

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



## FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

### CARRERA DE ALIMENTOS

**Tema: “Comparación de la hidrólisis ácida con la hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum L*)”.**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingeniera en Alimentos

**AUTORA:** Gavilima Moreno Damarys Leslie

**TUTOR:** MSc. León Revelo Gualberto Gerardo, PhD.

Tulcán, 2025.

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que la estudiante Gavilima Moreno Damarys Leslie con el número de cédula 100502416-9 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Comparación de la hidrólisis ácida con la hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L)."

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva



Firmado electrónicamente por:

**GUALBERTO GERARDO LEON REVELO**

Validar únicamente con FirmaEC

---

MSC. Gualberto Gerardo León Revelo, PhD.

**TUTOR**

Tulcán, julio de 2025

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniera en la Carrera de alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Gavilima Moreno Damarys Leslie con cédula de identidad número 100502416-9 respectivamente declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light-colored surface. The signature is stylized and appears to read 'Gavilima Moreno'.

---

Gavilima Moreno Damarys Leslie

**AUTORA**

Tulcán, julio de 2025

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Gavilima Moreno Damarys Leslie declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Comparación de la hidrólisis ácida con la hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum L*" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



---

Gavilima Moreno Damarys Leslie

**AUTORA**

Tulcán, julio de 2025

## **AGRADECIMIENTO**

Al terminar esta etapa universitaria, agradezco a todas las personas que me ayudaron a hacer posible la realización de este trabajo de investigación.

Agradezco a Dios, por darme la fuerza y sabiduría para así poder salir de cada obstáculo que se me presentaba.

A mi familia, por su amor incondicional, paciencia y motivación para alcanzar esta meta y así superarme como persona.

A mi tutor, por su guía, dedicación y conocimiento que me compartió a lo largo de este proceso. Gracias por su compromiso, ya que han sido muy esenciales para la culminación de mi trabajo de titulación.

A mis docentes, muchas gracias por la formación que tuve durante mis 5 años de carrera, gracias por la experiencia que se vivieron dentro de las aulas y prácticas, ya que he recibido una educación muy excelente.

Y por último, a mis compañeros de toda mi carrera, al grupito de 5 desde el primer trabajo, gracias amigos por formar parte de esta etapa, gracias por esas alegrías, tristezas y anécdotas compartidas.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por ayudarme a alcanzar mi sueño de ser una gran profesional, por guiarme con su presencia en los momentos más difíciles e iluminar cada paso de este camino, agradezco cada una de las bendiciones para así llegar a mi meta.

A mis padres, Amanda Moreno y William Gavilima por apoyarme en cada paso, por darme todo su amor incondicional, desde el primer momento que entré a la Universidad siempre han estado a mi lado. Han sacrificado tanto por mí, gracias a ustedes he aprendido lo que es valorar el sacrificio de padres, son mi mayor inspiración, gracias papitos, como dije la meta es mía, pero el triunfo es de ustedes, los amo.

Dedico a mi abuelito Carlos Moreno, mi ángel, yo sé que desde el cielo has guiado mis pasos, muchas gracias abuelito, te prometí que iba a alcanzar mi sueño y ahora te lo estoy cumpliendo, te mando muchos besos al cielo, gracias abuelito.

A mi hijo Thiago Gavilima, lo amo con mi vida, gracias por ser mi mayor motivación y mi luz, esta meta también es para ti mi pequeño, mi familia.

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional, por ser un refugio y darme fuerza en cada paso de este camino. Los quiero mucha familia, gracias por todo, ahora si seré la mejor profesional como siempre me lo han dicho.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	13
<b>ABSTRACT</b> .....	14
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	15
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	17
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	18
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	19
1.4.1. Objetivo General .....	19
1.4.2. Objetivos Específicos .....	19
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	19
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	20
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	20
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	21
2.2.1. Generalidades de la papa .....	21
2.2.1.1. Definición de la papa .....	21
2.2.1.2. Producción de papa.....	21
2.2.1.3. Importancia del cultivo de papa .....	22
2.2.1.4. Variedad de papas.....	23
2.2.1.5. Papa super chola .....	24
2.2.1.6. Usos de las papas .....	24
2.2.2. Generalidades del almidón .....	24
2.2.2.1. Almidón .....	24
2.2.2.2. Almidón de papa .....	25
2.2.2.3. Tipos de almidón.....	27

2.2.2.4. Almidón resistente de la papa .....	28
2.2.2.5. Usos del almidón .....	29
2.2.2.6. Propiedades fisicoquímicas del almidón de papa .....	29
2.2.3. Jarabes.....	30
2.2.3.1. Definición de jarabes .....	30
2.2.3.2. Características de los jarabes.....	31
2.2.4. Hidrólisis del almidón.....	31
2.2.4.1. Hidrólisis ácida .....	31
2.2.4.2. Hidrólisis enzimática .....	32
2.2.5. Enzimas .....	33
2.2.5.1. Definición de las enzimas .....	33
2.2.5.2. $\alpha$ - amilasa.....	33
2.2.5.3. $\beta$ - amilasa.....	34
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
<b>3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO .....</b>	<b>35</b>
3.1.1. Enfoque .....	35
3.1.2. Tipo de Investigación .....	35
<b>3.2. HIPÓTESIS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES .....</b>	<b>36</b>
3.3.1. Definición de las variables.....	36
3.3.2. Operacionalización de variables.....	36
<b>3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>38</b>
3.4.1. Diseño experimental.....	38
3.4.1.2. Descripción de la hidrólisis enzimática .....	38
3.4.1.1. Descripción de la hidrólisis ácida .....	39
<b>3.5. MÉTODOS UTILIZADOS .....</b>	<b>41</b>

3.5.1. Extracción de almidón de papa .....	41
3.5.2. Obtención del jarabe de glucosa .....	42
3.5.2.1. Proceso de producción de jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática .....	42
3.5.2.2. Proceso de producción de jarabe de glucosa mediante hidrólisis ácida .....	44
3.5.3. Métodos fisicoquímicos.....	47
3.5.3.1. Determinación de azúcares reductores .....	47
3.5.3.2. Determinación de grados Brix (°Brix).....	48
3.5.4. Diseño de la planta .....	49
3.5.5. Análisis de costos .....	49
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1. RESULTADOS .....</b>	<b>52</b>
4.1.1. Análisis fisicoquímicos del jarabe de glucosa .....	52
4.1.1.1. Azúcares reductores (g/L) después de la hidrólisis enzimática .....	52
4.1.1.2. Grados Brix después de la hidrólisis enzimática .....	53
4.1.1.3. Diseño de la planta para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática .....	56
4.1.1.4. Costo unitario del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática .....	58
4.1.2. Análisis fisicoquímicos del jarabe de glucosa .....	59
4.1.2.1. Azúcares reductores (g/L) después de la hidrólisis ácida .....	59
4.1.2.2. Grados Brix después de la hidrólisis ácida .....	60
4.1.2.3. Diseño de la planta para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida.....	63
4.1.2.4. Costo unitario del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida .....	65
<b>4.2. DISCUSIÓN .....</b>	<b>65</b>

<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>VII. ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables del jarabe de glucosa .....	37
Tabla 2. Obtención del jarabe de glucosa mediante la hidrólisis enzimática .....	39
Tabla 3. Obtención del jarabe de glucosa mediante la hidrólisis ácida .....	40
Tabla 4. Azúcares reductores de la hidrólisis enzimática .....	52
Tabla 5. Supuestos para las pruebas paramétricas .....	52
Tabla 6. Prueba de diferencia significativa entre tratamientos Kruskal Wallis .....	53
Tabla 7. °Brix alcanzados después de hidrólisis enzimática .....	53
Tabla 8. Supuestos para determinar parametricidad en los resultados de °Brix .....	53
Tabla 9. Prueba Kruskal Wallis.....	54
Tabla 10. Prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos .....	54
Tabla 11. Análisis de costos.....	58
Tabla 12. Azúcares reductores de la hidrólisis ácida .....	59
Tabla 13. Supuestos para las pruebas paramétricas .....	59
Tabla 14. Análisis de varianza para azúcares reductores después de hidrólisis ácida.....	59
Tabla 15. Prueba de Tukey para el factor concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón .....	60
Tabla 16. °Brix alcanzados después de hidrólisis ácida .....	60
Tabla 17. Supuestos para determinar parametricidad en los resultados de °Brix alcanzados después de la hidrólisis ácida.....	61
Tabla 18. Prueba Kruskal Wallis.....	61
Tabla 19. Prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos .....	61
Tabla 20. Análisis de costos.....	65
Tabla 21. Resumen de los resultados mediante hidrólisis enzimática y ácida.....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Almidón de papa.....	27
Figura 2. Enzima $\alpha$ - amilasa.....	33
Figura 3. Enzima $\beta$ – amilasa .....	34
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de hidrólisis enzimática .....	42
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de hidrólisis ácida .....	45
Figura 6. Curva de calibración de la glucosa .....	48
Figura 7. Azúcares reductores generados en el tiempo de hidrólisis enzimática .....	55
Figura 8. °Brix generados en el tiempo de hidrólisis enzimática.....	55
Figura 9. Planta de obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática.....	56

Figura 10. Azúcares reductores generados en el tiempo de hidrólisis ácida .....	62
Figura 11. °Brix generados en el tiempo de hidrólisis ácida.....	62
Figura 12. Planta de obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida. ....	63
Figura 13. Selección.....	76
Figura 14. Tamizado .....	76
Figura 15. Decantación.....	76
Figura 16. Almacenado .....	76
Figura 17. Secado .....	76
Figura 18. Pesado de materia prima y ácido clorhídrico .....	77
Figura 19. Lectura de azúcares reductores y ° Brix .....	77
Figura 20. Pesado de almidón de papa y enzimas alfa y beta amilasas .....	77
Figura 21. Lectura de azúcares reductores y ° Brix .....	77
Figura 22. Pesado de materia prima.....	77
Figura 23. Hidrólisis ácida .....	77

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC .....	73
Anexo 2. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	74
Anexo 3. Proceso de extracción del almidón de papa .....	76
Anexo 4. Análisis de azúcares reductores .....	77
Anexo 5. Hidrólisis enzimática.....	77
Anexo 6. Hidrólisis ácida.....	77

## RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue comparar el método de hidrólisis ácida con la enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L). Se emplearon dos metodologías principales: la hidrólisis ácida, utilizando ácido clorhídrico (HCl) en concentraciones de 1%, 3% y 5 % a 35 °C, y la hidrólisis enzimática, con combinaciones de  $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa en concentraciones de 1% y 2 % a 70 °C. Las muestras preparadas con 6%, 9% y 12 % de almidón fueron sometidas a ambos procesos. Para evaluar los resultados, se determinaron los azúcares reductores mediante espectrofotometría y los grados °Brix con un refractómetro. Los resultados demostraron que el mejor tratamiento enzimático fue T2 (6 % almidón + 2 %  $\alpha$ -amilasa + 2 %  $\beta$ -amilasa), alcanzando 18.80 °Brix y un contenido de azúcares reductores de 2.18 g/L. En el método ácido, el tratamiento T6 (12 % almidón + 3 % HCl) obtuvo los valores más altos, con 13.70 °Brix y 2.13 g/L de azúcares reductores. Se determinó que el método ácido para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa presenta el menor costo unitario de producción, con un valor de 4.66 \$/kg, en comparación con el método enzimático, que alcanzó 5.39 \$/kg. En conclusión, ambos métodos son viables para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa, destacando la hidrólisis enzimática por sus resultados, pero la elección depende de los objetivos de producción, costos y consideraciones de seguridad.

**Palabras Claves:** *Solanum tuberosum*, almidón, hidrólisis,  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -amilasa.

## ABSTRACT

The objective of this research was to make a comparison between the acid hydrolysis method and enzymatic hydrolysis for the production of glucose syrup from potato starch (*Solanum tuberosum* L). Two main methodologies were used: acid hydrolysis, using hydrochloric acid (HCl) at concentrations of 1%, 3%, and 5% at 35 °C, and enzymatic hydrolysis, using combinations of  $\alpha$ -amylase and  $\beta$ -amylase at concentrations of 1% and 2% at 70 °C. Starch samples prepared at 6%, 9%, and 12% concentrations were subjected to both processes. To evaluate the results, reducing sugars were measured via spectrophotometry, and °Brix levels were determined using a refractometer. The best enzymatic treatment was T2 (6% starch + 2%  $\alpha$ -amylase + 2%  $\beta$ -amylase), which grasped 18.80 °Brix and a reducing sugar content of 2.18 g/L. In the acid method, treatment T6 (12% starch + 3% HCl) reached the highest values, with 13.70 °Brix and 2.13 g/L of reducing sugars. It was established that the acid method has the lowest unit production cost for obtaining glucose syrup from potato starch, at \$4.66/kg, compared to the enzymatic method, which reached \$5.39/kg. In conclusion, both methods are feasible for producing glucose syrup from potato starch, with enzymatic hydrolysis standing out for its outcomes, though the choice depends on production goals, costs, and safety considerations.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*, starch, hydrolysis,  $\alpha$ -amylase,  $\beta$ -amylase

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en la obtención de un jarabe de glucosa a partir del almidón de papa, con el objetivo de implementar en las industrias alimentarias, dado que la papa es una materia prima atractiva por su pureza y concentración.

La producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) es, después del maíz, de gran importancia económica para Ecuador. Gran parte de esta producción se destina al consumo fresco, lo que provoca el desaprovechamiento de ciertos volúmenes (Lazo y Sarmiento, 2021). El componente más relevante en la producción es el almidón, que desempeña un papel esencial en la alimentación debido a su versatilidad y aplicaciones en la agroindustria, gracias a sus propiedades espesantes y gelificantes, que aportan características funcionales y nutricionales a los productos (Montoya et al., 2023).

Las investigaciones en alimentos buscan optimizar los resultados mediante diferentes procesos, enfocándose en productos alimenticios menos aprovechados y predominantes en las regiones agrícolas del país. Por ello, se pretende implementar métodos de extracción del almidón de papa para su uso en la obtención de productos como jarabes de glucosa, que son edulcorantes prominentes en la industria alimentaria.

Para la obtención del jarabe de glucosa, se establecen dos procesos de hidrólisis: ácida y enzimática. Esta investigación se enfoca en comparar ambos métodos, lo que requiere describir los procedimientos para la extracción del almidón de papa.

La hidrólisis consiste en romper las moléculas de almidón en cadenas más cortas, liberando azúcares. El manejo de las enzimas y del ácido requiere protocolos estrictos de laboratorio para garantizar la validez de los resultados (Pardo et al., 2004). Se realizará la caracterización de los jarabes de glucosa obtenidos mediante hidrólisis enzimática y ácida, determinando el porcentaje de azúcares reductores y los grados Brix en cada caso.

Este estudio presenta un análisis comparativo de los procesos de hidrólisis para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa. Para determinar los azúcares reductores se emplea espectrofotometría, y los grados Brix se miden con un refractómetro, siguiendo los procedimientos establecidos. Los datos se tabulan para cada tratamiento en ambos métodos y se analizan estadísticamente.

El análisis estadístico descriptivo incluye la comparación de medias para determinar los mejores porcentajes y rendimientos. Mediante un diseño completamente al azar con dos factores, se evalúan la normalidad, homocedasticidad e independencia de los datos con pruebas como Shapiro-Wilk. Estos supuestos permiten aplicar pruebas que sustentan las diferencias significativas entre tratamientos, como la prueba de Kruskal-Wallis. Así, se determinará qué método ofrece mejores resultados en términos de azúcares reductores y grados Brix para el jarabe de glucosa obtenido del almidón de papa.

