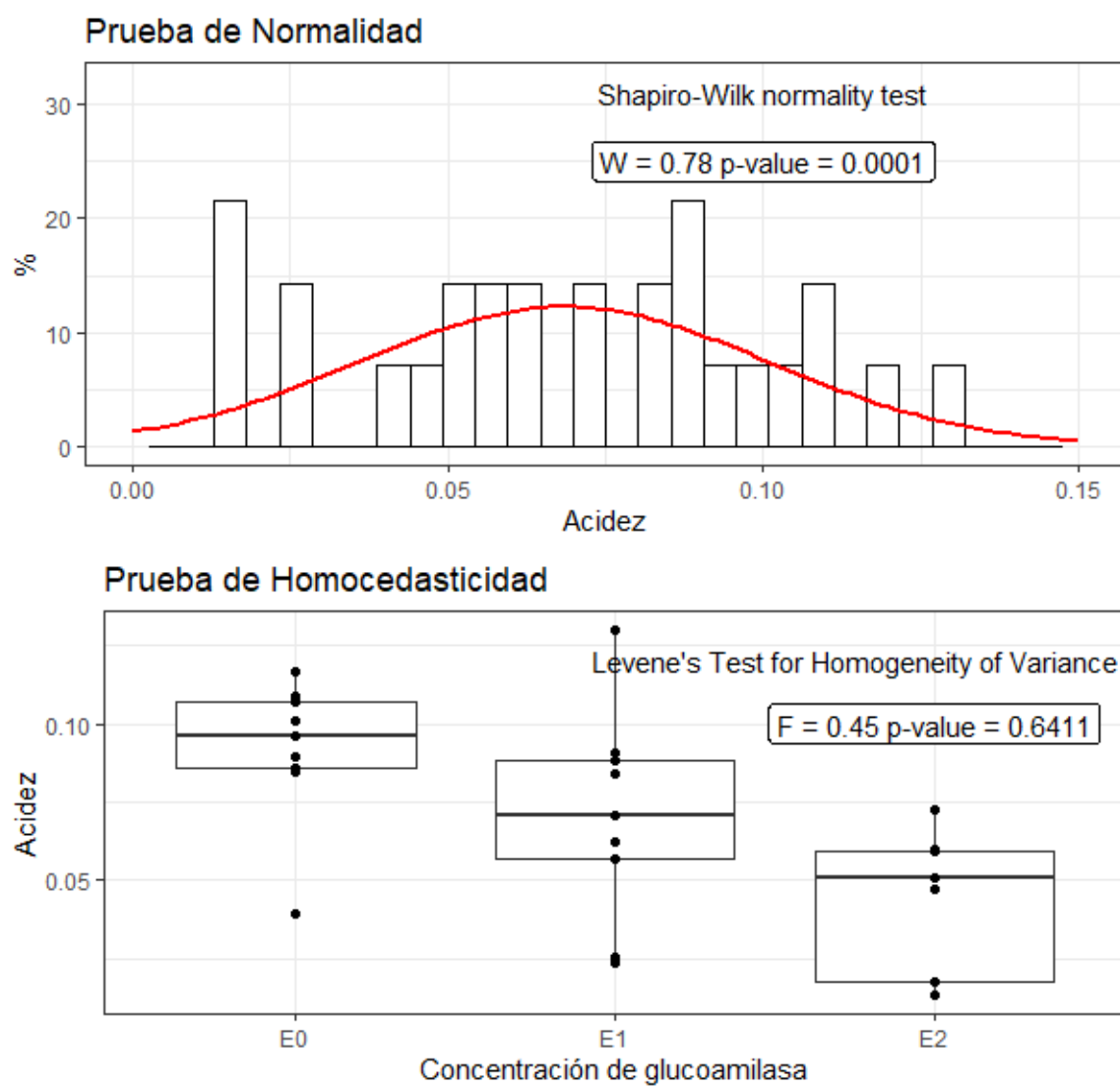
