



**Evaluación de diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para  
la obtención de alcohol de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y  
*Toquecita*) y su aplicación en la industria licorera**

Chavez Reyes, Diana Niccolly y Chicaiza León, Johana Doménica

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

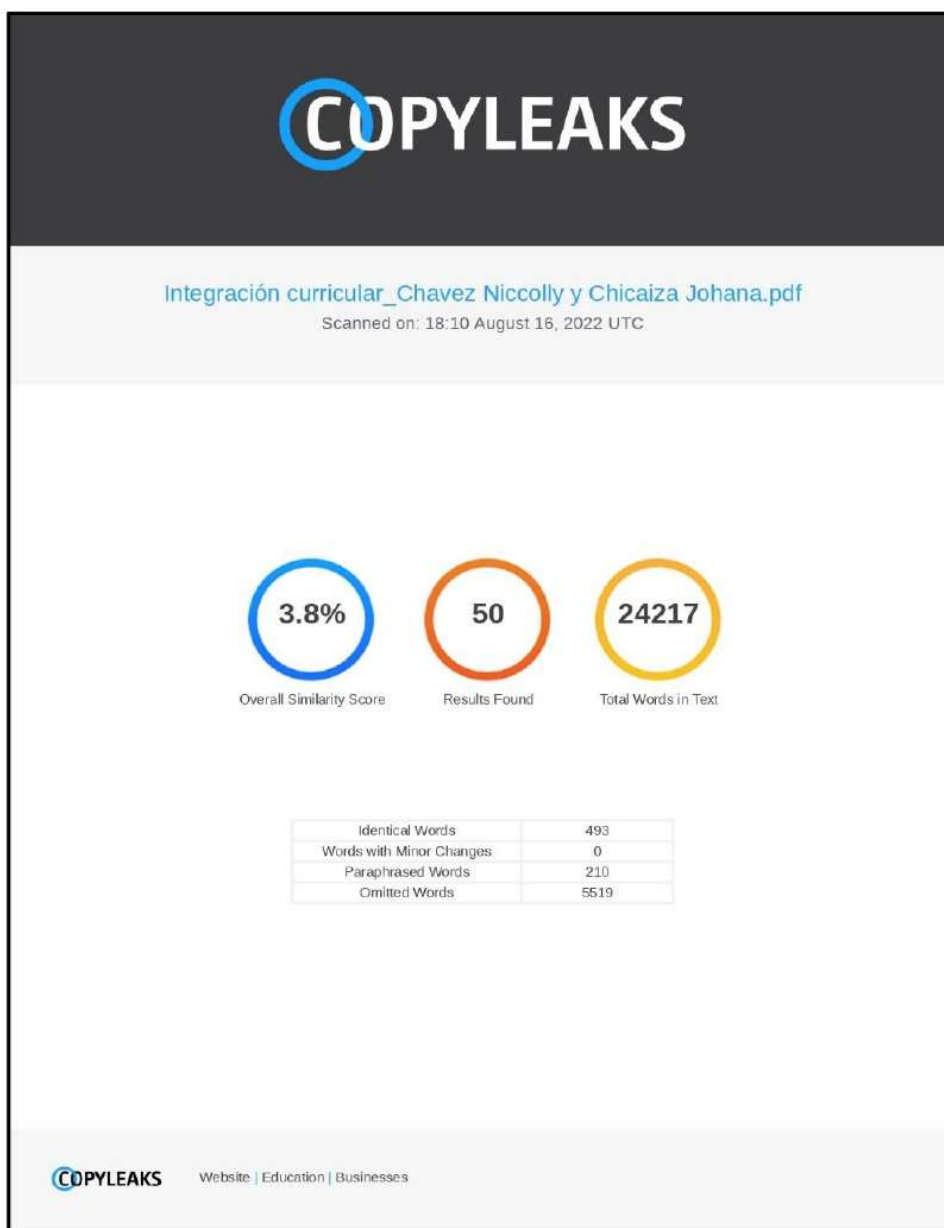
Carrera de Ingeniería en Biotecnología

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera en  
Biotecnología

Tutora: Ph.D. Sánchez Llaguno, Sungey Naynee

19 de agosto del 2022

## Reporte de verificación de contenido



Firma:



Firmado electrónicamente por:  
SUNGEY NAYNEE  
SANCHEZ LLAGUNO

**PhD. Sánchez Llaguno, Sungey Naynee**

C. C.: 1205348673

**Directora del Proyecto de Investigación**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

### **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de integración curricular, **“Evaluación de diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para la obtención de alcohol de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*) y su aplicación en la industria licorera”** fue realizado por las señoritas **Chavez Reyes, Diana Niccolly y Chicaiza León, Johana Doménica** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Santo Domingo de los Tsáchilas, 19 agosto del 2022**

Firma:



Firmado electrónicamente por:  
**SUNGEY NAYNEE  
SANCHEZ LLAGUNO**

**PhD. Sánchez Llaguno, Sungey Naynee**

C. C.: 1205348673

**Directora del Proyecto de Investigación**



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotras, **Chavez Reyes, Diana Niccolly** y **Chicaiza León, Johana Doménica**, con cédulas de ciudadanía N° 1724116700 y N° 1725595167, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Evaluación de diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para la obtención de alcohol de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita) y su aplicación en la industria licorera”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo de los Tsáchilas, 19 agosto del 2022

Firmas

  
**Chavez Reyes, Diana Niccolly**  
C.C.: 1724116700

  
**Chicaiza León, Johana Doménica**  
C.C.: 1725595167



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotras, **Chavez Reyes, Diana Niccolly** y **Chicaiza León, Johana Doménica**, con cédulas de ciudadanía N° 1724116700 y N° 1725595167, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Evaluación de diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para la obtención de alcohol de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*) y su aplicación en la industria licorera”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Santo Domingo de los Tsáchilas, 16 agosto de 2022**

Firmas

  
**Chavez Reyes, Diana Niccolly**  
C.C.: 1724116700

  
**Chicaiza León, Johana Doménica**  
C.C.: 1725595167

## Dedicatoria

Esta investigación se la dedico a Dios, por guiarme y darme sabiduría para alcanzar una de las metas profesionales que me propuse.

A mi madre Esther por todo su amor incondicional, su apoyo y esfuerzo, que hizo posible culminar mis estudios universitarios.

A mis hermanas, Johana y Anita, por sus consejos y apoyo desde el momento que inicié mi sueño de ser una profesional en el área de las ciencias.

A mis sobrinos, Brigitte, Mathías, Scarlet, Alaia y Renata, que con sus locuras me han llenado de alegría, dulzura y ánimo para no desmayar en el largo camino que emprendí hasta el día de hoy.

A mis abuelitos, Hilda y Luis, por su ternura y sabiduría que me motivaron siempre a luchar por mis sueños.

A mi tío, Juan, que en su papel como padre me orientó por el camino del bien en principios y valores.

Y como no agradecer a mi mascota, Saya, que fue mi antídoto para tranquilizarme y darme ánimo en aquellos días que no tenían fin.

A Johana, porque estoy segura que Dios te puso en mi camino para enseñarme que la verdadera amistad si existe, gracias por todos los buenos y malos momentos que fortalecieron nuestra amistad en el desarrollo de esta investigación.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera estuvieron dándome todo su amor y apoyo a lo largo de esta etapa universitaria.

En primer lugar, esta investigación se la dedico a Dios, quien ha sido una parte fundamental en mi vida, por brindarme conocimiento y sabiduría, por sustentarme con su fortaleza en mi caminar.

A mis padres, Luis y Magdalena, por su sacrificio y apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, quienes, a través de su amor, sabiduría, consejos y valores forjados en mí, me han guiado por el camino correcto, haciendo de mí una persona íntegra, son los mejores.

A mis hermanos mayores Leonardo y Anthony, por ser mi ejemplo de lucha y perseverancia; por siempre estar junto a mí a pesar de todo, nunca me faltaron y siempre me apoyaron en mis decisiones animándome cuando más lo necesitaba.

A Doménica, quien ha sido como una hermana para mí, por las risas y ocurrencias juntas, por escucharme, brindarme su apoyo y ánimo cuando más lo necesité.

A Niccolly, por ser una amiga incondicional en esta etapa universitaria, por los momentos adversos y también alegres, por su apoyo en el transcurso de esta investigación.

A mis fieles compañeros Cami y Bruno, por brindarme su amor y compañía durante todas las noches de desvelo.

A mi familia y amigos/as en general por siempre creer en mí y bríndame su apoyo incondicional.

## **Agradecimiento**

Agradecemos a Dios por darnos vida, salud, conocimiento y sabiduría a lo largo de todo el trayecto en nuestra vida universitaria para obtener nuestro título de tercer nivel.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP Estación Experimental Santa Catalina por abrirnos sus puertas y brindarnos los recursos necesarios para realizar este trabajo de investigación, y a la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE sede Santo Domingo por el conocimiento impartido a través de sus docentes.

A la Ing. Elena Villacrés, Ing. María Belén Quelal y al Ing. Javier Álvarez por su apoyo y confianza al compartir sus conocimientos, que hicieron en nosotras personas perseverantes y soñadoras en la búsqueda de conocimientos en investigación.

A la Dra. Sungey Sánchez por guiarnos, brindarnos su conocimiento y dedicación como tutora y docente, al igual que el Dr. Juan Neira, por la paciencia y el tiempo dedicado para que este trabajo de investigación se realice con éxito.

A nuestros queridos amigos Alisson, Ivonne, Josselyn, Brandon, Nicole, Marjorie, Lissette, Kevin y Haider, que con su amistad nos brindaron todo su cariño, motivación y consejos durante nuestra etapa universitaria.

Gracias a todos.



## Índice de contenido

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	8
Índice de contenido .....	9
Índice de tablas .....	15
Índice de figuras .....	18
Listado de abreviaturas .....	20
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Capítulo I.....	23
Introducción.....	23
Objetivos de la Investigación .....	24
Objetivo General.....	24
Objetivos Específicos.....	24
Hipótesis .....	24
Diseño A*B*C .....	24
Hipótesis para el Factor A (Concentraciones de enzimas).....	24
Hipótesis para el Factor B (Concentraciones de almidón).....	25
Hipótesis para el Factor C (Variedades de camote).....	25
Diseño A*B .....	25
Hipótesis para el Factor A (Concentraciones de levadura).....	25
Hipótesis para el Factor B (Variedades de camote) .....	25
Capítulo II.....	26

	10
Revisión de literatura.....	26
Camote.....	26
Generalidades.....	26
Descripción taxonómica.....	27
Morfología.....	27
Raíz.....	27
Composición nutricional.....	28
Usos del camote.....	29
Variedades.....	30
Guayaco Morado.....	30
Toquecita.....	31
Almidón.....	31
Generalidades.....	31
Composición química.....	32
Hidrólisis enzimática del almidón.....	33
Alfa-amilasas.....	33
Amiloglucosidasas.....	34
Fermentación.....	34
Fermentación alcohólica.....	35
Factores que intervienen en la fermentación.....	36
Microorganismos que influyen en la producción de alcohol.....	37
Destilación alcohólica.....	38
Bebidas alcohólicas.....	40
Capítulo III.....	41
Metodología.....	41
Ubicación del área de investigación.....	41
Ubicación Política.....	41
Ubicación Ecológica.....	41
Ubicación Geográfica.....	41

Materiales.....	42
Extracción almidón de camote .....	42
Hidrólisis enzimática .....	43
Determinación de Azúcares totales.....	44
Determinación de Almidón total .....	45
Producción de alcohol de camote .....	46
Desinfección.....	46
Activación levadura <i>S. Cerevisiae</i> .....	46
Inoculación levadura <i>S. Cerevisiae</i> y Fermentación .....	47
Destilación.....	47
Parámetros físico-químicos.....	48
Métodos .....	49
Extracción almidón de camote .....	49
a. Variedad Guayaco Morado.....	49
b. Variedad Toquecita .....	50
Hidrólisis enzimática del almidón de camote.....	50
a. Evaluación de las concentraciones enzimáticas de alfa – amilasa y amiloglucosidasa.....	50
b. Evaluación de las concentraciones de almidón de camote.....	51
Azúcares totales .....	51
Almidón total .....	52
Producción de etanol .....	53
Desinfección.....	53
Ajuste de parámetros iniciales.....	54
Activación de la levadura <i>S. Cerevisiae</i> .....	54
Inoculación de la levadura <i>S. Cerevisiae</i> .....	54
Fermentación .....	55
Destilación.....	55
Diseño Experimental .....	55

Factores del experimento.....	55
Tratamientos a comprobar .....	56
Tipo de diseño.....	57
Repeticiones .....	57
Características de las unidades experimentales.....	58
Análisis estadístico .....	58
Esquema de análisis de varianza .....	58
Análisis funcional.....	59
Variables evaluadas.....	59
Azúcares totales.....	59
Parámetros físico-químicos .....	60
a. Sólidos Solubles.....	60
b. Grado alcohólico .....	60
c. Acidez titulable .....	60
d. pH .....	61
e. Densidad.....	61
f. Turbidez .....	61
g. Viscosidad.....	61
Capítulo IV .....	63
Resultados .....	63
Almidón total.....	63
Análisis de varianza .....	63
Análisis de varianza para la variable sólidos solubles.....	63
Análisis de varianza para la variable azúcares totales.....	64
Prueba de significancia de Tukey para los factores de estudio .....	65
Resultados del estudio para las concentraciones de enzimas (Factor A) .....	65
Resultados del estudio para las concentraciones de almidón (Factor B).....	67
Resultados del estudio para las variedades de camote (Factor C).....	68
Prueba de Tukey para las interacciones significativas en la hidrólisis enzimática	69

Análisis de Tukey en la interacción A*B (Enzima*Almidón) .....	69
Análisis de Tukey en la interacción B*C (Almidón*Camote).....	72
Análisis de Tukey en la interacción A*B*C (Enzima*Almidón*Camote).....	73
Análisis de varianza .....	75
Análisis de varianza para la variable sólidos solubles de la fermentación.....	75
Análisis de varianza para la variable grado alcohólico de la fermentación.....	76
Análisis de varianza para la variable acidez titulable de la fermentación .....	77
Análisis de varianza para la variable pH de la fermentación .....	77
Análisis de varianza para la variable densidad de la fermentación .....	78
Prueba de significancia de Tukey para los factores de estudio .....	79
Resultados del estudio para las concentraciones de levadura (Factor A) en la fermentación .....	79
Resultados del estudio para las variedades de camote (Factor B) en la fermentación.....	81
Prueba de Tukey para las interacciones significativas en la fermentación .....	83
Análisis de Tukey en la interacción A*B (Levadura*Camote).....	83
Análisis de conglomerados .....	88
Análisis de componentes principales .....	89
Parámetros físico-químicos de los 12 días de la fermentación alcohólica.....	92
Parámetros físico-químicos del destilado .....	95
Balance de materia: Guayaco Morado .....	100
Obtención de almidón.....	101
Rendimiento obtención de almidón.....	101
Obtención de alcohol.....	102
Rendimiento obtención de alcohol.....	102
Balance de materia: Toquecita.....	103
Obtención de almidón.....	103
Rendimiento obtención de almidón.....	103
Obtención de alcohol.....	104

Rendimiento obtención de alcohol.....	105
Capítulo V .....	106
Discusión.....	106
Respecto a las concentraciones de enzima (Factor A) .....	106
Respecto a las concentraciones de almidón (Factor B).....	107
Respecto a las variedades de camote (Factor C).....	107
Respecto a la interacción A*B*C (Enzima-Almidón-Camote) .....	108
Respecto a las concentraciones de levadura (Factor A) .....	108
Respecto a las variedades de camote (Factor B).....	110
Respecto a la interacción A*B (Levadura-Camote) .....	111
Capítulo VI .....	113
Conclusiones.....	113
Factor A (Enzimas) .....	113
Factor B (Almidón).....	113
Factor C (Camote) .....	113
Interacción A*B*C (Enzimas-Almidón-Camote).....	113
Factor A (Levadura).....	114
Factor B (Camote) .....	114
Interacción A*B (Levadura-Camote).....	115
Recomendaciones.....	116
Capítulo VII .....	117
Bibliografía .....	117

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Clasificación taxonómica .....	27
<b>Tabla 2</b> Valores nutricionales del camote por 100 g en peso seco .....	29
<b>Tabla 3</b> Materiales, insumos y equipos requeridos para la extracción de almidón de camote de las variedades Guayaco Morado y Toquecita .....	42
<b>Tabla 4</b> Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la hidrólisis enzimática del almidón de camote de las variedades Guayaco Morado y Toquecita	43
<b>Tabla 5</b> Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de azúcares totales por Antrona .....	44
<b>Tabla 6</b> Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de almidón total .....	45
<b>Tabla 7</b> Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la desinfección de materiales.....	46
<b>Tabla 8</b> Materiales, insumos y equipos requeridos para la activación de la levadura <i>S. Cerevisiae</i> .....	46
<b>Tabla 9</b> Materiales, insumos y equipos requeridos para la inoculación de la levadura <i>S. Cerevisiae</i> .....	47
<b>Tabla 10</b> Materiales, insumos y equipos requeridos para la destilación .....	47
<b>Tabla 11</b> Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de los parámetros físico-químicos antes, durante y al finalizar la fermentación (12 días), así como del alcohol destilado .....	48
<b>Tabla 12</b> Concentraciones de enzimas para hidrolizar el almidón de las variedades Guayaco Morado y Toquecita.....	51
<b>Tabla 13</b> Concentraciones de almidón de las variedades Guayaco Morado y Toquecita .....	51
<b>Tabla 14</b> Factores y Niveles a probar en la evaluación del efecto de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).....	55
<b>Tabla 15</b> Factores y niveles de estudio a evaluar en el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol .....	56
<b>Tabla 16</b> Tratamientos para evaluar el efecto de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).....	56
<b>Tabla 17</b> Tratamientos para evaluar el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol.....	57

<b>Tabla 18</b> Esquema del análisis de varianza para evaluar de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).....	58
<b>Tabla 19</b> Esquema del análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol.....	59
<b>Tabla 20</b> Análisis de varianza para la variable sólidos solubles .....	63
<b>Tabla 21</b> Análisis de varianza para la variable azúcares totales.....	64
<b>Tabla 22</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor A en las variables sólidos solubles y azúcares totales.....	65
<b>Tabla 23</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor B en las variables sólidos solubles y azúcares totales.....	67
<b>Tabla 24</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor C en las variables sólidos solubles y azúcares totales.....	68
<b>Tabla 25</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción A*B en las variables sólidos solubles y azúcares totales .....	69
<b>Tabla 26</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción B*C en la variable sólidos solubles.....	72
<b>Tabla 27</b> Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción A*B*C en la variable azúcares totales .....	73
<b>Tabla 28</b> Análisis de varianza para la variable sólidos solubles en el día 12 de la fermentación.....	75
<b>Tabla 29</b> Análisis de varianza para la variable grado alcohólico en el día 12 de la fermentación.....	76
<b>Tabla 30</b> Análisis de varianza para la variable acidez titulable en el día 12 de la fermentación.....	77
<b>Tabla 31</b> Análisis de varianza para la variable pH en el día 12 de la fermentación .	77
<b>Tabla 32</b> Análisis de varianza para la variable densidad en el día 12 de la fermentación.....	78
<b>Tabla 33</b> Resultado del análisis de Tukey ( $p < 0.05$ ) para el factor A en las variables fisico-químicas en el día 12 de la fermentación .....	79
<b>Tabla 34</b> Resultado del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ) para el factor B en las variables fisico-químicas en el día 12 de la fermentación .....	81
<b>Tabla 35</b> Resultado del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ) para la interacción A*B en las variables fisico-químicas en el día 12 de la fermentación.....	83
<b>Tabla 36</b> Matriz de correlación de componentes principales. ....	89
<b>Tabla 37</b> Matriz de componentes. ....	89



<b>Tabla 38</b> Porcentajes de varianza total explicada. ....	90
<b>Tabla 39</b> Resultados de los parámetros metanol y furfural del destilado alcohólico de camote .....	99

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Camote Variedad INIAP-Guayaco Morado .....	30
<b>Figura 2</b> Camote Variedad INIAP-Toquecita .....	31
<b>Figura 3</b> Estructura de amilosa y amilopectina.....	33
<b>Figura 4</b> Esquema del funcionamiento del rotavapor .....	39
<b>Figura 5</b> Mapa de ubicación geográfica de la investigación en INIAP-EESC .....	42
<b>Figura 6</b> Evaluación del efecto de las concentraciones de enzimas (Factor A) en las variables de estudio.....	66
<b>Figura 7</b> Evaluación del efecto de las concentraciones de almidón (Factor B) en las variables de estudio.....	67
<b>Figura 8</b> Evaluación del efecto de las variedades de camote Guayaco Morado y Toquecita (Factor C) en las variables de estudio .....	68
<b>Figura 9</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable sólidos solubles .....	70
<b>Figura 10</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable azúcares totales .....	71
<b>Figura 11</b> Evaluación del efecto de la interacción B*C en la variable sólidos solubles .....	72
<b>Figura 12</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B*C en la variable azúcares totales.....	74
<b>Figura 13</b> Evaluación del efecto de las concentraciones de levadura (Factor A) en las variables de estudio .....	79
<b>Figura 14</b> Evaluación del efecto de las variedades de camote (Factor B) en las variables de estudio.....	81
<b>Figura 15</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable sólidos solubles .....	84
<b>Figura 16</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable acidez titulable .....	85
<b>Figura 17</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable pH.....	86
<b>Figura 18</b> Evaluación del efecto de la interacción A*B en la variable densidad .....	87
<b>Figura 19</b> Dendograma para los factores en estudio.....	88
<b>Figura 20</b> Gráfica de sedimentación. ....	90
<b>Figura 21</b> Gráfica de componentes principales. ....	91
<b>Figura 22</b> Variación de los parámetros físico-químicos durante los 12 días de fermentación.....	92

<b>Figura 23</b> Resultado de la fermentación del jarabe glucosilado de almidón de las dos variedades de camote .....	94
<b>Figura 24</b> Resultados de los parámetros fisico-químicos del destilado .....	95
<b>Figura 25</b> Resultado de la destilación del fermentado de las dos variedades de camote .....	96

**Listado de abreviaturas**

<b>AMG</b>	Amiloglucosidasa
<b>°C</b>	Grado centígrado
<b>Cp</b>	Centipoise
<b>FAU</b>	Unidad de Atenuación de Formacina
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>HCL</b>	Ácido clorhídrico
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Ácido sulfúrico
<b>KOH</b>	Hidróxido de potasio
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>L</b>	Litro
<b>mg</b>	Microgramos
<b>min</b>	Minutos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>NaOH</b>	Hidróxido de sodio
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>s</b>	Segundos
<b>μL</b>	Microlitro
<b>μm</b>	Micrómetro
<b>p/v</b>	Peso/Volumen
<b>v/v</b>	Volumen/Volumen
<b>λ</b>	Absorbancia

## Resumen

El objetivo de la presente investigación fue evaluar diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para la obtención de alcohol de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*) y su aplicación en la industria licorera. La extracción de almidón se realizó por vía húmeda y se aplicó un pretratamiento de precocción (20 min/120°C). El jarabe se obtuvo por hidrólisis enzimática del almidón con Amilasa (pH 6,5-20 min/90°C) y amiloglicosidasa, AMG (pH 4,75-12 h/60°C). La fermentación se realizó con 1L de jarabe, en el que se inoculó *S. cerevisiae*, se mantuvo la fermentación por 12 días y se destiló (1h/80°C). Los diseños experimentales que se emplearon fueron dos esquemas factoriales D.B.C.A con 3 repeticiones en cada tratamiento. Los resultados de almidón total para *Guayaco Morado* y *Toquecita* fueron de 70,56 % y 81,33 %, respectivamente. Los resultados de la hidrólisis con Amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) con 35% de almidón permitieron obtener un jarabe glucosilado alto en sólidos solubles y azúcares totales. En la evaluación físico-química (sólidos solubles, grado alcohólico, acidez, pH y densidad) se determinó que la concentración de levaduras y las variedades de camote presentaron diferencias significativas. Los tratamientos con una concentración de levadura 1g/L, actuando sobre el almidón de la variedad *Toquecita* presentaron las mejores características para la producción de alcohol. Se realizaron los análisis físico-químicos del alcohol recuperado (grado alcohólico, acidez, pH, densidad, viscosidad, turbidez, metanol y metales pesados) y se determinó que el producto cumple los parámetros de calidad establecidos en la normatividad ecuatoriana, presenta sabor y aroma propios del camote y es apta para el consumo humano.

**Palabras claves:** camote, hidrólisis enzimática, fermentación, alcohol, destilación.

## Abstract

The objective of this research was to evaluate different concentrations of enzymes, starch and yeast to obtain alcohol from two varieties of sweet potato (*Guayaco Morado* and *Toquecita*) and their application in the liquor industry. Starch extraction was performed by wet method and a pre-cooking pretreatment (20 min/120°C) was applied. The syrup was obtained by enzymatic hydrolysis of starch with Amylase (pH 6.5-20 min/90°C) and Amyloglucosidase, AMG (pH 4.75-12 h/60°C). Fermentation was performed out with 1L of syrup, in which *S. cerevisiae* was inoculated, fermentation was maintained for 12 days and distilled (1h/80°C). The experimental designs that were used were two D.B.C.A factorial schemes with 3 repetitions in each treatment. The total starch results for *Guayaco Morado* and *Toquecita* were 70.56% and 81.33%, respectively. The results of the hydrolysis with Amylase 0.182% (p/v) and AMG 0.354% (p/v) with 35% starch allowed to obtain a glycosylated syrup high in soluble solids and total sugars. In the physical-chemical evaluation (soluble solids, alcoholic strength, acidity, pH and density) it was determined that the concentration of yeasts and the sweet potato varieties presented significant differences. The treatments with a yeast concentration of 1g/L, acting on the starch of the *Toquecita* variety, presented the best characteristics for the production of alcohol. The physical-chemical analyzes of the recovered alcohol (alcoholic degree, acidity, pH, density, viscosity, turbidity, methanol and heavy metals) were performed out and it was determined that the product meets the quality parameters established in the Ecuadorian regulations, presents flavor and aroma own of the sweet potato and is suitable for human consumption.

**Keywords:** sweet potato, enzymatic hydrolysis, fermentation, alcohol, distillation

## Capítulo I

### Introducción

El camote (*Ipomoea batata* L.) es una raíz nativa de los trópicos de América Latina, Centro y Sur de México y Centro América. Es considerada un alimento tradicional y de importancia, que ha persistido por su fácil cultivo y versatilidad a través del tiempo, pese a ello su superficie cultivada, producción y tecnologías de manejo es destinada a un cultivo de importancia secundaria para comercializarlo en su estado natural o como alimento para el ganado, por ser una especie poco promocionada e industrializada (Cobeña et al., 2017).

Su producción en el Ecuador se concentra en las zonas rurales de la costa, sierra y Amazonía (Cobeña et al., 2017). La industria lo destina para la producción de harinas para panificación, chifles, almidón y también, en la elaboración de platillos, ya sea cocinado o asado (Sánchez, 2019). La producción de subproductos de la batata a partir de su almidón constituye una alternativa industrial de materia prima para la elaboración de bebidas alcohólicas y ofrece una solución a la importación de este tipo de bebidas por sus altos costos (Castro, 2015).

Al igual que otros tubérculos y raíces, como son la papa y la yuca, el camote es considerado un alimento energético por su contenido de azúcares, además posee vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes (Mohanraj & Sivasankar, 2014). Aunque existen diferencias en su composición química debido a la variedad, estado de madurez y condiciones agronómicas (Vidal et al., 2018), en el país se conocen varias variedades como *Morado Brasil*, *Guayaco Morado*, *Toquecita*, *Philiphino* y *Lilia* que se clasifican por la coloración de la pulpa [morados, anaranjados, amarillos y blancos] (Zambrano J. , 2016).

Las variedades se caracterizan por su alto contenido de carbohidratos, almidón y azúcares fermentables (Escobar et al., 2022), lo que hace a la batata y sus variedades un cultivo prometedor en la obtención de alcohol a partir de su almidón hidrolizado mediante vía enzimática, el cual es fácilmente fermentable para posteriormente ser destilado; aportando a la industria licorera del país, en variedad y calidad de bebidas alcohólicas, con mejores precios (Cueva & Gonzales, 2015).