La discusión de los resultados, basada en los valores de azúcares reductores y grados Brix para cada método de hidrólisis, responderá las preguntas de investigación y concluirá sobre los hallazgos más relevantes desde una perspectiva técnica y pedagógica, identificando los métodos más eficientes (Mallaupoma y Ramos, 2014). De esta manera, la investigación aporta respuestas científicas contundentes para mejorar los procesos de obtención de productos de importancia económica, desde la producción primaria de papa hasta la optimización industrial en la extracción del almidón y la producción de jarabe de glucosa, productos esenciales en la alimentación ecuatoriana.

## I. EL PROBLEMA

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, Ecuador importa jarabe de glucosa de países como Colombia y China, con una demanda anual que ha fluctuado entre 12 000 y 13 000 toneladas, proyectándose un aumento hasta 16 000 toneladas en los próximos años. Los principales métodos para producir jarabe de glucosa emplean ácidos y bases fuertes, utilizando como materias primas principalmente almidón de maíz, trigo y papa (Miranda y Ernesto, 2022).

El jarabe glucosado, también conocido como glucosa líquida, se obtiene mediante la hidrólisis del almidón de fuentes como maíz, arroz, papa, cebada y trigo. Es una solución acuosa de glucosa con un contenido de azúcares reductores que varía entre el 40 % y el 90 %. Este producto posee propiedades que lo hacen un ingrediente versátil en la industria alimentaria y biotecnológica, actuando como edulcorante natural con un poder calórico similar al de la sacarosa, pero con un índice glucémico más bajo. Además, funciona como humectante eficaz, ayudando a retener la humedad en los alimentos (Casas et al., 2013).

En Ecuador, la producción de papa (*Solanum tuberosum L.*) ocupa 25 000 hectáreas, con un rendimiento promedio anual de 35 toneladas por hectárea. Este tubérculo se cultiva principalmente en la región Sierra y es el segundo producto agrícola con mayor producción después del maíz suave. Las provincias de Carchi, Chimborazo y Tungurahua concentran el 56.7 % de la superficie cosechada, siendo Carchi responsable del 46 % de la producción nacional. Sin embargo, el valor comercial de la papa varía según la oferta y demanda, lo que genera pérdidas para el productor y desaprovecha sus propiedades nutricionales. Además, los estudios realizados no han sido suficientemente valorados, ya que los productos derivados de la papa no se consideran una alternativa viable para obtener mayor valor agregado (Miranda y Ernesto, 2022).

La cadena de valor de la papa carece de interés a nivel nacional, lo que limita la existencia de industrias que utilicen este producto como materia prima, especialmente en la provincia del Carchi. Por lo tanto, es fundamental buscar alternativas que generen valor agregado a este tubérculo, impulsando el crecimiento económico y contribuyendo a la reducción del desperdicio alimentario.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo afecta el método de la hidrólisis ácida en comparación con la hidrólisis enzimática en la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum L*)?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Esta investigación pretende aportar al sector de la industria alimentaria, facilitando la implementación de estudios sobre nuevos productos y el desarrollo de metodologías innovadoras. La demanda de jarabe de glucosa ha crecido en los mercados industriales debido a sus múltiples aplicaciones, que mejoran la durabilidad y calidad de los productos para el consumidor. Estos jarabes se elaboran a partir de materias primas como maíz, trigo y papa.

El jarabe glucosado está compuesto principalmente por glucosa, un carbohidrato esencial que proporciona energía rápida y eficiente al organismo. Su proceso de fabricación implica la eliminación de impurezas y otros azúcares, resultando en un producto más puro y concentrado (Casas et al., 2013).

En la provincia del Carchi, la papa se cultiva principalmente para consumo directo, lo que implica un desaprovechamiento de sus beneficios y limita su uso como insumo para la elaboración de almidón. Según Punina (2013), el 90 % de la papa en Ecuador se consume fresca. Su uso industrial incluye la producción de papas fritas, almidón, alcohol y celulosa. Desde 1994, el consumo anual de papa ha aumentado en un 6 %. Las industrias utilizan aproximadamente 50 000 toneladas de papa al año, representando solo el 10 % de la producción total.

El almidón es ampliamente utilizado en la industria, principalmente para la elaboración de jarabe de glucosa requerido por heladerías, confiterías, entre otros (Bernal et al., 2017). Considerando la producción de papa en Carchi, se han explorado alternativas para la obtención de almidón mediante procesos ácidos, con

bases fuertes y enzimáticos, con el fin de aprovechar este tubérculo para la industrialización y producción de jarabe de glucosa.

#### **1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Comparar el método de hidrólisis ácida con la hidrólisis enzimática en la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa (*Solanum tuberosum L*).

##### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Describir los parámetros para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa.
- Identificar el mejor método de hidrólisis para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa.
- Analizar costos de la producción del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa.

##### **1.4.3. Preguntas de Investigación**

- ¿Cuáles son los parámetros para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa?
- ¿Cuál es el efecto del método de hidrólisis ácida o enzimática en la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa?
- ¿Cuál es el costo de producción de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación de Caiza (2023), evaluó el uso del jarabe de almidón de papa variedad súper chola en la producción de mermelada de mora. Este estudio se dividió en dos etapas: la primera consistió en caracterizar los jarabes obtenidos mediante hidrólisis enzimática y ácida, y la segunda en la elaboración de mermeladas con diferentes porcentajes de jarabe. Los resultados concluyeron que el jarabe obtenido por hidrólisis enzimática es una opción adecuada para la elaboración de mermelada de mora, destacando el tratamiento T2, con un 15 % de jarabe, por sus mejores características organolépticas y rentabilidad.

Cieza y Díaz (2018) investigaron la obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (*Solanum tuberosum*) por hidrólisis química y enzimática, con el objetivo de comparar ambos métodos. Utilizaron HCl a diferentes concentraciones (2, 4 y 6 %) y tiempos para la hidrólisis ácida (2, 4 y 6 h), y celulasa a distintas concentraciones (0.05, 0.1 y 0.2 %) para la enzimática en el mismo tiempo, evaluando el rendimiento de azúcares reductores obtenidos. Encontraron que la hidrólisis enzimática alcanzó un rendimiento máximo de 10.09 mg/mL, superior al máximo de 2.93 mg/mL obtenido por hidrólisis ácida, concluyendo que la hidrólisis enzimática es más eficiente para la obtención de azúcares reductores a partir de residuos de papa.

Según Decheco (2015), La investigación tuvo como objetivo evaluar la hidrólisis del almidón de yuca al 30 % p/v mediante métodos ácido y enzimático para la producción de jarabe de glucosa. En la hidrólisis ácida se analizó el efecto de tres concentraciones de HCl (1, 3 y 5 %), encontrando que la mayor generación de azúcares reductores y equivalente de dextrosa (ED) se obtuvo con 5 % de ácido. En la hidrólisis enzimática se utilizó  $\alpha$ -amilasa fúngica al 1 % y se evaluaron temperaturas de licuefacción de 65, 70 y 75 °C, siendo 70 °C la más efectiva. Se observaron diferencias significativas en los rendimientos entre los tratamientos, destacando la hidrólisis enzimática como la más eficiente, al obtener un mayor contenido de azúcares reductores y ED, así como un producto final con mayor valor agregado.

Castillo (2018), en su trabajo de investigación en la comunidad de Cotopaxi desarrolló tres fórmulas de bebida gaseosa de mortiño. Un panel de consumidores evaluó la aceptabilidad y se realizó un análisis de costos para la fórmula más aceptada. No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, aunque la versión con azúcar fue ligeramente preferida por enmascarar el amargor del arándano. Las fórmulas con Stevia y sucralosa fueron consideradas innovadoras. Además, el producto demostró ser rentable, generando una ganancia de 0.23 centavos por cada dólar invertido.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Generalidades de la papa**

#### **2.2.1.1. Definición de la papa**

Las plantas de papa son herbáceas y dicotiledóneas, lo que significa que poseen dos cotiledones en sus semillas. Presentan un porte que puede ser trepador o erecto, dependiendo de la variedad. Los tallos son gruesos, nudosos y están cubiertos de tricomas (pelos); además, tienen la capacidad de formar tubérculos a partir de los tallos o de las yemas axilares. Los tubérculos son órganos subterráneos de almacenamiento que contienen almidón, proteínas y otros nutrientes. La forma, el color y el tamaño de los tubérculos varían según la variedad (Cuesta et al., 2022).

#### **2.2.1.2. Producción de papa**

En Ecuador, la producción de papa alcanzó las 345 900 toneladas, cultivadas en una superficie de 49 371 hectáreas. El 98.56 % de la superficie sembrada se localiza en la región Sierra, mientras que el 1.11 % y el 0.33 % se encuentran en la región Costa y en la región Oriental, respectivamente. Carchi es la provincia con mayor producción, concentrando el 28 % del total nacional. Le siguen las provincias de Chimborazo (23 %), Cotopaxi (18 %), Pichincha (12 %) y Tungurahua (10 %). Otras provincias andinas presentan rendimientos significativamente menores. El rendimiento promedio nacional es de 7.3 toneladas por hectárea, con una tendencia decreciente de norte a sur, desde Carchi, con 15.5 toneladas/ha, hasta Loja, con 1.9 toneladas/ha (Cuesta et al., 2022).

### **2.2.1.3. Importancia del cultivo de papa**

La papa es un cultivo fundamental dentro del sistema productivo de la Sierra ecuatoriana, ya que constituye la principal fuente de alimento e ingreso para las familias rurales. Su cultivo se realiza a altitudes que oscilan entre los 2700 y 3400 m.s.n.m., a lo largo del corredor andino transcontinental. Las zonas de mayor productividad se ubican entre los 2900 y 3300 m.s.n.m., donde las temperaturas promedio varían entre 9 y 11 °C (Racines et al., 2023).

La papa es un alimento básico en la dieta de numerosas poblaciones a nivel mundial. Constituye una fuente importante de carbohidratos, proteínas, fibra, minerales y vitaminas, nutrientes esenciales para una alimentación saludable y equilibrada. Además, la papa tiene aplicaciones en la industria alimentaria, donde se utiliza para la producción de almidón y alimentos instantáneos. Puede ser preparada de diversas formas, como papas fritas, puré de papa o papas a la francesa (Pumisacho y Sherwood, 2002).

**Importancia económica.** La papa es un cultivo de gran relevancia para la economía de muchos países, incluido Ecuador. En la Sierra ecuatoriana, constituye un componente esencial del sistema productivo, al representar la principal fuente de alimento e ingresos para los núcleos familiares rurales.

**Importancia nutricional.** Las papas tienen buena fuente de carbohidratos, que proporcionan energía. También son una buena fuente de fibra, ya que ayuda a regular el tránsito intestinal. Las papas contienen proteínas, pero en menor cantidad que otros alimentos como la carne, los huevos o los lácteos. Sin embargo, son una buena fuente de proteínas para las personas que no consumen estos alimentos.

Las papas también representan una buena fuente de vitaminas y minerales. Contienen vitamina C, esencial para el fortalecimiento del sistema inmunológico, así como vitaminas del complejo B, fundamentales para el adecuado funcionamiento del metabolismo. Además, son una fuente importante de potasio, mineral clave para la función muscular y la transmisión nerviosa.

**Usos industriales.** El almidón de papa se utiliza en una amplia variedad de productos, tales como alimentos procesados, papel, textiles y cosméticos. Asimismo, las papas se emplean en la elaboración de chips, puré y otros alimentos procesados.

#### 2.2.1.4. Variedad de papas

Según (Cuesta et al., 2022), todas las papas cultivadas a nivel mundial pertenecen a la misma especie: *Solanum tuberosum*. No obstante, en Ecuador existe una gran diversidad de variedades que presentan distintas características en cuanto a tamaño, forma, color, textura, calidad y sabor. Estas variedades se pueden clasificar en dos grupos: nativas y mejoradas.

**Variedades nativas.** Las variedades nativas de papa son cultivares locales que han sido seleccionados y conservados a lo largo de miles de años, adaptándose a las condiciones agroecológicas específicas del Ecuador. Estas variedades se caracterizan por su alto contenido nutricional y por ofrecer un sabor distintivo.

**Variedades mejoradas.** Las variedades mejoradas de papa son el resultado de procesos de selección genética desarrollados por institutos de investigación agrícola. Estas variedades presentan un mayor rendimiento, mayor resistencia a enfermedades y plagas, así como una calidad culinaria superior.

**Especies de papa.** Las papas cultivadas en Ecuador pertenecen a dos especies: *Solanum tuberosum* y *Solanum phureja*. La especie *Solanum tuberosum* es la más común, representando el 95 % de la producción nacional. Por su parte, *Solanum phureja* es una variedad andina que se cultiva principalmente en las zonas altas del país.

**Otras especies silvestres.** Además de las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum phureja*, otras especies silvestres de papa, como *Solanum demissum* y *Solanum verifolium*, han sido utilizadas como líneas parentales en los programas de mejoramiento genético de la papa.

**Distribución geográfica.** Cada región del país produce diversas variedades de papa. En la Sierra ecuatoriana, el cultivo se desarrolla en zonas montañosas situadas entre los 2700 y 3400 metros de altitud. Las provincias con mayor producción son Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha y Tungurahua.

Originalmente se cultivaban en altitudes por encima de los 3000 m.s.n.m. A esta altitud, la profunda radiación solar y el suelo orgánico andino les dan a estas papas un carácter natural especial, además, se cultivan principalmente sin el uso de fertilizantes químicos y utilizando mínimos plaguicidas (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Las papas primitivas son variedades que han sido seleccionadas natural y artificialmente durante miles de años. Son diversas y adaptadas a condiciones adversas, lo que les permite tener una productividad baja pero estable. De porte semirecto y tiene tubérculos con ojos profundos, de forma oblonga y armoniosa, la piel es negra con algunas manchas moradas. La pulpa del tubérculo es de color crema con anillos vasculares morados. Los cogollos son morados. La planta tiene una reacción intermedia a las heladas, la estación seca, el endurecimiento y la pudrición del tubérculo. Puede ser almacenada durante aproximadamente 1 a 2 meses (Racines et al., 2023).

#### **2.2.1.5. Papa super chola**

La variedad de papa Súper Chola es un cultivar que puede consumirse tanto fresca como procesada. Presenta un tamaño mediano y forma elíptica a ovalada, con piel rosada y lisa, ojos superficiales y pulpa de color amarillo pálido (Cuesta et al., 2022).

#### **2.2.1.6. Usos de las papas**

Las papas tienen múltiples usos posteriores a la cosecha, más allá del consumo humano directo. De hecho, solo el 50 % de la producción mundial se destina al consumo fresco. El restante se utiliza para la alimentación animal, la producción de almidón industrial y la obtención de semillas para la siguiente cosecha (Ministerio de Agricultura y Riego, 2020).

**Usos alimentarios.** Las papas se utilizan para el consumo fresco o congelado, para la producción de chips, hojuelas y gránulos de papa deshidratada, almidón y bebidas alcohólicas.