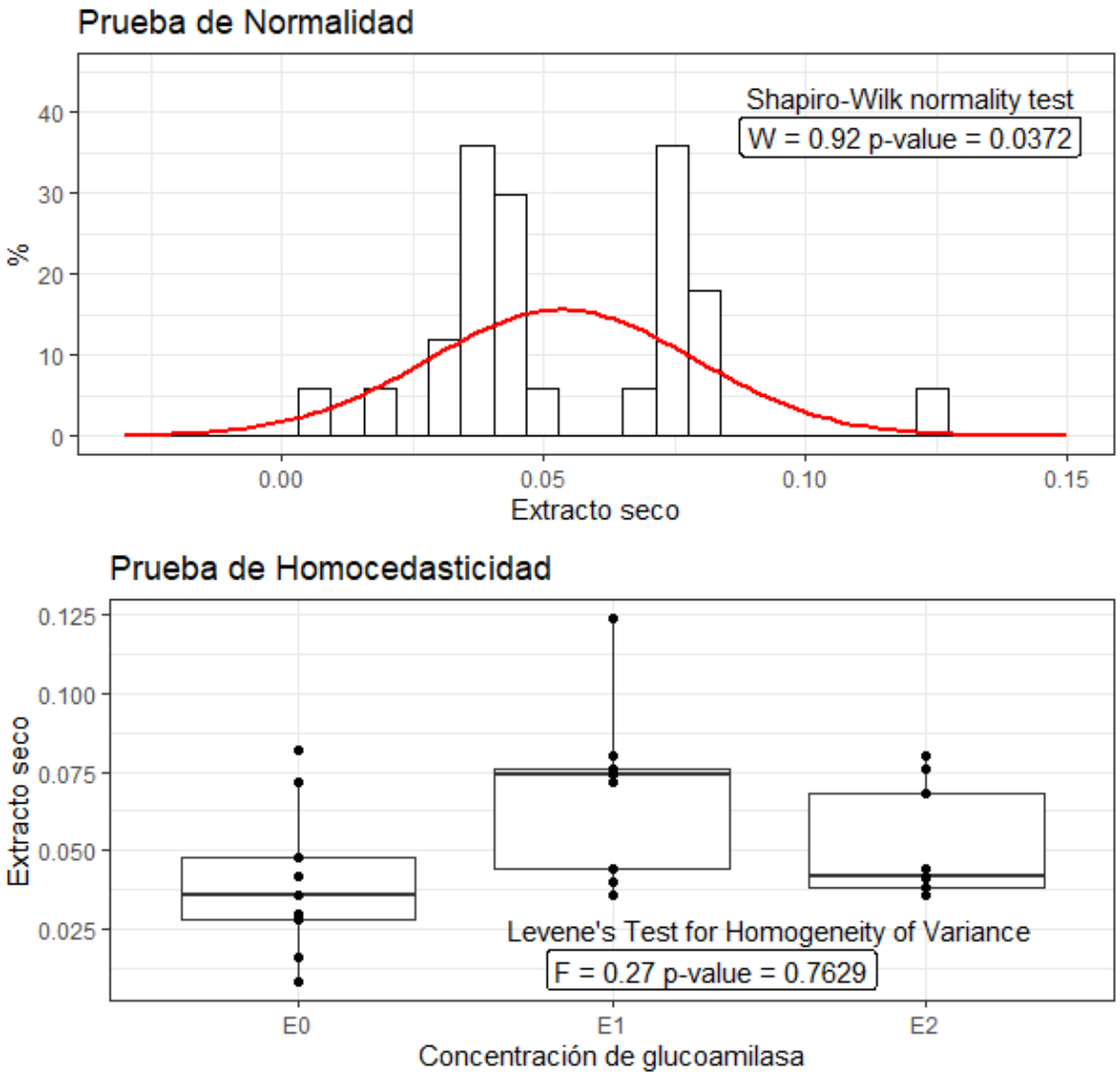