## **Objetivos de la Investigación**

### **Objetivo General**

Evaluar diferentes concentraciones de enzimas, almidón y levadura para la obtención de alcohol de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*) y su aplicación en la industria licorera.

### **Objetivos Específicos**

Evaluar el efecto de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*).

Evaluar el efecto de la concentración de levadura en la producción de etanol.

Determinar mediante análisis físico-químicos las características del alcohol obtenido.

## **Hipótesis**

### **Diseño A\*B\*C**

### **Hipótesis para el Factor A (Concentraciones de enzimas)**

Ho: Las concentraciones de enzimas no influyen en la hidrólisis enzimática del almidón de camote.



Ha: Las concentraciones de enzimas si influyen en la hidrólisis enzimática del almidón de camote.

#### **Hipótesis para el Factor B (Concentraciones de almidón)**

Ho: Las concentraciones de almidón no influyen en la hidrólisis enzimática del almidón de camote.

Ha: Las concentraciones de almidón si influyen en la hidrólisis enzimática del almidón de camote.

#### **Hipótesis para el Factor C (Variedades de camote)**

Ho: Las variedades de camote no influyen como fuente de materia prima en el rendimiento para la obtención del jarabe glucosilado.

Ha: Las variedades de camote si influyen como fuente de materia prima en el rendimiento para la obtención del jarabe glucosilado.

#### **Diseño A\*B**

#### **Hipótesis para el Factor A (Concentraciones de levadura)**

Ho: Las concentraciones de levadura no influyen en el proceso de fermentación de jarabe glucosilado de almidón de camote.

Ha: Las concentraciones de levadura si influyen en el proceso fermentación del jarabe glucosilado de almidón de camote.

#### **Hipótesis para el Factor B (Variedades de camote)**

Ho: Las variedades de camote no influyen como fuente de materia prima en el rendimiento para la obtención de alcohol.

Ha: Las variedades de camote sí influyen como fuente de materia prima en el

rendimiento para la obtención de alcohol.

## Capítulo II

### Revisión de literatura

#### Camote

##### **Generalidades**

El camote (*Ipomoea batatas* L.) es una raíz comestible cuyo origen es en América y es el sexto cultivo alimentario más importante a nivel mundial (Cui et al., 2020). Conocido como 'batata', 'boniato', 'moniato', 'caiapo', 'kumara' con sus más de 1600 especies ha sido uno de los principales alimentos básicos para ciertas poblaciones antiguas durante siglos y sigue siendo un ingrediente ampliamente utilizado para elaborar diferentes bebidas y alimentos, en poblaciones de diversas culturas (Escobar et al., 2022).

Las raíces reservantes, ricas en calorías, han convertido a este cultivo en una de las principales fuentes calóricas para las poblaciones de bajos ingresos especialmente en países en vías de desarrollo (Silva et al., 2021). Se considera un cultivo de seguridad alimentaria importante, versátil y subutilizado, debido a que se puede cosechar secuencialmente, y el altamente nutritivo ya que supera a la mayoría de los alimentos con carbohidratos en términos de contenido de vitaminas, minerales, fibra dietética y proteínas (Motsa et al., 2015).

Su cultivo es manejado como planta anual, se propaga vegetativamente y su cosecha depende el cultivar, presentándose en categorías que son precoz [90-120 días], intermedio [121-140 días] y tardío [>140 días] (Cobeña et al., 2017).

## **Descripción taxonómica**

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica.*

<b>Reino:</b>	<i>Vegetal</i>
<b>División:</b>	<i>Angiosperma</i>
<b>Clase:</b>	<i>Dicotiledoneae</i>
<b>Orden:</b>	<i>Tubifloras</i>
<b>Familia:</b>	<i>Convolvulaceae</i>
<b>Género:</b>	<i>Ipomoea</i>
<b>Especie:</b>	<i>Ipomoea batatas</i>

*Nota.* Obtenido de (Huamán Z. , 1992).

## **Morfología**

La batata es miembro de la familia de la enredadera o campanilla (*Convolvulaceae*) que agrupa ~60 géneros y >1650 especies. Esta enredadera herbácea perenne es una dicotiledónea (Escobar et al., 2022) y son en su mayoría clones hexaploides cultivados (Roullier et al., 2013).

## **Raíz**

Es la fracción comercial comestible erróneamente conocida como tubérculo, difieren en tamaño, color y textura de la corteza [suave, lisa o rugosa], piel [cáscara], pulpa [parénquima central] y forma [esféricas, obovada, ovada, oblonga largo elíptica, irregular curvado y oblonga] (Escobar et al., 2022); con colores que van desde el amarillo, morado, crema, rosa, blanco, anaranjado, rojo-morado con intensidades fuertes o débiles, de acuerdo con su cultivar y el tipo de suelo (Cueva & Gonzales, 2015).

Sus raíces reservantes se encuentran bajo tierra, con un tanto de profundidad y en sentido lateral, se originan de los nudos del tallo y alcanzan 0,3 m de longitud y 0,2 m de diámetro. Su sistema radicular consiste en raíces fibrosas que sostienen a la planta y absorben nutrientes y agua, y las raíces reservantes que se encuentran lateralmente y son las que almacenan el producto de la fotosíntesis (Cobeña et al., 2017).

### ***Composición nutricional***

Como principal órgano de nutrición, la raíz reservante posee pulpa con alto contenido de azúcares (sacarosa, glucosa y fructosa), perfumada y tiene un contenido masivo de almidón y fotoasimilados. El contenido total de almidón difiere según los fenotipos, las prácticas previas y posteriores a la cosecha y la ubicación geográfica, entre otros factores (Cui et al., 2020).

Los carbohidratos son responsables de parte del característico sabor a pulpa dulce de la batata y el carbohidrato principal presente en ambos vegetales es el almidón (70%–90% de la materia seca) que se metaboliza durante el almacenamiento en azúcar simple (sacarosa, glucosa, fructosa), por las enzimas  $\alpha$  y  $\beta$ -amilasa; después de la cocción, el almidón se hidroliza en maltosa (Zaccari et al., 2019).

Algunas variedades contienen pigmentos coloreados como  $\beta$ -caroteno y antocianina. Otro grupo importante de nutrientes son los carotenoides que le dan su color característico al camote y son los precursores más eficientes de la vitamina A. El color expresa el tipo de pigmento. Estos pigmentos tienen propiedades antioxidantes que ayudan a combatir el cáncer, protegen contra la ceguera nocturna, retrasan el envejecimiento y previenen lesiones hepáticas (Garg, 2017).

Los minerales y las vitaminas necesarios para el crecimiento, el embarazo, la lactancia y para los ancianos están presentes en las batatas y la energía que aportan estos vegetales es muy importante, ya que puede proporcionar un estado nutricional adecuado, teniendo en cuenta los requerimientos humano (Zaccari et al., 2019); (Escobar et al., 2022).

**Tabla 2**

*Valores nutricionales del camote por 100 g en peso seco.*

<b>Componentes</b>	<b>%</b>
Carbohidratos	20,1
Almidón	12,7
Azúcares	4,2
Proteína	1,6
Fibra dietética	3,0
Grasa	0,1

*Nota:* Obtenido de (Garg, 2017).

### **Usos del camote**

El uso de la batata se puede clasificar en tres grandes categorías: alimento humano, alimento animal y usos industriales (Hall & Phatak, 1993). Es un cultivo ideal para aliviar muchos de los problemas nutricionales del mundo, como la desnutrición crónica (energía) y el hambre oculta (micro deficiencias), ya que ha sido considerado un alimento básico importante en ciertos países de ingresos medios y bajos, etiquetado injustamente como un cultivo de pobres (Escobar et al., 2022).

El camote es una excelente materia prima para las industrias basadas en almidón y se bioprocesa para desarrollar una serie de alimentos (fideos, harinas, alimentos para bebés, tortas, pasteles, vegetales congelados, comidas listas para

comer y repostería) y bebidas funcionales, como almidón agrio, lacto-encurtidos, lacto-jugo, salsa de soya, leche acidófila, cuajada de batata y yogur, bebidas alcohólicas y bioetanol (Garg, 2017). Un alto contenido de almidón junto con un olor y sabor deseable son características deseables para la producción de bebidas alcohólicas a partir de camote y un fuerte candidato para la producción de biocombustibles debido a su alto contenido de almidón (Wu et al., 2021).

## **Variedades**

### ***Guayaco Morado***

La cáscara es color morado. Su pulpa es color morado con intensidad baja y presenta un color secundario que blanco que está distribuido en toda la pulpa. La raíz reservante tiene forma curvada con ausencia de defectos superficiales y su distribución en el tallo es muy dispersa. Su corteza tiene un grosor intermedio de 2 a 3 mm. Su cultivo tiene un ciclo de alrededor 140 días y su rendimiento promedio por hectárea es de 18, 428 T y un follaje de 26,2857 T (Cobeña et al., 2017).

## **Figura 1**

*Camote Variedad INIAP-Guayaco Morado.*



*Nota:* Obtenido de (Túqueres, 2015).

### ***Toquecita***

La cáscara es color anaranjado. Su pulpa es color anaranjado con intensidad intermedia y presenta un color secundario que es anaranjado intenso, con anillos delgados distribuidos en su corteza. La raíz reservante tiene forma elíptica con defectos de constricciones horizontales superficiales y su distribución en el tallo es dispersa. Su corteza tiene un grosor intermedio de 2 a 3 mm. Su cultivo tiene un ciclo de alrededor 140 días y su rendimiento promedio por hectárea es de 22 T y un follaje de 19,4285 T (Cobeña et al., 2017).

### **Figura 2**

*Camote Variedad INIAP-Toquecita.*



*Nota:* Obtenido de (Cobeña et al., 2017).

### **Almidón**

#### ***Generalidades***

El almidón es un producto natural muy importante y de amplia distribución, que se encuentra en las hojas de las plantas verdes, semillas, frutos, tallos, raíces y tubérculos. Resulta como producto final de la fotosíntesis y sirve como forma de almacenamiento químico de la energía del sol (Robyt, 2008).

Después de la celulosa y la quitina, el almidón es el tercer biopolímero más abundante y es uno de los recursos renovables más importantes (Mischnick &

Momcilovic, 2010). Se estima que el 60-70% de la ingesta calórica de los humanos proviene del almidón. Por ello, se lo considera una fuente importante de energía en la dieta humana y se consume en diversas formas (Warren et al., 2018). Además, de usarse como alimento esencial, sirve como materia prima en diversas industrias, como la alimentaria y la farmacéutica (Li & Wei, 2020).

### ***Composición química***

El almidón contiene dos componentes poliméricos de glucosa: amilopectina y amilosa. Ambos polímeros tienen cadenas lineales con enlaces  $\alpha$ -1,4 y puntos de ramificación con enlaces  $\alpha$ -1,6, combinados en un gránulo insoluble en agua que es parcialmente cristalino y cuyo tamaño, forma y morfología dependen de su fuente biológica (Robyt, 2008); (Seung, 2020).

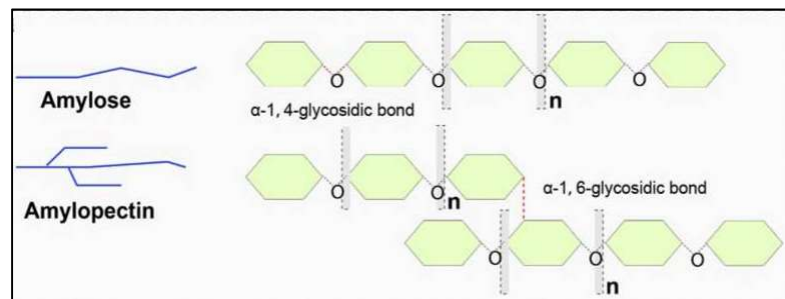
La amilopectina es el polímero principal en el almidón y tiene cadenas de glucosa con enlaces  $\alpha$ -1,4 [grado de polimerización (DP) < 100] unidas por puntos de ramificación con enlaces  $\alpha$ -1,6. La matriz de gránulos semicristalinos está formada por amilopectina, donde las cadenas adyacentes forman dobles hélices que se empaquetan en laminillas cristalinas, mientras que los puntos de ramificación dan lugar a laminillas amorfas (Seung, 2020).

La amilosa constituye < 35 % de la mayoría de los almidones naturales y, a diferencia de la amilopectina, no es necesaria para la formación de gránulos semicristalinos. Se compone de largas cadenas lineales con enlaces  $\alpha$ -1,4 (típicamente DP 100-10 000) con raros puntos de ramificación con enlaces  $\alpha$ -1,6, y se cree que reside en regiones amorfas del gránulo (Seung, 2020).



### Figura 3

*Estructura de amilosa y amilopectina.*



*Nota:* Obtenido de (Lyu et al., 2021).

### Hidrólisis enzimática del almidón

Durante la hidrólisis, las enzimas rompen las largas cadenas de amilosa y amilopectina en moléculas más cortas. Dependiendo del modo de acción de la enzima, los productos finales más comunes de la hidrólisis del almidón pueden ser maltodextrinas, glucosa, fructosa o maltosa (Bednarska, 2015). La hidrólisis del almidón implica tres pasos: gelatinización, licuefacción y la sacarificación (Sindhu et al., 2021).

#### **Alfa-amilasas**

Son enzimas hidrolizantes de almidón que muestran una distribución ubicua de procariontas a eucariotas (Sindhu et al., 2021). La alfa-amilasa es una enzima de acción endo que puede catalizar la hidrólisis de enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1, 4 y algunos enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1, 6 ramificados de las cadenas internas del almidón. Esto conduce principalmente a la liberación de maltosa, oligosacáridos más pequeños y dextrina como productos principales (Xu et al., 2016).

La hidrólisis parcial del almidón por la alfa-amilasa termófila de una bacteria a alta temperatura (95–105 °C) y pH 6.0–6.5 se conoce como licuefacción (Xu et al.,

2016), ya que estas enzimas reducen la viscosidad del almidón gelatinizado (licuar) al reducir la longitud de la amilosa y la amilopectina. Los productos de la licuefacción del almidón se llaman maltodextrinas (Bednarska, 2015).

### ***Amiloglucosidasas***

La amiloglucosidasa, también llamada glucoamilasa, es una enzima involucrada en la descomposición de las cadenas de almidón. Pertenece a la clase de  $\beta$ -amilasas de acción exo que actúan en los extremos no reductores de las cadenas de polímeros de almidón y producen  $\beta$ -d-glucosa. Puede convertir completamente el almidón en d-glucosa y su principal aplicación es la producción industrial de jarabes de glucosa a partir de almidón (Cobeña et al., 2017).

Las maltodextrinas se pueden hidrolizar aún más, con glucoamilasas a pH 4,0-4,5 mediante la sacarificación, cuyo objetivo es producir jarabes de glucosa al descomponer el almidón en su monómero, la glucosa (Bednarska, 2015).

### **Fermentación**

La fermentación, consiste en un proceso de degradación de azúcares en un ácido orgánico o un alcohol, este proceso se produce de una manera natural en varios alimentos por lo que las personas han utilizado esta técnica para mejorar la preservación, así como también las propiedades organolépticas de los diferentes alimentos (Godbey, 2014). No obstante, el término “fermentación” se emplea más ampliamente para el uso de microorganismos como bacterias, levaduras y hongos, con el fin de obtener productos comerciales que se realizan a escala industrial (Boulton, 2020).

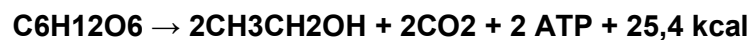
Por otro lado, también se puede definir como una transformación metabólica en donde un organismo convierte un carbohidrato, como el almidón, en un alcohol. La fermentación puede determinarse como una transformación bioquímica anaeróbica,

en donde se obtiene la formación del ácido pirúvico por medio de la glucólisis, en donde se obtiene la síntesis de dos moléculas de ATP y como paso siguiente se tiene la formación de piruvato que se reduce en lactato o etanol (Nigan & Singh, 2014). Considerando un ejemplo, la levadura cumple la función de realizar una fermentación, en donde convierte los carbohidratos en lactato, etanol u otros productos (Jackson, 2020).

### ***Fermentación alcohólica***

Este tipo de fermentación consiste en diversos procesos de transformación, que implica una serie de reacciones bioquímicas de sustratos ricos en azúcar convertidos en alcohol. La fermentación alcohólica se produce cuando no existe oxígeno, es decir, se origina mediante una transformación anaeróbica, ejecutada principalmente por levaduras, hongos y algunas bacterias (Du Toit, 2014).

La reacción producida en la fermentación es la siguiente:



*Nota:* Ecuación de la fermentación alcohólica. Obtenido de (Zamora, 2009).

Los procesos de este tipo de fermentación se dividen en dos partes diferenciadas: a) glucólisis, en donde la glucosa se descompone o transforma en dos moléculas de piruvato y b) fermentación, en la que las moléculas de piruvato que se formaron dentro de la glicólisis se convierten en dos moléculas de ATP, dos moléculas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y finalmente dos moléculas de etanol (Zamora, 2009).

El etanol obtenido representa el principal producto del proceso de fermentación alcohólica. Se debe considerar que solo una pequeña fracción de los azúcares son utilizados para formar subproductos de la fermentación (ácidos

orgánicos, alcoholes superiores, ésteres, etc.) y un gran porcentaje (92%) representa la conversión del azúcar en etanol (Zamora, 2009).

### ***Factores que intervienen en la fermentación***

Según Zambrano (2013), los factores que influyen en el proceso de fermentación son los siguientes:

- **Levadura:** La levadura más común empleada en la industria es *Saccharomyces cerevisiae*, la cual previamente de su uso debe ser activada en el mismo jarabe a una temperatura de 20°C – 28 °C.
- **pH:** El rango óptimo del mosto debe ser ajustado entre 4 – 4,5; ya que se conoce que la levadura tiene un mejor rendimiento en medios ácidos.
- **Sólidos solubles (Grados Brix):** Los grados Brix para un proceso de fermentación óptimo se encuentran en un rango de 16 a 20°Brix, debido a que si los grados Brix son muy bajos el grado alcohólico será relativamente bajo. Por otro lado, si los grados Brix llegan a ser demasiado altos, el proceso fermentativo no se efectúa, debido a un factor conocido como presión osmótica, este factor ejerce una ardua presión sobre la levadura impidiendo que actúe sobre los azúcares.
- **Temperatura:** La temperatura óptima en un proceso de fermentación oscila en un rango de 28 – 35°C. El desdoblamiento de azúcares producido en un proceso de fermentación da como resultado un desprendimiento de calor, es decir, una reacción exotérmica. Si la temperatura oscila en rangos muy bajos se produce una fermentación lenta, por el contrario, si la temperatura sobrepasa los 35°C se obtiene una baja eficiencia en el accionar de la levadura, así también si la temperatura excede los 40°C el trabajo de la levadura se detiene completamente.

- **Nutriente:** En un proceso fermentativo con el fin de garantizar una fermentación eficiente, es necesario agregar nutrientes para que la levadura pueda alimentarse y trabajar correctamente, los nutrientes que se recomiendan son nitrógeno y fósforo (urea y fosfato de amonio).

### ***Microorganismos que influyen en la producción de alcohol***

Los organismos mayormente utilizados en los procesos de producción de alcohol mediante fermentación son las levaduras, debido a que en su metabolismo poseen una alta efectividad en la transformación de azúcares a etanol, sumando a eso se obtiene una baja producción de toxinas en comparación con otros organismos, son: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. ellipsoideus*, *Pichia membranaefaciens*, etc. (Zambrano, 2013).

Por otro lado, dependiendo de la especie, las levaduras presentan diferente sensibilidad al alcohol, la familia que más resistencia presenta en relación con el grado alcohólico es *Saccharomyces*, las cuales son mayormente utilizadas en fermentaciones alcohólicas para la producción de bebidas o también etanol industrial (Motlhanka et al., 2018).

### **Levadura: *Saccharomyces cerevisiae***

*S. cerevisiae* es la levadura más utilizada en la industria a nivel mundial, se utiliza en la industria de la panadería y en la producción de cerveza, vino y bebidas alcohólicas (Suárez et al., 2016). Esta levadura pertenece a un grupo de microorganismos que están íntimamente relacionados con el progreso humano, debido a la gran cantidad de productos que existen en el mercado hoy en día. Es un organismo heterótrofo, lo que significa que extrae su energía de materia orgánica previamente formada [glucosa] (Stewart, 2014).

También son microorganismos fáciles de manejar que no exigen altas condiciones de cultivo, tienen alta tolerancia al alcohol y producen pocos

subproductos durante la fermentación (Stewart, 2014). Además, es osmóticamente resistente, lo que a su vez permite que pueda soportar concentraciones de azúcar relativamente altas.

### **Destilación alcohólica**

La destilación es la separación de sustancias de una mezcla líquida por ebullición y condensación en una sola operación de separación, cuya base se enfoca en la diferencia entre los puntos de ebullición de los constituyentes de la mezcla líquida (Valderrama et al., 2012). El etanol posee un punto de ebullición menor que el agua, por lo que las dos sustancias líquidas se pueden separar por evaporación. Por lo tanto, el etanol se puede concentrar aplicando un proceso de ebullición al agua restante porque requiere más energía antes de que se evapore (Difford, 2022).

Por otro lado, generalmente la muestra líquida a destilar en la mayoría de las veces contiene diferentes tipos de alcohol, así como compuestos químicos (Spaho, 2017). Estos compuestos se denominan congéneres, los cuales son aceptables en mínimas cantidades, mientras que el resto de los compuestos deben eliminarse por completo durante la destilación. El etanol obtenido por evaporación rotatoria tiene un punto de ebullición de aproximadamente 80°C (Difford, 2022).

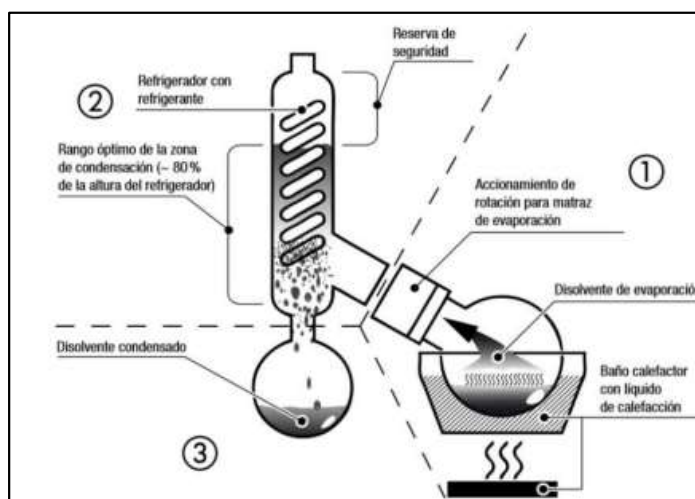
Durante el proceso de destilación, el primer compuesto que se evapora es el alcohol más volátil de la muestra y después de que estos alcoholes se evaporan, el residuo del destilado va a contener agua, proteínas, carbohidratos, así como alcoholes de menor volatilidad y mayor punto de ebullición (Valderrama et al., 2012).

En la figura 4 se observa el esquema de funcionamiento del rotavapor, las cuales según (Hoegger, 2022) constan de tres etapas, que son:

- 1) Evaporación, en donde el disolvente se calienta mediante un baño de agua caliente y se forma una fina película de disolvente en la superficie interior del matraz rotatorio de evaporación, que acelera la evaporación y a su vez el proceso de rotación asegura una mezcla homogénea de la muestra y evita el sobrecalentamiento dentro del matraz.
- 2) Condensación, el vapor del solvente fluye hacia el condensador del evaporador rotatorio de alta velocidad. En este punto, la energía se transfiere del vapor del solvente al medio de enfriamiento (generalmente agua) y el solvente se condensa. El disolvente condensado luego fluye por gravedad hacia el matraz receptor.
- 3) Solvente condensado en un matraz receptor utilizado para recolectarlo. Por otra parte, el equipo consta con una fuerza de vacío, que se usa para bajar la temperatura de ebullición y así aumentar la eficiencia del proceso de destilación.

**Figura 4.**

*Esquema del funcionamiento del rotavapor.*



*Nota:* Obtenido de (UNLP, 2020).

### ***Bebidas alcohólicas***

Las bebidas destiladas que se venden comercialmente en la actualidad están hechas de materiales vegetales y cada producto tiene su propio aroma y sabor únicos que reflejan la materia prima, el proceso de destilación y el tratamiento posterior a la destilación (Bunaciu et al., 2020). Los compuestos de sabor en las bebidas destiladas se denominan congéneres y las diferentes bebidas pueden tener ligeras diferencias en las proporciones de los congéneres, pero existen grandes diferencias en la intensidad del sabor y el aroma (Palmer, 2016).

En las bebidas espirituosas destiladas, el etanol es el compuesto principal en lo que se refiere a cantidad y los congéneres pueden considerarse como un "subproducto" de la producción de etanol natural. El etanol se deriva de los diversos azúcares de las materias primas utilizadas y el método de producción de los congéneres, donde algunos son procedentes de la acción de la levadura durante la fermentación y otros durante la destilación (Palmer, 2016).



## Capítulo III

### Metodología

#### Ubicación del área de investigación

##### *Ubicación Política*

País:	Ecuador
Provincia:	Pichincha
Cantón:	Mejía
Parroquia:	Cutuglagua
Sector:	Panamericana sur, Km 1

##### *Ubicación Ecológica*

Zona de vida:	Bosque muy húmedo Montano (bmhM)
Temperatura:	11.37°C
Precipitación:	1500 mm
Humedad relativa:	83.62%
Heliofanía:	850 horas luz año-1

##### *Ubicación Geográfica*

La presente Investigación se realizó en la provincia de Pichincha, parroquia Cutuglagua, en las instalaciones del Departamento de Nutrición y Calidad, en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) - Estación Experimental Santa Catalina (EESC).

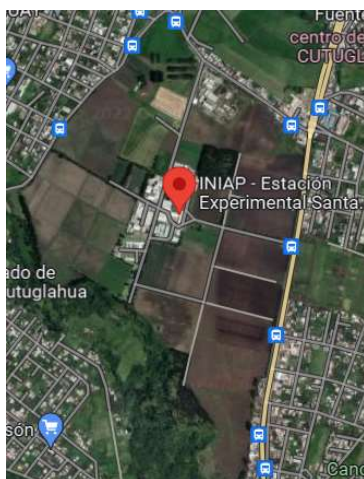
Latitud:	00° 22' S.
----------	------------

Longitud: 78° 33' O.

Altitud: 3058 m.

### Figura 5

*Mapa de ubicación geográfica de la investigación en INIAP-EESC.*



*Nota:* Obtenido de Google Maps.