**Usos no alimentarios.** Caucho, alimento para animales y etanol para la producción de combustible.

**Semillas de papa.** Utilizado para renovar el ciclo.

### **2.2.2. Generalidades del almidón**

#### **2.2.2.1. Almidón**

El almidón es un carbohidrato complejo presente en numerosos alimentos, como granos, tubérculos, raíces, legumbres, frutas, tallos y hojas. Constituye la principal fuente de energía para el cuerpo humano (Hernández et al., 2008). Desde el punto

de vista molecular, el almidón es un polímero de glucosa, cuya estructura está formada por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1→4) y  $\alpha$ -D-(1→6), los cuales son digeribles por enzimas. Este polímero está compuesto por dos estructuras principales: la amilosa, un polímero lineal, y la amilopectina, un polímero ramificado (Parada y Rozowski, 2008).

Según Vera y Chavarría (2020), el almidón como materia prima posee un amplio campo de aplicaciones en la industria alimentaria, actuando como ingrediente funcional con propiedades espesantes, estabilizantes y gelificantes. Además, tiene la capacidad de conferir textura y consistencia a los alimentos. También se utiliza en la obtención de jarabes hidrolizados que se adicionan como edulcorantes.

#### **2.2.2.2. Almidón de papa**

Según Chaves y Mejía (2022), el almidón de papa es un almidón alimentario que se obtiene de los tubérculos de la papa *Solanum tuberosum*. Es un almidón altamente refinado que tiene una serie de propiedades únicas, como:

**Alto contenido de fósforo.** El almidón de papa contiene aproximadamente un 0.5 % de fósforo, una proporción superior a la de cualquier otro almidón alimentario. El fósforo es un mineral esencial para la salud humana, y el almidón de papa representa una buena fuente de este nutriente.

**Alta viscosidad.** El almidón presenta una alta viscosidad, lo que le permite formar geles y suspensiones estables. Esta propiedad lo hace ideal para diversas aplicaciones, como la elaboración de alimentos procesados, la fabricación de papel y el procesamiento de textiles.

**Alta capacidad de hinchamiento.** El almidón tiene una alta capacidad de hinchamiento, lo que significa que puede absorber grandes cantidades de agua. Esta propiedad lo hace ideal para la preparación de alimentos, ya que ayuda a que los alimentos se mantengan húmedos y jugosos.

**Alta claridad del gel.** El almidón de papa produce geles claros y transparentes. Esta propiedad lo hace ideal para la producción de alimenticios como helados, yogur y sopas.

**Baja tendencia a la degradación.** El almidón de papa es resistente a la degradación por calor y humedad. Esta propiedad lo hace ideal para aplicaciones industriales como: la elaboración de papel y la producción de textiles.

**Gran tamaño de gel y gránulo.** El almidón de papa tiene un gran tamaño de gel y gránulo. Esta propiedad lo hace ideal para la preparación de alimentos, ya que ayuda a que los alimentos se mantengan firmes y no se deshagan fácilmente.

Los cereales constituyen una fuente importante de almidón para la alimentación humana. El maíz es el cereal más cultivado para la producción de almidón, seguido por el trigo y el arroz. El almidón proveniente de cereales se utiliza en una amplia variedad de productos alimenticios, como pan, pasta, galletas, cereales y dulces (Villarreal et al., 2018).

El proceso de extracción de almidón en el laboratorio tiene como objetivo obtener un producto final de alta pureza, libre de lípidos, proteínas, cenizas y fibras. El método de extracción varía según la fuente del almidón. En el caso de raíces y tubérculos, uno de sus principales componentes es el almidón, que actúa como la principal reserva de energía, siendo la amilopeptina la fracción más abundante, con un 70 %.

Para extraer almidón de cereales, como el maíz, el trigo o el arroz, se utilizan procesos de molienda y lavado. Los granos se muelen para romper las paredes celulares y liberar el almidón, el cual es posteriormente lavado para eliminar proteínas, lípidos, cenizas y fibras (Maza et al., 2021).

Para el proceso de extracción del almidón de papa se siguen pasos minuciosos con el fin de asegurar la calidad del producto. Según Vera y Chavarría (2020), el proceso comienza con la selección de la materia prima, descartando los tubérculos en mal estado. Posteriormente, las papas son lavadas, cortadas y trituradas. El producto triturado se somete a un proceso de filtrado con ayuda de un lienzo, con el objetivo de separar las fibras del almidón. Luego se realiza un proceso de sedimentación, mediante el cual se separa el almidón del agua. Finalmente, el almidón recuperado es sometido a secado, molienda y tamizado, para su posterior almacenamiento.

Para obtener almidón de tubérculos, como la papa o la yuca, se puede emplear un proceso de hidrólisis enzimática. En este método, las enzimas rompen las cadenas de glucosa del almidón, liberando los azúcares. Estos azúcares se separan del almidón mediante un proceso de filtración. En ambos casos, la extracción se realiza de forma

cuidadosa para evitar daños mecánicos o alteraciones en las propiedades funcionales del almidón (Chaves y Mejía, 2022). La Figura 1 representa el almidón de papa.



**Figura 1.** Almidón de papa  
**Fuente.** (Bravo y Chavarría,2020)

### 2.2.2.3. Tipos de almidón

Las papas están compuestas por un 80 % de agua y un 20 % de materia seca. El almidón representa entre el 60 % y el 70 % de la materia seca. El almidón es un polisacárido formado por cadenas de glucosa, y se presenta en dos formas: amilosa y amilopectina. La amilosa es una cadena lineal de glucosa, mientras que la amilopectina es una cadena ramificada. En la papa, la proporción entre amilosa y amilopectina es aproximadamente de 1:2, lo que le confiere una adecuada combinación de viscosidad y capacidad de hinchamiento (Molina, 2022).

Según Molina (2022), los almidones se pueden clasificar de varias maneras, según su origen, su estructura o sus propiedades:

Por su origen, los almidones se pueden clasificar en:

**Almidones de cereales.** Se encuentran en el maíz, el trigo, el arroz y el sorgo.

**Almidones de tubérculos.** Se encuentran en los tubérculos, como la papa, la yuca y la batata.

**Almidones de legumbres.** Se encuentran en los frijoles, las lentejas y los garbanzos.

**Almidones de frutas.** Se encuentran en algunas frutas, como el plátano, el mango y la banana.

**Almidones de nueces y semillas.** Se encuentran en las almendras, las nueces y las semillas de girasol.

Por su estructura, los almidones se pueden clasificar en:

**Almidones nativos.** Son los almidones que se encuentran en los alimentos en su forma natural.

**Almidones modificados.** Son los almidones que han sido tratados químicamente para mejorar sus propiedades.

Por sus propiedades, los almidones se pueden clasificar en:

**Almidones de rápida digestión.** Se digieren fácilmente en el intestino delgado.

**Almidones de lenta digestión.** Se digieren lentamente en el intestino delgado.

**Almidones resistentes.** No se digiere en el intestino delgado y pasa al colon, donde es fermentado por las bacterias intestinales.

#### **2.2.2.4. Almidón resistente de la papa**

El almidón resistente es la fracción del almidón que no se digiere en el intestino delgado. Se considera parte de la fibra dietética, ya que no puede ser absorbido por el organismo (Villarroel et al., 2018).

El almidón resistente se puede encontrar en una variedad de alimentos, como:

**Cereales.** El almidón resistente se encuentra en la avena, el arroz y el trigo integrales.

**Tubérculos.** El almidón resistente se encuentra en tubérculos como la papa, la yuca y la batata.

**Legumbres.** El almidón resistente se encuentra en frijoles, las lentejas y los garbanzos.

**Frutas.** El almidón resistente se encuentra en algunas frutas, como el plátano, el mango y la banana.

**Nueces y semillas.** El almidón resistente se encuentra en algunas nueces y semillas, como las almendras, las nueces y las semillas de girasol.

Según Villarroel et al. (2018), el almidón resistente se puede clasificar en tres tipos principales:

**Almidón resistente nativo.** Es el almidón resistente que se encuentra de forma natural en los alimentos. Se forma cuando el almidón está expuesto a condiciones que dificultan su digestión en el intestino delgado, como la cocción a altas temperaturas o ciertos procesos industriales.

**Almidón resistente modificado.** Es el almidón resistente producido mediante un proceso químico. La industria alimentaria lo utiliza para mejorar propiedades funcionales de los alimentos, como la viscosidad y la capacidad de hinchamiento.

**Almidón resistente funcional.** Es el almidón resistente obtenido mediante un proceso biotecnológico. Se utiliza en la industria alimentaria para potenciar los beneficios para la salud asociados al almidón resistente.

#### **2.2.2.5. Usos del almidón**

Según Maza et al. (2021), el almidón natural no se considera un aditivo, sino un ingrediente básico en la producción de alimentos, por lo que la cantidad incluida no está sujeta a regulación alguna. Los almidones se desarrollan para cumplir con requerimientos industriales específicos, y sus posibles aplicaciones varían según sus propiedades funcionales.

Debido a su alta capacidad de hinchamiento, el almidón natural se puede utilizar en la producción de embutidos y en la fabricación de películas biodegradables o comestibles, siempre que estas posean un alto contenido de almidón.

Debido a su alta capacidad de hinchamiento el almidón natural se puede utilizar en la producción de embutidos y utilizados en la producción de películas biodegradables o comestibles, deben tener un alto contenido.

#### **2.2.2.6. Propiedades fisicoquímicas del almidón de papa**

El almidón está organizado en gránulos individuales cuya forma, tamaño, morfología, composición y estructura molecular dependen del origen vegetal. Su tamaño varía entre 1 y 20  $\mu\text{m}$ . Mediante microscopía, los gránulos de almidón pueden observarse, presentando formas que varían entre esféricas, ovaladas, angulares o muy irregulares. Según Benavides y Pozo (2008), el almidón es un sistema heterogéneo compuesto principalmente por dos polímeros: la amilosa, de estructura lineal, y la amilopectina, de estructura ramificada.

La característica fundamental del almidón es que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales están influenciadas por la estructura granular y molecular. Durante el proceso de gelatinización, el orden molecular dentro de los gránulos se destruye de manera gradual e irreversible.

**Amilosa.** En los gránulos de almidón, este polímero se presenta en forma cristalina, debido principalmente al gran número de enlaces de hidrógeno existentes entre los grupos hidroxilo. Estos enlaces son responsables de la absorción de agua y la formación de geles durante el proceso de retrogradación, que ocurre después de la gelatinización, la cual se produce a temperaturas elevadas. La amilosa, un polímero esencialmente lineal, constituye típicamente entre el 15 % y el 20 % del almidón, con sus moléculas unidas mediante enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4) (Benavides y Pozo, 2008).

**Amilopectina.** Los gránulos de almidón presentan regiones amorfas y cristalinas, siendo estas últimas altamente organizadas y compuestas principalmente por amilopectina. La amilopectina es un carbohidrato complejo de alto valor biológico, con una estructura altamente ramificada que consiste en cadenas cortas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) (Benavides y Pozo, 2008).

### **2.2.3. Jarabes**

#### **2.2.3.1. Definición de jarabes**

Según Punina (2013), el almíbar es una solución concentrada de azúcar en agua u otro líquido. Es una sustancia muy viscosa y ha sido utilizado desde tiempos antiguos. Antes del descubrimiento del azúcar, se empleaba para enmascarar el sabor desagradable de los medicamentos y para prolongar su conservación.

El jarabe de glucosa se obtiene mediante la descomposición del almidón de maíz por hidrólisis ácida o enzimática. La intensidad de la hidrólisis determina la cantidad de glucosa producida. La concentración de glucosa en el jarabe se mide en DE (equivalente de dextrosa), que corresponde al porcentaje de azúcar reductor expresado como dextrosa respecto al extracto seco total del jarabe (Blacio y Santana, 2023).

El jarabe de glucosa puro tiene un DE (equivalente de dextrosa) de 100, mientras que los jarabes comerciales presentan valores entre 28 y 65. Al seleccionar el tipo y la proporción de jarabe de glucosa, es posible controlar el punto de fusión, la textura y el dulzor del producto (Blacio y Santana, 2023). Los jarabes de glucosa se utilizan en diversos sectores industriales, incluyendo la fabricación de confitería, chicles, helados, chocolate, mermeladas y edulcorantes de mesa. Además, se emplean en la producción de comprimidos de liberación directa (Vera y Chavarría, 2020).

### 2.2.3.2. Características de los jarabes

Según Morejón (2016), las propiedades funcionales más importantes del jarabe de glucosa son el dulzor, la viscosidad, la capacidad para absorber humedad, la temperatura de cristalización, el color y su efecto sobre el punto de congelación y la temperatura de ebullición del agua. En general, el jarabe de glucosa no cristaliza a temperatura ambiente si su contenido de dextrosa es inferior al 40 %. El dulzor del jarabe de glucosa depende de la concentración y la combinación de azúcares que contiene.

**Obtención de jarabe de glucosa.** Según Decheco (2015), para obtener jarabe de glucosa por hidrólisis ácida, se deben realizar las siguientes operaciones:

- **Dilución.** Se mezcla almidón con agua en una proporción del 33 % peso/volumen
- **Gelatinización.** Se calienta la mezcla a 45 °C para desordenar la estructura del almidón. En esta etapa, se agrega ácido clorhídrico (1 M) hasta alcanzar un pH de 2.
- **Hidrólisis ácida.** Se lleva a cabo en una autoclave a 125 o 140 °C durante 20 o 40 min, según sea necesario.
- **Hidrólisis enzimática.** Proceso químico en el cual las enzimas rompen las cadenas del almidón.
- **Neutralización.** El jarabe obtenido se neutraliza con hidróxido de sodio (1 M) hasta alcanzar un pH de 7.
- **Secado.** El jarabe se seca en un horno a 60 °C durante 12 horas. El jarabe se seca en un horno a 60 °C durante 12 horas.

### 2.2.4. Hidrólisis del almidón

#### 2.2.4.1. Hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es un proceso mediante el cual el ácido rompe las moléculas de almidón en cadenas más cortas de azúcares, llamadas dextrinas. El grado de descomposición, que corresponde a la cantidad de almidón convertida en dextrinas, depende de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de hidrólisis. Cuando el ácido actúa sobre el almidón, el peso molecular y la viscosidad del producto disminuyen. Además, aumenta el poder reductor del producto, es decir, su capacidad para reducir compuestos oxidados. Las temperaturas inferiores a 160 °C

permiten una hidrólisis óptima con mínima descomposición del azúcar. Los ácidos más utilizados en este proceso son el HCl y el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Morales y Sánchez, 2004).

La hidrólisis del almidón es un proceso que produce azúcares a partir del almidón. La hidrólisis ácida es un tipo de hidrólisis que utiliza ácidos para romper las moléculas de almidón. Los subproductos de la hidrólisis ácida incluyen hidroximetilfurfural, ácido levulínico y ácido fórmico. Estos subproductos pueden dar al jarabe un sabor amargo. La hidrólisis ácida se puede dividir en dos tipos: hidrólisis con ácido sulfúrico e hidrólisis con HCl. La hidrólisis con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> produce amilo dextrina, un tipo de dextrina. La hidrólisis con HCl, que se suele realizar a temperaturas ligeramente superiores a la temperatura ambiente, produce principalmente fibrosis del almidón (Urgilez, 2018). A continuación, se presentan algunos ejemplos de aplicaciones de la hidrólisis ácida:

**Producción de etanol a partir de biomasa.** La hidrólisis ácida se utiliza para convertir la celulosa y otros polisacáridos de la biomasa en glucosa, que luego se fermenta para producir etanol.

**Producción de azúcar a partir de almidón.** La hidrólisis ácida se utiliza para convertir el almidón en glucosa, que luego se puede utilizar para producir azúcares, alcohol u otros productos químicos.

**Producción de ácido cítrico.** La hidrólisis ácida se utiliza para convertir la sacarosa en ácido cítrico, el cual se usa como aditivo alimentario y en la industria farmacéutica.