Figura 6: Prueba de supuestos paramétricos de Normalidad y Homocedasticidad para los datos de extracto seco



Anexo 2. Pruebas no paramétricas de diferencias significativas

Figura 7: Test de Kruskal Wallis y Comparaciones de Nemenyi para los indicadores fisicoquímicos del día 5

```
> ## PH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_5 %>% kruskal_test(PH ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 PH 9  6.005602  2 0.0496 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(PH ~ ENZIMA,data_5)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: PH by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.229 -
E2 0.045 0.736

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
Warning message:
In kwAllPairsNemenyiTest.default(c(2.32, 2.33, 2.34, 3.63, 3.54, :
  Ties are present, p-values are not corrected.
>
> ## GRADO ALCOHÓLICO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_5 %>% kruskal_test(ALCOHOL ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 ALCOHOL 9      7.2  2 0.0273 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ALCOHOL ~ ENZIMA,data_5)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ALCOHOL by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.37 -
E2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
```

```

> ## ACIDEZ ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_5 %>% kruskal_test(ACIDEZ ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 ACIDEZ 9      5.6   2 0.0608 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ACIDEZ ~ ENZIMA,data_5)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ACIDEZ by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.896 -
E2 0.065 0.173

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
>
> ## EXTRACTO_SECO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_5 %>% kruskal_test(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 EXTRACTO_SECO 9 0.08888889 2 0.957 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA,data_5)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: EXTRACTO_SECO by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.99 -
E2 0.95 0.99

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided

```

Figura 8: Test de Kruskal Wallis y Comparaciones de Nemenyi para los indicadores fisicoquímicos del día 10

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_10 %>% kruskal_test(PH ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 PH 9  5.609195  2 0.0605 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(PH ~ ENZIMA,data_10)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: PH by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.093 -
E2 0.128 0.988

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
Warning message:
In kwAllPairsNemenyiTest.default(c(2.06, 2.09, 2.04, 3.34, 3.4,  :
  Ties are present, p-values are not corrected.
>
> ## GRADO ALCOHÓLICO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_10 %>% kruskal_test(ALCOHOL ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 ALCOHOL 9      7.2  2 0.0273 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ALCOHOL ~ ENZIMA,data_10)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ALCOHOL by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.37 -
E2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
```

```

> ## ACIDEZ ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_10 %>% kruskal_test(ACIDEZ ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 ACIDEZ 9  4.355556  2 0.113 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ACIDEZ ~ ENZIMA,data_10)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ACIDEZ by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.549 -
E2 0.093 0.549

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
>
>
> ## EXTRACTO_SECO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_10 %>% kruskal_test(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 EXTRACTO_SECO 9  1.066667  2 0.587 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA,data_10)

Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: EXTRACTO_SECO by ENZIMA

      E0      E1
E1 0.64 -
E2 1.00 0.64

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided

```

Figura 9: Test de Kruskal Wallis y Comparaciones de Nemenyi para los indicadores fisicoquímicos del día 15

```
> ## pH ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_15 %>% kruskal_test(PH ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 PH 9      7.2  2 0.0273 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(PH ~ ENZIMA,data_15)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: PH by ENZIMA

      E0    E1
E1 0.37 -
E2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
>
> ## GRADO ALCOHÓLICO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_15 %>% kruskal_test(ALCOHOL ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
  .y. n statistic df      p      method
1 ALCOHOL 9      7.2  2 0.0273 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ALCOHOL ~ ENZIMA,data_15)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ALCOHOL by ENZIMA

      E0    E1
E1 0.37 -
E2 0.02 0.37

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
```

```

> ## ACIDEZ ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_15 %>% kruskal_test(ACIDEZ ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 ACIDEZ 9  2.488889  2 0.288 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(ACIDEZ ~ ENZIMA,data_15)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: ACIDEZ by ENZIMA