## Materiales

### Extracción almidón de camote

**Tabla 3**

*Materiales, insumos y equipos requeridos para la extracción de almidón de camote de las variedades Guayaco Morado y Toquecita.*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>
Tubérculos de camote ( <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i> )	Tinas de plástico	Balanza
Agua	Cedazo	Procesador de alimentos
	Media de nylon	Licadora industrial
	Bandejas de aluminio desechables	Refrigeradora
	Vasos de precipitación	Estufa

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>
	Fundas metalizadas	Olla de presión
	Espátulas	Selladora de película plástica
	Bandeja	Molino-Centrífugo ultra ZM 200 - Retsch Tamizador - Retsch AS200

### Hidrólisis enzimática

**Tabla 4**

*Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la hidrólisis enzimática del almidón de camote de las variedades Guayaco Morado y Toquecita.*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Almidón precocido de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Bandejas de pesaje	Balanza analítica	HCl 0,1 N
Agua destilada	Cucharas de muestreo extendidas	Agitador magnético	NaOH 0,1N
Alfa amilasa – Termamyl	Probeta	Refractómetro	
Amiloglucosidasa – Gamadex	Vasos de precipitación	pHmetro	
	Matraces	Pipetas volumétricas	
	Agitadores magnéticos	Olla de presión	
	Puntas de pipeta	Cocineta	
		Termómetro digital	
	Papel aluminio	Baño termostático	

Muestras	Insumos	Equipos	Reactivos
	Agitador de varilla	Talboys Engineering Corp 106 Bodine Motor	
	Parafilm		

### Determinación de Azúcares totales

**Tabla 5**

*Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de azúcares totales por Antrona.*

Muestras	Insumos	Equipos	Reactivos
Almidón precocido de <i>Guayaco Morado y Toquecita</i>	Bandejas de pesaje	Agitador magnético	Reactivo Antrona
Agua destilada	Cucharas de muestreo extendidas	Pipetas volumétricas	
Alfa amilasa – Termamyl	Bureta	Centrífuga	
Amiloglucosidasa – Gamadex	Tubos para centrífuga	Cocina	
	Tubos de ensayo	Fotómetro	
	Balones de aforo 100 mL y 25 mL		
	Puntas de pipeta		
	Piseta		
	Olla		
	Gradilla		

## Determinación de Almidón total

**Tabla 6**

*Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de almidón total.*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Almidón precocido de <i>Guayaco Morado y Toquecita</i>	Bandejas de pesaje	Balanza analítica	HCl 5 M
Agua destilada	Cucharas de muestreo extendidas	Agitador magnético	KOH 4 N
Alfa amilasa – Termamyl	Probeta	Cocina	Tampón acetato de sodio
Amiloglucosidasa – Gamadex	Vasos de precipitación	pHmetro	Reactivo Antrona
	Matraces	Pipetas volumétricas	
	Agitadores magnéticos	Vórtex	
	Puntas de pipeta	Termómetro digital	
	Balones de aforo 50 mL	Baño termostático	
	Tubos de ensayo	Fotómetro	

## Producción de alcohol de camote

### Desinfección

**Tabla 7**

*Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la desinfección de materiales.*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Agua destilada	Bandejas de pesaje	Balanza analítica	Straigh-A Premium Cleaner
	Cucharas de muestreo extendidas	Agitador magnético	
	Probeta	Cocina	
	Vasos de precipitación	Estufa	
	Agitadores magnéticos		
	Frascos herméticos de vidrio		

### Activación levadura *S. Cerevisiae*

**Tabla 8**

*Materiales, insumos y equipos requeridos para la activación de la levadura *S. Cerevisiae**

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>
10mL Jarabe de camote de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Bandejas de pesaje	Balanza analítica
<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>	Cucharas de muestreo extendidas	Estufa
Nutriente: MAXAferm	Vasos de precipitación	Agitador magnético
	Agitadores magnéticos	Termómetro digital

### ***Inoculación levadura S. Cerevisiae y Fermentación***

**Tabla 9**

*Materiales, insumos y equipos requeridos para la inoculación de la levadura S.*

*Cerevisiae*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>
1L Jarabe de camote de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Frascos herméticos de vidrio	Estufa
Levadura <i>S. Cerevisiae</i> activada	Airlock  Trampas de aire	

### ***Destilación***

**Tabla 10**

*Materiales, insumos y equipos requeridos para la destilación.*

<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>
Bebida fermentada de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Vasos de precipitación  Botellas de vidrio herméticas	Rotavapor

## Parámetros físico-químicos

**Tabla 11**

*Materiales, insumos, equipos y reactivos requeridos para la determinación de los parámetros físico-químicos antes, durante y al finalizar la fermentación (12 días), así como del alcohol destilado.*

Parámetro	Muestras	Insumos	Equipos	Reactivos	
Sólidos solubles	Jarabe de camote de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Vasos de precipitación	Refractómetro		
	Bebida fermentada de <i>Guayaco Morado</i> y <i>Toquecita</i>	Cucharas de muestreo extendidas			
	Agua destilada				
Grado alcohólico		Probeta	Alcoholímetro Gay Lussac 0 - 100% sin termómetro		
Acidez titulable		Probeta	pHmetro	NaOH 0,1 N	
		Vaso de precipitación 250 mL			
		Pipeta volumétrica de 10 mL			
pH		Vasos de precipitación	Potenciómetro	HCL 0,1 N	
		Probeta			NaOH 0,1 N
		Pipeta volumétrica de 10 mL			
		Varilla de vidrio			
Densidad		Vasos de precipitación 10 mL	Balanza analítica		



<b>Parámetro</b>	<b>Muestras</b>	<b>Insumos</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivos</b>
Turbidez		Tubo de ensayo	Fotómetro	
Viscosidad		Pera de succión	Viscosímetro de Ostwald Cronómetro	

### **Métodos**

En el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina se extrajo el almidón de camote proporcionado por el programa de Camote del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-INIAP- Estación Experimental Portoviejo. También, se realizó la hidrólisis enzimática del almidón con el fin de obtener un jarabe para la fermentación alcohólica y su posterior destilación.

#### **Extracción almidón de camote**

##### **a. Variedad Guayaco Morado**

Las raíces reservantes se pesaron y lavaron para cortarlas en rodajas con el equipo Robot cape, se licuó, se tamizó en un cedazo y una segunda vez en un tamiz de 350 µm de abertura, agregando agua. Se dejó reposar 12 h para separar las fases y se recogió el almidón sedimentado para ponerlo en refrigeración durante 3 h, con el fin de ayudar a la sedimentación del almidón. El sedimentado se recogió nuevamente y se colocó en estufa a 60°C en bandejas de aluminio desechables durante 2 días. Posterior, las muestras secas pasaron por el Molino-Centrífugo ultra ZM 200 - Retsch y por el Tamizador – Retsch AS200. Las muestras de almidón finamente molidas y tamizadas se precociaron en fundas metalizadas durante 20 min a 121°C (INIAP, 2022).

**b. Variedad Toquecita**

Rodajas de camote seco se hidrataron por 2 h, se licuó, se tamizó en un cedazo y una segunda vez en un tamiz de 350 µm de abertura, agregando agua. Se dejó reposar 12 h para separar las fases y se recogió el almidón sedimentado para ponerlo en refrigeración durante 3 h, con el fin de ayudar a la sedimentación del almidón. El sedimentado se recogió nuevamente y se colocó en estufa a 60°C en bandejas de aluminio desechables durante 2 días. Posterior, las muestras secas pasaron por el Molino-Centrífugo ultra ZM 200 - Retsch y por el Tamizador – Retsch AS200. Las muestras de almidón finamente molidas y tamizadas se precociaron en fundas metalizadas durante 20 minutos a 121°C (INIAP, 2022).

**Hidrólisis enzimática del almidón de camote**

Se pesó el almidón precocido y se preparó una suspensión, se agitó por 10 minutos, se ajustó pH 6,5 con HCl/NaOH 0,1 N y se midió los sólidos solubles (°Brix). Se gelatinizó el almidón durante 10 min/121°C y se llevó a 90°C para añadir la enzima Termamyl en agitación constante por 20 minutos, considerando que se ajustó el volumen inicial con agua destilada. Se midió los sólidos solubles (°Brix), se ajustó pH 4,75 y se llevó a 60°C para añadir la enzima AMG en agitación constante por 12 h (INIAP, 2022).

**a. Evaluación de las concentraciones enzimáticas de alfa – amilasa y amiloglucosidasa**

Para determinar la concentración enzimática se realizaron ensayos con diferentes concentraciones de enzimas, utilizando una misma concentración de almidón al 35% peso (8,75g / 25mL Agua destilada), para ambas variedades de camote; tal como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 12**

*Concentraciones de enzimas para hidrolizar el almidón de las variedades Guayaco Morado y Toquecita.*

<b>Concentración enzimática</b>	<b>Alfa - amilasa %(p/v)</b>	<b>AMG %(p/v)</b>
1	0,114	0,182
2	0,148	0,331
3	0,182	0,354
4	0,217	0,388

**b. Evaluación de las concentraciones de almidón de camote**

Para determinar la concentración de almidón se realizaron ensayos con diferentes concentraciones de almidón, utilizando una misma concentración de enzimas Alfa – amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v). para ambas variedades de camote; tal como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 13**

*Concentraciones de almidón de las variedades Guayaco Morado y Toquecita.*

<b>Concentración de almidón (%)</b>	<b>Almidón (g)</b>	<b>Agua (mL)</b>
20	5	25
25	6,25	25
30	7,5	25
35	8,75	25
40	10	25

**Azúcares totales**

Se realizó el procedimiento de hidrólisis enzimática del almidón de camote descrito anteriormente y se centrifugó a 2500 rpp. Luego, se realizó una primera dilución con 100 µL del sobrenadante y 100 mL de agua destilada; posterior, se

tomó 1 mL para una segunda dilución con 25 mL de agua destilada. Después, por triplicado en tubos de ensayo se realizó una mezcla con 1 mL del reactivo Antrona y 1 mL de la muestra de la segunda dilución, se agitó y se llevó a ebullición durante 10 min. Se realizó un blanco con 2 mL del reactivo Antrona y 1 mL de agua destilada. Se dejó enfriar en baño de agua fría los tubos y finalmente se midió la absorbancia a  $\lambda=620$  nm con un fotómetro (INIAP, 2022).

### **Almidón total**

Para la determinación de este parámetro se utilizó la metodología descrita por (Tovar et al., 1990):

Se pesó por triplicado 500 mg de muestra seca, finamente molida en un vaso de precipitación y se suspendió cada muestra en 10 mL de agua destilada. Luego, se añadió lentamente 10 mL de solución de KOH 4 N y se agitó constantemente. La suspensión se mantuvo a temperatura ambiente por 30 min con agitación magnética cada 10 min. La mezcla se neutralizó (pH 6,5 - 7) con HCL 5M. Se añadió 100 uL de Termamyl, se colocó en ebullición por 20 min agitando cada 5 min, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se transfirió cuantitativamente el contenido a un matraz aforado de 100 mL. Posteriormente, se llevó a volumen con agua destilada, se colocó una barra de agitación magnética y se tomó con agitación magnética constante 0,5 mL de la solución anterior, se transfirió a un tubo de ensayo que contenía 1 mL de tampón acetato de sodio. Se agregó 25 uL de la solución de amiloglucocidasa, se mezcló suavemente con ayuda de un vórtex y se incubó la mezcla a 60°C por 30 min, agitando con vórtex cada 10 min; se transfirió cuantitativamente, el contenido del tubo de ensayo a un matraz aforado de 50 mL y se lavó el contenido del tubo con agua destilada (1 mL), y se recogió en el mismo matraz. Después, se llevó a volumen el contenido del matraz, se tomó 1 mL del contenido del matraz y se mezcló con 2 mL del reactivo Antrona. Los valores de

absorbancia se reemplazaron utilizando la fórmula correspondiente a la curva estándar de glucosa. Finalmente, se expresó como microgramos de glucosa en 100 uL de dilución final y se procedió a la determinación de la concentración de glucosa, según las especificaciones del proveedor del reactivo Antrona.

$$\% \text{ de almidon} = \frac{x * 0.001 * 100 * 200 * 0.9}{\text{Peso de la muestra (mg)}} * 100\%$$

Donde:

x= mg glucosa

0.001= Transformación de microgramos a miligramos

100 = Factor de dilución 2

200 = Factor de dilución total

0.9 = Factor de transformación de glucosa a glucano

0.001= Transformación de microgramos a miligramos

### **Producción de etanol**

La producción de alcohol por fermentación del almidón hidrolizado por vía enzimática (jarabe) de las dos variedades de camote se realizó mediante la actividad de tres concentraciones de *Saccharomyces cerevisiae*, que se utiliza principalmente en la obtención de bebidas alcohólicas (INIAP, 2022).

### **Desinfección**

En primer lugar, se realizó una desinfección de los frascos herméticos de vidrio de 1 L, para ello se lavó con jabón líquido y posteriormente se desinfectó agitando manualmente por 5 min con solución desinfectante que contenía 1 L de agua caliente y 3,29 g de Straigh-A Premium Cleaner. Luego, los frascos se secaron en estufa a 60°C (INIAP, 2022).

### **Ajuste de parámetros iniciales**

El jarabe de camote de cada variedad fue colocado en recipientes grandes y se procedió a ajustar los siguientes parámetros: pH de 4,8 con ácido clorhídrico 0,1 N e hidróxido de sodio 0,1 N y °Brix de 20 (INIAP, 2022). Los sólidos solubles (°Brix) se ajustaron con agua destilada mediante la siguiente ecuación:

$$V1C1 = V2C2$$

Antes de la fermentación, se midieron otros parámetros: acidez y densidad. Seguidamente, en cada uno de los frascos rotulados según su variedad y concentración de levadura se colocó 500 mL de jarabe (INIAP, 2022).

### **Activación de la levadura *S. Cerevisiae***

La levadura (*Saccharomyces Cerevisiae*; Marca comercial: Fermivin 7013) y el nutriente (Marca comercial: MAXAferm) se adquirieron en la tienda cervecera BeerLand. La fermentación se realizó con 3 concentraciones de levadura (0,66 g /L; 0,88 g/L; 1 g/L). Por otro lado, con respecto al nutriente, se utilizó en la misma proporción que la levadura. La activación de la levadura se realizó con 10 mL del jarabe de cada variedad a 30°C/1h. Se adicionó el nutriente y en agitación constante se añadió la levadura, dejando en agitación por 5 min. Posteriormente, se llevó a 30°C por 1 h en estufa (INIAP, 2022).

### **Inoculación de la levadura *S. Cerevisiae*.**

Una vez activada a levadura se agregó a los frascos herméticos de vidrio que contenían el jarabe. Los frascos fueron tapados con su seguro hermético, asegurándose que los airlock y trampas de aire no estén obstruidos (INIAP, 2022).

### **Fermentación**

Se realizó en estufa a 30°C por 12 días. Los parámetros considerados durante la fermentación (°Brix, Grado alcohólico, Acidez, pH y Densidad) se midieron diariamente con el fin controlar la fermentación alcohólica (INIAP, 2022).

### **Destilación**

Se realizó un trasiego de la bebida fermentada y en el rotavapor se destiló a 80°C por 1 h para la recuperación del alcohol producido (INIAP, 2022).

## **Diseño Experimental**

### **Factores del experimento**

**Tabla 14**

*Factores y Niveles a probar en la evaluación del efecto de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).*

<b>Factores</b>	<b>Simbología</b>	<b>Niveles</b>
Concentraciones enzimáticas (A)	A1	Amilasa 0,114 % (p/v) AMG 0,182 % (p/v)
	A2	Amilasa 0,148 % (p/v) AMG 0,331 % (p/v)
	A3	Amilasa 0,182 % (p/v) AMG 0,354 % (p/v)
	A4	Amilasa 0,217 % (p/v) AMG 0,388 % (p/v)
Concentraciones de almidón (B)	B1	25 %
	B2	35 %
Variedades de camote (C)	C1	<i>Guayaco Morado</i>
	C2	<i>Toquecita</i>

**Tabla 15**

*Factores y niveles de estudio a evaluar en el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol.*

<b>Descripción</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
Concentraciones de levadura (A)	A1	0,66 g/L
	A2	0,88 g/L
	A3	1g/L
Variedades de camote (B)	B1	<i>Guayaco Morado</i>
	B2	<i>Toquecita</i>

### **Tratamientos a comprobar**

**Tabla 16**

*Tratamientos para evaluar el efecto de diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).*

<b>N°</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Combinación</b>
T1	A1B1C1	C. enzimática 1 + C. almidón 25% + <i>Guayaco Morado</i>
T2	A1B1C2	C. enzimática 1 + C. almidón 25% + <i>Toquecita</i>
T3	A1B2C1	C. enzimática 1 + C. almidón 35% + <i>Guayaco Morado</i>
T4	A1B2C2	C. enzimática 1 + C. almidón 35% + <i>Toquecita</i>
T5	A2B1C1	C. enzimática 2 + C. almidón 25% + <i>Guayaco Morado</i>
T6	A2B1C2	C. enzimática 2 + C. almidón 25% + <i>Toquecita</i>
T7	A2B2C1	C. enzimática 2 + C. almidón 35% + <i>Guayaco Morado</i>
T8	A2B2C2	C. enzimática 2 + C. almidón 35% + <i>Toquecita</i>
T9	A3B1C1	C. enzimática 3 + C. almidón 25% + <i>Guayaco Morado</i>
T10	A3B1C2	C. enzimática 3 + C. almidón 25% + <i>Toquecita</i>
T11	A3B2C1	C. enzimática 3 + C. almidón 35% + <i>Guayaco Morado</i>
T12	A3B2C2	C. enzimática 3 + C. almidón 35% + <i>Toquecita</i>
T13	A4B1C1	C. enzimática 4 + C. almidón 25% + <i>Guayaco Morado</i>
T14	A4B1C2	C. enzimática 4 + C. almidón 25% + <i>Toquecita</i>



N°	Tratamientos	Combinación
T15	A4B2C1	C. enzimática 4 + C. almidón 35% + <i>Guayaco Morado</i>
T16	A4B2C2	C. enzimática 4 + C. almidón 35% + <i>Toquecita</i>

**Tabla 17**

*Tratamientos para evaluar el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol.*

N°	Tratamiento	Combinación
T1	A1B1	C. levadura 0,66 g/L + <i>Guayaco Morado</i>
T2	A1B2	C. levadura 0,66 g/L + <i>Toquecita</i>
T3	A2B1	C. levadura 0,88 g/L + <i>Guayaco Morado</i>
T4	A2B2	C. levadura 0,88 g/L + <i>Toquecita</i>
T5	A3B1	C. levadura 1 g/L + <i>Guayaco Morado</i>
T6	A3B2	C. levadura 1 g/L + <i>Toquecita</i>

### **Tipo de diseño**

Para la comparación del efecto de diferentes concentraciones de enzimas (A) y de almidón (B) en la hidrólisis enzimática de dos variedades de camote (C) se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) DBCA con un esquema Trifactorial (A= 4 x B= 2 x C= 2).

Para la comparación del efecto de diferentes concentraciones de levaduras (A) en la producción de etanol de dos variedades de camote (B) se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) DBCA con un esquema Bifactorial (A= 2 x B= 2).

### **Repeticiones**

En el diseño del experimento con esquema Trifactorial se realizó 3 repeticiones por cada tratamiento, con un total de 48 unidades experimentales.

En el diseño del experimento con esquema Bifactorial se realizó 3 repeticiones por cada tratamiento, con un total de 18 unidades experimentales.

### **Características de las unidades experimentales**

La unidad experimental estuvo conformada por 350 g de almidón de camote de cada variedad de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*) por cada tratamiento para su hidrólisis enzimática.

La unidad experimental estuvo conformada por 1L del fermentado por cada tratamiento para la obtención de alcohol.

### **Análisis estadístico**

#### **Esquema de análisis de varianza**

**Tabla 18**

*Esquema del análisis de varianza para evaluar diferentes concentraciones de enzimas y de almidón para la hidrólisis de dos variedades de camote (Guayaco Morado y Toquecita).*

<b>Fuentes de variación</b>		<b>Grados de libertad</b>
Concentraciones enzimáticas (Factor A)	a - 1	3
Concentraciones de almidón (Factor B)	b - 1	1
Variedades de camote (Factor C)	c - 1	1
Interacción AxB	(a-1) (b-1)	3
Interacción AxC	(a-1) (c-1)	3
Interacción BxC	(b-1) (c-1)	1
Interacción AxBxC	(a-1) (b-1) (c-1)	3
Repeticiones	r-1	2
Error Experimental		20
Total		37

**Tabla 19**

*Esquema del análisis de varianza para evaluar el efecto de la concentración de levadura en la producción de alcohol.*

<b>Fuentes de variación</b>		<b>Grados de libertad</b>
Concentraciones de levadura (Factor A)	a - 1	2
Variedades de camote (Factor B)	b - 1	1
Interacción (AxB)	(a-1) (b-1)	2
Repeticiones	r-1	2
Error Experimental		12
Total		19

### **Análisis funcional**

Para las variables con resultados significativos en el análisis de varianza se aplicó la prueba de significancia de Tukey ( $p < 0,05$ ) para tomar una decisión. El análisis se realizó con el software estadístico STATISTICA 13.3. Los gráficos estadísticos se realizaron con los softwares estadísticos R 3.3.1 e IBM SPSS.

### **Variables evaluadas**

#### **Azúcares totales**

Para el cálculo de azúcares totales los valores de absorbancia se reemplazaron en la siguiente fórmula, correspondiente a la curva estándar de glucosa [mg/L] (INIAP, 2022):

$$y = 0,0238 x - 0,0612$$

Donde:

y = Absorbancia a 620 nm.

0,0238 = Pendiente de la recta de la curva estándar de glucosa.

0,0612 = Intercepto en el eje y de la curva estándar de glucosa.

## **Parámetros físico-químicos**

### **a. Sólidos Solubles**

Se colocó una gota de la muestra en el prisma del refractómetro y se procedió a leer la cantidad de sólidos solubles totales en °Brix (INIAP, 2022).

### **b. Grado alcohólico**

Se utilizó el método de alcoholímetro, para lo cual el alcoholímetro Gay Lussac 0 - 100% sin termómetro se sumergió en la muestra y se registró el % (v/v). (INIAP, 2022).

### **c. Acidez titulable**

Se modificó (INIAP, 2022) y utilizó el procedimiento descrito en la norma (INEN 341, 1985):

Se colocó 25 a 100 mL de la muestra en un matraz volumétrico y se sumergió el electrodo en la muestra. Se añadió lentamente 0,1N de NaOH, se registró el volumen de la misma y el pH obtenido después de cada adición, hasta alcanzar pH 8,3 aproximadamente. Por interpolación se estableció el volumen exacto de solución 0,1 N de NaOH añadido, correspondiente al pH 8,1. La acidez titulable se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{(V_1 N_1 M)}{V_2}$$

Donde:

A = g de ácido en 1000 mL de producto.

V1 = mL de NaOH utilizados para la titulación de la alícuota.

N1 = Normalidad de la solución de NaOH.

M = Peso molecular del ácido de referencia (60 g de ácido acético).

V2 = Volumen de la alícuota tomada para el análisis.

#### **d. pH**

Se utilizó el procedimiento descrito en la norma (INEN 389, 1985):

En un vaso de precipitación se colocó 10 mL de la muestra y 100 mL de agua destilada, se agitó la muestra y se procedió a ingresar el electrodo.

#### **e. Densidad**

En una balanza analítica se taró el peso de un vaso de precipitación y se agregó 10 mL de muestra, se registró el peso y los valores se reemplazaron en la siguiente ecuación para determinar la densidad (INIAP, 2022).

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Donde:

m= Masa (g)

v= Volumen (mL)

#### **f. Turbidez**

Se realizó mediante un fotómetro en unidades de FAU (INIAP, 2022).

#### **g. Viscosidad**

En el viscosímetro de Ostwald, previamente seco, se introdujo la muestra líquida por el tubo principal (mayor diámetro) mientras que con una pera de succión colocada en el tubo secundario (menor diámetro) se succionó el líquido y se registró el tiempo de flujo del líquido de un volumen dado (marcas a y b del viscosímetro) que pasó a través del tubo capilar por influencia de la gravedad (INIAP, 2022).

Los valores de tiempo (s) se reemplazaron en la siguiente fórmula:

$$\eta = \left( \frac{\textit{T tiempo de flujo de la muestra}}{\textit{T tiempo de flujo del agua}} \right) * \rho * \eta_{H_2O(25^\circ C)}$$

Donde:

$\eta$  = Viscosidad (Cp)

$\rho$  = Densidad (g/mL)

$\eta_{H_2O}$  = Viscosidad del agua a 25°C (Cp)

## Capítulo IV

### Resultados

#### Almidón total

El almidón total representa a la máxima cantidad de almidón que se puede extraer de un material vegetal (Rosales, 2022). Con respecto a los resultados, se obtuvieron valores de 70,56 % y 81,33 %, para *Guayaco Morado* y *Toquecita*, respectivamente.

En la investigación de Rosales (2022), reportó altos valores de almidón total de 77 % y 78 %, para las dos variedades de camote. Según Paredes & Manzanillas (2018), esto se debe al proceso de extracción de almidón aplicado, el cual fue por vía húmeda, que contribuye a obtener un almidón de óptima calidad para la aplicación en la industria alimentaria.

#### Análisis de varianza

##### *Análisis de varianza para la variable sólidos solubles*

**Tabla 20**

*Análisis de varianza para la variable sólidos solubles.*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A: Enzima	56,87	3	18,96	32,02	0,0001
B: Almidón	1669,70	1	1669,70	2820,17	0,0001
C: Camote	5,14	1	5,14	8,67	0,0062
D: Repetición	2,11	2	1,06	1,78	0,1854
A*B	10,17	3	3,39	5,73	0,0032
A*C	2,60	3	0,87	1,46	0,2449
B*C	2,57	1	2,57	4,34	0,0460

A*B*C	2,03	3	0,68	1,14	0,3476
Residuos	17,76	30	0,59		
Total	1768,94	47			

La tabla 20 del análisis de varianza de sólidos solubles del hidrolizado de almidón de camote, presentó diferencias significativas en el factor A (Concentración de enzima), factor B (Concentración de almidón), factor C (Variedad de camote), interacción A\*B (Concentración de enzima\* Concentración de almidón) e interacción B\*C (Concentración de almidón \* Variedad de camote). Mientras que la interacción A\*C (Concentración de enzima \* Variedad de camote), A\*B\*C (Concentración de enzima \* Concentración de almidón \* Variedad de camote) y Repetición no presentaron diferencias significativas.

### ***Análisis de varianza para la variable azúcares totales***

**Tabla 21**

*Análisis de varianza para la variable azúcares totales.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Enzima	161,17	3	53,72	42,76	<b>0,0001</b>
B: Almidón	400,09	1	400,09	318,49	<b>0,0001</b>
C: Camote	13,28	1	13,28	10,57	<b>0,0028</b>
D: Repetición	2,56	2	1,28	1,02	0,3738
A*B	74,88	3	24,96	19,87	<b>0,0001</b>
A*C	9,20	3	3,07	2,44	0,0835
B*C	3,96	1	3,96	3,15	0,0861
A*B*C	21,25	3	7,08	5,64	<b>0,0035</b>
Residuos	37,69	30	1,26		
Total	724,07	47			



La tabla 21 del análisis de varianza de azúcares totales del hidrolizado de almidón de camote, presentó diferencias significativas en el factor A (Concentración de enzima), factor B (Concentración de almidón), factor C (Variedad de camote), interacción A\*B (Concentración de enzima \* Concentración de almidón) e interacción A\*B\*C (Concentración de enzima \* Concentración de almidón \* Variedad de camote). Mientras que la interacción A\*C (Concentración de enzima \* Variedad de camote), B\*C (Concentración de almidón \* Variedad de camote) y Repetición no presentaron diferencias significativas.

### **Prueba de significancia de Tukey para los factores de estudio**

#### ***Resultados del estudio para las concentraciones de enzimas (Factor A)***

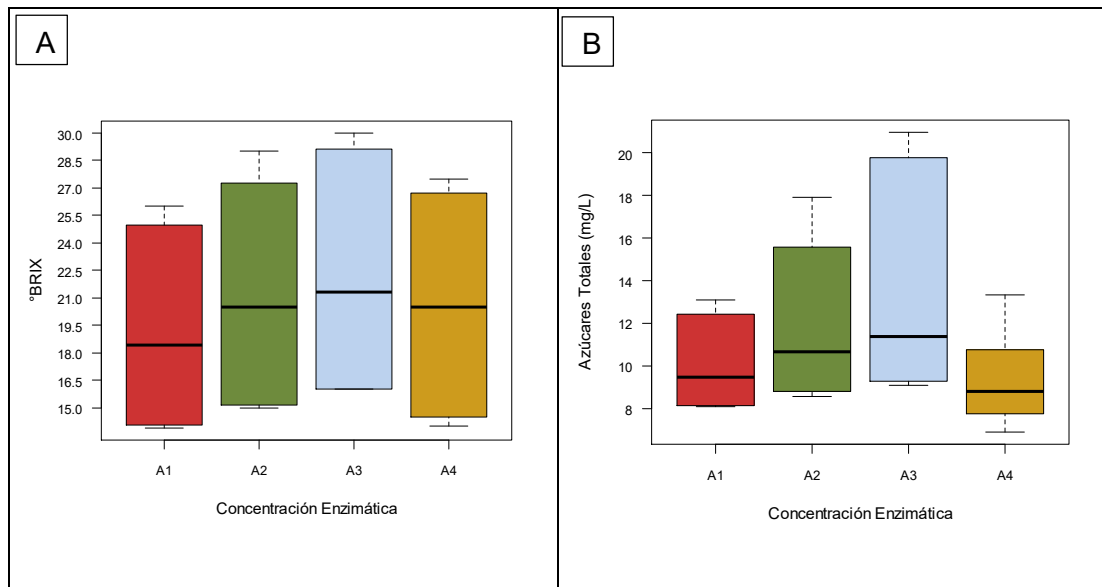
**Tabla 22**

*Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor A en las variables sólidos solubles y azúcares totales.*

<b>Nº</b>	<b>Factor A (Enzimas) %(p/v)</b>	<b>Sólidos solubles (°Brix)</b>	<b>Azúcares totales (mg/L)</b>
A1	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	19,40 <sup>C</sup>	10,17 <sup>C</sup>
A2	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	21,15 <sup>B</sup>	12,04 <sup>B</sup>
A3	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	22,42 <sup>A</sup>	14,05 <sup>A</sup>
A4	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	20,54 <sup>B</sup>	9,28 <sup>C</sup>

**Figura 6**

*Evaluación del efecto de las concentraciones de enzimas (Factor A) en las variables de estudio.*



*Nota:* (A) Sólidos solubles y (B) Azúcares totales.