La hidrólisis ácida es un proceso importante en una variedad de industrias. Es un método eficiente y económico para convertir biomasa en sus monómeros elementales, que luego se pueden utilizar para producir una variedad de productos.

La hidrólisis enzimática tiene una variedad de aplicaciones industriales, incluyendo:

**Producción de bioetanol.** Las enzimas se utilizan para convertir la celulosa y otros polisacáridos de la biomasa en glucosa, que luego se fermenta para producir etanol.

**Producción de azúcar.** Las enzimas se emplean para transformar el almidón en glucosa, la cual puede ser utilizada posteriormente en la producción de azúcares, alcohol u otros compuestos químicos.

#### **2.2.4.2. Hidrólisis enzimática**

Las tres enzimas que actúan sobre el almidón son la  $\alpha$ -amilasa, la  $\beta$ -amilasa y la fosforilasa de almidón. La  $\alpha$ -amilasa es la única capaz de atacar los gránulos de

almidón intactos. Por su parte, la  $\beta$ -amilasa y la fosforilasa de almidón actúan sobre los productos iniciales liberados por la  $\alpha$ -amilasa. La  $\alpha$ -amilasa rompe los enlaces  $\alpha$ -1,4 de las moléculas de amilosa y amilopectina, generando huecos aleatorios en los gránulos de almidón y liberando productos de tamaño considerable. En la cadena no ramificada de la amilosa, los ataques sucesivos de la  $\alpha$ -amilasa producen maltosa, un disacárido formado por dos unidades de glucosa (Ríos y Zelada, 2017).

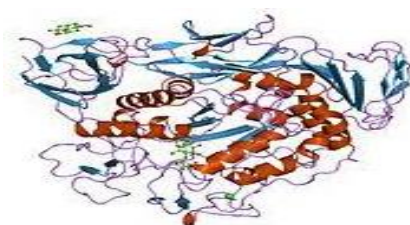
## 2.2.5. Enzimas

### 2.2.5.1. Definición de las enzimas

Según Benavides y Pozo (2008), las enzimas son proteínas que aceleran las reacciones químicas en los organismos vivos. Están constituidas por aminoácidos unidos mediante enlaces covalentes. La actividad catalítica de una enzima depende de su estructura tridimensional, la cual incluye sitios activos: cavidades específicas que se unen a moléculas particulares llamadas sustratos, transformándolas en productos. Estos sitios activos contienen diversos grupos funcionales químicos capaces de formar enlaces covalentes y no covalentes con los sustratos, estabilizando así el complejo enzima-sustrato y facilitando la conversión del sustrato en producto.

### 2.2.5.2. $\alpha$ - amilasa

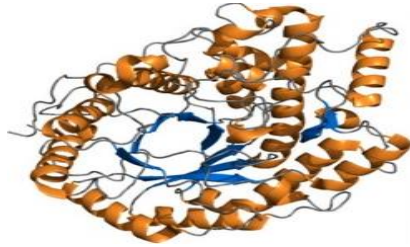
La  $\alpha$ -amilasa es una enzima que rompe los enlaces químicos que unen las moléculas de azúcar en los polisacáridos. Su acción se dirige principalmente a los enlaces 1,4- $\alpha$ -glicosídicos, que por la ruptura interna genera dextrinas mixtas lineales y ramificadas (oligosacáridos) (Cevallos, 2019). Esta ruptura libera glucosa, maltosa y oligosacáridos (Bernal et al., 2017). Puede ser producida por hongos, bacterias, cereales y el páncreas. La endoamilasa, cataliza la hidrólisis tanto de las cadenas lineales de amilosa como de las ramificadas de amilopectina en el almidón. La Figura 2 representa la estructura de la enzima.



**Figura 2.** Enzima  $\alpha$  - amilasa  
**Fuente.** (Cevallos, 2019)

### 2.2.5.3. $\beta$ - amilasa

La  $\beta$ -amilasa es una hidrolasa que cataliza la ruptura de los enlaces  $\alpha$ -1,4 glicosídicos en polisacáridos como el almidón. Esta enzima degrada glucógenos y dextrinas, liberando unidades de maltosa. Su acción continúa hasta llegar al punto de ramificación donde se encuentra el enlace  $\alpha$ -1,6, momento en el cual su actividad cesa. Es estable hasta los 70 °C y tiene una temperatura óptima de actividad cercana a los 35 °C (Reategui, 2009). La Figura 3 representa la estructura de la enzima.



**Figura 3.** Enzima  $\beta$  – amilasa  
**Fuente.** (Cevallos, 2019)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1. Enfoque

El enfoque de la presente investigación fue cuantitativo, dado que se recolectaron datos experimentales para probar las hipótesis planteadas. Se comparó los métodos de la hidrólisis ácida y enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa, evaluando diferentes formulaciones y determinando los tratamientos óptimos para la elaboración del jarabe.

##### 3.1.2. Tipo de Investigación

**Experimental.** Se realizó con el propósito de evaluar de manera controlada y sistemática los efectos de los métodos de la hidrólisis ácida y enzimática en la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa. Este enfoque permitió manipular variables específicas y medir sus resultados de forma objetiva, garantizando la obtención de datos confiables.

#### 3.2. HIPÓTESIS

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>).** La comparación del método de hidrólisis ácida y enzimática no determina el método idóneo para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.).

**Hipótesis alternativa (H<sub>a</sub>).** La comparación del método de hidrólisis ácida y enzimática determina el método idóneo para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.).

### **3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

#### **3.3.1. Definición de las variables**

##### **Variables Independientes**

Comparación entre el método de la hidrólisis ácida e hidrólisis enzimática.

##### **Variables dependientes**

Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa.

#### **3.3.2. Operacionalización de variables**

En la Tabla 1 se presenta la definición y la operacionalización de variables, donde se detalla la dimensión, indicadores, técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

**Tabla 1.** Operacionalización de variables del jarabe de glucosa

<b>Variables Independientes</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Hidrólisis enzimática	Concentración de almidón (6, 9 y 12 %)	Porcentaje	Gravimetría	(Caiza, 2023)
	Concentración de enzimas (1 y 2 % $\alpha$ -amilasa, 1 y 2 % $\beta$ -amilasa)	Porcentaje	Gravimetría	
Hidrólisis ácida	Concentración de almidón (6, 9 y 12 %)	Porcentaje	Gravimetría	(Cieza y Diaz, 2018)
	Concentración de enzimas (1, 3 y 5 % HCl)	Porcentaje	Gravimetría	
<b>Variables dependientes</b> Obtención del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa	Evaluación fisicoquímica	Azúcares reductores	Método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (DNS)	(Miller Gail Lorenz, 1959)
		Sólidos solubles totales	Refractometría	(Fajardo y Zaragoza, 2021)

### 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.4.1. Diseño experimental

La investigación tuvo un diseño completamente al azar con dos factores: el factor A, que representa la concentración de almidón; y el factor B, correspondiente a la concentración de la enzima y el ácido. Para el análisis estadístico se empleó la herramienta R-Studio. A continuación, se detallan los factores de estudio y su formulación respectiva.

##### 3.4.1.2. Descripción de la hidrólisis enzimática

La metodología de la hidrólisis enzimática consistió en evaluar la transformación del almidón de papa en jarabe de glucosa, empleando como variables independientes dos factores: A, la concentración de almidón en la gelificación (6, 9 y 12 %); y B, la concentración de enzimas amilasas ( $\alpha$ -amilasa y  $\beta$ -amilasa).

Preparación:

- Factor A: concentración de almidón en la gelificación

**A<sub>1</sub>:** 6 %

**A<sub>2</sub>:** 9 %

**A<sub>3</sub>:** 12 %

- Factor B: concentración de las enzimas amilasas en la hidrólisis del almidón

**B<sub>1</sub>:** enzima  $\alpha$ -amilasa al 1 % + enzima  $\beta$ -amilasa al 1 %

**B<sub>2</sub>:** enzima  $\alpha$ -amilasa al 2 % + enzima  $\beta$ -amilasa al 2 %

Procedimiento:

- **Pesaje:** se pesa las materias primas y los insumos en función de la formulación y los tratamientos establecidos por el diseño experimental.
- **Mezclado.** En el tanque de una capacidad de 100 ml de almidón obtenido se le añadió el 6, 9, 12 g de almidón y 100 litros de agua.
- **Gelificación.** Después de haber mezclado el almidón y el agua se realizó el proceso de gelificación a una temperatura de 50 °C durante 5 min.
- **Mezclado.** Durante el proceso de gelificación se mezcla todo el almidón con el agua, durante 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.

- **Hidrólisis:** Se termina el proceso de gelificación y se le añade el 1 % o 2 % de la  $\alpha$ -amilasa en una temperatura de 70 °C durante 1 hora, pasado la hora se añade el 1 o % de  $\beta$ -amilasa a 70 °C durante una hora.
- **Filtrado.** Se filtró el jarabe obtenido para así separar partículas que no se hayan hidrolizado.
- **Envasado.** Se obtuvo el jarabe de glucosa y se envasó en recipientes totalmente limpios y desinfectados.
- **Almacenado.** Se pasó a guardar todo el producto obtenido del jarabe de glucosa.

La  $\alpha$ -amilasa ataca los gránulos intactos, rompiendo enlaces  $\alpha$ -1,4 y libera fragmentos grandes; luego, la  $\beta$ -amilasa y la fosforilasa actúan sobre estos productos, generando maltosa (disacárido formado por dos unidades de glucosa).

**$\alpha$ -Amilasa.** **Marca.** OPTIDEX L-400. **Costo.** 80 \$/kg. **Cepa.** Fúngica *Aspergillus niger*.

**$\beta$ -Amilasa.** **Marca.** OPTIDEX L-400. **Costo.** 137 \$/kg. **Cepa.** Fúngica *Aspergillus niger*.

En la Tabla 2 se observan los tratamientos para la obtención del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante la hidrólisis enzimática.

**Tabla 2.** Obtención del jarabe de glucosa mediante la hidrólisis enzimática

Tratamientos	Definición (%)
T1	Almidón de papa 6 + enzima $\alpha$ -amilasa al 1 + enzima $\beta$ -amilasa al 1
T2	Almidón de papa 6 + enzima $\alpha$ -amilasa al 2 + enzima $\beta$ -amilasa al 2
T3	Almidón de papa 9 + enzima $\alpha$ -amilasa al 1 + enzima $\beta$ -amilasa al 1
T4	Almidón de papa 9 + enzima $\alpha$ -amilasa al 2 + enzima $\beta$ -amilasa al 2
T5	Almidón de papa 12 + enzima $\alpha$ -amilasa al 1 + enzima $\beta$ -amilasa al 1
T6	Almidón de papa 12 + enzima $\alpha$ -amilasa al 2 + enzima $\beta$ -amilasa al 2

### 3.4.1.1. Descripción de la hidrólisis ácida

La hidrólisis ácida es un proceso químico en el cual se emplea ácido clorhídrico (HCl), para romper las moléculas de almidón presentes en la papa, transformándolas en cadenas más cortas de azúcares (dextrinas). Se evaluaron dos factores: A, la concentración de almidón en la gelificación (6, 9 y 12 %); y B, la concentración del HCl en la hidrólisis (1, 3 y 5 %).

Preparación:

- Factor A: concentración de almidón en la gelificación

**A<sub>1</sub>:** 6 %

**A<sub>2</sub>:** 9 %

**A<sub>3</sub>:** 12 %

- Factor B: Concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón

**B<sub>1</sub>:** 1%

**B<sub>2</sub>:** 3 %

**B<sub>3</sub>:** 5 %

Procedimiento:

- **Pesaje:** se pesa las materias primas y los insumos en función de la formulación y los tratamientos establecidos por el diseño experimental.
- **Mezclado.** En el tanque de una capacidad de 100 ml de almidón obtenido se le añadió el 6, 9, 12 g de almidón en 100 litros de agua.
- **Gelificación.** Después de haber mezclado el almidón y el agua se espera el proceso de gelificación a una temperatura de 50 °C durante 5 min.
- **Mezclado.** Durante el proceso de gelificación se mezcla el almidón y agua, para así tener un mejor resultado.
- **Hidrólisis.** Terminado el proceso de gelificación, se añade el 1, 3, 5 % de ácido clorhídrico con una temperatura de 35 ° C durante 1 hora.
- **Filtrado.** Se filtró el jarabe obtenido para así separar partículas que no se hayan hidrolizado.
- **Envasado.** Se obtuvo el jarabe de glucosa y se envaso en recipientes totalmente limpios y desinfectados.
- **Almacenado.** Se pasó a guardar todo el producto obtenido del jarabe de glucosa.

En la Tabla 3 se detallan los tratamientos para la obtención del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante la hidrólisis ácida.

**Tabla 3.** Obtención del jarabe de glucosa mediante la hidrólisis ácida

Tratamientos	Definición (%)
T1	Almidón de papa 6 + ácido clorhídrico al 1
T2	Almidón de papa 6 + ácido clorhídrico al 3
T3	Almidón de papa 9 + ácido clorhídrico al 5
T4	Almidón de papa 9 + ácido clorhídrico al 1
T5	Almidón de papa 12 + ácido clorhídrico al 3
T6	Almidón de papa 12 + ácido clorhídrico al 5

### 3.5. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.5.1. Extracción de almidón de papa

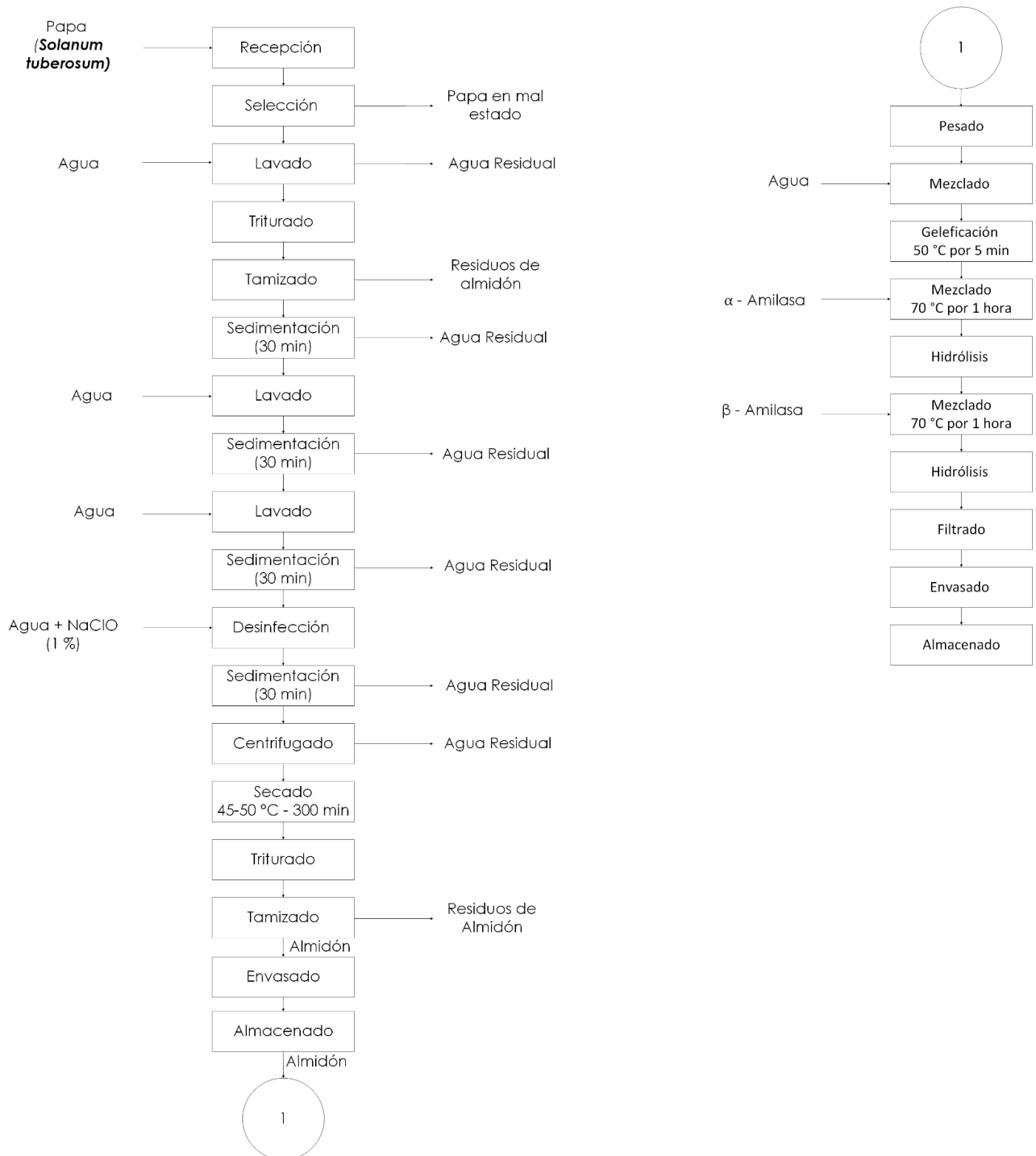
La extracción de almidón de papa se realizó mediante el método húmedo, de acuerdo a lo siguiente:

- **Recepción de materia prima.** Se utilizó la papa tercera como fuente principal para extracción del almidón.
- **Selección.** Se seleccionaron las papas tomando en cuenta su estado de maduración y textura.
- **Lavado.** Una vez seleccionadas las papas se lleva al proceso de lavado con abundante agua lo cual ayudara a eliminar objetos extraños.
- **Triturado.** La papa cortada en cubos fue sometida a un proceso de licuado y se le añadió agua durante 3 minutos.
- **Tamizado.** Se realizó el proceso de separación de la fibra y del almidón utilizando un tamiz de 150  $\mu\text{m}$ .
- **Sedimentación.** El almidón obtenido se le colocó agua para desprejar las pequeñas cantidades de fibra aun presente.
- **Lavado.** Se procedió a dar un segundo lavado para seguir eliminando objetos extraños.
- **Sedimentación.** Se volvió a lavar al almidón para así tener un buen resultado y más blanquecino durante 30 minutos.
- **Desinfección.** Se procedió a desinfectar con agua y cloruro del sodio al 1 % por cualquier patógeno que se haya presentado.
- **Sedimentación.** Después de haber pasado por dos sedimentaciones con esta final se vio que ya no presentaba nada de fibras pequeñas.
- **Centrifugado.** Se utilizó este proceso para separar las sustancias y las densidades y así purificar el almidón.
- **Secado.** Se pasó todo el almidón hacia la estufa y se secó a temperaturas de 45 °C – 50 °C durante 5 horas.
- **Triturado.** Finalmente, secado el almidón se pasó a la máquina de trituración para así obtener el polvo del almidón.
- **Tamizado.** Todo el almidón extraído fue tamizado utilizando un cedazo de 45  $\mu\text{m}$ , con el fin de eliminar impurezas y obtener un almidón de granulometría más fina y uniforme.

### 3.5.2. Obtención del jarabe de glucosa

#### 3.5.2.1. Proceso de producción de jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática

Del mejor tratamiento, se realizó la estructuración del proceso de producción en las condiciones dadas. En la Figura 4 se presenta el diagrama de flujo del proceso de hidrólisis enzimática.



**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de hidrólisis enzimática

## **Descripción del diagrama de flujo del proceso de hidrólisis enzimática**

**Recepción de materia prima.** Se utilizó la papa tercera como fuente principal para extracción del almidón.

**Selección.** Se seleccionaron las papas tomando en cuenta su estado de maduración y textura.

**Lavado.** Una vez seleccionadas las papas se lleva al proceso de lavado con abundante agua lo cual ayudara a eliminar objetos extraños.

**Triturado.** la papa cortada en cubos fue sometida a un proceso de licuado y se le añadió agua durante 3 minutos.

**Tamizado.** Se realizó el proceso de separación de la fibra y del almidón utilizando un tamiz de 150  $\mu\text{m}$ .

**Sedimentación.** El almidón obtenido se le colocó agua para desprejar las pequeñas cantidades de fibra aun presente.

**Lavado.** Se procedió a dar un segundo lavado para seguir eliminando objetos extraños.

**Sedimentación.** Se volvió a lavar al almidón para así tener un buen resultado y más blanquecino durante 30 minutos.

**Desinfección.** Se procedió a desinfectar con agua y cloruro del sodio al 1 % por cualquier patógeno que se haya presentado.

**Sedimentación.** Después de haber pasado por dos sedimentaciones con esta finalidad se vio que ya no presentaba nada de fibras pequeñas.

**Centrifugado.** Se utilizó este proceso para separar las sustancias y las densidades y así purificar el almidón.

**Secado.** Se pasó todo el almidón hacia la estufa y se secó a temperaturas de 45 °C – 50 °C durante 5 horas.

**Triturado.** Finalmente, secado el almidón se pasó a la máquina de trituración para así obtener el polvo del almidón.

**Tamizado.** Todo el almidón extraído fue tamizado utilizando un cedazo de 45  $\mu\text{m}$ , con el fin de eliminar impurezas y obtener un almidón de granulometría más fina y uniforme.

**Envasado del almidón.** Se obtuvo el almidón de papa lo cual se procedió a envasar en tanques.

**Pesado.** Se pesó el 6 % de del almidón, 2 % de  $\alpha$ -amilasa - 2 % de  $\beta$ -amilasa.

**Mezclado.** En el tanque de almidón obtenido se le añadió el 6 % de almidón y agua.

**Gelificación.** Después de haber mezclado el almidón y el agua se espera el proceso de gelificación a 50 °C durante 5 min.

**Mezclado.** Durante el proceso de gelificación se mezcla todo esto para que así se tenga un mejor resultado.

**Hidrólisis.** Se termina el proceso de gelificación y se le añade el 1 % de la alfa amilasa en una temperatura de 70 °C durante 1 hora, pasado la hora se le añade el 1 % de beta amilasa a 70 °C durante una hora.

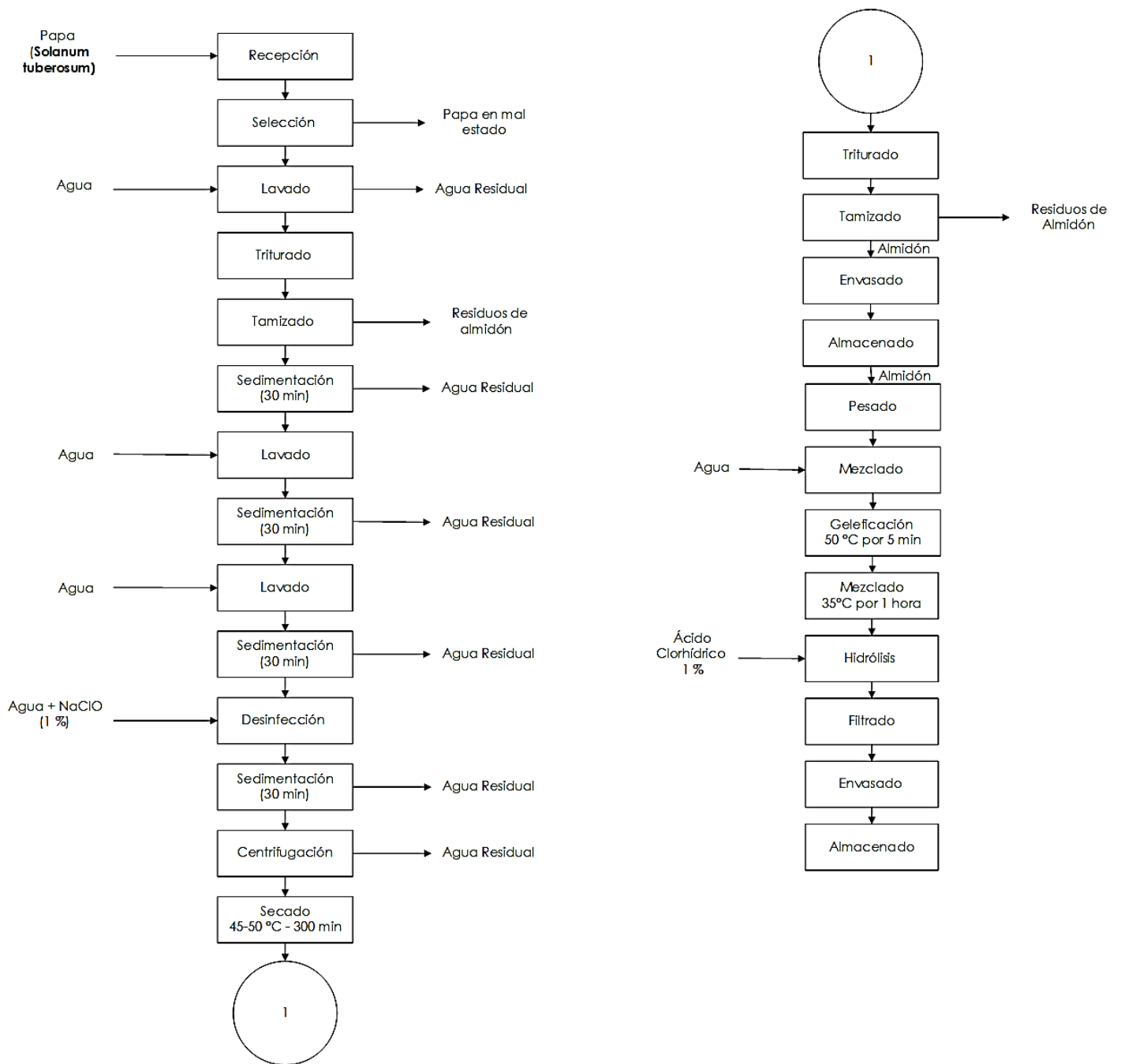
**Filtrado.** Se filtró el jarabe obtenido para así separar partículas que no se hayan hidrolizado.

**Envasado.** Se obtuvo el jarabe de glucosa y se envaso en recipientes totalmente limpios y desinfectados.

**Almacenado.** Se pasó a guardar todo el producto obtenido del jarabe de glucosa.

### **3.5.2.2. Proceso de producción de jarabe de glucosa mediante hidrólisis ácida**

La Figura 5 detalla el diagrama de flujo del proceso de hidrólisis ácida.



**Figura 5.** Diagrama de flujo del proceso de hidrólisis ácida

### Descripción del diagrama de flujo del proceso de hidrólisis ácida

**Recepción de materia prima.** Se utilizó la papa tercera como fuente principal para extracción del almidón.

**Selección.** Se seleccionaron las papas tomando en cuenta su estado de maduración y textura.

**Lavado.** Una vez seleccionadas las papas se lleva al proceso de lavado con abundante agua lo cual ayudara a eliminar objetos extraños.

**Triturado.** La papa cortada en cubos fue sometida a un proceso de licuado y se le añadió agua durante 3 minutos.

**Tamizado.** Se realizó el proceso de separación de la fibra y del almidón utilizando un tamiz de 150  $\mu\text{m}$ .

**Sedimentación.** El almidón obtenido se le colocó agua para desprejar las pequeñas cantidades de fibra aun presente.

**Lavado.** Se procedió a dar un segundo lavado para seguir eliminando objetos extraños.

**Sedimentación.** Se volvió a lavar al almidón para así tener un buen resultado y más blanquecino durante 30 minutos.

**Desinfección.** Se procedió a desinfectar con agua y cloruro del sodio al 1 % por cualquier patógeno que se haya presentado.

**Sedimentación.** Después de haber pasado por dos sedimentaciones con esta final se vio que ya no presentaba nada de fibras pequeñas.

**Centrifugado.** Se utilizó este proceso para separar las sustancias y las densidades y así purificar el almidón.

**Secado.** Se pasó todo el almidón hacia la estufa para así poder secarlo en temperaturas de 45 – 50 ° C durante 5 horas.

**Triturado.** Finalmente, secado el almidón se pasó a la máquina de trituración para así obtener el polvo del almidón.

**Tamizado.** Todo el almidón extraído fue tamizado utilizando un cedazo de 45  $\mu\text{m}$ , con el fin de eliminar impurezas y obtener un almidón de granulometría más fina y uniforme.

**Envasado del almidón.** Se obtuvo el almidón de papa lo cual se procedió a envasar en tanques.

**Pesado.** Se pesó el 6 % de del almidón y el 1 % de ácido clorhídrico.

**Mezclado.** En el tanque de almidón obtenido se le añadió el 6 % de almidón y agua.

**Gelificación.** Después de haber mezclado el almidón y el agua se espera el proceso de gelificación a 50 °C durante 5 min.

**Mezclado.** Durante el proceso de gelificación se mezcla todo esto para que así se tenga un mejor resultado.

**Hidrólisis.** Se termina el proceso de gelificación y se le añade el 1 % de ácido clorhídrico con una temperatura de 35 ° C durante 1 hora.

**Filtrado.** Se filtró el jarabe obtenido para así separar partículas que no se hayan hidrolizado.

**Envasado.** Se obtuvo el jarabe de glucosa y se envaso en recipientes totalmente limpios y desinfectados.

**Almacenado.** Se pasó a guardar todo el producto obtenido del jarabe de glucosa.

### **3.5.3. Métodos fisicoquímicos**

#### **3.5.3.1. Determinación de azúcares reductores**

Los azúcares reductores son carbohidratos que poseen un grupo funcional libre capaz de actuar como agente reductor, generalmente un grupo aldehído [-CHO] o un grupo cetona [-C=O] en forma de tautomería.

Aldehídos: Presentes en azúcares como glucosa, galactosa y maltosa.

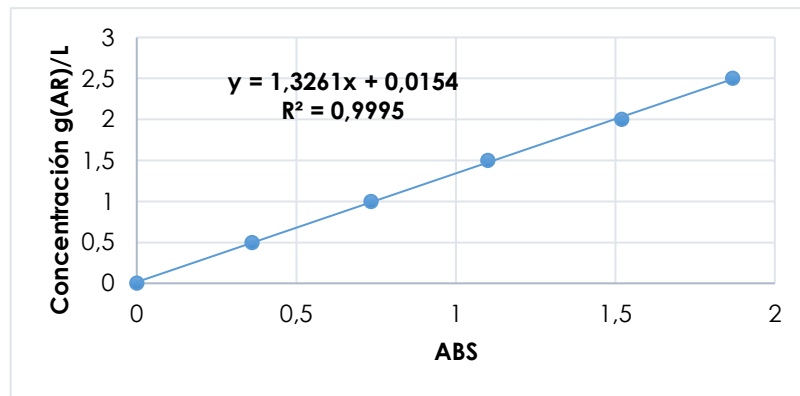
Cetonas: Como la fructosa (que, en medio alcalino, se isomeriza a formas aldosas, volviéndose reductora).

Esta característica les permite donar electrones en reacciones químicas, reduciendo a otras moléculas mientras se oxidan ellos mismos. Son fundamentales en procesos bioquímicos y análisis de alimentos, especialmente en la hidrólisis de almidón.