      E0   E1
E1 0.95  -
E2 0.46 0.30

P value adjustment method: single-step
alternative hypothesis: two.sided
>
>
> ## EXTRACTO_SECO ##-----
>
> ##Test de Kruskal Wallis
>
> data_15 %>% kruskal_test(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA) %>% as.data.frame()
      .y. n statistic df      p      method
1 EXTRACTO_SECO 9  4.504202  2 0.105 Kruskal-Wallis
>
> ##Comparaciones múltiples de Nemenyi
>
> kwAllPairsNemenyiTest(EXTRACTO_SECO ~ ENZIMA,data_15)

      Pairwise comparisons using Tukey-Kramer-Nemenyi all-pairs test

data: EXTRACTO_SECO by ENZIMA

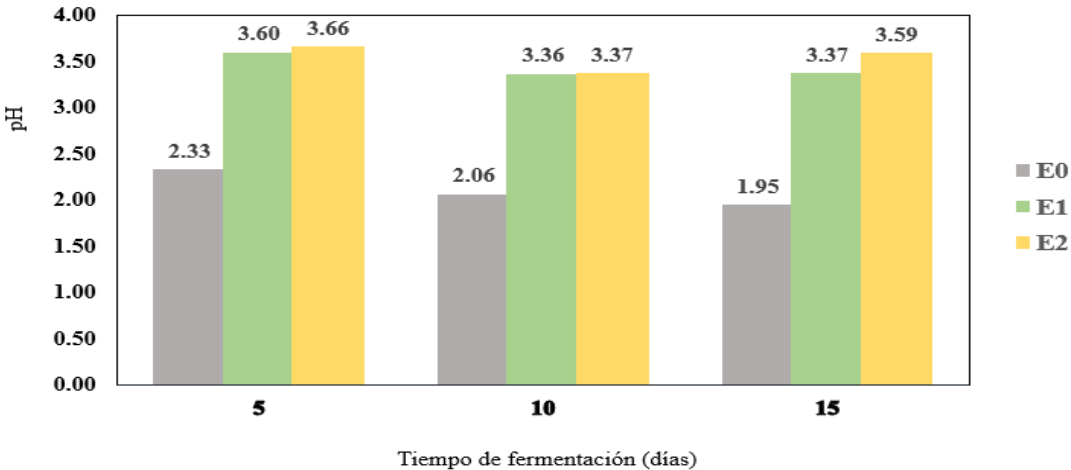
      E0   E1
E1 0.11  -
E2 0.26 0.90

```

Anexo 3. Valores de pH, acidez, extracto seco y grado alcohólico, de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación

Figura 10

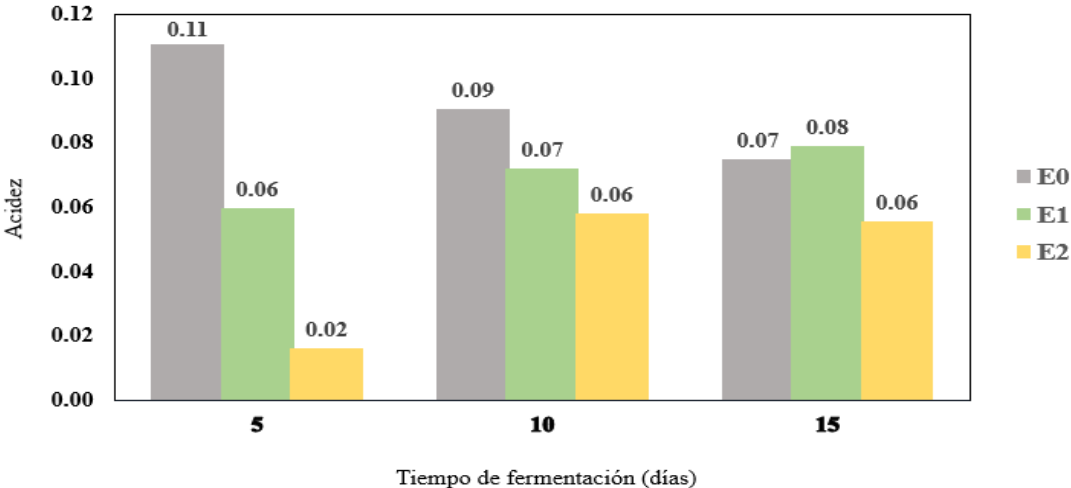
Valores de pH de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación



Nota: Cada barra representa el promedio de las 3 repeticiones para cada tratamiento, E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente)

Figura 11

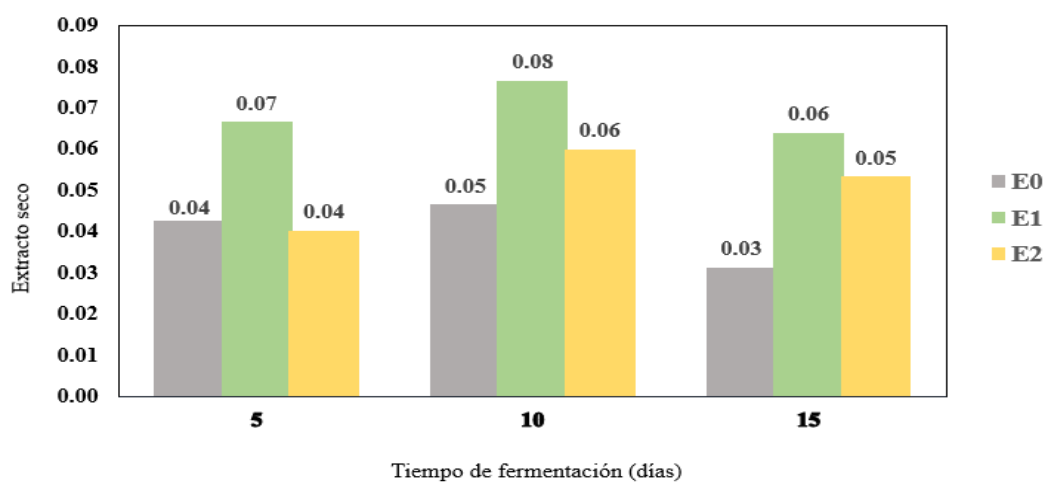
Acidez de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación



Nota: Cada barra representa el promedio de las 3 repeticiones para cada tratamiento, E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente)