La tabla 22, presenta los resultados de la prueba tukey ( $p < 0,05$ ) con los grupos independientes del factor concentraciones de enzimas (A). El tratamiento con Alfa - amilasa 0,144 % (p/v) y AMG 0,182 % (p/v) [A1] presentó los valores más bajos de sólidos solubles 19,89°Brix, al igual que el tratamiento Alfa - amilasa 0,217 % (p/v) y AMG 0,388 % (p/v) [A4] correspondiente a azúcares totales 9,28 mg/L. Mientras que el tratamiento con Alfa - Amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) [A3] presentó los mayores valores de sólidos solubles 22,75°Brix y azúcares totales 14,05 mg/L por efecto de la concentración de enzimas.

### Resultados del estudio para las concentraciones de almidón (Factor B)

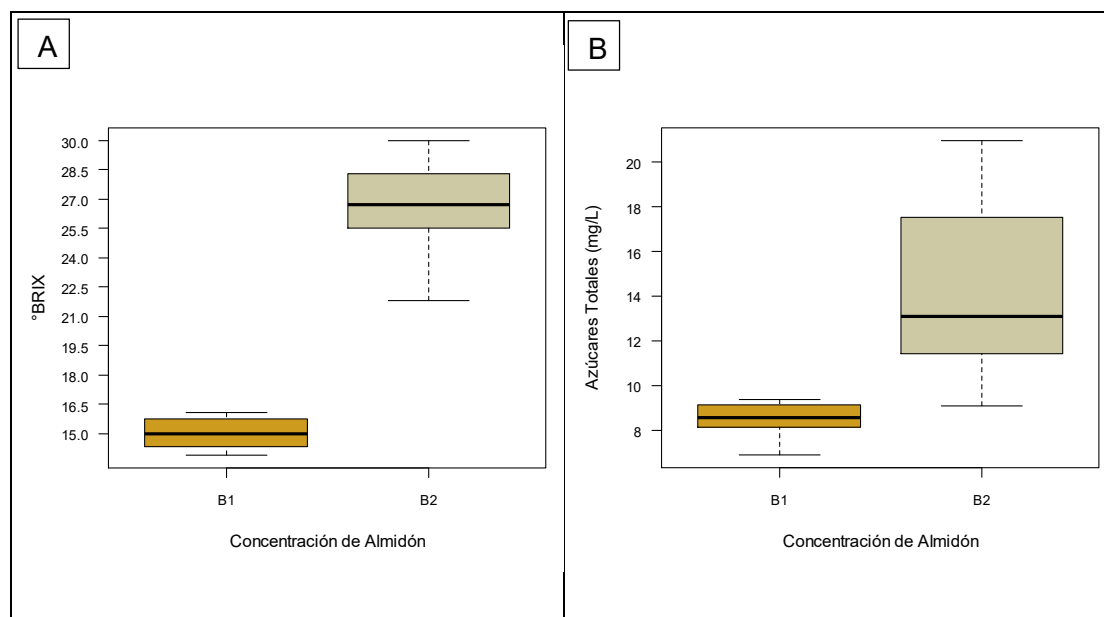
**Tabla 23**

Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor B en las variables sólidos solubles y azúcares totales.

Nº	Factor B (Almidón)	Sólidos solubles (°Brix)	Azúcares totales (mg/L)
B1	25 %	14,98 <sup>B</sup>	8,50 <sup>B</sup>
B2	35 %	26,78 <sup>A</sup>	14,27 <sup>A</sup>

**Figura 7**

Evaluación del efecto de las concentraciones de almidón (Factor B) en las variables de estudio.



*Nota:* (A) Sólidos solubles y (B) Azúcares totales.

La tabla 23, presenta los resultados de la prueba tukey ( $p < 0,05$ ) con los grupos independientes del factor concentraciones de almidón (B). El tratamiento con 25 % de concentración de almidón (B1) presentó los valores más bajos de sólidos solubles 14,98°Brix y azúcares totales 8,50 mg/L. Mientras que el tratamiento al 35

% de concentración de almidón (B2) presentó los mayores valores sólidos solubles 26,78°Brix y azúcares totales 14,27 mg/L por efecto de la concentración de almidón.

### Resultados del estudio para las variedades de camote (Factor C)

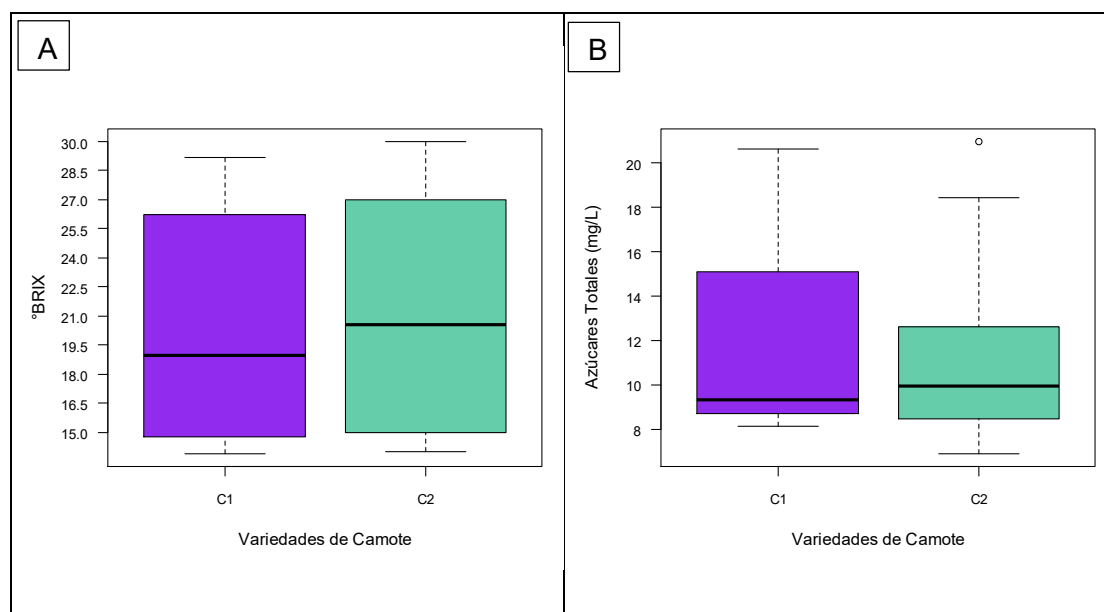
**Tabla 24**

Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para el factor C en las variables sólidos solubles y azúcares totales.

N°	Factor C (Camote)	Sólidos solubles (°Brix)	Azúcares totales (mg/L)
C1	Guayaco Morado	20,55 <sup>B</sup>	10,86 <sup>B</sup>
C2	Toquecita	21,20 <sup>A</sup>	11,91 <sup>A</sup>

**Figura 8**

Evaluación del efecto de las variedades de camote Guayaco Morado y Toquecita (Factor C) en las variables de estudio.



Nota: (A) Sólidos solubles y (B) Azúcares totales.

La tabla 24, presenta los resultados de tukey ( $p < 0,05$ ) con los grupos independientes del factor variedades de camote (B). El tratamiento con la variedad Guayaco Morado (C1) presentó los menores valores de sólidos solubles 20,55°Brix y

los mayores valores para azúcares totales 11,91 mg/L. En cambio, cuando la hidrólisis se realizó con el almidón de la variedad *Toquecita* (C2) presentó los mayores valores de sólidos solubles 21,85°Brix y los menores valores para azúcares totales 10,86 mg/L.

### Prueba de Tukey para las interacciones significativas en la hidrólisis enzimática

#### *Análisis de Tukey en la interacción A\*B (Enzima\*Almidón)*

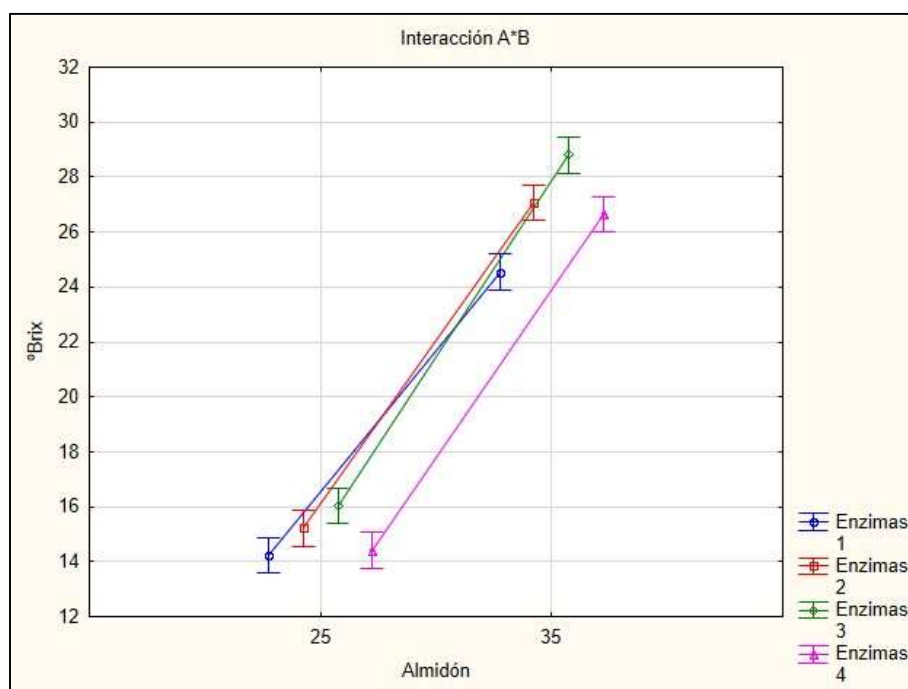
**Tabla 25**

*Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción A\*B en las variables sólidos solubles y azúcares totales.*

N°	Factor A (Enzimas) %(p/v)	Factor B (Almidón)	Sólidos solubles (°Brix)	Azúcares totales (mg/L)
A1B1	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	25 %	14,25 <sup>E</sup>	8,18 <sup>E</sup>
A1B2	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	35 %	24,55 <sup>C</sup>	12,16 <sup>C</sup>
A2B1	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	25 %	15,22 <sup>DE</sup>	8,85 <sup>DE</sup>
A2B2	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	35 %	27,08 <sup>B</sup>	15,23 <sup>B</sup>
A3B1	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	25 %	16,03 <sup>D</sup>	9,26 <sup>DE</sup>
A3B2	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	35 %	28,80 <sup>A</sup>	18,84 <sup>A</sup>
A4B1	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	25 %	14,42 <sup>E</sup>	7,71 <sup>E</sup>
A4B2	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	35 %	26,67 <sup>B</sup>	10,86 <sup>CD</sup>

**Figura 9**

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable sólidos solubles.*

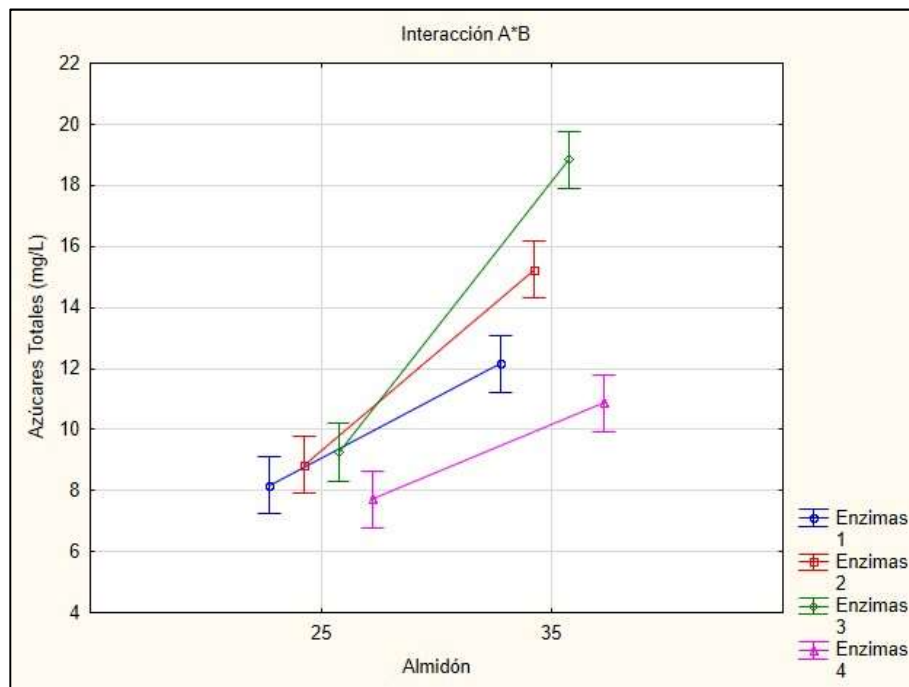


*Nota:* Concentración de Enzimas: 1 (Amilasa 0,114 % y AMG 0,182 %); 2 (Amilasa 0,148 % y AMG 0,331 %); 3 (Amilasa 0,182 % y AMG 0,354 %); 4 (Amilasa 0,217 % y AMG 0,388 %).

En la figura 9, se observa que existe diferencia significativa en los sólidos solubles por efecto de las concentraciones de enzimas y las concentraciones de almidón (Interacción A\*B). La concentración de Enzimas 1 con 25 % de almidón (A1B1) presentó el menor valor de sólidos solubles 14,25°Brix. Mientras que la concentración de Enzimas 3 (Amilasa 0,182 % / AMG 0,354 %) con 35 % de almidón (A3B2) obtuvo el mayor valor de sólidos solubles 28,80°Brix.

**Figura 10**

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable azúcares totales.*



*Nota:* Concentración de Enzimas: 1 (Amilasa 0,114 % y AMG 0,182 %); 2 (Amilasa 0,148 % y AMG 0,331 %); 3 (Amilasa 0,182 % y AMG 0,354 %); 4 (Amilasa 0,217 % y AMG 0,388 %).

En la figura 10, se observa que existe diferencia significativa en los azúcares totales por efecto de las concentraciones de las concentraciones de enzimas y las concentraciones de almidón (Interacción A\*B). La concentración de Enzimas 4 con 25 % de almidón (A4B1) presentó el menor valor de azúcares totales 7,71 mg/L. Mientras que la concentración de Enzimas 3 (Amilasa 0,182 % / AMG 0,354 %) con 35 % de almidón (A3B2) obtuvo el mayor valor de sólidos solubles 18,84 mg/L.

### Análisis de Tukey en la interacción B\*C (Almidón\*Camote)

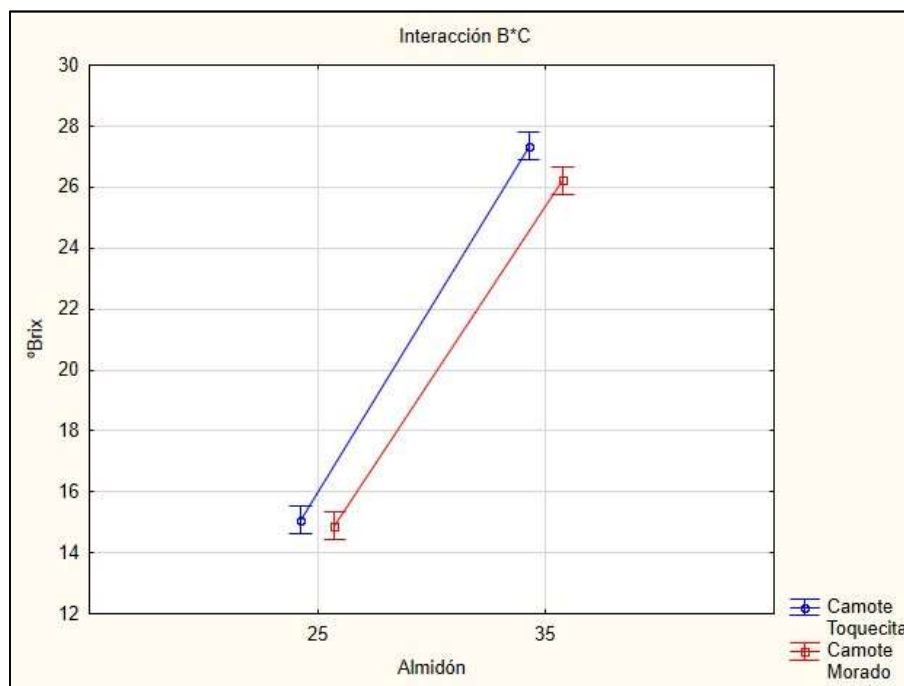
**Tabla 26**

Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción B\*C en la variable sólidos solubles.

N°	Factor B (Almidón)	Factor C (Camote)	Sólidos solubles (°Brix)
B1C1	25 %	Guayaco Morado	14,88 <sup>C</sup>
B1C2	25 %	Toquecita	15,08 <sup>C</sup>
B2C1	35 %	Guayaco Morado	26,22 <sup>B</sup>
B2C2	35 %	Toquecita	27,33 <sup>A</sup>

**Figura 11**

Evaluación del efecto de la interacción B\*C en la variable sólidos solubles.



En la figura 11, se observa que existe diferencia significativa en los sólidos solubles por efecto de las concentraciones de almidón y las variedades de camote (Interacción B\*C). La concentración de almidón al 25 % proveniente de la variedad *Guayaco Morado* (B1C1) presentó el menor valor de sólidos solubles 14,88°Brix.



Mientras que la concentración de almidón al 35 % proveniente de la variedad *Toquecita* (B2C2) presentó el mayor valor de sólidos solubles 27,33°Brix.

**Análisis de Tukey en la interacción A\*B\*C (Enzima\*Almidón\*Camote)**

**Tabla 27**

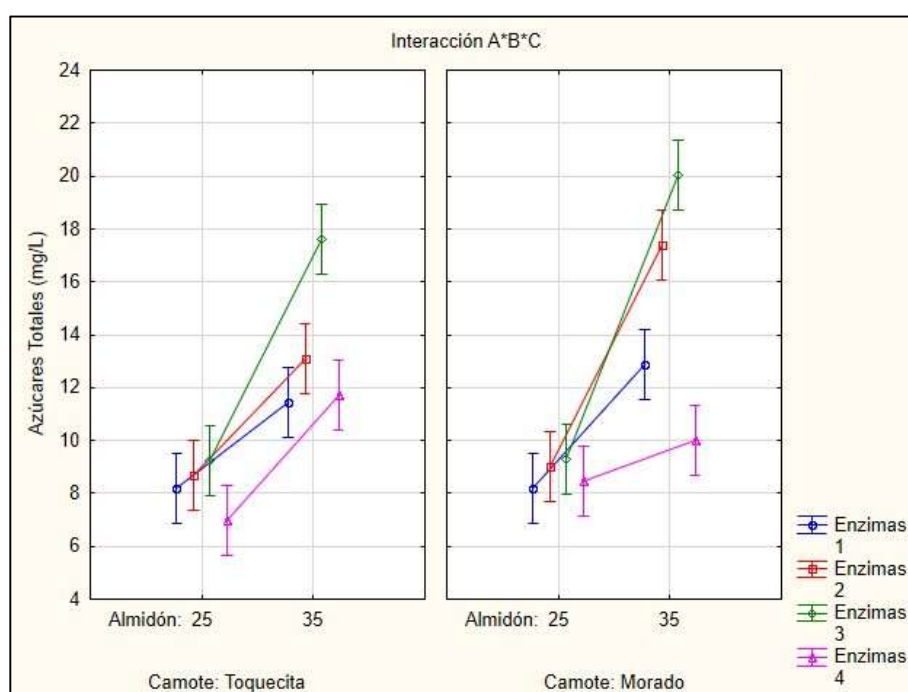
*Resultados del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0,05$ ) para la interacción A\*B\*C en la variable azúcares totales.*

N°	Factor A (Enzimas) % (p/v)	Factor B (Almidón)	Factor C (Variedades)	Azúcares totales (mg/L)
A1B1C1	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	25 %	<i>Guayaco Morado</i>	8,18 <sup>DE</sup>
A1B1C2	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	25 %	<i>Toquecita</i>	8,17 <sup>DE</sup>
A1B2C1	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	35 %	<i>Guayaco Morado</i>	12,89 <sup>B</sup>
A1B2C2	Amilasa 0,114 % AMG 0,182 %	35 %	<i>Toquecita</i>	11,42 <sup>BCD</sup>
A2B1C1	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	25 %	<i>Guayaco Morado</i>	9,05 <sup>CDE</sup>
A2B1C2	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	25 %	<i>Toquecita</i>	8,69 <sup>CDE</sup>
A2B2C1	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	35 %	<i>Guayaco Morado</i>	17,38 <sup>A</sup>
A2B2C2	Amilasa 0,148 % AMG 0,331 %	35 %	<i>Toquecita</i>	13,09 <sup>B</sup>
A3B1C1	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	25 %	<i>Guayaco Morado</i>	9,30 <sup>CDE</sup>
A3B1C2	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	25 %	<i>Toquecita</i>	9,22 <sup>CDE</sup>
A3B2C1	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	35 %	<i>Guayaco Morado</i>	20,06 <sup>A</sup>
A3B2C2	Amilasa 0,182 % AMG 0,354 %	35 %	<i>Toquecita</i>	17,61 <sup>A</sup>
A4B1C1	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	25 %	<i>Guayaco Morado</i>	8,45 <sup>CDE</sup>
A4B1C2	Amilasa 0,217 %	25 %	<i>Toquecita</i>	6,96 <sup>E</sup>

N°	Factor A (Enzimas) % (p/v)	Factor B (Almidón)	Factor C (Variedades)	Azúcares totales (mg/L)
	AMG 0,388 %			
A4B2C1	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	35 %	<i>Guayaco Morado</i>	10,01 <sup>BCDE</sup>
A4B2C2	Amilasa 0,217 % AMG 0,388 %	35 %	<i>Toquecita</i>	11,71 <sup>BC</sup>

**Figura 12**

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B\*C en la variable azúcares totales.*



*Nota:* Concentración de Enzimas: 1 (Amilasa 0,114 % y AMG 0,182 %); 2 (Amilasa 0,148 % y AMG 0,331 %); 3 (Amilasa 0,182 % y AMG 0,354 %); 4 (Amilasa 0,217 % y AMG 0,388 %).

En la figura 12, se observa que los tratamientos con Amilasa 0,182 % / AMG 0,354 % y almidón al 35 % procedente de *Guayaco Morado* o *Toquecita* presentan un mayor contenido de azúcares totales.

Con respecto a la concentración de Enzimas 4 (Amilasa 0,217 % / AMG 0,388 %) y 25 % de almidón se obtuvo los valores más bajos de azúcares totales

con una media de 8,18 mg/L para la variedad *Guayaco Morado* y una media de 6,96 mg/L para la variedad *Toquecita*.

En cuanto a la concentración de Enzimas 3 (Amilasa 0,182 % / AMG 0,354 %) y 35 % de almidón se presentó los valores más altos de azúcares totales con una media de 17,61 mg/L para la variedad *Guayaco Morado* y una media de 20,06 mg/L para la variedad *Toquecita*.

Por lo tanto, a partir de estos resultados se pudo determinar que con la concentración de Enzimas 3 (Amilasa 0,182 % / AMG 0,354 %) y 35 % de almidón se obtienen las mayores medias de azúcares totales para las dos variedades de camote. Para *Guayaco Morado*, se obtuvo 20,06 mg/L y para *Toquecita* 17,61 mg/L, siendo estas condiciones seleccionadas para proceder con el proceso de fermentación.

## **Análisis de varianza**

### ***Análisis de varianza para la variable sólidos solubles de la fermentación***

**Tabla 28**

*Análisis de varianza para la variable sólidos solubles en el día 12 de la fermentación.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Levadura	6,01	2	3,01	125,88	<b>0,0001</b>
B: Camote	0,68	1	0,68	28,49	<b>0,0003</b>
D: Repetición	0,03	2	0,02	0,72	0,5099
A*B	3,41	2	1,71	71,47	<b>0,0001</b>
Residuos	0,24	10	0,02		
Total	10,38	17			

La tabla 28 del análisis de varianza de sólidos solubles en el día 12 de la fermentación de jarabe proveniente de la hidrólisis del almidón de camote, presentó diferencias significativas en todos los factores e interacciones, excepto en Repetición.

***Análisis de varianza para la variable grado alcohólico de la fermentación***

**Tabla 29**

*Análisis de varianza para la variable grado alcohólico en el día 12 de la fermentación.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Levadura	1,86	2	0,93	2,96	0,0975
B: Camote	2,00	1	2,00	6,37	<b>0,0302</b>
C: Repetición	0,19	2	0,10	0,31	0,7404
A*B	1,08	2	0,54	1,73	0,2271
Residuos	3,14	10	0,31		
Total	8,28	17			

La tabla 29 del análisis de varianza de grado alcohólico en el día 12 de la fermentación de jarabe proveniente de la hidrólisis del almidón de camote, presentó diferencia significativa en el factor B (Variedad de camote). Mientras que el factor A (Concentración de levadura), interacción A\*B (Concentración de levadura \* Variedad de camote) y Repetición no presentaron diferencias significativas.

**Análisis de varianza para la variable acidez titulable de la fermentación**

**Tabla 30**

*Análisis de varianza para la variable acidez titulable en el día 12 de la fermentación.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Levadura	0,00352	2	0,00176	413,66841	<b>0,0001</b>
B: Camote	0,01307	1	0,01307	3070,82245	<b>0,0001</b>
C: Repetición	0,00001	2	0,00001	1,73629	0,2253
A*B	0,00123	2	0,00062	145,07833	<b>0,0001</b>
Residuos	0,00004	10	0,000043		
Total	0,01788	17			

La tabla 30 del análisis de varianza de acidez titulable en el día 12 de la fermentación de jarabe proveniente de la hidrólisis del almidón de camote, presentó diferencias significativas en todos los factores e interacciones, excepto en las Repetición.

**Análisis de varianza para la variable pH de la fermentación**

**Tabla 31**

*Análisis de varianza para la variable pH en el día 12 de la fermentación.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Levadura	0,00018	2	0,00009	0,09535	0,9099
B: Camote	2,40536	1	2,40536	2580,23838	<b>0,0001</b>
C: Repetición	0,00321	2	0,00161	1,72229	0,2276
A*B	0,16564	2	0,08282	88,84386	<b>0,0001</b>
Residuos	0,00932	10	0,00093		
Total	2,58371	17			

La tabla 31 del análisis de varianza de pH en el día 12 de la fermentación de jarabe proveniente de la hidrólisis del almidón de camote, presentó diferencias significativas en el factor B (Variedad de camote) e interacción A\*B (Concentración de levadura \* Variedad de camote). Mientras que el factor A (Concentración de levadura) y Repetición no presentaron diferencias significativas.

***Análisis de varianza para la variable densidad de la fermentación***

**Tabla 32**

*Análisis de varianza para la variable densidad en el día 12 de la fermentación.*

<b>Fuente de variación</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A: Levadura	0,00015	2	0,00007	11,47160	<b>0,0026</b>
B: Camote	0,00008	1	0,00008	12,42685	<b>0,0055</b>
C: Repetición	0,0000007	2	0,0000039	0,06024	0,9419
A*B	0,00011	2	0,00006	8,68330	<b>0,0065</b>
Residuos	0,00006	10	0,00001		
Total	0,00041	17			

La tabla 32 del análisis de varianza de densidad en el día 12 de la fermentación de jarabe proveniente de la hidrólisis del almidón de camote, presentó diferencias significativas en todos los factores e interacciones, excepto en Repetición.