#### **Método del ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS)**

Para determinar azúcares reductores, se utilizó la espectrofotometría tras la conversión en derivados coloreados, el método 3,5-dinitrosalicílico (DNS), que consiste en la reducción del DNS que se presenta en color amarillento por la glucosa u otro azúcar reductor pasando al color naranja ladrillo, en tal sentido, se pudo detectar la lectura de la absorbancia en la zona 540-570.

Se empleó una escala de solución patrón de glucosa con la finalidad de obtener una curva de calibración Figura 6, la misma que se utilizó para cuantificar la concentración de azúcares reductores totales generados en la hidrólisis del almidón.



**Figura 6.** Curva de calibración de la glucosa

#### **Preparación del DNS:**

- 0.5 g Ácido dinitrosalicílico
- 15 g Tartrato doble de sodio y potasio
- 0.8 de NaOH
- 50 mL de agua destilada

#### **Procedimiento**

- En tubos de 5 ml se colocó 400 microlitros de solución sustrato
- Se adicionaron 200 microlitros de reactivo DNS
- Se tapó, agitó y colocó por 5 min en un baño a 95-100 °C
- Se enfrió en un baño de hielo
- Se agregaron 2 mL de agua destilada
- Finalmente, se depositó la mezcla final en una microplaca y se leyó la absorbancia a 540 nm

Todas las muestras sometidas a la cuantificación de azúcares reductores se analizaron por triplicado con el fin de garantizar la precisión y confiabilidad de los datos obtenidos.

#### **3.5.3.2. Determinación de grados Brix (°Brix)**

Los grados Brix (°Brix) son una unidad de medida que expresa la concentración de sólidos solubles totales en una solución acuosa, principalmente azúcares como sacarosa, glucosa y fructosa, aunque también incluye ácidos orgánicos, minerales, proteínas y otros compuestos disueltos. Se define como el porcentaje en masa de sacarosa en una solución a 20 °C. Esta medida es fundamental en industrias como la

alimentaria, de bebidas, agricultura y química debido a su utilidad para evaluar la calidad y concentración de productos líquidos.

La determinación de los grados Brix en los jarabes obtenidos por hidrólisis ácida y enzimática se realizó mediante un refractómetro digital, instrumento que permite medir el contenido de sólidos solubles totales, principalmente azúcares, en una solución. Para llevar a cabo la medición, se colocó el hidrolizado de almidón (jarabe de glucosa) en el prisma, previamente enfriado a temperatura ambiente, asegurando que la superficie estuviera limpia y seca para evitar interferencias. Posteriormente, se cerró la tapa del refractómetro y se obtuvo la lectura directa del valor en °Brix, que corresponde a los sólidos solubles en la solución, aunque en este caso está directamente relacionado con la glucosa. Este procedimiento se repitió por triplicado para cada muestra, tanto en la hidrólisis ácida y enzimática.

#### **3.5.4. Diseño de la planta**

El plano de la planta se elaboró con la herramienta AutoCAD, herramienta que permitió representar de manera precisa y detallada la distribución de los espacios destinados a cada etapa del proceso de obtención del jarabe de glucosa. Este diseño fue de gran importancia, ya que permitió garantizar un flujo de trabajo ordenado, seguro y eficiente, acorde con los requerimientos técnicos y sanitarios del procesamiento de alimentos. Para su desarrollo, se realizaron visitas a la planta, con el objetivo de observar en campo la ubicación y disposición de equipos, condiciones ambientales, rutas de acceso y manejo de materias primas y residuos. Estas observaciones permitieron adaptar el diseño a las necesidades específicas de ambos métodos de hidrólisis (ácida y enzimática), se consideraron espacios diferenciados para la preparación del almidón, aplicación de los tratamientos, neutralización, filtración, concentración y almacenamiento del jarabe. Además, se tomaron en cuenta aspectos clave como ventilación, iluminación, control de temperatura y seguridad del personal. El diseño final busca optimizar el desarrollo experimental, facilitando la comparación de ambos métodos dentro de una infraestructura funcional y adecuada para garantizar los objetivos propuestos de la investigación.

#### **3.5.5. Análisis de costos**

Para realizar un análisis de costos se identificaron y cuantificaron todos los recursos involucrados en el desarrollo del proceso, desde la adquisición de materias primas hasta la obtención del producto final. Este análisis permitió estimar el valor económico

requerido para la producción, facilitando la evaluación de la viabilidad técnica y financiera del proyecto. Siguiendo la metodología propuesta por Balanda (2005), se buscó comparar los costos asociados a cada método de hidrólisis (ácida y enzimática), lo cual permitió determinar cuál de ellos es más eficiente y rentable desde el punto de vista económico. El cálculo de los costos se realizó mediante:

$$CPU = \frac{CP}{P}$$
$$CPU = \frac{CMP + CTH + CDM + COS + GVV + CP}{P}$$

Donde:

- CPU = costo producción unitario

Son los gastos que se tendrá en la empresa para mantener en línea su proceso hacia el mercado y así obtener un precio justo para la humanidad, ya que se ofrecerá un producto de buena calidad del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa.

- CMP = costo materia prima

La materia prima es la principal fuente de los gastos que se relacionan con la obtención de los materiales como es la papa, enzimas y ácido. El método enzimático es significativamente más costoso debido al alto precio de las enzimas (\$ 300/kg para  $\alpha$ -amilasa y \$ 400/kg para beta  $\beta$ -amilasa) en comparación con el ácido clorhídrico (\$ 71.74/L). Esta diferencia de \$ 904 694.4 al mes representa un factor crítico en la evaluación de rentabilidad.

- CTH = costo talento humano

El talento humano incluye los costos asociados con los empleados y el ingeniero en alimentos. Estos costos son fijos y no varían entre los dos métodos, pero son esenciales para calcular el costo total de producción, dado que el talento humano es idéntico para ambos métodos (misma cantidad de empleados y mismo ingeniero), este componente no genera diferencias en la comparación, dando un total de  $3\,290 + 800 = 4\,090$  \$/mes este es el costo mensual total del personal necesario para operar la planta.

- CDM = costo depreciación de maquinaria

La depreciación de la maquinaria es un costo no monetario que refleja el desgaste de los activos fijos. Este análisis asume una vida útil de 5 años para todas las máquinas,

con operación de 20 días al mes y 8 horas al día, el valor (\$ 1 296.27) se usó como referencia para el análisis, asumiendo que incluye todas las máquinas necesarias para ambos métodos.

- COS = costos de servicios

Los gastos básicos incluyen servicios como luz, agua, internet y teléfono. Estos costos son en gran parte fijos, aunque el consumo de agua podría variar ligeramente entre los métodos, total de los gastos son de 644.67 \$/mes.

- GVV = costos depreciación de construcción

La depreciación del galpón donde se realiza la producción también debe considerarse, ya que el terreno no se deprecia, ya que su valor tiende a mantenerse o aumentar con el tiempo y su precio es de \$ 333.33/mes

- CP = precio del empaque

El costo de empaque depende de la producción mensual y del costo por unidad (1 kg de jarabe), ya que para el método de hidrólisis enzima es de 48 360.87 \$/mes y para el método de hidrólisis ácida es de 42 315.76 \$/mes.

- P = producción

La producción mensual de jarabe de glucosa varía entre los métodos debido a diferencias en la eficiencia de conversión del almidón, el método enzimático produce más jarabe (149 677.71 kg vs 130 968 kg), lo que podría ser una ventaja si el precio de venta compensara los costos.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

En la primera etapa de esta investigación se evaluó la acción de las enzimas amilasas sobre el almidón con el objetivo de obtener jarabe de glucosa. A continuación, se presentan los resultados obtenidos.

#### 4.1.1. Análisis fisicoquímicos del jarabe de glucosa

##### 4.1.1.1. Azúcares reductores (g/L) después de la hidrólisis enzimática

En la Tabla 4 se presenta los resultados de los azúcares reductores mediante la hidrólisis enzimática del almidón de papa en la obtención del jarabe de glucosa.

**Tabla 4.** Azúcares reductores de la hidrólisis enzimática

Tratamientos	Gelificación (% de almidón)	Concentración (% enzima amilasas)	Azúcares reductores (g/L)
T1	6	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	0.318
T2	6	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	0.211
T3	9	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	0.477
T4	9	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	0.234
T5	12	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	0.246
T6	12	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	0.264

La tabla muestra que los azúcares reductores obtenidos varían entre 0.211 y 0.477 g/L, donde el T3 presenta un mayor contenido de azúcares, indicando que al 9 % de almidón y una concentración de 1  $\alpha$  - 1  $\beta$  de enzimas amilasas se obtiene un mayor rendimiento; en comparación con el T2, el cual proporciona un rendimiento bajo al 6 % de almidón y una concentración de 2  $\alpha$  - 2  $\beta$  de enzimas amilasas. Por lo tanto, se realizó el análisis estadístico correspondiente para determinar cuál de los seis tratamientos presenta el mejor desempeño, como se detalla en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Supuestos para las pruebas paramétricas

Supuesto	Método	Valor	Indicador	Cumplimiento
Linealidad	Media de los residuos	3.3728E-18	Media	Si
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	5.23E-09	P-valor	No
Homocedasticidad	Studentized Breusch-Pagan test	1.70E-09	P-valor	No
Independencia	Durbin watson test	0.492	P-valor	No

En ella se observan los 4 supuestos analizados, 3 de ellos no cumplen porque su p-valor es menor a 0.05, es decir, los valores de azúcares reductores son no paramétricos, por tanto, para identificar si existe diferencia estadística entre los tratamientos se procedió a ejecutar la prueba de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos como se indica en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Prueba de diferencia significativa entre tratamientos Kruskal Wallis

Prueba	Media	P-valor
Kruskal-Wallis chi-squared	0.291	0.2359

Tal como se observa, el valor de p supera el umbral de 0.05, lo que indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. Esto permitió considerar a los tratamientos como igualmente efectivos dentro del análisis.

#### 4.1.1.2. Grados Brix después de la hidrólisis enzimática

En la Tabla 7 se presenta los grados Brix alcanzados posteriormente de la hidrólisis enzimática del almidón de papa en la obtención del jarabe de glucosa.

**Tabla 7.** °Brix alcanzados después de hidrólisis enzimática

Tratamientos	Gelificación (% de almidón)	Concentración (% enzima amilasas)	°Brix
T1	6	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	3.90
T2	6	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	7.60
T3	9	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	6.70
T4	9	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	5.90
T5	12	1 $\alpha$ - 1 $\beta$	6.90
T6	12	2 $\alpha$ - 2 $\beta$	4.70

Los °Brix alcanzados en los 6 tratamientos se encuentran en el rango de 3.90 a 7.60 como se indica en la Tabla 7. El mejor tratamiento es el T2, el cual alcanzó un valor de 7.60 °Brix en 1 hora con un 6 % de almidón y una concentración de 2  $\alpha$  - 2  $\beta$  de enzimas amilasas. Se evaluaron los supuestos estadísticos para determinar si los datos presentan características paramétricas, cuyos resultados se detallan en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Supuestos para determinar parametricidad en los resultados de °Brix

Supuesto	Método	Valor	Indicador
Linealidad	Media de los residuos	1.64E-32	Media
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.0001687	P-valor
Homocedasticidad	Studentized Breusch-Pagan test	0.06556	P-valor
Independencia	Durbin watson test	0.764	P-valor

Los resultados de los supuestos de parametricidad evidencian que la prueba de normalidad arrojó un p-valor inferior a 0.05, lo que indica que los datos no se ajustan

a una distribución normal. Debido a este incumplimiento, los valores de °Brix fueron considerados como no paramétricos. Por ello, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, adecuada para este tipo de datos, con el fin de identificar diferencias significativas entre los tratamientos, como se presenta en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Prueba Kruskal Wallis

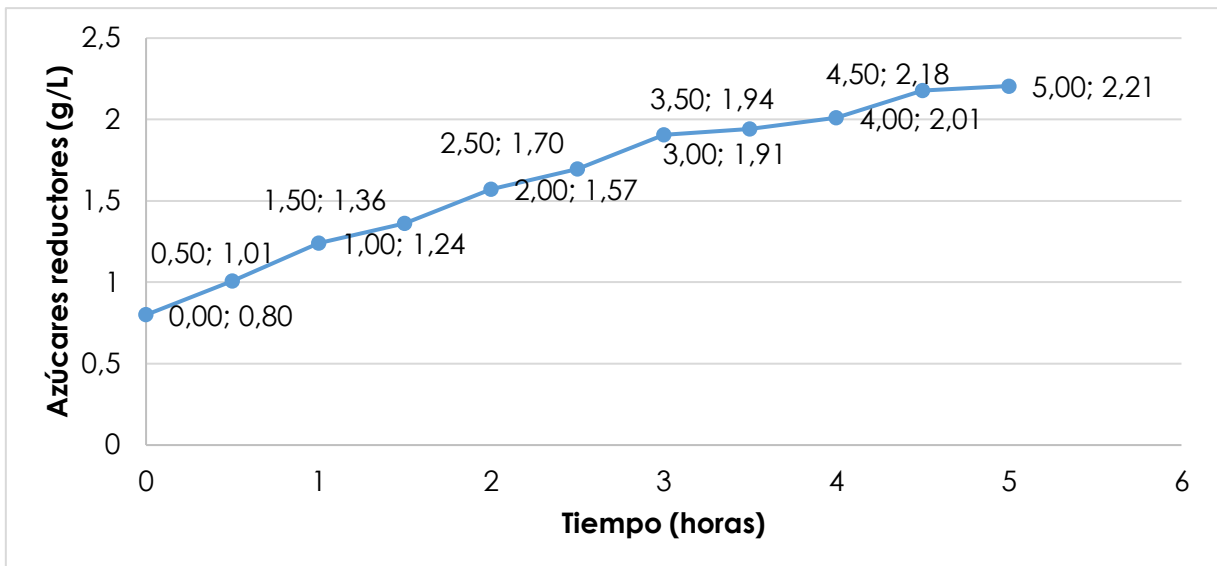
Variable	Media	P-valor
Kruskal-Wallis chi-squared	5.95	0.0045

En la prueba de Kruskal Wallis se muestra un p-valor menor a 0.05 indicando la diferencia significativa entre los tratamientos estudiados. Por consiguiente, se realizó la prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos para identificar cuál de ellos es el mejor como se indica en la Tabla 10.