Figura 12

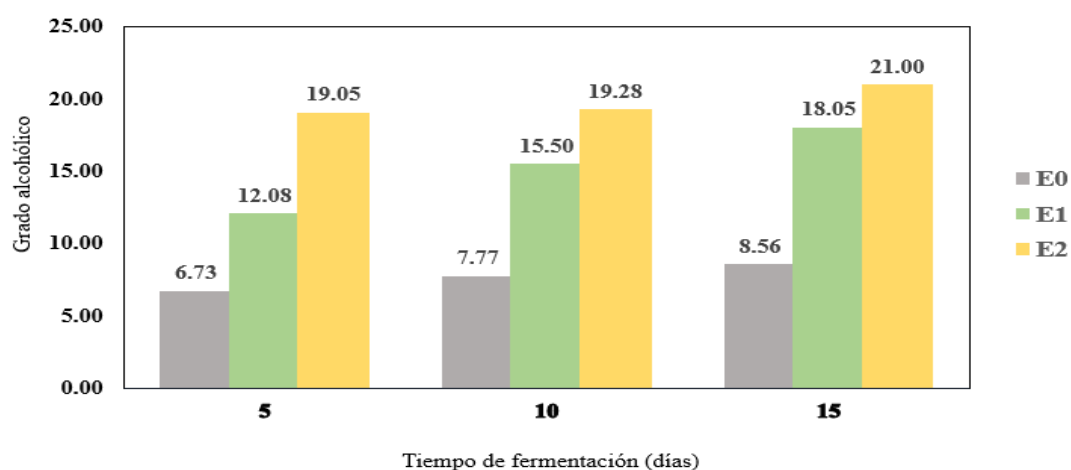
Extracto seco de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación



Nota: Cada barra representa el promedio de las 3 repeticiones para cada tratamiento, E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente)

Figura 13

Grado alcohólico de los tratamientos, según concentración de enzimas y tiempo de fermentación



Nota: Cada barra representa el promedio de las 3 repeticiones para cada tratamiento, E0, E1 y E2: Concentración de glucoamilasa (0, 0.5 y 1.0 mL/kg, respectivamente)

Anexo 4

Norma Técnica Peruana 211.013:2015. Bebidas Alcohólicas. Vodka

Requisitos	valores		Métodos de ensayo
	Mínimo	Máximo	
Grado alcohólico a 20 °C, % Alc vol. (1)	37.5	59	NTP 211.052
Acidez total como ácido acético. (*)	-----	2	NTP 211.040
Metanol como metanol. (*)	-----	10	NTP 210.022 o NTP 211.035
Alcoholes superiores como aceite fusel. (*)	No deseable		NTP 210.025 o NTP 211.035
Furfural como furfural. (*)	No deseable		NTP 210.025 o NTP 211.035
Extracto seco total a 100 C° (g/L)	-----	10	NTP 211.041
Suma de componentes volátiles diferentes al alcohol etílico. (2)(*)	-----	10	NTP 211.040, NTP 211.022, NTP 210.022, NTP 211.003, NTP 210.021, NTP 210.025 o NTP 211.035