### Prueba de significancia de Tukey para los factores de estudio

#### Resultados del estudio para las concentraciones de levadura (Factor A) en la fermentación

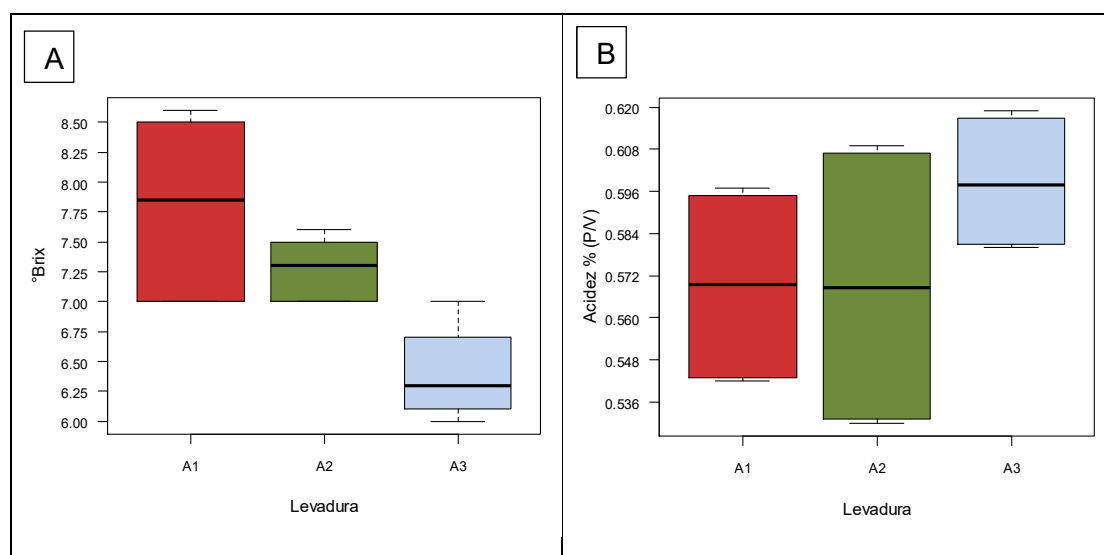
**Tabla 33**

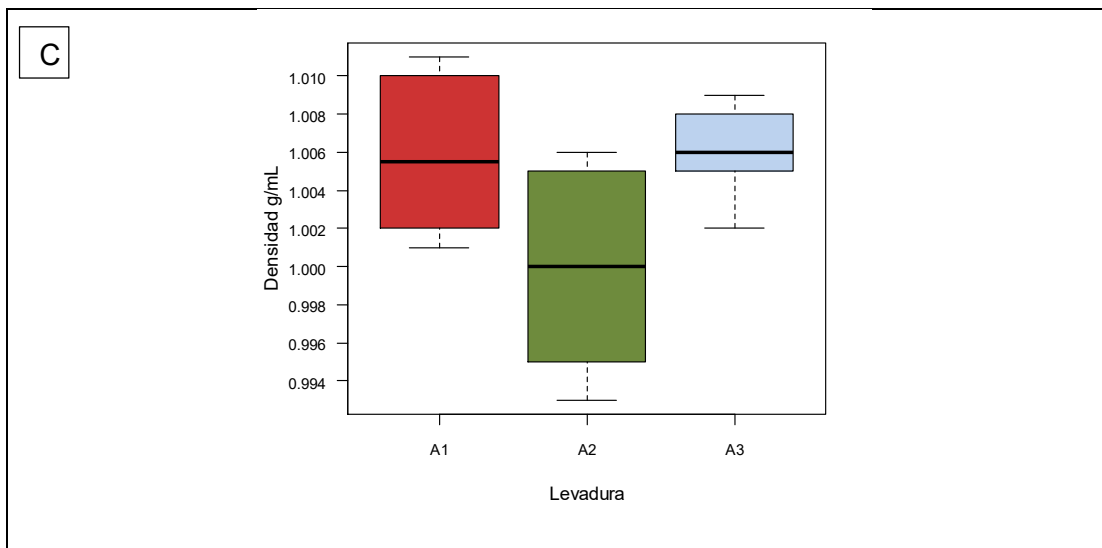
Resultado del análisis de Tukey ( $p < 0.05$ ) para el factor A en las variables físico-químicas en el día 12 de la fermentación.

N°	Tratamiento	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable % (p/v)	Densidad (g/mL)
A1	C. levadura 0,66 g/L	7,80 <sup>A</sup>	0,57 <sup>B</sup>	1,0058 <sup>A</sup>
A2	C. levadura 0,88 g/L	7,28 <sup>B</sup>	0,57 <sup>B</sup>	0,9998 <sup>B</sup>
A3	C. levadura 1 g/L	6,40 <sup>C</sup>	0,60 <sup>A</sup>	1,0060 <sup>A</sup>

**Figura 13**

Evaluación del efecto de las concentraciones de levadura (Factor A) en las variables de estudio.





*Nota:* (A) Sólidos solubles, (B) Acidez titulable y (C) Densidad.

La tabla 33, presenta los resultados de la prueba tukey ( $p < 0,05$ ) con los grupos independientes del factor concentraciones de levadura (A). Los tratamientos con 1 g/L de levadura (A3) presentaron los menores valores de sólidos solubles  $6,40^{\circ}\text{Brix}$  y los mayores de acidez titulable  $0,60\%$ . Mientras que los menores valores densidad  $0,99\text{ g/mL}$  se obtuvo con el tratamiento con  $0,88\text{ g/L}$  de levadura (A2) en el día 12 de la fermentación.

Los sólidos solubles, disminuyeron más rápido a medida que la levadura aumenta de concentración. Con 1 g/L de levadura los sólidos solubles disminuyeron a  $6,40^{\circ}\text{Brix}$ , mientras que con  $0,88\text{ g/L}$  de levadura se presentó valores de  $7,20^{\circ}\text{Brix}$  y con  $0,66\text{ g/L}$  de levadura  $7,80^{\circ}\text{Brix}$ .

La acidez titulable, con la concentración de  $0,66\text{ g/L}$  y  $0,88\text{ g/L}$  de levadura aumenta de  $0,57\%$  a  $0,60\%$  con 1 g/L de levadura.

Con respecto a la densidad, con  $0,88\text{ g/L}$  de levadura se obtuvo la menor media  $0,9998\text{ g/mL}$ , mientras que con  $1\text{ g/L}$  y  $0,66\text{ g/L}$  de levadura se obtuvo valores de  $1,0058\text{ g/mL}$  y  $1,0060\text{ g/mL}$ , respectivamente.



**Resultados del estudio para las variedades de camote (Factor B) en la fermentación.**

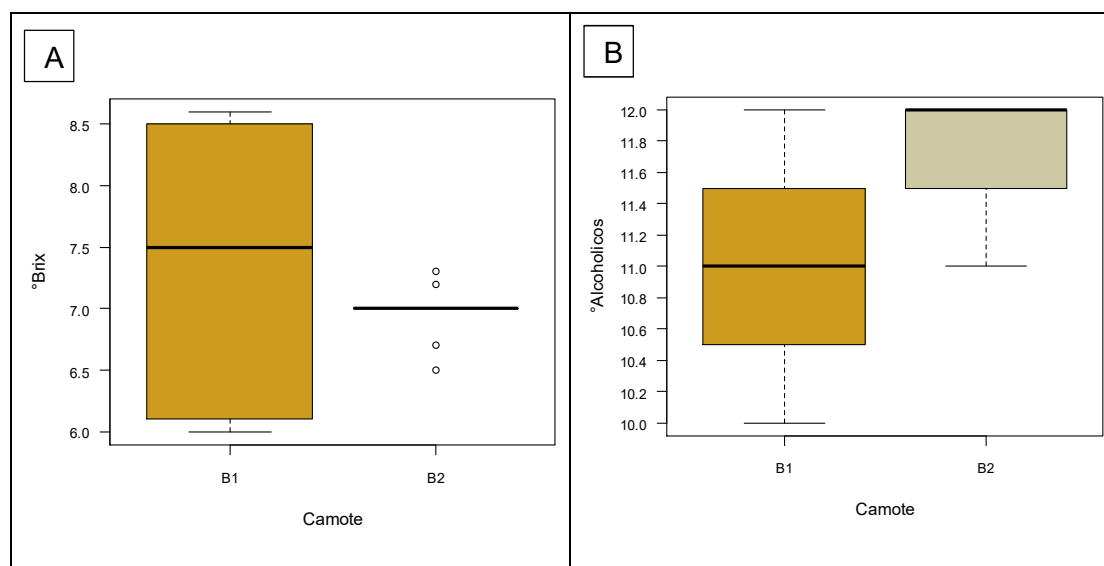
**Tabla 34**

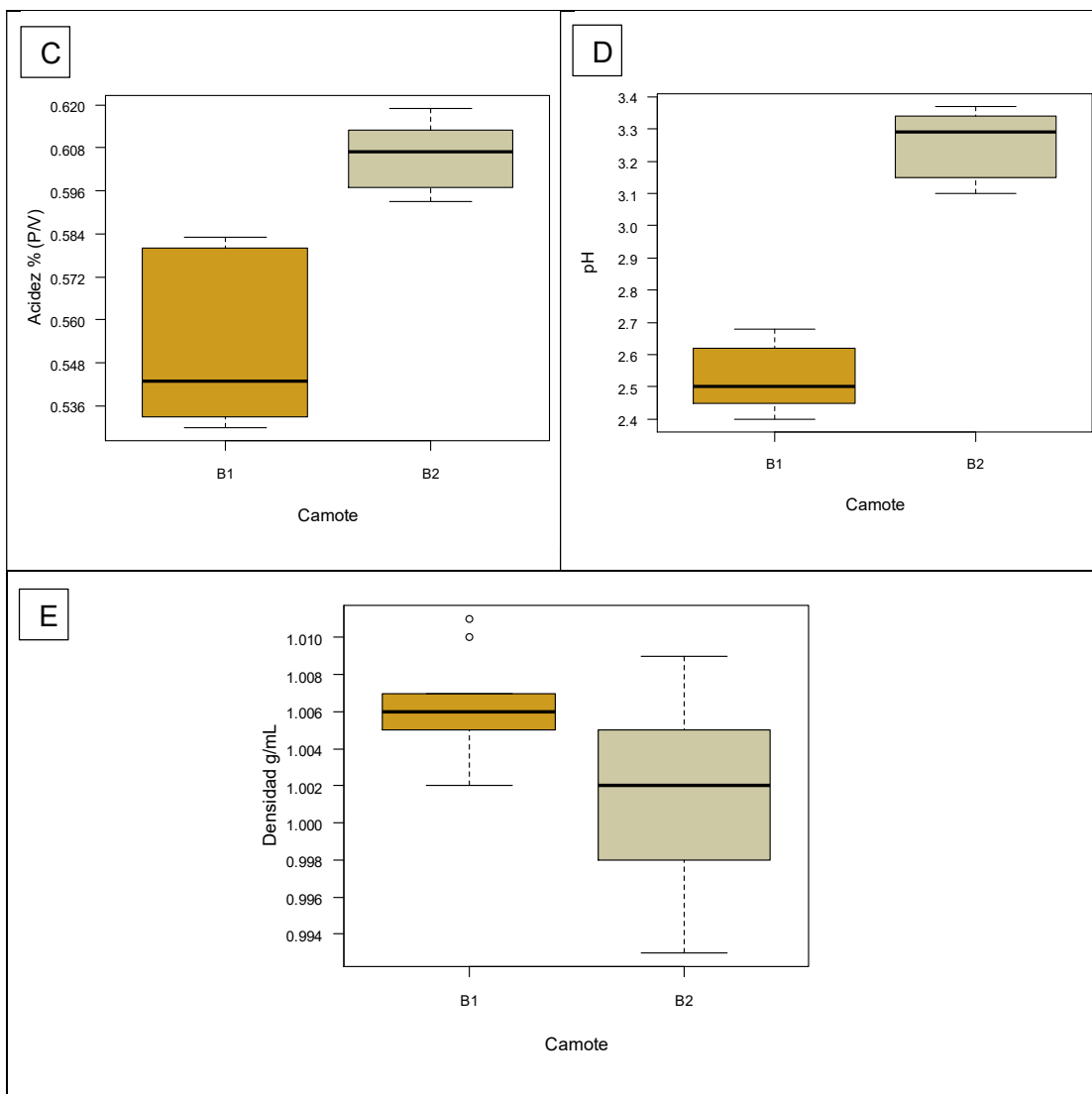
Resultado del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ) para el factor B en las variables físico-químicas en el día 12 de la fermentación.

N°	Tratamiento	Sólidos solubles (°Brix)	Grado alcohólico % (v/v)	Acidez titulable % (p/v)	pH	Densidad (g/mL)
B1	Guayaco Morado	7,36 <sup>A</sup>	11,06 <sup>B</sup>	0,55 <sup>B</sup>	2,53 <sup>B</sup>	1,0060 <sup>A</sup>
B2	Toquecita	6,97 <sup>B</sup>	11,72 <sup>A</sup>	0,61 <sup>A</sup>	3,26 <sup>A</sup>	1,0018 <sup>B</sup>

**Figura 14**

Evaluación del efecto de las variedades de camote (Factor B) en las variables de estudio.





*Nota:* (A) Sólidos solubles, (B) Grado alcohólico, (C) Acidez titulable, (D) pH y (E) Densidad.

La tabla 34, presenta los resultados de la prueba tukey ( $p < 0,05$ ) con los grupos independientes del factor variedades de camote (B). La variedad *Guayaco Morado* (B1) presentó los menores valores de pH 2,53. Mientras que los menores valores de sólidos solubles 6,97°Brix y densidad 1,0017 g/mL y los mayores valores de grado alcohólico 11,72 % y acidez titulable 0,61 % se obtuvieron con la variedad *Toquecita* (B2) el día 12 de la fermentación.

Los sólidos solubles disminuyeron con el tiempo de fermentación en las dos variedades de camote y se obtuvo el menor valor con 7,36°Brix para la variedad *Guayaco Morado* y 6,97°Brix para la variedad *Toquecita*.

Por el contrario, los valores de grado alcohólico aumentaron con el tiempo de fermentación en las dos variedades de camote y la variedad *Guayaco Morado* presentó 11,06 % y *Toquecita* un valor más alto de 11,72 %.

Con respecto a la variable acidez titulable, con la variedad *Guayaco Morado* aumenta 0,55 % y con *Toquecita* 0,61 %.

En el pH, la variedad *Guayaco Morado* disminuyó 2,53 al igual que *Toquecita* con 3,26. *Toquecita* presentó un valor más alto de pH.

La densidad para las dos variedades de camote disminuyó con el tiempo de fermentación, presentó valores de 1,0060 g/mL con *Guayaco Morado* y los menores valores de 1,0018 g/mL con *Toquecita*.

### Prueba de Tukey para las interacciones significativas en la fermentación

#### *Análisis de Tukey en la interacción A\*B (Levadura\*Camote)*

**Tabla 35**

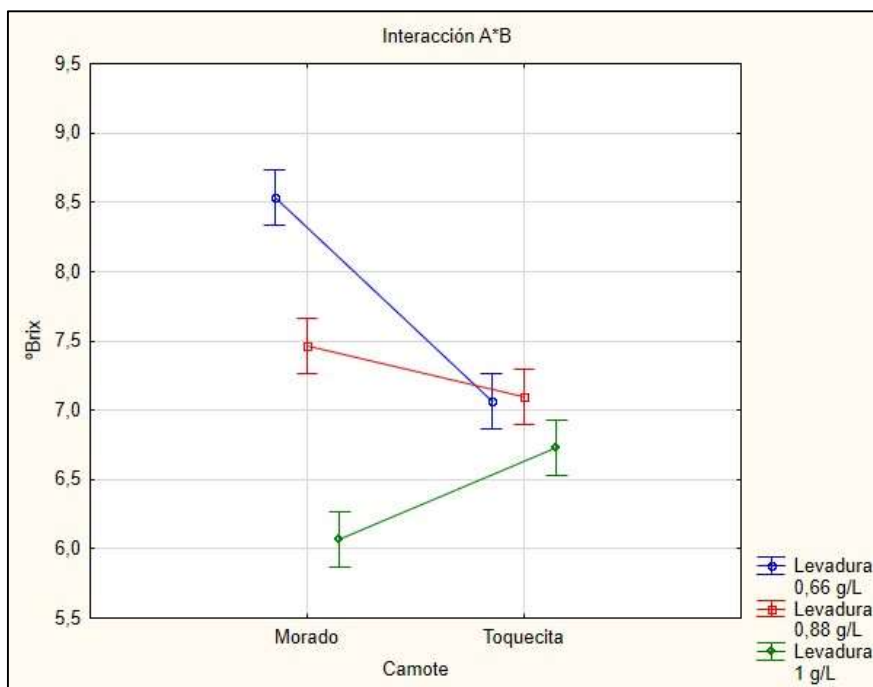
*Resultado del análisis de la prueba Tukey ( $p < 0.05$ ) para la interacción A\*B en las variables físico-químicas en el día 12 de la fermentación.*

N°	Tratamiento	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable % (p/v)	pH	Densidad (g/mL)
A1B1	C. levadura 0,66 g/L + <i>Guayaco Morado</i>	8,53 <sup>A</sup>	0,54 <sup>E</sup>	2,50 <sup>D</sup>	1,0090 <sup>A</sup>
A1B2	C. levadura 0,66 g/L + <i>Toquecita</i>	7,07 <sup>BC</sup>	0,60 <sup>C</sup>	3,29 <sup>A</sup>	1,0027 <sup>A</sup>
A2B1	C. levadura 0,88 g/L + <i>Guayaco Morado</i>	7,47 <sup>B</sup>	0,53 <sup>F</sup>	2,42 <sup>D</sup>	1,0043 <sup>A</sup>

N°	Tratamiento	Sólidos solubles (°Brix)	Acidez titulable % (p/v)	pH	Densidad (g/mL)
A2B2	C. levadura 0,88 g/L + <i>Toquecita</i>	7,10 <sup>BC</sup>	0,61 <sup>B</sup>	3,36 <sup>A</sup>	0,9953 <sup>B</sup>
A3B1	C. levadura 1 g/L + <i>Guayaco Morado</i>	6,07 <sup>D</sup>	0,58 <sup>D</sup>	2,65 <sup>C</sup>	1,0047 <sup>A</sup>
A3B2	C. levadura 1 g/L + <i>Toquecita</i>	6,73 <sup>C</sup>	0,62 <sup>A</sup>	3,13 <sup>B</sup>	1,0073 <sup>A</sup>

**Figura 15**

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable sólidos solubles.*



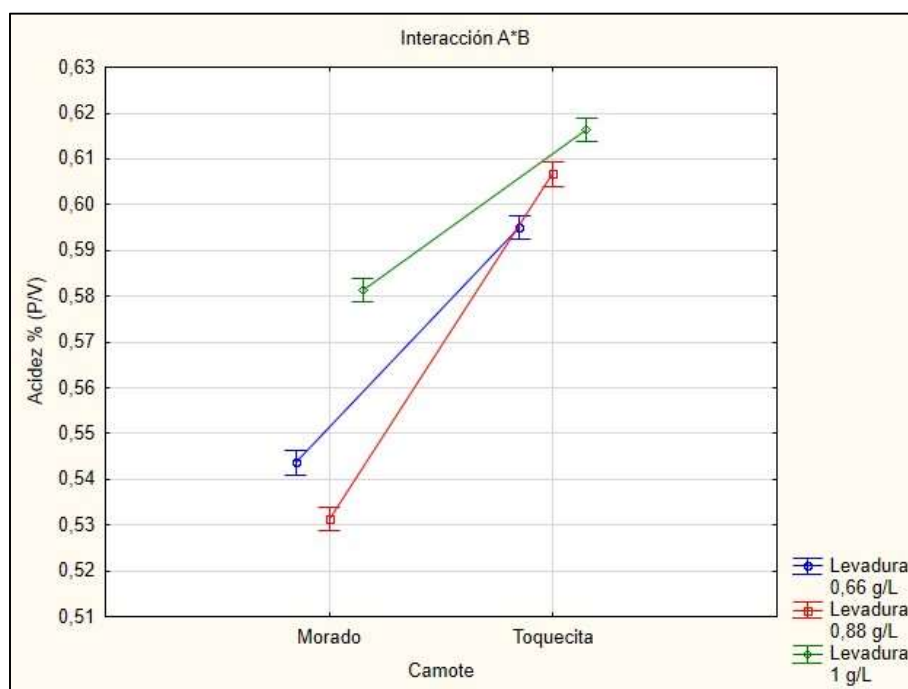
En la figura 15, se observa que existe diferencia significativa con respecto a la interacción concentraciones de levadura (A) y variedad de camote (B) en el día 12 de la fermentación, donde el contenido de sólidos solubles del camote con las tres concentraciones de levadura disminuye a medida que transcurren los días de la fermentación.

La concentración 1 g/L de levadura con la variedad *Guayaco Morado* (A3B1) obtuvo el menor valor de sólidos solubles 6,07°Brix; seguido de la variedad

*Toquecita* (A3B2) con 6,73°Brix. Mientras que las concentraciones 0,66 g/L y 0,88 g/L de levadura para *Guayaco Morado* presentaron valores mayores de 8,53°Brix y 7,47°Brix, respectivamente; de igual forma, para *Toquecita* presentaron valores de 7,07°Brix y 7,10°Brix, respectivamente.

### Figura 16

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable acidez titulable.*

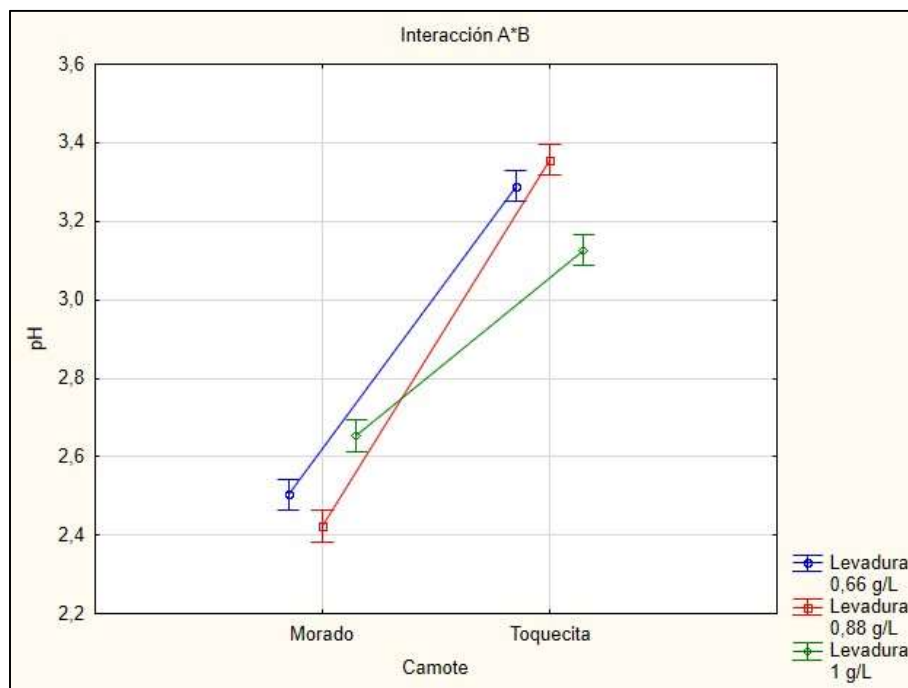


En la figura 16, se observa que existe diferencia significativa con respecto a la interacción concentraciones de levadura (A) y variedad de camote (B) para la variable acidez titulable, que aumentó hasta el día 12 de la fermentación.

La concentración 1 g/L de levadura con la variedad *Toquecita* (A3B2) obtuvo el mayor valor de acidez 0,62%, en comparación con la variedad *Guayaco Morado* (A3B1) de 0,58%. Mientras que las concentraciones 0,66 g/L y 0,88 g/L de levadura para *Guayaco Morado* presentaron valores menores de 0,54% y 0,53%, respectivamente; de igual forma, para *Toquecita* presentaron valores de 0,60% y 0,61%, respectivamente.

**Figura 17**

Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable pH.

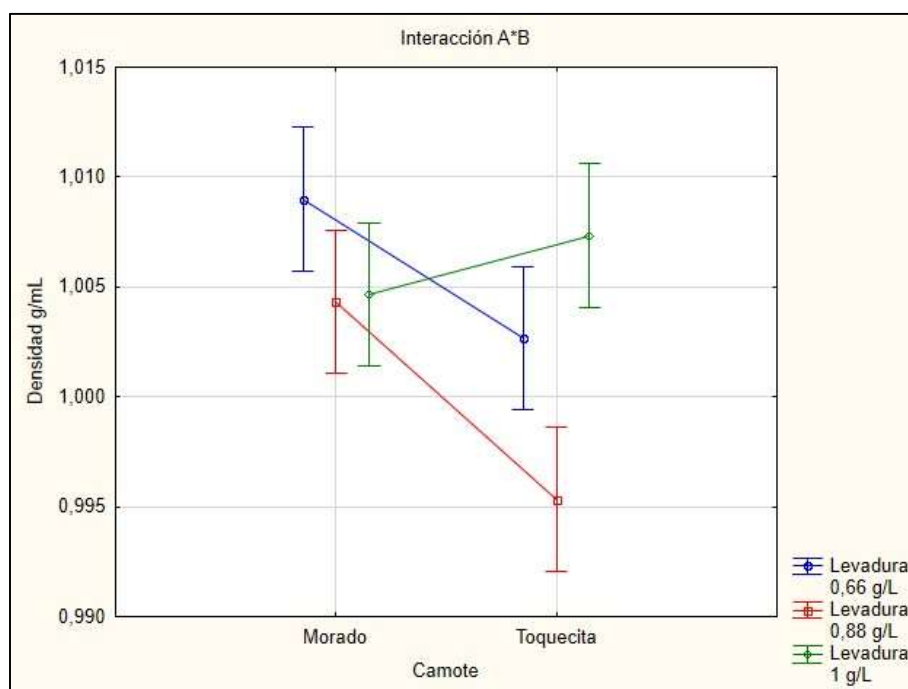


En la figura 17, se observa que existe diferencia significativa con respecto a la interacción concentraciones de levadura (A) y variedad de camote (B) para la variable pH, que disminuyó hasta el día 12 de la fermentación.

La concentración 0,88 g/L de levadura con la variedad *Guayaco Morado* (A2B1) obtuvo el menor contenido de pH 2,42; de igual forma la concentración 1 g/L de levadura con la variedad *Toquecita* (A3B2) que obtuvo 3,13. En cambio, las concentraciones 0,66 g/L y 1 g/L de levadura para *Guayaco Morado* presentaron valores mayores de 2,50 y 2,65, respectivamente; de igual forma, para *Toquecita* presentaron valores de 3,29 y 3,13, respectivamente.