**Tabla 10.** Prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos

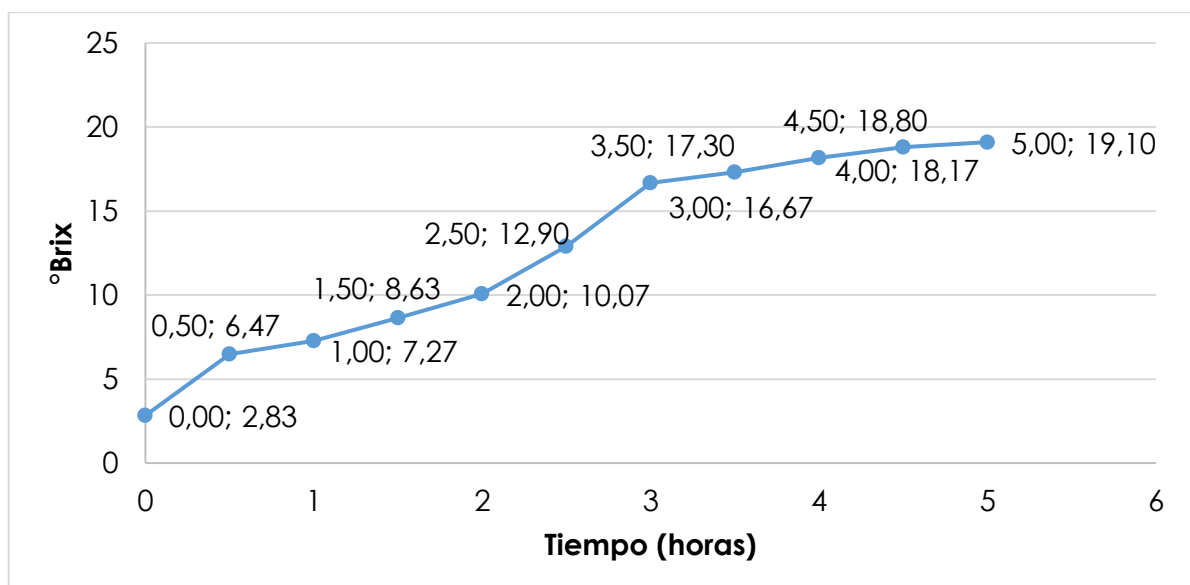
Tratamientos		T1	T2	T3	T4	T5
T2	Diferencia	-3.48466				
	p-valor	0.0037*				
T3	Diferencia	-2.090796	1.393864			
	p-valor	0.2741	1			
T4	Diferencia	-1.393864	2.090796	0.696932		
	p-valor	1	0.2741	1		
T5	Diferencia	-2.787728	0.696932	-0.696932	-1.393864	
	p-valor	0.0398	1	1	1	
T6	Diferencia	-0.696932	2.787728	1.393864	0.696932	2.090796
	p-valor	1	0.0398	1	1	0.2741

Los valores resaltados indican que existe diferencia significativa entre los siguientes pares de tratamientos T1-T2, T1-T5 y T2-T6, dado que el p-valor es inferior al 0.05, observando una mayor diferencia entre el par T1-T2 siendo el °Brix alcanzado de 3.9 – 7.6 respectivamente, siendo el T2 el tratamiento que mayor °Brix a alcanzado con referencia a los demás tratamientos, después del análisis estadístico se determinó como mejor tratamiento al T2 (Gelificación: 6 % de almidón, concentración de enzima en la fase de hidrólisis del almidón: 2 % de  $\alpha$ -amilasa - 2 % de  $\beta$ -amilasa). Teniendo en cuenta esto se procedió a evaluar el T2 en el tiempo como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Azúcares reductores generados en el tiempo de hidrólisis enzimática

La obtención de azúcares reductores del tratamiento T2 (Gelificación: 6 % de almidón, concentración de enzima en la fase de hidrólisis del almidón: 2 % de  $\alpha$ -amilasa - 2 % de  $\beta$ -amilasa) se muestra en la Figura 5, observando como aumenta de forma lineal los azúcares reductores, desde las 4.5 horas la curva inicia la formación de una meseta que indica una reducción significativa en el incremento de los azúcares, determinando que a partir de este tiempo se detiene la hidrólisis de almidón de papa. También se realizó al tratamiento T2 (Gelificación: 6 % de almidón, concentración de enzima en la fase de hidrólisis del almidón: 2 % de  $\alpha$ -amilasa - 2 % de  $\beta$ -amilasa) la determinación de grados Brix como lo muestra la Figura 8.

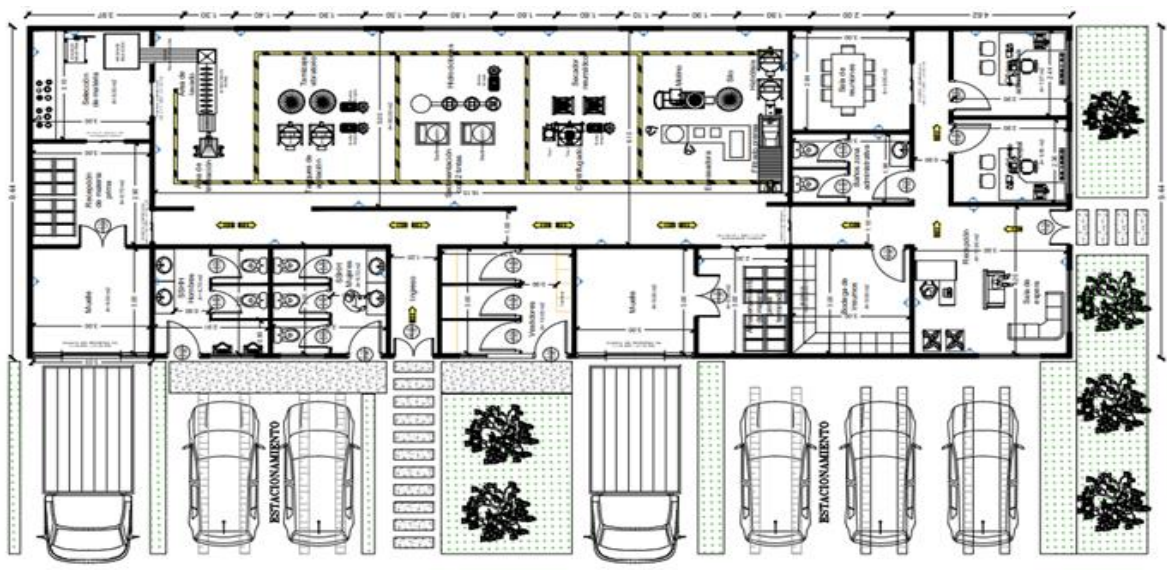


**Figura 8.** °Brix generados en el tiempo de hidrólisis enzimática

La gráfica presenta una hidrólisis enzimática de almidón muy eficiente y rápida, caracterizada por un aumento lineal y pronunciado de los grados Brix hasta alcanzar un valor elevado (19.10 °Brix) en 5 horas. Esto refleja condiciones enzimáticas y de proceso altamente favorables, con una alta conversión del almidón en sólidos solubles (principalmente oligosacáridos y disacáridos). La tendencia sugiere que a partir de la hora 4.5 la curva se comienza a aplanar indicando una reducción significativa en los aumentos de los grados Brix, por lo cual esto es una manifestación que la hidrólisis enzimática del almidón se detiene, causado principalmente por la inhibición por producto, o por agotamiento de sustrato almidón. Alcanzando en el tiempo 4.5 valores de azúcares reductores de 2.18 g/L y de grados Brix de 18.8.

#### 4.1.1.3. Diseño de la planta para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática

La planta fue diseñada con el objetivo de visualizar la disposición física y organización de los equipos utilizados en los procesos de hidrólisis enzimática para la producción de jarabe de glucosa. Este diseño permite optimizar el flujo de materiales, reducir los tiempos operativos y asegurar condiciones seguras y eficientes durante las reacciones. Además, facilita la comprensión de la secuencia de operaciones, minimiza pérdidas de materia prima y mejora el control del proceso. La Figura 9 del diseño proporciona una visión integral del sistema productivo y sus requerimientos técnicos.



**Figura 9.** Planta de obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática.

## **Descripción de la planta de obtención de jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática**

**Área de oficina.** Se almacenan todos los documentos de funcionamiento de la planta

**Área administrativa.** Se gestiona todo lo relacionado a la empresa ya sea las condiciones económicas, estructurales para que así cumpla los objetivos propuestos.

**Área de aseo.** Se realiza la respectiva limpieza y desinsectación para proceder al área de producción.

**Bodegas de insumos.** Se almacenan los sustratos como el almidón de papa, enzimas alfa amilasa y enzima beta amilasa.

**Recepción de materia prima.** Este método se lo utiliza para pesar de manera exacta las materias primas involucradas en el proceso.

**Selección de materia prima.** En este proceso se elige y se evalúa las materias primas en buen estado ya que pasan directo al proceso o servicio.

**Lavado de vapor.** Pasa a un proceso de limpieza, descontaminación de la materia prima.

**Área de triturado.** Después de haber desinfectado toda la materia prima a utilizarse, se pasa al molino rayador para que se pueda triturar toda la papa.

**Tanque de agitación.** Se coloca en tanques lo obtenido del anterior proceso y se pasa a agitar todo lo obtenido de materia prima.

**Tamizado.** Se procede a separar las partículas sobrantes de la materia prima para así obtener un producto con características específicas.

**Sedimentación.** Toda la materia prima se lo coloca en diferentes tinas para así separar las densidades y tamaños.

**Centrifugado.** Se hace generar un proceso de rotación para que la materia tenga un mejor funcionamiento.

**Secado.** Se pasa toda la materia obtenida a un secador neumático para eliminar toda la humedad.

**Triturado.** Secado toda la materia prima se pasa otra vez el proceso de molino para así obtener partículas muy pequeñas.

**Silo.** Se pasa toda la materia a almacenar en contenedores para así proceder hacer

la hidrólisis.

**Gelificación.** Después de haber obtenido el almidón de papa, se preparan las soluciones de gelificación tanto en la tina 1 y tina 2 para luego pasar el calentamiento de dichas soluciones.

**Proceso de hidrólisis enzimática.** Se termina el proceso de gelificación durante 5 minutos, a la tina 1 y 2 se les añade la enzima alfa amilasa durante 1 hora y con una temperatura de 70 °C, pasado la hora se le añade la enzima beta amilasa durante 1 hora a la misma temperatura.

**Proceso de filtrado.** Terminado el proceso de hidrólisis se envía a la tina 1 y 2 por un filtro prensa para así separar líquidos y sólidos en el proceso.

**Envasado del producto final.** Terminado todo el proceso se comienza a envasar el jarabe de glucosa obtenido.

**Almacenamiento del producto final.** En este espacio es donde se encuentran los productos que están listos para ser vendidos y distribuidos hacia los clientes.

#### 4.1.1.4. Costo unitario del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis enzimática

En la Tabla 11 se analizó los costos de las metodologías propuestas, donde el costo unitario \$/kg de jarabe de glucosa para hidrólisis enzimática es de \$ 5.39.

Fórmula:

$$CPU = \frac{639\,182.22 + 4090 + 1296.27 + 644.67 + 333.33 + 41\,129.34}{127\,296}$$

$$CPU = \$ 5.39$$

**Tabla 11.** Análisis de costos

<b>Criterios</b>	<b>Hidrólisis enzimática</b>
Costo materia prima	639 182.22
Costo talento humano	4090
Costo depreciación de maquinaria	1296.27
Costos de servicios	644.67
Costos depreciación de construcción	333.33
Precio del empaque	41 129.34
Producción	127 296
Costo unitario \$/kg de jarabe de glucosa	\$ 5.39

## 4.1.2. Análisis fisicoquímicos del jarabe de glucosa

### 4.1.2.1. Azúcares reductores (g/L) después de la hidrólisis ácida

En la Tabla 12 se presenta los resultados de los azúcares reductores mediante la hidrólisis ácida del almidón de papa en la obtención del jarabe de glucosa.

**Tabla 12.** Azúcares reductores de la hidrólisis ácida

Tratamientos	Gelificación (% de almidón)	Concentración (% ácido clorhídrico)	Azúcares reductores (g/L)
T1	6	1	0.10
T2	6	3	0.21
T3	9	5	0.14
T4	9	1	0.14
T5	12	3	0.15
T6	12	5	0.13

La tabla muestra que los azúcares reductores obtenidos varían entre 0.10 y 0.21 g/L, donde el T2 presenta un mayor contenido de azúcares, indicando que al 6 % de almidón y una concentración de 3 % de HCl se obtiene un mayor rendimiento; en comparación con el T1, el cual proporciona un rendimiento bajo al 6 % de almidón y una concentración de 1 % de ácido clorhídrico. Por lo tanto, se realizó el análisis estadístico correspondiente para determinar cuál de los seis tratamientos presenta el mejor desempeño, iniciando con los supuestos como se detalla en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Supuestos para las pruebas paramétricas

Supuesto	Método	Valor	Indicador
Linealidad	Media de los residuos	1.6374E-18	Media
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	0.1455	P-valor
Homocedasticidad	Studentized Breusch-Pagan test	0.34913	P-valor
Independencia	Durbin watson test	0.242	P-valor

En ella se muestra que todos los supuestos se cumplen rigurosamente. Los datos son aptos para análisis paramétricos avanzados (ANOVA), puesto que el supuesto de linealidad está muy cerca de cero, mientras que la normalidad, homocedasticidad e independencia sus p-valores son mayores que 0.05, por lo cual cumplen con datos paramétricos. La calidad estadística garantizó que los resultados derivados serán robustos y confiables. Por lo cual, se realizó el ANOVA a los datos paramétricos como se indica en la Tabla 14.

**Tabla 14.** Análisis de varianza para azúcares reductores después de hidrólisis ácida

Factores	P – Valor
A: Concentración de almidón en la gelificación	0.8344
B: Concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón	0.0461
A x B	0.1792

De acuerdo con el ANOVA, se evidenció que para el factor concentración de almidón en la gelificación no hay diferencia significativa entre los tratamientos, porque su p-valor es mayor a 0.05, mientras que para el factor concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón si existe diferencia de los tratamientos por alcanzar un valor inferior a 0.05 y para la interacción entre los dos factores no existe diferencias significativas. Por lo cual, se realizó una la prueba de Tukey para el factor concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón, como la muestra la Tabla 15.

**Tabla 15.** Prueba de Tukey para el factor concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón

<b>B: Concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón</b>	<b>Diferencia</b>	<b>p-valor</b>
0.02-0.01	0.0591	0.0765
0.05-0.01	0.0210	0.6724
0.05-0.02	-0.0380	0.2996

En ella se observa que los valores de p alcanzados al evaluar las diferentes concentraciones de ácido clorhídrico son superiores a 0.05, esto indica que no existe diferencia estadística significativa de las concentraciones del ácido, por lo cual se puede dilucidar que en cuanto a la generación de azúcares reductores.

#### 4.1.2.2. Grados Brix después de la hidrólisis ácida

En la Tabla 16 se presenta los grados Brix alcanzados posteriormente de la hidrólisis ácida del almidón de papa en la obtención del jarabe de glucosa.

**Tabla 16.** °Brix alcanzados después de hidrólisis ácida

<b>Tratamientos</b>	<b>Gelificación (% de almidón)</b>	<b>Concentración (% ácido cítrico)</b>	<b>°Brix</b>
T1	6	1	5.00
T2	6	3	3.00
T3	9	5	4.10
T4	9	1	4.90
T5	12	3	6.40
T6	12	5	8.40

Los °Brix alcanzados en los 6 tratamientos se encuentran en el rango de 3.00 a 8.40 como se indica en la Tabla 16. El mejor tratamiento es el T6, el cual alcanzó un valor de 8.40 °Brix en 1 hora con un 12 % de almidón y una concentración de 5 % de ácido clorhídrico. Se evaluaron los supuestos estadísticos para determinar si los datos presentan características paramétricas, resultados que se detallan en la Tabla 17.

**Tabla 17.** Supuestos para determinar parametricidad en los resultados de °Brix alcanzados después de la hidrólisis ácida

Supuesto	Método	Valor	Indicador
Linealidad	Media de los residuos	-3.29E-32	Media
Normalidad	Shapiro-Wilk normality test	2.564E-08	P-valor
Homocedasticidad	Studentized Breusch-Pagan test	0.04699	P-valor
Independencia	Durbin watson test	0.01948	P-valor

En ella se muestran los supuestos de parametricidad, de los cuatro supuestos solo se cumple uno el de linealidad, por lo cual se puede determinar que los datos de °Brix son no paramétricos, por lo tanto, se realizó la prueba para la identificación de diferencia significativa entre tratamientos para esto se utilizó Kruskal Wallis que es específico para datos no paramétricos, como lo indica la Tabla 18.