(*) : Expresado en mg/100 mL AA.			
(1) En cuanto al grado alcohólico indicado en el rotulado, se permitirá una tolerancia de $\pm 0.5\%$ Alc. Vol			
(2) La determinación de congéneres se realiza con la suma de los resultados de: aldehídos, ésteres, furfural, alcoholes superiores y acidez volátil.			

Anexo 5

Álbum de fotos de las operaciones de la obtención de harina de yuca



Figura 14. Yuca

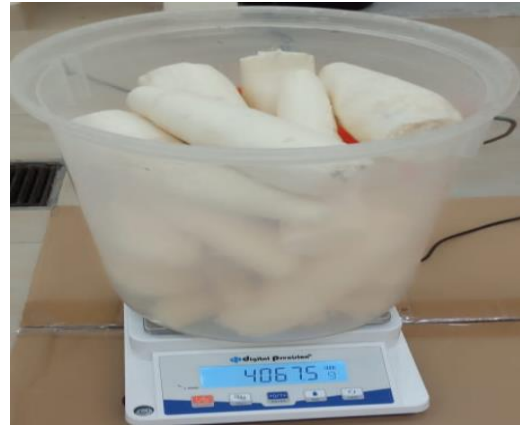


Figura 15. Yuca pelada



Figura 16. Picado de la yuca



Figura 17. Licuado



Figura 18. Decantado



Figura 19. Secado



Figura 20. Almidón de yuca

Anexo 06

Álbum de fotos de la obtención del destilado etanólico



Figura 21. Hidratación



Figura 22. Hidrólisis



Figura 23. Activación de levadura



Figura 24. Fermentación



Figura 25. Destilación

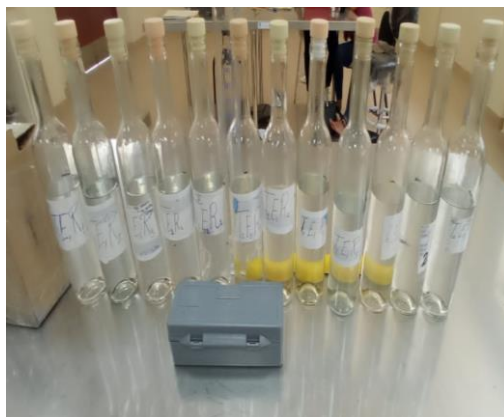


Figura 26. Envasado del destilado etanólico

Anexo 07

Álbum de fotos análisis fisicoquímicos como grado alcohólico, pH, acidez y extracto seco



Figura 27. Titulación



Figura 28. Medición del grado alcohólico



Figura 29. Medicion



Figura 30. Pesado de crisol



Figura 31. Crisoles con muestra en el baño maria



Figura 32. Crisoles con muestras colocadas en la estufa