**Figura 18**

*Evaluación del efecto de la interacción A\*B en la variable densidad.*



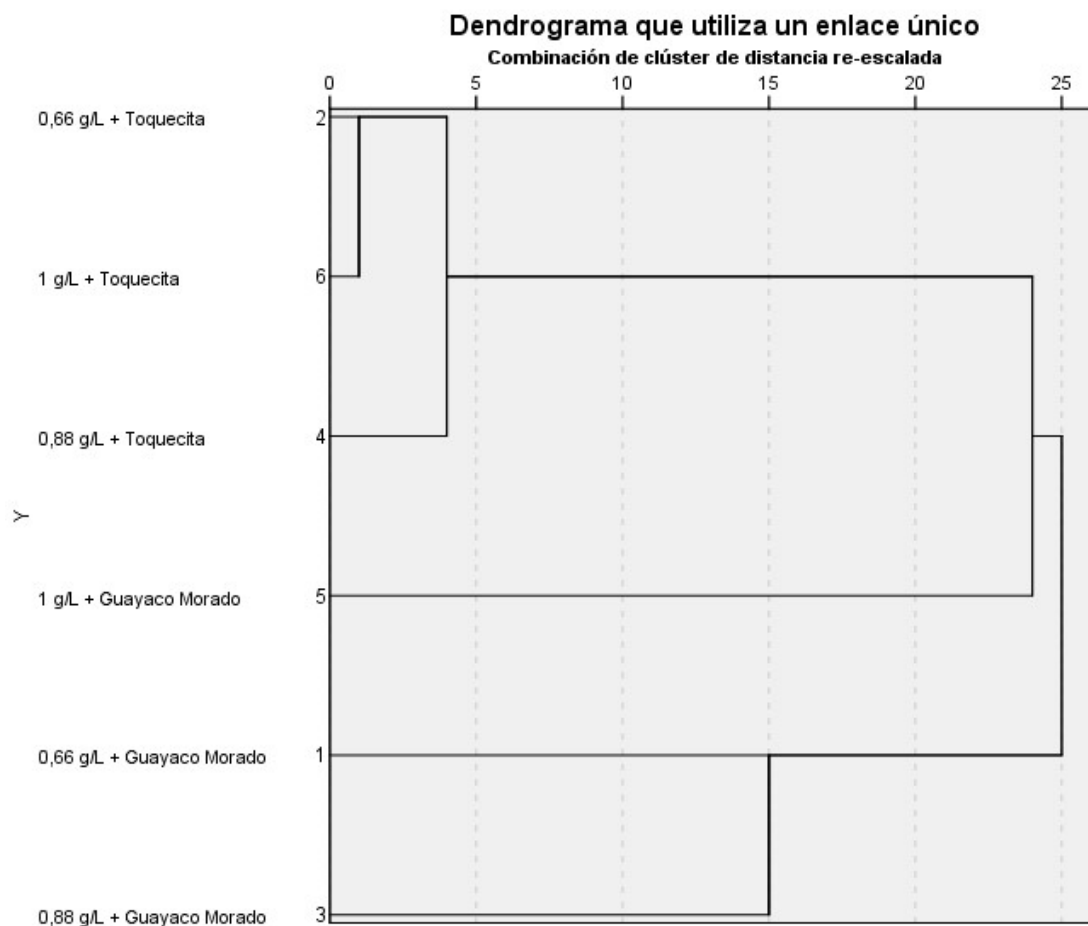
En la figura 18, se observa que existe diferencia significativa con respecto a la interacción concentraciones de levadura (A) y variedad de camote (B) en el día 12 de la fermentación, donde los valores de densidad disminuyeron durante la fermentación.

La concentración 0,88 g/L de levadura con la variedad *Toquecita* (A2B2) obtuvo el menor valor 0,9953 g/mL de densidad, en comparación a la variedad *Guayaco Morado* (A2B1) con 1,0043 g/mL. Mientras que las concentraciones 0,66 g/L y 1 g/L de levadura para *Guayaco Morado* presentaron valores mayores de 1,0090 g/mL y 1,0047 g/mL, respectivamente; de igual forma, para *Toquecita* presentaron valores de 1,0027 g/mL y 1,0073 g/mL, respectivamente.

## Análisis de conglomerados

**Figura 19**

*Dendrograma para los factores en estudio.*



La figura 19 presenta un dendrograma de grupos de vecinos más cercanos aplicados en los tratamientos de estudio con las variables físico-químicas (sólidos solubles, acidez titulable, pH, y densidad), en el cual se observa grupos formados según la variedad de camote del estudio. Existe una estrecha similitud entre 0,66 g/L + *Toquecita*, 1 g/L + *Toquecita* y 0,88 g/L + *Toquecita*. Por otro lado, los tratamientos con menor relación corresponden a la variedad *Guayaco Morado*, ya que solo existe relación entre 1 g/L + *Guayaco Morado*, 0,66 g/L + *Guayaco Morado* y 0,88 g/L + *Guayaco Morado*, pero a su vez estas se relacionan con 0,88 g/L + *Toquecita*.



## Análisis de componentes principales

**Tabla 36**

*Matriz de correlación de componentes principales.*

	Sólidos solubles	Acidez titulable	Grado alcohólico	pH	Densidad
Correlación Sólidos solubles	1,000	-0,594	0,084	-0,336	0,281
Acidez titulable	-0,594	1,000	0,158	0,887	-0,367
Grado alcohólico	0,084	0,158	1,000	0,377	-0,430
pH	-0,336	0,887	0,377	1,000	-0,559
Densidad	0,281	-0,367	-0,430	-0,559	1,000

En la tabla 36, se observa que la variable acidez titulable se correlaciona en alto grado con el pH, con más de 0,887 al día 12 de la fermentación. Con respecto a sólidos solubles, grado alcohólico y densidad, se puede observar una correlación baja con la acidez titulable (-0,594; 0,158; -0,367) y pH (-0,336; 0,377; -0,559) al día 12 de la fermentación.

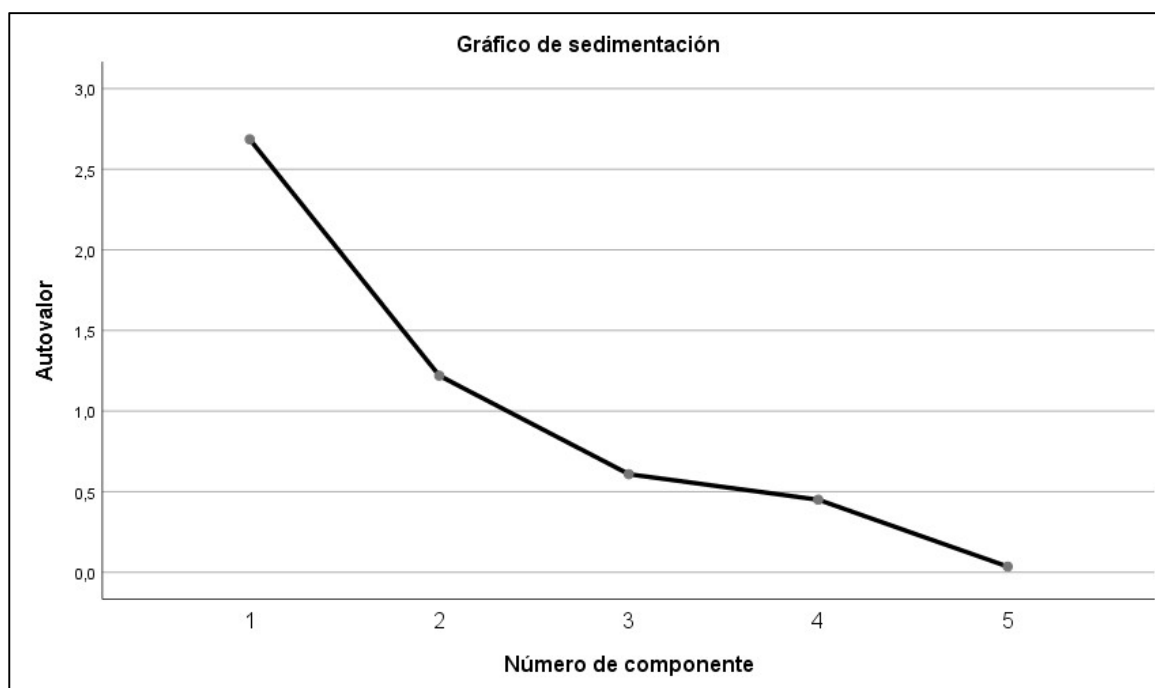
**Tabla 37**

*Matriz de componentes.*

	Componente		
	1	2	3
Sólidos solubles	-0,592	0,616	0,398
Acidez titulable	0,889	-0,311	0,310
Grado alcohólico	0,441	0,785	0,013
pH	0,920	0,048	0,332
Densidad	-0,710	-0,353	0,494

**Tabla 38***Porcentajes de varianza total explicada.*

Componente	Varianza total explicada					
	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	2,686	53,718	53,718	2,686	53,718	53,718
2	1,220	24,398	78,116	1,220	24,398	78,116
3	0,609	12,173	90,289	0,609	12,173	90,289
4	0,450	9,002	99,291			
5	0,035	0,709	100,000			

**Figura 20***Gráfica de sedimentación.*

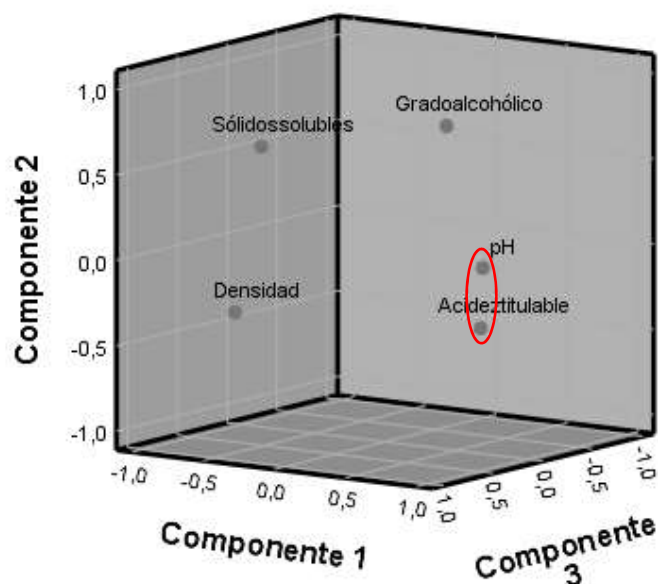
En la figura 20 se evaluó las 5 variables del día 12 de la fermentación, de las cuales, según la varianza total explicada, sólidos solubles presentaron mayor porcentaje de 53,718%. En cambio, para la acidez titulable (componente 2) y grado alcohólico (componente 3), el porcentaje de varianza fue de 24,398 % y 12,173 %,

respectivamente. Con respecto a los demás componentes, sus porcentajes de varianza son menores a 1 y probablemente son menos importantes.

Los sólidos solubles reflejan el contenido de azúcar fermentable, por lo que su descenso durante la fermentación del mosto se atribuye a las actividades de las levaduras (Udeagha et al., 2020). Otro factor que influye en la fermentación alcohólica es la acidez y esta se mide en función al pH. El valor de pH afecta el crecimiento y la tasa de fermentación de la levadura, e influye en la constitución de los productos de fermentación (Liu et al., 2015). No obstante, cuando los valores densidad se mantienen constantes, Miño et al. (2015) los consideran indicadores para finalizar la fermentación.

### Figura 21

*Gráfica de componentes principales.*



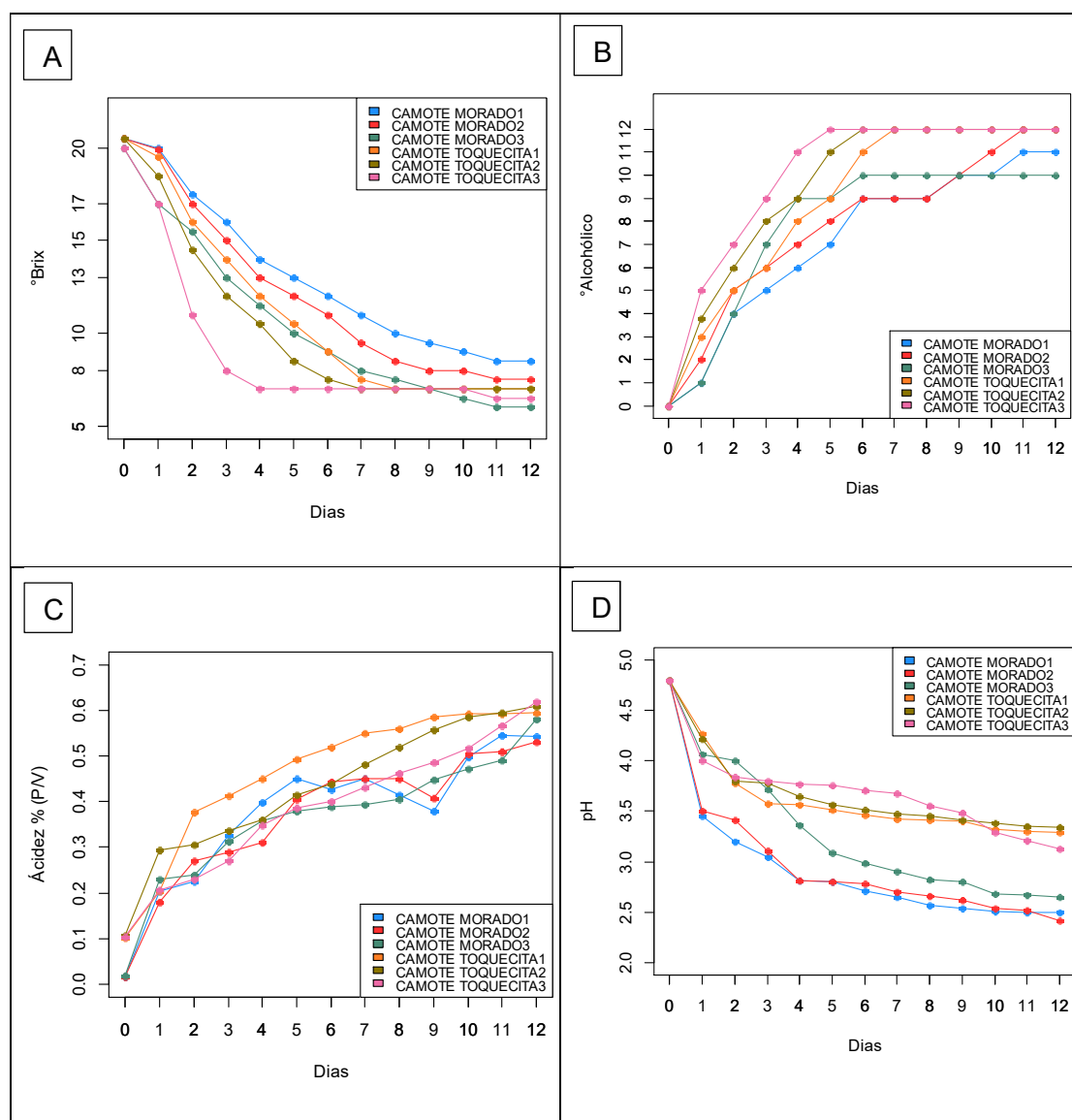
En la figura 21 se presenta los resultados de componentes principales de las variables de estudio, en donde, en el componente 2 se formaron dos grupos relacionados, el pH y el otro grupo de acidez titulable en el día 12 de la fermentación.

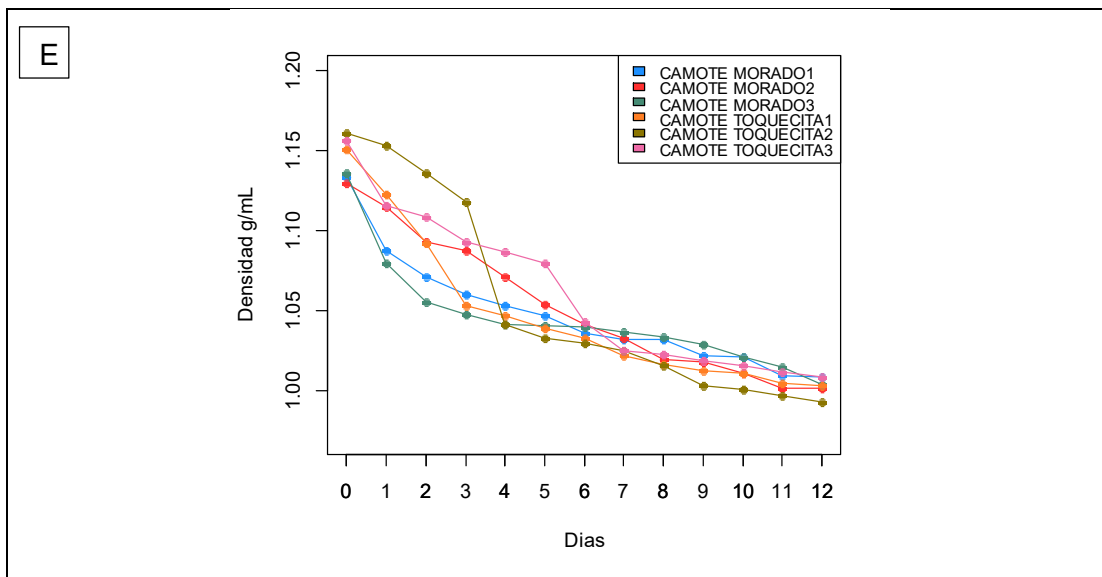
La fermentación inicia con la transformación de los azúcares reductores fermentables en alcohol por parte de las levaduras, bajo condiciones de pH ácidas (4-4,5) (Zambrano, 2013). El factor de pH de la solución de fermentación determina el proceso de reacción del azúcar para producir alcohol (Castro, 2015). En conclusión, un pH de fermentación bajo es crítico para la producción de alcoholes (Ganigué et al., 2016).

### Parámetros físico-químicos de los 12 días de la fermentación alcohólica

**Figura 22**

*Variación de los parámetros físico-químicos durante los 12 días de fermentación.*





*Nota:* (A) Sólidos solubles, (B) Grado alcohólico, (C) Acidez titulable, (D) pH y (E) Densidad.

Se observó una variación de valores en los parámetros físico-químicos (sólidos solubles, grado alcohólico, acidez titulable, pH y densidad) medidos durante los 12 días de la fermentación, con el fin de monitorear el proceso fermentativo.

La magnitud de cambio de estos parámetros físico-químicos provocan cambios en las propiedades organolépticas (Butnariu & Butu, 2019). Por ello, según Salazar (2010), el monitoreo de estos parámetros facilita controlar y entender la cinética durante el periodo de fermentación, al recrear las condiciones de consumo de sustrato y producción de alcohol y CO<sub>2</sub>.

En la figura 22, se muestra el monitoreo del proceso de fermentación alcohólica como un requisito previo para determinar la calidad del alcohol obtenido (Buratti & Benedetti, 2016). Se observa que a medida que transcurre la fermentación el contenido de los sólidos solubles medidos en °Brix disminuyen desde los 20 iniciales hasta llegar a valores de 8.5; 7; 7.5; 7; 6; 6.5, por el contrario, el grado alcohólico % (v/v) ascendió 10.83; 11.67; 11.83; 11.83; 10.50; 11.67 en los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6, respectivamente.

Durante la fermentación los valores de acidez titulable % (p/v) ascendieron a 0.544; 0.595; 0.531; 0.607; 0.581; 0.616, a diferencia de los valores de pH que disminuyeron desde 4,8 hasta 2.50; 3.29; 2.42; 3.36; 2.65; 3.13 y densidad (g/mL) que disminuyó hasta 1.009; 1.003; 1.004; 0.995; 1.004; 1.007 para los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6, respectivamente.

### Figura 23

*Resultado de la fermentación del jarabe glucosilado de almidón de las dos variedades de camote.*



*Nota:* (T3) Repeticiones del tratamiento *C. levadura* 1 g/L + *Toquecita*. (M3) Repeticiones del tratamiento *C. levadura* 1 g/L + *Guayaco Morado*.

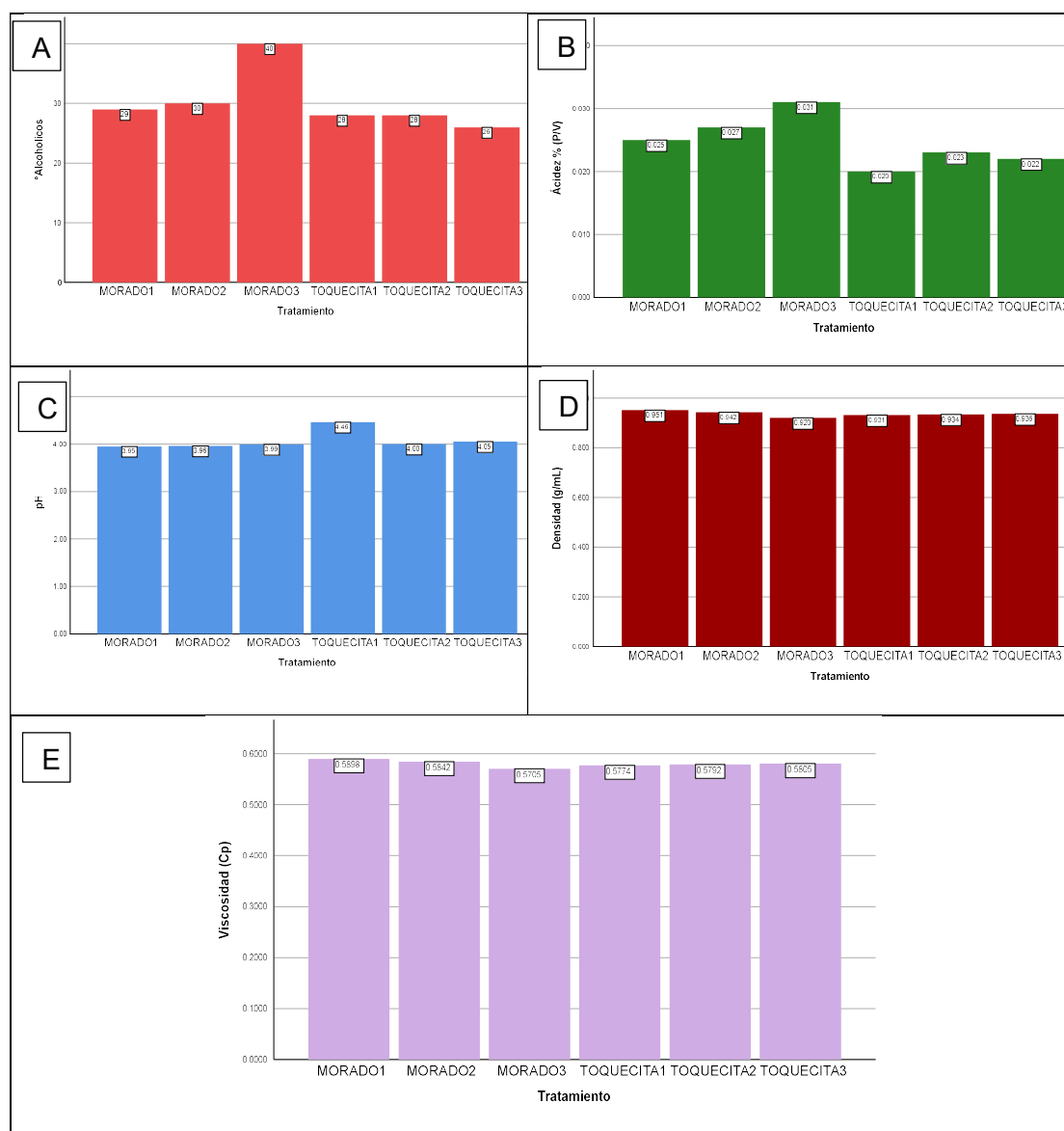
En la figura 23, se observa los tratamientos con *Guayaco Morado* más claros en comparación con *Toquecita*, esto se debe a que la fermentación causa descomposición de las paredes de las células pigmentarias y por tal, su contenido queda expuesto a otros componentes que le otorgan otras características físicas y organolépticas. Esto, al contener antocianinas moradas se decoloran, según se reporta en el estudio de Zapata et al. (2013). Durante la fermentación las levaduras transforman los hidratos de carbono en alcohol etílico en presencia de oxígeno a CO<sub>2</sub> y otros subproductos, como aromas y sabores (Buratti & Benedetti, 2016), como se observó en las características del fermentado obtenido para *Toquecita*:

sabor y olor ligeramente dulce para todos sus tratamientos. Además, Cao et al. (2018) sugieren que la dulzura del sabor del vino es por el aumento de la viscosidad.

### Parámetros físico-químicos del destilado

**Figura 24**

Resultados de los parámetros físico-químicos del destilado.



Nota: Grado alcohólico (A), Acidez titulable (B), pH (C), Densidad (D) y Viscosidad (E). C. levadura 0,66 g/L + Guayaco Morado (MORADO 1), C. levadura 0,88 g/L + Guayaco Morado (MORADO 2), C. levadura 1 g/L + Guayaco Morado (MORADO 3),

C. levadura 0,66 g/L + *Toquecita* (TOQUECITA 1), C. levadura 0,88 g/L + *Toquecita* (TOQUECITA 2), C. levadura 1 g/L + *Toquecita* (TOQUECITA 3).

### Figura 25

*Resultado de la destilación del fermentado de las dos variedades de camote.*



*Nota:* (M1) C. levadura 0,66 g/L + *Guayaco Morado*, (M2) C. levadura 0,88 g/L + *Guayaco Morado*, (M3) C. levadura 1 g/L + *Guayaco Morado*, (T1) C. levadura 0,66 g/L + *Toquecita*, (T2) C. levadura 0,88 g/L + *Toquecita*, (T3) C. levadura 1 g/L + *Toquecita*.

La recuperación de etanol a partir de materia prima de etanol fermentado implica principalmente la eliminación de agua de la materia prima (Chan et al., 2022). El etanol recuperado se caracterizó mediante los parámetros: grado alcohólico, acidez titulable, pH, densidad, turbidez y viscosidad, los cuales determinan su aceptabilidad, procesamiento y su consumo (Carreon et al., 2016).

Los resultados demostraron que el destilado alcohólico de camote obtenido es un líquido cristalino e incoloro, con sabor ácido ligeramente dulce y olor a camote, ya que se diferencia de otros destilados por su sabor y aroma propio de la materia prima, como un sustituto de otros tipos de alcohol a base de caña de azúcar (Álvarez & Huamán, 2020).



En la figura 25, se muestra que la caracterización físico-química del alcohol recuperado mediante destilación a 80°C por 1 hora no presentó diferencias, a excepción de las variables grado alcohólico y acidez.

El grado alcohólico % (v/v) de todos los tratamientos presentó valores de 29 (MORADO 1), 30 (MORADO 2), 28 (TOQUECITA 1), 28 (TOQUECITA 2), 26 (TOQUECITA 3) y un valor más alto de 40 (MORADO 3) que corresponde al tratamiento 1 g/L de *C. levadura* + *Guayaco Morado*. Los resultados obtenidos son similares al valor de 27 % para la obtención de alcohol a partir de camote, reportado por Zambrano (2013). Según los parámetros establecidos en la normativa sanitaria NTE INEN 1837 para bebidas alcohólicas - Licores, establece que los grados alcohólicos se deben encontrar entre 15 mín – 50 máx % (v/v), es decir, todos los tratamientos se encuentran dentro de los parámetros para bebidas alcohólicas, incluyendo el tratamiento que presentó 40 %, siendo similar al obtenido por Castro (2015) con 39 %.

Con respecto a la acidez titulable, los tratamientos mostraron los siguientes valores: 0,025 % (MORADO 1); 0,027 % (MORADO 2); 0,031 % (MORADO 3); 0,020 % (TOQUECITA 1); 0,023 % (TOQUECITA 2) y 0,022 % (TOQUECITA 3). Los resultados obtenidos se pueden corroborar con el estudio de Sánchez (2019), que reportó un valor de 0,00018 % para una bebida alcohólica de camote. De la misma manera, los resultados no sobrepasan los parámetros establecidos en la normativa sanitaria NTE INEN 375 para bebidas alcohólicas, en donde se determina que la acidez total obtenida no supera el valor máximo de 0,15 %. Los tratamientos presentaron índices de acidez bajos, Cabrera (2012) menciona que el contenido bajo de acidez es indispensable para evitar el desarrollo de agentes patógenos; por lo que la acidez se determina como un factor relevante, ya que tiene incidencia directa

en el tiempo potencial de almacenamiento de las bebidas destiladas (Tunqui et al., 2018).

Los resultados obtenidos para la variable pH, presentaron valores de 3,95 (MORADO 1); 3,96 (MORADO 2); 3,99 (MORADO 3); 4,46 (TOQUECITA 1), 4,00 (TOQUECITA 2) y 4,05 (TOQUECITA 3). Los valores de pH se encuentran en un rango de 3,95-4,46. Los niveles de pH predilectos para bebidas alcohólicas destiladas son de 3,5 a 4,0, tal como lo reporta Tadesse et al. (2017). Además, Pereira et al. (2012), reportaron un valor de 4,3 aplicado en la industria licorera. Los resultados obtenidos se pueden corroborar por la investigación de Miranda (2017) donde obtuvo valores en un rango de 4,40-4,53 para una bebida alcohólica destilada de camote; de la misma manera Sánchez (2019) obtuvo un valor de 4,19. Por lo tanto, se determina que los valores obtenidos de pH se encuentran dentro de los rangos óptimos establecidos.

La densidad de los tratamientos obtuvo valores de 0,951 g/mL (MORADO 1); 0,942 g/mL (MORADO 2); 0,920 g/mL (MORADO 3); 0,931 g/mL (TOQUECITA 1), 0,934 g/mL (TOQUECITA 2) y 0,936 g/mL (TOQUECITA 3). Los valores de densidad se encuentran en un rango de 0,920 a 0,951 g/mL. Los resultados obtenidos son similares a los detallados por Miranda (2017) y Sánchez (2019), en donde obtuvieron valores de 0,950 g/mL en ambos estudios. De igual forma, en la investigación de Anjos et al. (2017) realizaron la caracterización físico-química de licores en donde reportaron un valor de 0,928 g/mL, resultado análogo a los obtenidos en este estudio.

La viscosidad (Cp) mostró valores de 0.5898 (MORADO 1), 0.5842 (MORADO 2), 0.5705 (MORADO 3), 0.5774 (TOQUECITA 1), 0.5792 (TOQUECITA 2), 0.5805 (TOQUECITA 3). La viscosidad depende de moléculas con pesos moleculares grandes, estructura molecular y puentes de hidrógeno entre OH y agua

(Carreon et al., 2016). Los resultados obtenidos con ambas variedades de camote no superan a los reportados por Paxman et al. (2012), con valores  $<1,5$  Cp de viscosidad para bebidas que van de 25 a 40 % (v/v) de alcohol. Por lo que, un alto contenido de etanol, indica una alta viscosidad (Rainieri et al., 1998), de modo que el etanol tiene una viscosidad de 1,20 Cp a 20°C (Pérez et al., 2010).

Los resultados obtenidos de la variable turbidez para todos los tratamientos fueron  $<10$  FAU, los cuales se relacionan con los valores 0,08 FAU y 0,02 FAU a temperatura ambiente (20°C) para bebidas destiladas antes de su almacenamiento, reportados por Moreno et al. (2002) y Róžański et al. (2020). Además, Blanco et al. (2008), indican que las bebidas alcohólicas destiladas no deben ser turbias ni contener sedimentos, lo que se relaciona con nuestros resultados que se observan en la figura 25, cuyo contenido es transparente e incoloro.

### Tabla 39

*Resultados de los parámetros metanol y furfural del destilado alcohólico de camote.*

Parámetro	Resultado	Unidad	Máximo	NTE INEN
Metanol	$< 1$	mg/100 mL	10	1837
Furfural	$<1$	mg/100 mL	1,5	1837

Posterior, se analizó los resultados de metanol, furfural, arsénico y plomo de la tabla 39, los cuales cumplen con la normativa sanitaria INEN 1837 que hace referencia a los requisitos para bebidas alcohólicas – Licores.

El contenido de metanol  $<1$  mg/100mL que se obtuvo de los destilados es similar a 0,69 mg/100mL, reportado por Sánchez (2019) y 0,025 mg/100mL, reportado por Albán & Carrasco (2012) para una bebida alcohólica de camote. El control de este parámetro es importante, pues si bien no afecta directamente el

sabor del destilado, se encuentra sujeto a controles restrictivos debido a su alta toxicidad (Balcerek et al., 2019).

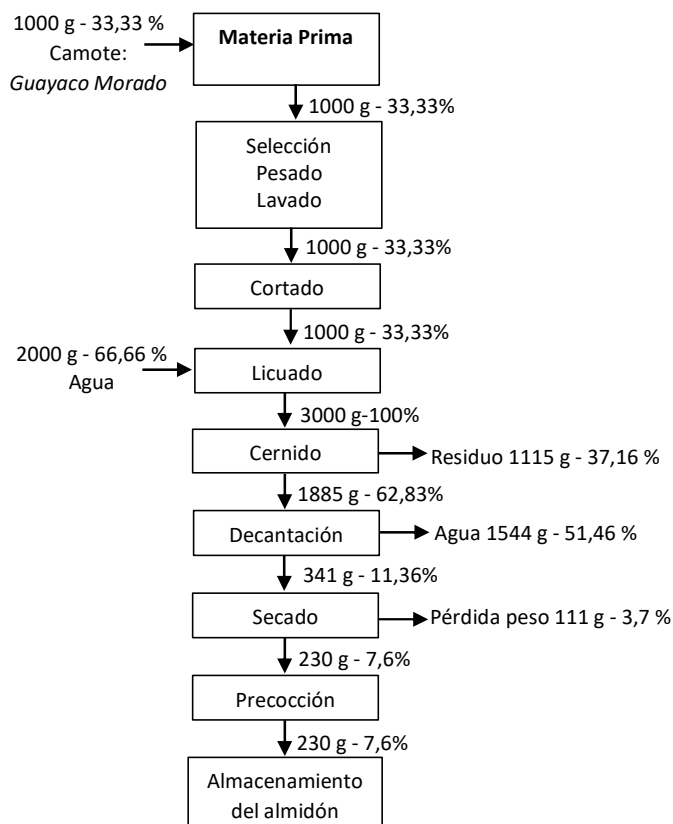
Para el análisis de contenido de furfural se obtuvo valores  $<1$  mg/100mL semejantes a 0,3 mg/100mL, que presentó Castro (2015) para una bebida alcohólica de camote. Es necesario monitorear este parámetro al igual que el metanol, ya que es un compuesto vigilado por su toxicidad (Huamán et al., 2016).

Por otro lado, los metales pesados como el arsénico (As) y el plomo (Pb) cuándo superan los índices tolerables se convierten en contaminantes graves para el organismo (Pál et al., 2020). Las concentraciones de As  $<0,1$  mg/Kg y Pb  $<0,08$  mg/Kg medidos en las muestras experimentales de camote son menores a los valores de As 0,02 mg/Kg y Pb 0,3 mg/Kg, reportados por Menevseoglu & Cabaroglu (2021). Los cuales, mencionan que el As no es común en los licores destilados y que el límite permisible de Pb para este tipo de bebidas está en el rango de 0,02 a 0,3 mg/Kg.

### **Balance de materia: Guayaco Morado**

Se realizó el balance de materia para la variedad de camote *Guayaco Morado*, con el fin de establecer el volumen de alcohol obtenido después de la destilación del producto de la fermentación del almidón hidrolizado por vía enzimática (jarabe).

### Obtención de almidón



### Rendimiento obtención de almidón

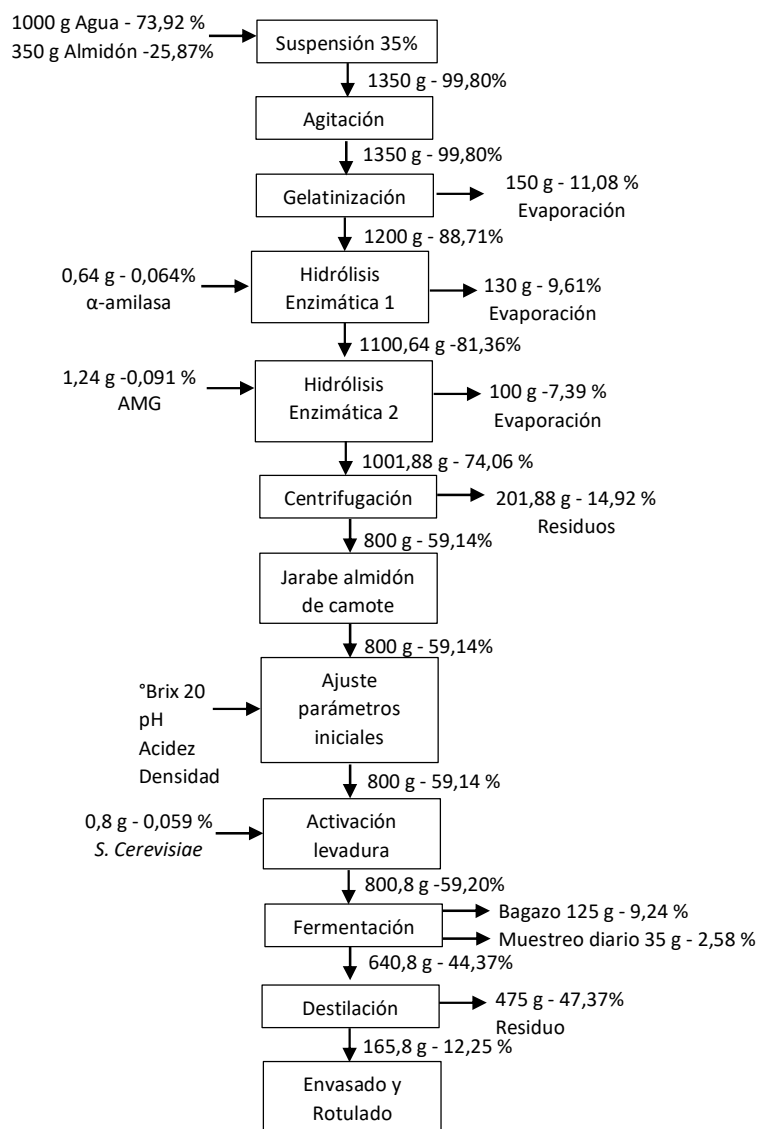
Se realizaron los cálculos pertinentes para obtener el rendimiento de la extracción de almidón de la variedad *Guayaco Morado* mediante la siguiente ecuación:

$$R\% \text{ Almidón Guayaco Morado} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

$$R\% \text{ Almidón Guayaco Morado} = \frac{230 \text{ g}}{1000 \text{ g}} * 100 = 23 \%$$

Por lo tanto, para la extracción de almidón se determinó que por cada 1 kg de camote *Guayaco Morado* se obtuvo 230 gr de almidón, lo cual corresponde a un rendimiento de 23 %.

### Obtención de alcohol



### Rendimiento obtención de alcohol

Se realizaron los cálculos pertinentes para obtener el rendimiento del alcohol recuperado por destilación de la variedad *Guayaco Morado* mediante la siguiente ecuación:

$$R\% \text{ Alcohol Guayaco Morado} = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}} * 100$$

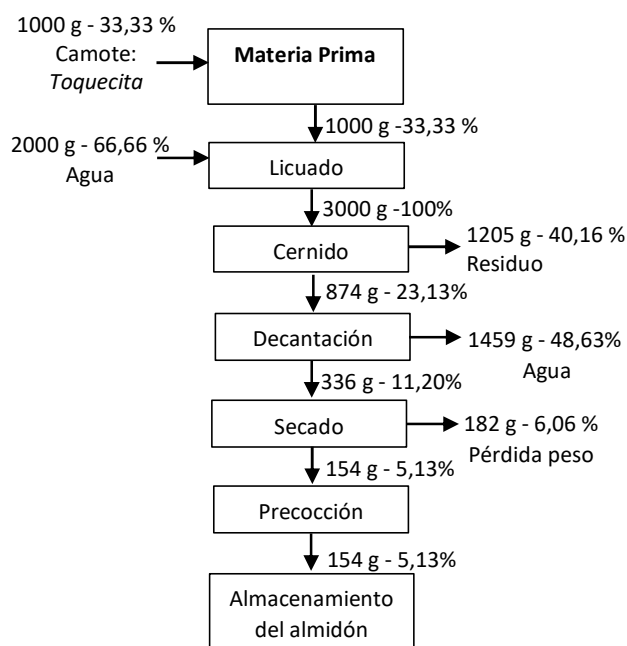
$$R\% \text{ Alcohol Guayaco Morado} = \frac{165,8 \text{ mL}}{800 \text{ mL}} * 100 = 20,7 \%$$

Por lo tanto, para la recuperación de alcohol se determinó que por cada 800 mL de fermentado se obtiene 165,8 mL de alcohol destilado, que corresponde a un rendimiento de 20,7 %.

### **Balance de materia: Toquecita**

Se realizó el balance de materia para la variedad de camote *Toquecita*, con el fin de establecer el volumen de alcohol obtenido después de la destilación del producto de la fermentación del almidón hidrolizado por vía enzimática (jarabe).

### **Obtención de almidón**



### **Rendimiento obtención de almidón**

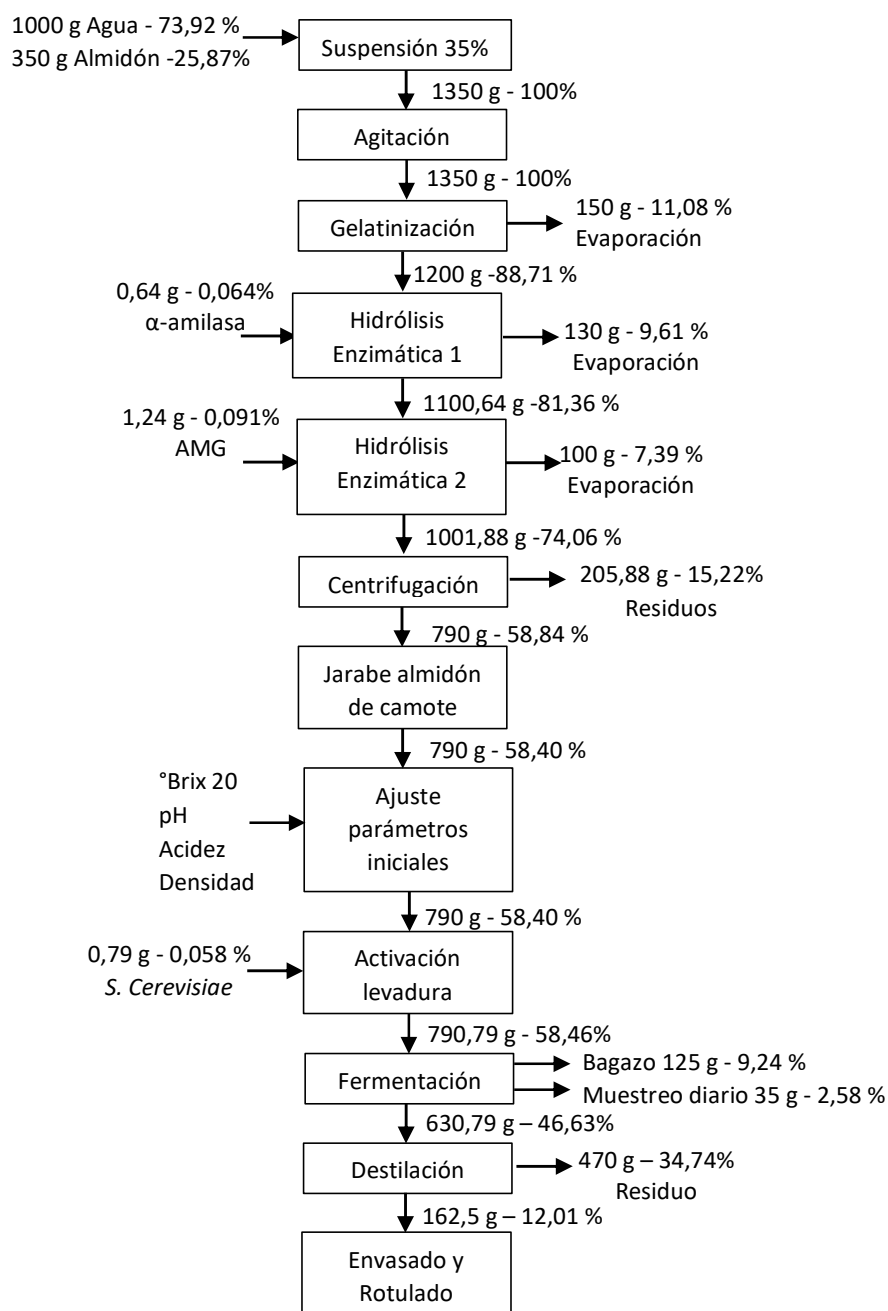
Se realizaron los cálculos pertinentes para obtener el rendimiento de la extracción de almidón de la variedad *Toquecita* mediante la siguiente ecuación:

$$R\% \text{ Almidón Toquecita} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

$$R\% \text{ Almidón Toquecita} = \frac{154 \text{ g}}{1000 \text{ g}} * 100 = 15 \%$$

Por consiguiente, para la extracción de almidón se determinó que por cada 1 kg de camote *Toquecita* se obtuvo 154 gr de almidón, que corresponde a un rendimiento de 15 %.

### Obtención de alcohol





***Rendimiento obtención de alcohol***

Se realizaron los cálculos pertinentes para obtener el rendimiento del alcohol recuperado mediante destilación de la variedad *Toquecita* mediante la siguiente ecuación:

$$R\% \text{ Alcohol Toquecita} = \frac{\text{Volumen final}}{\text{Volumen inicial}} * 100$$

$$\% \text{ Alcohol Toquecita} = \frac{162,5 \text{ mL}}{790 \text{ mL}} * 100 = 20,5 \%$$

Por lo tanto, para la recuperación de alcohol se determinó que por cada 790 mL de fermentado se obtiene 162,5 mL de alcohol destilado, que corresponde a un rendimiento del 20,5 %.

## Capítulo V

### Discusión

#### Respecto a las concentraciones de enzima (Factor A)

En los procesos de hidrólisis enzimática es importante determinar una concentración enzimática óptima con el fin de evitar efectos inhibitorios en las etapas de licuefacción y sacarificación, donde actúan las enzimas alfa-amilasa y AMG, respectivamente (Acosta et al., 2020). La enzima alfa-amilasa es capaz de degradar la amilasa en maltosa, sin embargo, degrada parcialmente la amilopectina y el glucógeno, por lo que es necesaria la intervención de la AMG para obtener una hidrólisis completa del almidón (Altamirano, 2022).

En las concentraciones enzimáticas, los resultados demostraron que la alfa –amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) fueron óptimas para hidrolizar el almidón de camote, obteniendo valores de sólidos solubles de 22,75°Brix. Así como lo reporta Altamirano (2022), que obtuvo 22°Brix empleando concentraciones enzimáticas de 1,2 %; siendo una concentración mayor a la utilizada en este estudio.

En los azúcares totales, el valor óptimo alcanzado fue 14,05 mg/L. Los azúcares totales del camote se refieren a la cantidad de glucosa y fructosa, los cuales son los sustratos que se convertirán en alcohol (Schweinberger et al., 2018). En su investigación Nieblas et al. (2017), reportaron 10,5 mg/L de azúcares totales para cereales siendo un valor menor al obtenido, esto se debe a que el porcentaje de almidón en cereales es de aproximadamente 30 % y en raíces como el camote, se encuentra entre 80 % y 90 %, por lo que al presentar más almidón se obtiene una mayor cantidad de azúcares (Acosta et al., 2020).

### **Respecto a las concentraciones de almidón (Factor B)**

En el factor B se analizó las concentraciones de almidón 25 % y 35 %, evaluando las variables de sólidos solubles (°Brix) y azúcares totales.

En los sólidos solubles, una concentración del 25 % de almidón presentó 14,98°Brix. En el estudio de Sánchez (2019), empleando una concentración de almidón del 25 % obtuvo un valor de 7°Brix. No obstante, en la investigación de Nieblas et al. (2017), utilizaron una concentración de almidón al 35 %, reportando valores de sólidos solubles de 27,51°Brix, valor próximo al resultado obtenido de 26,78°Brix.

En azúcares totales, la concentración óptima se obtuvo con 35 % de almidón, presentando un valor de 14,27 mg/L, siendo mayor al obtenido por Nieblas et al. (2017), donde reportaron un valor de 12,6 mg/L utilizando la misma concentración de almidón para la obtención de un jarabe glucosilado.

### **Respecto a las variedades de camote (Factor C)**

En el factor C se analizó las variedades de camote, *Guayaco Morado* y *Toquecíta*, evaluando las variables sólidos solubles (°Brix) y azúcares totales.

En sólidos solubles, si bien se obtuvo diferencia significativa entre las dos variedades de camote, los valores reportados para *Guayaco Morado* y *Toquecíta* se encuentran muy cercanos entre sí, ya que se obtuvieron 20,55°Brix y 21,20°Brix, respectivamente. En su estudio Barros (2012), reportó un valor de 11,80°Brix, siendo menor a los resultados obtenidos, esto se debe a una menor cantidad de enzima utilizada. Además, Barros (2012), menciona que el contenido de antocianinas que presenta la variedad *Guayaco Morado* difiere de la variedad *Toquecíta*. Sin embargo, no es un factor que afecte directamente en la hidrólisis del almidón.

De la misma manera, en azúcares totales, se presentaron valores próximos entre la variedad *Guayaco Morado* (11,91 mg/L) y *Toquecita* (10,86 g/L). Los resultados son similares al reportado por Nieblas et al. (2017), con un valor de 11,14 mg/L para la obtención de jarabes glucosilados por hidrólisis enzimática.

### **Respecto a la interacción A\*B\*C (Enzima-Almidón-Camote)**

La hidrólisis enzimática para obtener jarabe glucosilado con dos concentraciones de almidón, procedente de las dos variedades de camote (*Guayaco Morado* y *Toquecita*), presentó diferencias significativas en base a las concentraciones de enzimas y en las concentraciones de almidón.

En base a los azúcares totales, se obtuvo que la concentración de Enzimas 3, Alfa - amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) junto a la concentración de almidón al 35 % obtienen las mayores medias de azúcares totales, para la variedad *Guayaco Morado* y *Toquecita*, donde se obtuvieron 20,06 mg/L y 17,61 mg/L; respectivamente. Según Barros (2012), con la acción hidrolítica de forma sinérgica de las enzimas Alfa-amilasa y AMG se obtiene la degradación completa de la maltosa, amilosa y amilopectina, produciendo finalmente la molécula de glucosa. Además, los jarabes glucosilados hidrolizados de almidón van desde los 10-20 mg/L, en donde dependiendo de las condiciones de hidrólisis, también se pueden presentar valores más altos de azúcares totales.

### **Respecto a las concentraciones de levadura (Factor A)**

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* var. *Cerevisiae* permite efectuar una transformación completa y rápida de azúcares a etanol, sin la producción de compuestos no deseados. Además, tiene una resistencia al alcohol de 14.5, una cinética fermentativa rápida, necesidades nutricionales bajas y trabaja en un rango óptimo de temperatura de 14 a 35°C (Oenobrand SAS, 2020). No obstante, no

puede fijar nitrógeno atmosférico y requiere un suministro de nitrógeno orgánico que sea fácilmente asimilable, como lo es Maxaferm, un nutriente que corrige las deficiencias de nitrógeno asegurando la viabilidad de la fermentación y permitiendo que las levaduras resistan a diferentes condiciones (Oenobrand SAS, 2020).

Con la concentración de levadura 1 g/L, se observó un mayor descenso de sólidos solubles 6,40°Brix. En cambio, con 0,66 g/L de levadura y con 0,88 g/L de levadura disminuyó a 7,80°Brix y 7,28°Brix, respectivamente. Similar a los resultados que obtuvo Poma (2016) de 8,17°Brix, 7,10°Brix y 5°Brix. Según Roni et al. (2019), a medida que aumenta la concentración de levadura la velocidad de fermentación también, esto hasta que la actividad enzimática llegue a nivel óptimo.

La acidez con 0,66 g/L y 0,88 g/L de levadura aumentó a 0,57 % y en su estudio Alvarenga et al. (2015), obtuvo 0,55 % de acidez utilizando *S. cerevisiae*. En cambio, con 1 g/L de levadura el valor de la acidez fue de 0,60 %, ya que según Udeagha et al. (2020), una mayor concentración de levadura reduce la producción de ácidos. En el trabajo de Poma (2016), menciona que las cepas utilizadas en la producción de vinos, como *S. cerevisiae* generan un mayor contenido de ácidos.

Con respecto a densidad, la concentración con 0,88 g/L de levadura obtuvo el menor valor 0,9998 g/mL, mientras que con 1g/L y 0,66 g/L de levadura se obtuvo valores de 1,0058 g/mL y 1,0060 g/mL, respectivamente. Valores mayores al que obtuvo De la Cruz et al. (2012) con 0.996 g/mL y Poma (2016) con 0,995 g/mL utilizando *S. cerevisiae*. Según Mehani et al. (2018), estos valores indican el contenido de azúcares aún disponibles en el mosto.

### Respecto a las variedades de camote (Factor B)

En el factor B se analizó las variedades de camote, *Guayaco Morado* y *Toquecita* en la fermentación alcohólica, evaluando cada parámetro físico-químico aplicado.

En sólidos solubles, la variedad *Guayaco Morado* presentó 7,36°Brix y *Toquecita* el menor valor 6,97°Brix. El contenido de sólidos solubles durante la fermentación tuvo un comportamiento similar a los valores (8-8,5°Brix) que obtuvo Albán & Carrasco (2012). En cambio, en el trabajo de Sánchez (2019), obtuvieron resultados mayores de hasta 12,5°Brix en promedio.

Por el contrario, grado alcohólico en las dos variedades de camote registró un aumento en el transcurso de la fermentación (día 12). La variedad *Guayaco Morado* presentó 11,06 % y *Toquecita* un valor más alto de 11,72 %, similares a los que obtuvo Albán & Carrasco (2012) con camote y papa china (12 %). En la investigación de Castro (2015), reporta valores mayores y menciona que el contenido de alcohol aumenta a medida que los días de la fermentación lo hacen (15 días-22 v/v), esto por actividad de la concentración de levadura (Andrade et al., 2009).

En la acidez, *Guayaco Morado* presentó un valor de 0,55 % y *Toquecita* 0,61 %; esto se debe a que las antocianinas moradas presentes mayormente en *Guayaco Morado* (Armijos et al., 2020) tras la fermentación se decoloran (Zapata et al., 2013), ya que son sensibles a los cambios de pH y por ende de acidez (Heredia, 2006).

Al contrario de acidez, en el pH, los valores disminuyen hasta el día 12 de la fermentación, como se obtuvo con *Guayaco Morado* que disminuye de 4,8 hasta 2,53, al igual que *Toquecita* con 3,26. Según Butnariu & Butu (2019), los ácidos de la materia prima influyen significativamente sobre el pH. En el estudio de Ugochukwu

et al. (2018), sugieren que un bajo pH y una acidez alta dan a la levadura una ventaja comparativa en la fermentación.

La variable densidad para la variedad *Toquecita* con 1,0018 g/mL obtuvo el menor valor y para la variedad *Guayaco Morado* con 1,0060 g/mL, lo que indica que los azúcares del mosto se transformaron en alcohol de una manera continua (Miño et al., 2015).

### **Respecto a la interacción A\*B (Levadura-Camote)**

La fermentación con la levadura *S.cerevisiae var. Cerevisiae* y almidón hidrolizado de *Guayaco Morado* y *Toquecita* al día 12 presentó diferencias significativas, esto debido a que las enzimas de la levadura metabolizan los azúcares fermentables del mosto, principalmente en alcohol y CO<sub>2</sub> (Toit & Oberholster, 2014).

Los resultados de sólidos solubles presentaron un comportamiento similar al que reporta Andrade et al. (2009). Los tratamientos con 1 g/L de levadura para *Guayaco Morado* (6,07°Brix) y *Toquecita* (6,73°Brix) presentaron los menores resultados, en comparación a los tratamientos con 0,66 g/L y 0,88g/L para *Guayaco Morado* (8,53°Brix y 7,47°Brix) y *Toquecita* (7,07°Brix y 7,10°Brix). Según Castro (2015), la disminución de sólidos solubles es el resultado del metabolismo fermentativo de las levaduras, lo que se vio demostrado en la gráfica de sedimentación, donde los sólidos solubles son un componente principal que influye en la fermentación.

Con respecto a la acidez titulable, la interacción 1 g/L de levadura con *Toquecita* presentó el mayor porcentaje de acidez 0,62 %. En cambio, en las interacciones de levadura (0,66 g/L; 0,88 g/L; 1 g/L) que involucran a *Guayaco Morado* presentaron el menor porcentaje de acidez, teniendo entre 0,54 %; 0,53 % y

0,58 %, respectivamente. Esto se debe a que Chidi et al. (2018), al igual que Alvarenga et al. (2015), mencionan a la acidez alta como un inhibidor del crecimiento de bacterias, al facilitar el crecimiento y la reproducción de la levadura. Por lo que Ugochukwu et al. (2018), sugieren a la acidez como un determinante en el nivel del consumo de sustrato (Leal et al., 2014).

En base a la variable pH, los tratamientos con 0,88 g/L de levadura y *Guayaco Morado*, obtuvieron valores menores de 2,42. Mientras que los tratamientos de 1 g/L de levadura con *Toquecita*, registraron el menor valor de 3,13 para el resto de sus interacciones. En la investigación de Sánchez (2019), reporta en promedio valores mayores de 4,48, ya que según el estudio de Rueda (2012), el incremento de acidez por la producción de ácidos trae consigo una disminución de pH. En cambio, las interacciones con 0,66 g/L y 1 g/L de levadura para *Guayaco Morado* (2,50 y 2,65) y *Toquecita* (3,29 y 3,13) registraron valores mayores. En su estudio Santamaría et al. (2005), indican que un pH promedio de 3,55 influye en el contenido de los compuestos aromáticos con aromas más intensos, así como se observa en los tratamientos con la variedad *Toquecita*.

En base a la densidad, los resultados demostraron una disminución con el avance de los días, siendo el tratamiento con 0,88 g/L de levadura para *Toquecita* (0,9953 g/mL) menor a *Guayaco Morado* (1,0043 g/mL). En comparación, los valores de los tratamientos con 0,66 g/L y 1 g/L de levadura para *Guayaco Morado* (1,0090 g/mL y 1,0047 g/mL) y *Toquecita* (1,0027 g/mL y 1,0073 g/mL) también disminuyeron, pero fueron mayores al resto de interacciones. Esta disminución se debe a la fase estacionaria de las levaduras, así como lo reportan Blanco et al. (2012) con valores de 1,07 g/mL.



## Capítulo VI

### Conclusiones

#### Factor A (Enzimas)

La hidrólisis del almidón de camote presentó diferencias al emplearse diferentes concentraciones de enzimas. La concentración Enzimática 3, Alfa – amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) presentó los mejores valores con respecto a sólidos solubles y azúcares totales, obteniendo 22,75°Brix y 14,05 mg/L, respectivamente. Por lo tanto, se establecen como concentraciones óptimas para la hidrólisis debido a que no se presentaron efectos inhibitorios en la actividad enzimática.

#### Factor B (Almidón)

La concentración de almidón al 35 % proporcionó los mejores valores de sólidos solubles y azúcares totales en la hidrólisis del almidón, con valores de 26,78°Brix y 14,27 mg/L. Los valores obtenidos con el 25 % de concentración se encontraban por debajo de los presentados con la concentración del 35 %.

#### Factor C (Camote)

La variedad *Toquecita* presentó el mayor valor de sólidos solubles (21,20°Brix) y el menor de azúcares totales (10,86 mg/L), mientras que la variedad *Guayaco Morado* presentó el menor valor de sólidos solubles (20,55°Brix) y el mayor de azúcares totales (11,91 mg/L). La diferencia radica en el contenido de antocianinas que presenta la variedad *Guayaco Morado*, la cual difiere de la variedad *Toquecita*. Sin embargo, no es un factor que afecte directamente en la hidrólisis del almidón.

#### Interacción A\*B\*C (Enzimas-Almidón-Camote)

Con respecto a los azúcares totales, se determinó que con la concentración de Enzimas 3, Alfa - amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) junto con la concentración de almidón al 35 %, se obtienen los mayores valores de azúcares totales, para la variedad *Guayaco Morado* (20,06 mg/L) y *Toquecita* (17,61 mg/L). En donde, con el trabajo sinérgico de las enzimas y su acción hidrolítica, se obtiene la molécula de glucosa.

Por lo tanto, la concentración de Enzimas 3+Concentración de almidón 35%+Variedad *Guayaco Morado* o *Toquecita* son los componentes óptimos para ejecutar el proceso de fermentación.

#### **Factor A (Levadura)**

Con respecto a los resultados físico-químicos, se concluye que las tres concentraciones de levadura presentaron diferencias significativas al día 12 de la fermentación, presentando una disminución en los sólidos solubles y la densidad, y un aumento en la acidez en el transcurso de la fermentación.

La fermentación con 1 g/L de levadura, proporcionó las mejores características en cuanto valores más bajos de sólidos solubles (6,40°Brix) y más altos de acidez (0,60 %), permitiendo aumentar la velocidad de fermentación del camote. La fermentación con 0,88 g/L de levadura presentó los valores más bajos de densidad (0,9998 g/mL).

#### **Factor B (Camote)**

En base a los resultados de los parámetros físico-químicos de las dos variedades de camote, *Guayaco Morado* y *Toquecita*, se concluye que las dos variedades presentaron diferencias significativas al día 12 de la fermentación, con una disminución en los sólidos solubles, pH y densidad, y un aumento en la acidez y grado alcohólico en el transcurso de la fermentación.

La variedad *Guayaco Morado* presentó los menores valores de pH (2,53). En cuanto a los resultados de sólidos solubles (6,97°Brix), grado alcohólico (11,72 %), acidez (0,61 %) y densidad (1,0018 g/mL) la variedad *Toquecita* presentó los mejores resultados para estas variables.

#### **Interacción A\*B (Levadura-Camote)**

En el tratamiento con 1 g/L de levadura, *Guayaco Morado* presentó mejores resultados para la variable sólidos solubles (6,07°Brix) y con *Toquecita* para la variable acidez 0,62 %.

En cuanto al tratamiento 0,88 g/L, *Guayaco Morado* presentó la menor media para la variable pH (2,42) y con *Toquecita* para la variable densidad (0,9953 g/mL), al día 12 de finalizar la fermentación.

Pese a que se obtuvo resultados próximos entre todos los análisis físico-químicos, los tratamientos para acidez titulable y pH obtuvieron resultados similares entre variedades, debido a que se correlacionan estas dos variables.

## Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos de almidón total, se recomienda aplicar el método de extracción por vía húmeda con el fin de extraer almidón de camote de mejor calidad para sus diferentes aplicaciones industriales.

Referente a los resultados obtenidos en la hidrólisis del almidón de camote se recomienda utilizar una concentración de Alfa-amilasa 0,182 % (p/v) y AMG 0,354 % (p/v) junto a una concentración de almidón al 35 %, para obtener jarabe glucosilado de camote y aplicarlo en la elaboración de otros subproductos.

Considerando el proceso hidrólisis del almidón, esta etapa se vio afectada por la evaporación, debido a que el proceso se realizó a escala de laboratorio en recipientes abiertos, por lo que, con el fin de tener un mayor control sobre este factor, se recomienda llevar a cabo el proceso en un biorreactor.

Con respecto al análisis físico-químico de las concentraciones de levadura, se recomienda utilizar 1 g/L de levadura para fermentar jarabes glucosilados de almidón de camote obtenidos por hidrólisis enzimática; así mismo con respecto a la variedad de camote, se recomienda utilizar la variedad *Toquecita*.

A partir de los resultados, se recomienda, a futuras investigaciones en fermentación alcohólica, utilizar el almidón de camote como un sustituto de materia prima en la obtención de alcohol, ya que, si bien la destilación no presentó diferencias significativas, se determinó que la bebida alcohólica experimental no es perjudicial para la salud y que es aplicable en la industria licorera, por los niveles bajos de metanol y metales pesados.

## Capítulo VII

### Bibliografía

- Acosta, J., Laura, A., & Ruiz, A. (2020). Enzymatic hydrolysis of wheat starch for glucose syrup production. *DYNA*, 10.
- Albán, C., & Carrasco, J. (2012). *Elaboración de una bebida alcohólica destilada, evaluando dos niveles de levadura utilizando como sustrato papa china (Colocasia Esculenta) y camote (Ipomoea batatas L) en la planta de frutas y hortalizas de la Universidad Estatal de Bolívar*. Universidad Estatal de Bolívar, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Guaranda-Ecuador.
- Altamirano, J. (2022). *Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (Ipomoea batatas L), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio*. Universidad de Cuenca.
- Alvarenga, L., Dutra, M., Alvarenga, R., Lacerda, I., Yoshida, M., & Oliveira, E. (2015). Analysis of alcoholic fermentation of pulp and residues from pineapple processing. *CyTA - Journal of Food*, 13(1), 10-16.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19476337.2014.902865>
- Álvarez, F., & Huamán, C. (2020). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de un destilado a base de camote amarillo (Ipomoea batatas)*. Universidad de Lima, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Lima-Perú.
- Andrade, R., Torres, R., Montes, E., Pérez, O., Acuña, C., & Narváez, G. (2009). Obtención de aguardiente a partir de batata (Ipomoea batatas). *Temas Agrarios*, 14(1), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rta.v14i1.1208>
- Anjos, O., Frazao, D., & Caldeira, I. (2017). Physicochemical and Sensorial Characterization of Honey Spirits. *PubMed Central*.
- Armijos, G., Villacrés, E., Quelal, M., Cobeña, G., & Álvarez, J. (2020). Evaluación físico-química y funcional de siete variedades de camote provenientes de Manabí-Ecuador. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(2), 244-255.
- Balcerek, M., Pielech, K., Dziekońska, U., Patelski, P., & Różański, M. (2019). Effect of filtration on elimination of turbidity and changes in volatile compounds

- concentrations in plum distillates. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2049–2062. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s13197-019-03682-0>
- Barros, F. (2012). *Hidrólisis enzimática del almidón residual en extractos líquidos de camote (Ipomea batatas L.) para la elaboración de miel y estudio de sus propiedades funcionales*. Escuela Politécnica Nacional.
- Bednarska, K. (2015). *Kinetic modelling of enzymatic starch hydrolysis*. Universidad de Wageningen, Vlag Graduate School, Groningen-Países Bajos.
- Blanco, A., Quicazán, M., & Cuenca, M. (2012). Efecto de algunas fuentes de nitrógeno en la fermentación alcohólica de miel. *Vitae*, 19(1), 234-236.
- Blanco, I., Gregory, B., Guardarrama, R., & Vasallo, M. (2008). Sedimentos: errores cometidos en el proceso productivo de Vodka. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 43(13), 46-50.
- Boulton, C. (2020). El manual de elaboración de cerveza artesanal. En C. Boulton, *El manual de elaboración de cerveza artesanal* (págs. 111-152). Reino Unido: The Craft Brewing Handbook.
- Bunaciu, A., Aboul, H., & Dang, V. (2020). Alcoholic drink analysis. *Elsevier*, 205-224. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818827-9.00011>
- Buratti, S., & Benedetti, S. (2016). Alcoholic Fermentation Using Electronic Nose and Electronic Tongue. En M. Rodríguez, *Electronic Noses and Tongues in Food Science* (págs. 291-299). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800243-8.00028-7>
- Butnariu, M., & Butu, A. (2019). The Evolution and the Development Phases of Wine. En A. Grumezescu, & A. Holban, *Alcoholic Beverages* (Vol. 7, págs. 303-345). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815269-0.00010-6>
- Cabrera, F. (2012). *Bebidas Fermentadas*. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.
- Cao, J., Liu, K., Zhang, A., Yan, W., Zheng, Y., & Zeng, Q. (2018). <sup>1</sup>H-NMR and viscosity studies of hydrogen bonding of Chinese rice wine. *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 776-785. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/19476337.2018.1473497>

- Carreon, A., Suárez, A., Zurita, F., Gómez, S., Armando, F., Barcena, M., . . .  
Moreno, E. (2016). Assessment of Physicochemical Properties of Tequila  
Brands: Authentication and Quality. *Journal of Chemistry*, 13.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2016/6254942>
- Castro, J. (2015). *Bebida alcohólica a partir de camote (Ipomoea batata) utilizando  
dos especies de levaduras (Saccharomyces ellipsoideus y cerevisiae)*.  
Universidad Tecnológica Equinoccial, Santo Domingo de los Tsáchilas-  
Ecuador.
- Chan, S., Chul, H., & Han, Y. (2022). Energy-efficient ethanol recovery process using  
2-methyl pentanol extraction. *Fuel*, 310.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122393>
- Chidi, B., Bauer, F., & Rossouw, D. (2018). Organic Acid Metabolism and the Impact  
of Fermentation Practices on Wine Acidity: A Review. *South African Journal  
of Enology and Viticulture*, 39(2), 1-15.  
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.21548/39-2-3164>
- Cobeña, G., Cañarte, E., Mendoza, A., Cárdenas, F., & Guzmán, Á. (2017). *Manual  
técnico del cultivo de camote. Manual N° 106*. INIAP Estación Experimental  
Portoviejo. Manabí-Ecuador: Humus.
- Cueva, J., & Gonzales, C. (2015). *Obtención de alcohol a partir de camote de pulpa  
anaranjado (Ipomoea batata L)*. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo,  
Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Lambayeque-Perú.
- Cui, P., Li, Y., Cui, C., Huo, Y., Lu, G., & Yang, H. (2020). Proteomic and metabolic  
profile analysis of low-temperature storage responses in *Ipomoea batata*  
Lam. tuberous roots. *BMC plant biology*, 20(1), 435.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-020-02642-7>
- De la Cruz, M., Martínez, R., Becerril, E., & Chávaro, M. d. (2012). Caracterización  
física y química de vinos tintos producidos en Querétaro. *Revista fitotecnia  
mexicana*, 35(5), 61-67.
- Difford, S. (23 de 07 de 2022). *Distillation The Science of distillation*. Distillation  
The Science of distillation: [https://www.diffordsguide.com/en-  
au/encyclopedia/198/bws/distillation-the-science-of-distillation](https://www.diffordsguide.com/en-au/encyclopedia/198/bws/distillation-the-science-of-distillation)

- Du Toit, W. d. (2014). Processing and Impact on Antioxidants in Beverages. En W. d. Toit, *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (pág. 67). Academic Press.
- Escobar, A., Palomo, I., Rodriguez, L., Fuentes, E., Villegas, M., González, G., . . . Wall, A. (2022). Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Phenotypes: From Agroindustry to Health Effects. *Foods*, *11*(7), 1058.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/foods11071058>
- Ganigué, R., Sánchez, P., Bañeras, L., & Colprim, J. (2016). Low Fermentation pH Is a Trigger to Alcohol Production, but a Killer to Chain Elongation. *Frontiers in Microbiology*, *7*(702), 1-11.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00702>
- Garg, N. (2017). Technology for the Production of Agricultural Wines. En M. Kosseva, V. Joshi, & P. Panesar, *Science and Technology of Fruit Wine Production* (págs. 463-486). Academic Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800850-8.00008-9>
- Godbey, W. (2014). Chapter 16 - Fermentation, Beer, and Biofuels. En W. Godbey, *An Introduction to Biotechnology* (págs. 331-351). Woodhead Publishing.
- Hall, M., & Phatak, S. (1993). Sweet potato: *Ipomoea batatas* (L) Lam. En G. Kalloo, & B. Bergh, *Genetic Improvement of Vegetable Crops* (págs. 693-708). Pergamon Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-040826-2.50051-5>
- Heredia, S. (2006). Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, *3*(1), 89-103.
- Hoegger, R. (2022). *Distillation with a Rotary Evaporator*. Bucchi.
- Huamán, N., Reaño, G., & Allicca, E. (2016). Efecto del corte de cola y tiempo de guarda sobre las características fisicoquímicas del pisco de uva Italia. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, *82*(1), 3-14.
- Huamán, Z. (1992). *Botánica Sistemática y Morfología de la planta de Batata o Camote*. Boletín de información técnica 25, Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima-Perú.
- INEN 341. (1985). *Bebidas Alcohólicas. Determinación de la Acidez*.



- INEN 389. (1985). *Conservas vegetales. Determinación de ion hidrogeno (pH)*.
- INIAP. (2022). *Departamento de Nutrición y Calidad*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias-Estación experimental Santa Catalina: <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/estaciones/meecat/mdepeecat>
- Jackson, R. (2020). *Wine Science (Fifth Edition)*. En R. S. Jackson, *Wine Science (Fifth Edition)* (págs. 461-572). Academic Press.
- Leal, I., Tarantino, G., Hernández, R., & Morán, H. (2014). Efecto de la temperatura y el pH en la fermentación del mosto de Agave cocui. *Multiciencias*, 14(4), 375 - 381.
- Li, Z., & Wei, C. (2020). Morphology, structure, properties and applications of starch ghost: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 2084-2096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.077>
- Liu, X., Jia, B., Xiangyu, S., Ai, J., Wang, L., Wang, C., . . . Huang, W. (2015). Effect of Initial PH on Growth Characteristics and Fermentation Properties of *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Microbiology & Safety*, 80(4), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1750-3841.12813>
- Lyu, R., Ahmed, S., Fan, W., Yang, J., Wu, X., Zhou, W., . . . Wang, H. (2021). Engineering Properties of Sweet Potato Starch for Industrial Applications by Biotechnological Techniques including Genome Editing. *Techniques including Genome Editing. International journal of molecular sciences*, 22(17), 9533. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijms22179533>
- Mehani, I., Bouchekima, B., Eddine, L., & Mehani, M. (2018). Production of Bioethanol from Waste Dates in South Algeria: Study and Application. *Research Journal of Pharmacy and Technology (RJPT)*, 11(22), 5359-5364. <https://doi.org/10.5958/0974-360X.2018.00976.9>
- Menevseoglu, A., & Cabaroglu, T. (2021). Evaluating the chemical and metal contamination of commercial Raki, a grape-based alcoholic beverage from Turkey. *OENO One*, 55(3), 261–271. <https://doi.org/https://doi.org/10.20870/oeno-one.2021.55.3.4669>
- Miño, J., Martos, M., Herrera, J., & González, E. (2015). Fermentación alcohólica con mosto de uva niágara rosa y levaduras de la misma fruta. *Centro Azúcar*, 42(2), 10-20.

- Miranda, J. (2017). *Evaluación de una bebida alcohólica destilada a partir de dos variedades de camote (Ipomoea batatas) utilizando dos tipos de enzimas*. Los Ríos: Univerdidad Estatal de Quevedo.
- Mischnick, P., & Momcilovic, D. (2010). Chemical structure analysis of starch and cellulose derivatives. *Advances in carbohydrate chemistry and biochemistry*, 64, 117–210. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2318\(10\)64004-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0065-2318(10)64004-8)
- Mohanraj, R., & Sivasankar, S. (2014). Sweet Potato (Ipomoea batatas [L.] Lam) - A Valuable Medicinal Food: A Review. *Journal of Medicinal Food*, 17(7), 733–741. <https://doi.org/https://doi.org/10.1089/JMF.2013.2818>
- Moreno, M., Gutiérrez, G., Graterol, A., & Belén, D. (2002). Evaluación de un licor dulce acondicionado con cáscaras de mandarina. *Revista Científica FCV-LUZ*, 12(4), 271-277.
- Motlhanka, K., Zhou, N., & Lebani, K. (2018). Microbial and Chemical Diversity of Traditional Non-Cereal Based Alcoholic Beverages of Sub-Saharan Africa. *MDPI*.
- Motsa, N. M., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2015). Sweet potato (Ipomoea batatas L.) as a drought tolerant and food security crop. *South African Journal of Science*, 111(11-12), 1-8. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.17159/sajs.2015/20140252>
- Nieblas, C., Gallardo, I., Rodríguez, L., Sarría, F., Batista, J., & Pérez, M. (2017). *Obtención de jarabes glucosados por hidrólisis enzimática empleando almidón de sorgo CIAPR-132*. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Nigan, P., & Singh, A. (2014). Cocoa and Coffee Fermentations. *ScienceDirect, Volumen 1*, 485-492. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00074-4>.
- Oenobrand SAS. (2020). *Fermivin 7013*. Ficha Técnica, Montpellier-France.
- Oenobrand SAS. (2020). *Maxaferm*. Ficha Técnica, Montpellier-Francia.
- Pál, L., Muhollari, T., Bujdosó, O., Baranyai, E., Nagy, A., Árnayas, E., . . . Szűcs, S. (2020). Heavy metal contamination in recorded and unrecorded spirits. Should we worry? *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 116. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2020.104723>

- Palmer, G. (2016). *Beverages, Distilled*. Elsevier.
- Paredes, M., & Manzanillas, L. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de féculas de tres variedades de camote (Ipomea batata) para aplicaciones alimentarias*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Carrera de Ingeniería en Alimentos.
- Paxman, R., Stinson, J., Dejardin, A., McKendry, R., & Hoogenboom, B. (2012). Using Micromechanical Resonators to Measure Rheological Properties and Alcohol Content of Model Solutions and Commercial Beverages. *Sensors*, 12(5), 6497-6507. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s120506497>
- Pereira, R., Bidal, C., de Lima, A., Melo, D., Dantas, A., Lopes, G., . . . da Silva, M. (2012). Chemometric Characterization of Alembic and Industrial Sugar Cane Spirits from Cape Verde and Ceará, Brazil. *PubMed Central*.
- Pérez, O., Díaz, J., Zumalacárregui, L., & Gozá, O. (2010). Evaluación de propiedades físicas de mezclas etanol-agua (II). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*(52), 62-74.
- Poma, P. (2016). *Efecto de tres niveles de concentración de levadura Saccharomyces cerevisiae cepa CH 158 SIHA en la fermentación del zumo de aguaymanto (Physalis peruviana L.)*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Huancayo-Perú.
- Rainieri, S., Zambonelli, C., Tini, V., Castellari, L., & Giudici, P. (1998). The Effect of Ethanol Concentration on the Temporal Perception of Viscosity and Density in White Wine. *American Journal of Enology and Viticulture*, 49(3), 306-318.
- Robyt, J. (2008). Starch: Structure, Properties, Chemistry, and Enzymology. En B. Fraser, K. Tatsuta, & J. Thiem, *Glycoscience* (págs. 1437–1472). Heidelberg, Berlín, Alemania: Springer. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6\\_35](https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-540-30429-6_35)
- Roni, K., Kartika, D., Apriyadi, H., & Herawati, N. (2019). The Effect of Type and Concentration Yeast with Fermentation Time and Liquifaction Variations on the Bioethanol Concentration Resulted by Sorghum Seeds with Hydrolysis and Fermentation Processes. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 16(12), 5228–5232. <https://doi.org/10.1166/jctn.2019.8591>

- Rosales, N. (2022). *Caracterización del almidón de seis líneas de camote (Ipomoea batatas L.), obtenido con dos métodos de extracción*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Roullier, C., Duputié, A., Wennekes, P., Benoit, L., Fernández, V., Rossel, G., . . . Lebot, V. (2013). Disentangling the Origins of Cultivated Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *PLoS One*, *8*(5).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062707>
- Rózański, M., Pielech, K., & Balcerek, M. (2020). Influence of Alcohol Content and Storage Conditions on the Physicochemical Stability of Spirit Drinks. *Foods*, *9*(9), 1264. <https://doi.org/10.3390/foods9091264>
- Rueda, L. (2012). *Determinación de los parámetros cinéticos del extracto enzimático de Aspergillus spp. para la producción de jarabes de glucosa*. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga-Colombia.
- Salazar, G. (2010). *Estudio de la influencia de tres variedades de levaduras vínicas y levadura de panificación en la calidad sensorial del vino de manzana, variedad Emilia*. Proyecto de Trabajo de Graduación, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Ambato-Ecuador.
- Sánchez, D. (2019). *Bebida alcohólica tipo Vodka obtenida del camote (Ipomoea batata L.)*. Universidad Estatal de Quevedo, Facultad Ciencias Pecuarias, Mocache-Ecuador.
- Santamaría, P., Tenorio, C., Sota, C., Grajo, P., Gutiérrez, A., & López, R. (2005). Influencia del pH de la uva en la calidad del vino y en la formación de aminas biógenas. *Zubía Monográfico*, *16*(17), 69-82.
- Schweinberger, C., Trierweiler, J., & Trierweiler, L. (2018). A simple equation for total reducing sugars (trs) estimation on sweet potato and ethanol yield potential. *Scielo*, *10*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/0104-6632.20190361s20170404>
- Seung, D. (2020). Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function. *New Phytologist*, *228*(5), 1490-1504.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nph.16858>
- Silva, E., Souza, A., Nascimento, D., Ferreira, R., Duarte, S., Fernandes, J., & Soares, P. (2021). First Report of Root-Knot Nematode Meloidogyne

enterolobii Infecting Sweetpotato in the State of Rio Grande do Norte, Brazil. *Plant Disease*, 105(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1094/PDIS-11-20-2472-PDN>

- Sindhu, R., Shiburaj, S., Sabu, A., Fernandes, P., Singhal, R., Mathew, G., . . . Gandhi, R. (2021). 3.12 - Enzyme Technology in Food Processing: Recent Developments and Future Prospects. *Innovative Food Processing Technologies*, 191-215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00016-0>
- Spaho, N. (2017). Distillation Techniques in the Fruit Spirits Production. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.5772/66774>
- Stewart, P. (2014). Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition). *ELSEVIER*, 309-315.
- Suárez, C., Garrido, N., & Guevara-, C. (2016). Levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la producción de alcohol. Revisión bibliográfica. *ICIDCA*, 50(1), 20-28.
- Tadesse, S., Chandravanshi, B., Ele, E., & Zewge, F. (2017). Etanol, metanol, contenido de ácido y otros parámetros de calidad de las bebidas alcohólicas. *ResearchGate*, 21.
- Toit, W., & Oberholster, A. (2014). Antioxidants in Wine during Fermentation. En V. Preedy, *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages* (págs. 59-67). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404738-9.00007-6>
- Tovar, J., Bjoerck, I. M., & Asp, N. G. (1990). Analytical and Nutritional Implications of Limited Enzymic Availability of Starch in Cooked Red Kidney Beans. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(2), 488–493.
- Tunqui, C., Pardo, A., Tejada, G., & Cjuro, I. (2018). Evaluación de las características del destilado alcohólico de anís verde (*Pimpinella anisum* L.) obtenido por destilación simple. *Scielo*.
- Túqueres, A. (2015). *Influencia del tratamiento térmico sobre la composición química y capacidad antioxidante de dos variedades de camote (Ipomoea batata L.): Guayaco morado y Toquecita*. Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Quito-Ecuador.

- Udeagha, E., Ishiwu, C., Obiora, C., & Iwouno, J. (2020). Effects of Yeast Concentration and Total Soluble Solids on the Quality of Wine Produced from Pineapple. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 39(30), 28-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.9734/cjast/2020/v39i3030968>
- Ugochukwu, O., Jude, E., & Sophina, U. (2018). Table Wine Production From Mixed Fruits Of Soursop (Annona Muricata) And Pineapple (Ananas Comosus) Using Yeast From Palm Wine. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 12(3), 52-56. <https://doi.org/10.9790/2402-1203015256>
- UNLP. (2020). *Extracción - Química orgánica*. Ingeniería Química UNLP.
- Valderrama, J., Luis, T., & Faúndez, C. (2012). Advances on modeling and simulation of alcoholic distillation. Part 2: Process simulation. *ScienceDirect*, 90, 832-840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.003>.
- Vidal, A., Zaucedo, A., & Ramos, M. d. (2018). Propiedades nutrimentales del camote (Ipomoea batatas L.) y sus beneficios en la salud humana. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(2), 12–34.
- Warren, F., Fukuma, N., Mikkelsen, D., Flanagan, B., Williams, B., Lisle, A., . . . Gidley, M. (2018). Food Starch Structure Impacts Gut Microbiome Composition. *mSphere*, 3(3), 18-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.1128/mSphere.00086-18>
- Wu, Z., Wang, Z., & Zhang, K. (2021). Isolation and functional characterization of a glucose-6-phosphate/phosphate translocator (IbG6PPT1) from sweet potato (Ipomoea batatas (L.) Lam.). *BMC plant biology*, 21, 595. <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s12870-021-03372-0>
- Xu, Q., Yan, Y., & Feng, J. (2016). Efficient hydrolysis of raw starch and ethanol fermentation: a novel raw starch-digesting glucoamylase from *Penicillium oxalicum*. *Biotechnology for Biofuels*, 9(216). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s13068-016-0636-5>
- Zaccari, F., Cabrera, M., & Saadoun, A. (2019). Sweet Potato and Squash Storage. En P. Ferranti, E. Berry, & J. Anders, *Encyclopedia of Food Security and Sustainability* (Vol. 2, págs. 464-472). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22429-3>

- Zambrano, G. (2013). *Estudio técnico económico para la obtención de alcohol a partir del camote*. Trabajo de titulación, Universidad Central del Ecuador, Facultad de ingeniería Química, Quito - Ecuador.
- Zambrano, J. (2016). *Estudio agronómico de dos variedades de camote (Ipomoea batatas L)*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Agrarias, Guayaquil-Ecuador.
- Zamora, F. (2009). Biochemistry of Alcoholic Fermentation. En Fernando Zamora, *Biochemistry of Alcoholic Fermentation*. Nueva York, NY: MV, Polo, MC (eds).
- Zapata, S., Tamayo, A., & Alberto, B. (2013). Efecto de la fermentación sobre la actividad antioxidante de diferentes clones de cacao colombiano. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 18(3), 391-404.