**Tabla 18.** Prueba Kruskal Wallis

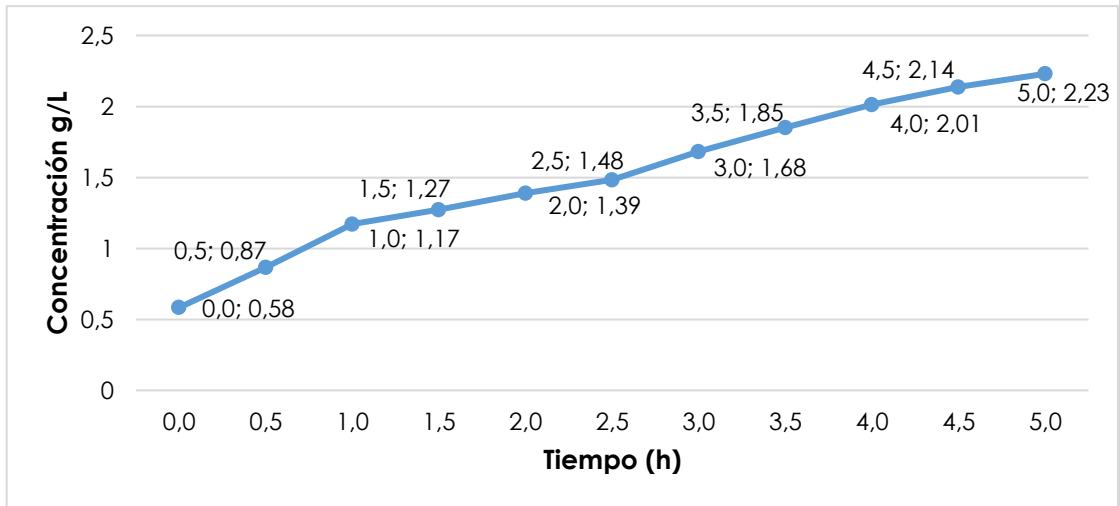
Variable	Media	P-value
Kruskal-Wallis chi-squared	5.30	0.0045

En la prueba de Kruskal Wallis se muestra un p-valor menor a 0.05 indicando que existe diferencia significativa de los tratamientos. Se realizó la prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos para identificar cuál de ellos es el mejor como se indica en la Tabla 19.

**Tabla 19.** Prueba de Dunn para la comparación entre pares de tratamientos

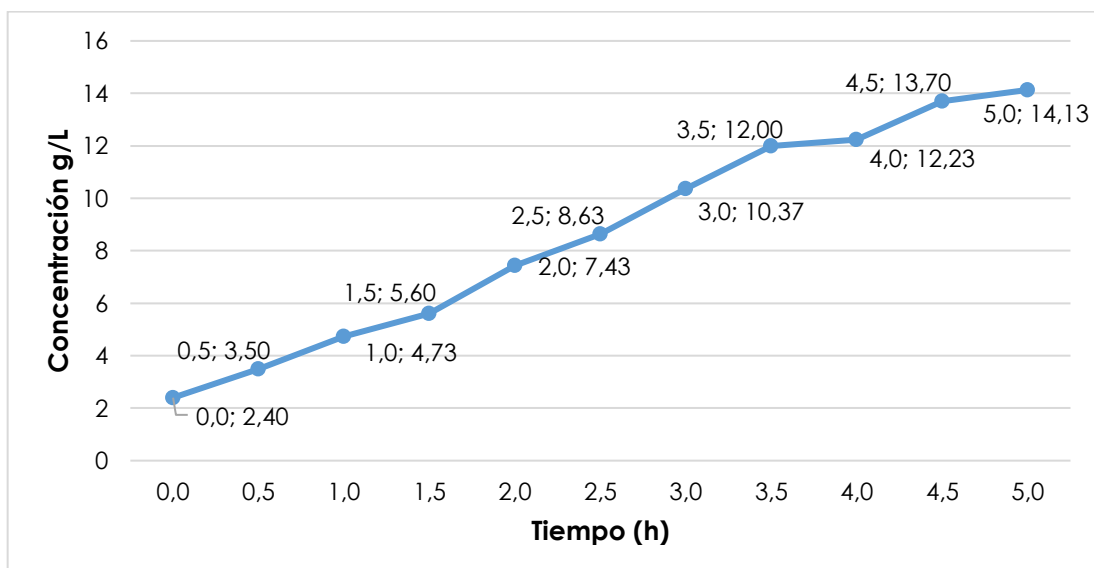
Tratamientos	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>T2</b>						
Diferencia	2.091					
p-valor	0.274					
<b>T3</b>						
Diferencia	1.394	-0.697				
p-valor	1.000	1.000				
<b>T4</b>						
Diferencia	0.697	-1.394	-0.697			
p-valor	1.000	1.000	1.000			
<b>T5</b>						
Diferencia	-0.697	-2.788	-2.091	-1.394		
p-valor	1.000	0.040	0.274	1.000		
<b>T6</b>						
Diferencia	-1.394	-3.485	-2.788	-2.091	-0.697	
p-valor	1.000	0.0037*	0.040	0.274	1.000	

Los resultados resaltados reflejan que existe diferencia significativa entre los siguientes pares de tratamientos T2-T5, T2-T6 y T3-T6, dado que el p-valor es inferior al umbral de 0.05, observando una mayor diferencia significativa entre el par T2-T6 siendo el °Brix alcanzado de 3.0 – 8.4 respectivamente, siendo el T6 el tratamiento que mayor °Brix alcanzado con referencia a los demás tratamientos. Después de un exhaustivo análisis estadístico se determinó como mejor tratamiento el tratamiento T6 (concentración de almidón en la gelificación 12 % y concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón 5 %).



**Figura 10.** Azúcares reductores generados en el tiempo de hidrólisis ácida

La Figura 10 refleja una relación exponencial característica entre el tiempo de hidrólisis y la concentración de azúcares reductores. Se identificaron dos fases claras: Fase de Aceleración Inicial (0 - 2 horas), en el que se evidenció un incremento pronunciado en la generación de azúcares reductores y máxima pendiente alrededor de 1.5 - 2 horas, esto corresponde a la ruptura rápida de enlaces glucosídicos por el ácido en el almidón gelatinizado. Fase de Estabilización (3-5 horas), en este tiempo se observó una reducción progresiva de la velocidad de reacción con una tendencia a alcanzar una meseta después de 4 horas, indicando agotamiento del sustrato disponible (almidón) o del ácido.



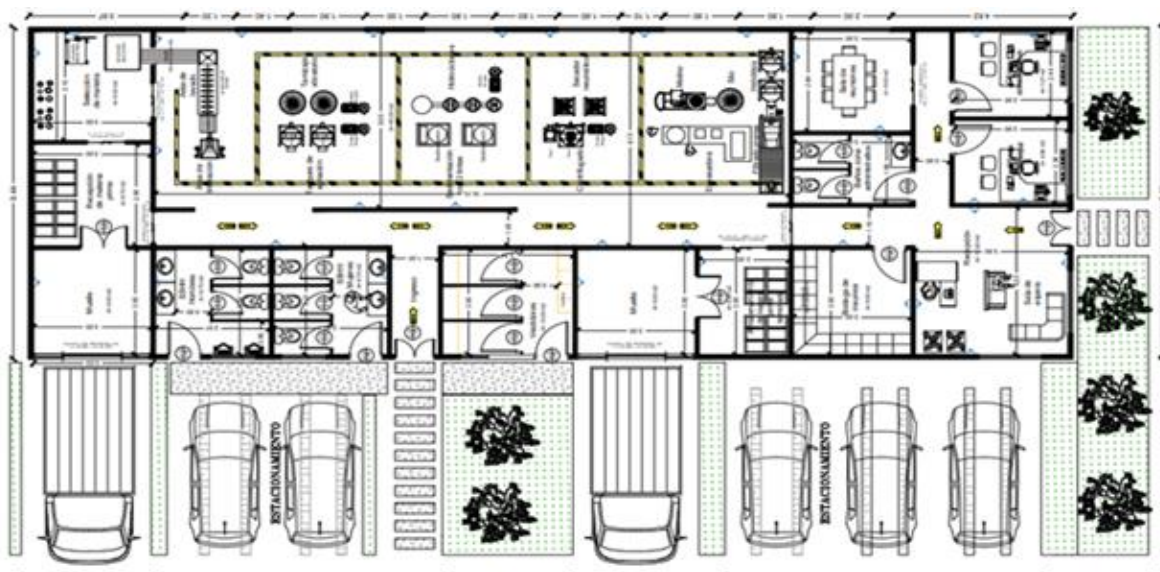
**Figura 11.** °Brix generados en el tiempo de hidrólisis ácida

En la Figura 11 se observó un aumento lineal de los °Brix hasta la hora 4.5 a partir de este momento, identificando una reducción significativa en el incremento de los °Brix,

dado por dos razones fundamentales: la primera, dada por disminución del ácido clorhídrico; y la segunda, por la reducción del almidón presente en la hidrólisis, por lo cual se puede manifestar que a partir de esa hora se detiene la hidrólisis o la velocidad de reacción es mínima, en este tiempo de 4.5 hora el tratamiento T6 (concentración de almidón en la gelificación 12 % y concentración del ácido clorhídrico en la hidrólisis del almidón 5 %) alcanza 2.13 g/L de azúcares reductores y en °Brix 14.13.

#### 4.1.2.3. Diseño de la planta para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida

Se diseñó esta planta con el fin de conocer la disposición física y organización de los equipos donde se llevó a cabo la hidrólisis ácida. Lo cual se debe optimizar el flujo de sus respectivos materiales, reducir los tiempos de procedimiento y garantizar las condiciones seguras y muy eficientes para dicha reacción. En la Figura 12 se detalla la planta.



**Figura 12.** Planta de obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida.

#### Descripción de la planta de obtención de jarabe de glucosa mediante hidrólisis ácida

**Área de oficina.** Se almacenan todos los documentos de funcionamiento de la planta

**Área administrativa.** Se gestiona todo lo relacionado a la empresa ya sea las condiciones económicas, estructurales para que así cumpla los objetivos propuestos.

**Área de aseo.** Se realiza la respectiva limpieza y desinsectación para proceder al área de producción.

**Bodegas de insumos.** Se almacenan los sustratos como el almidón de papa, enzimas alfa amilasa y enzima beta amilasa.

**Recepción de materia prima.** Este método se lo utiliza para pesar de manera exacta las materias primas involucradas en el proceso.

**Selección de materia prima.** En este proceso se elige y se evalúa las materias primas en buen estado ya que pasan directo al proceso o servicio.

**Lavado de vapor.** Pasa a un proceso de limpieza, descontaminación de la materia prima.

**Área de triturado.** Después de haber desinfectado toda la materia prima a utilizarse, se pasa al molino rayador para que se pueda triturar toda la papa.

**Tanque de agitación.** Se coloca en tanques lo obtenido del anterior proceso y se pasa a agitar todo lo obtenido de materia prima.

**Tamizado.** Se procede a separar las partículas sobrantes de la materia prima para así obtener un producto con características específicas.

**Sedimentación.** Toda la materia prima se lo coloca en diferentes finas para así separar las densidades y tamaños.

**Centrifugado.** Se hace generar un proceso de rotación para que la materia tenga un mejor funcionamiento.

**Secado.** Se pasa toda la materia obtenida a un secador neumático para eliminar toda la humedad.

**Triturado.** Secado toda la materia prima se pasa otra vez el proceso de molino para así obtener partículas muy pequeñas.

**Silo.** Se pasa toda la materia a almacenar en contenedores para así proceder hacer la hidrólisis.

**Gelificación.** Después de haber obtenido el almidón de papa, se preparan las soluciones de gelificación tanto en la tina 1 y tina 2 para luego pasar el calentamiento de dichas soluciones.

**Proceso de hidrólisis ácida.** Se termina el proceso de gelificación durante 5 minutos, a la tina 1 y 2 se les añade el 1 % de ácido clorhídrico a una temperatura de 35 °C hasta terminar la hora.

**Proceso de filtrado.** Terminado el proceso de hidrólisis se envía a la tina 1 y 2 por un filtro prensa para así separar líquidos y sólidos en el proceso.

**Envasado del producto final.** Terminado todo el proceso se comienza a envasar el jarabe de glucosa obtenido.

**Almacenamiento del producto final.** En este espacio es donde se encuentran los productos que están listos para ser vendidos y distribuidos hacia los clientes.

#### 4.1.2.4. Costo unitario del jarabe de glucosa a partir del almidón de papa mediante hidrólisis ácida

En la Tabla 20 se analizó los costos de las metodologías propuestas, donde el costo unitario \$/kg de jarabe de glucosa para hidrólisis ácida es de \$ 4.66.

Fórmula:

$$CPU = \frac{272\,486.22 + 4090 + 1296.27 + 644.67 + 333.33 + 20\,762.41}{64\,260}$$

$$CPU = \$ 4.66$$

**Tabla 20.** Análisis de costos

Criterios	Hidrólisis ácida
Costo materia prima	272 486.22
Costo talento humano	4090
Costo depreciación de maquinaria	1296.27
Costos de servicios	644.67
Costos depreciación de construcción	333.33
Precio del empaque	20 762.41
Producción	64 260
Costo unitario \$/kg de jarabe de glucosa	\$ 4.66

## 4.2. DISCUSIÓN

En la Tabla 21 se resume los resultados de los mejores tratamientos en la investigación para la obtención del jarabe de glucosa mediante hidrólisis enzimática y ácida.

**Tabla 21.** Resumen de los resultados mediante hidrólisis enzimática y ácida

Métodos de obtención del jarabe de glucosa	Tratamiento	Azúcares reductores (g/L)	Grados Brix (°Brix)	Costo unitario (\$/kg de jarabe)
Hidrólisis enzimática	T2	2.18	18.80	5.39
Hidrólisis ácida	T6	2.13	13.70	4.66
Diferencia		0.05	5.10	0.73

Al comparar los métodos de hidrólisis enzimática y ácida para la obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de papa, los resultados experimentales revelaron una marcada superioridad del tratamiento enzimático T2 (6 % almidón + 2 %  $\alpha$ -amilasa + 2 %  $\beta$ -amilasa), que alcanzó 18.80 °Brix y 2.18 g/L de azúcares reductores, frente al tratamiento ácido T6 (12 % almidón + 3 % HCl), con 13.70 °Brix y 2.13 g/L. Esta diferencia en sólidos solubles totales y capacidad reductora coincide con los antecedentes reportados por Cieza y Díaz (2018), quienes determinaron que la hidrólisis enzimática de residuos de cáscara de papa produce mayor rendimiento de azúcares reductores (10.09 mg/mL) en comparación con la ácida (2.93 mg/mL), lo que coincide con la tendencia observada en este estudio. Del mismo modo Deheco (2015), concluyó que la hidrólisis enzimática sobre almidón de yuca resultó más eficiente en la generación de azúcares y ED (equivalente de dextrosa) que la hidrólisis ácida. Esta diferencia es atribuible a la alta especificidad catalítica de las enzimas, que permite una conversión más eficiente del almidón en glucosa sin formación de subproductos no deseados. Estos resultados refuerzan el potencial de la hidrólisis enzimática como el método más efectivo para maximizar el contenido de azúcares y mejorar la calidad del producto final. Además, la investigación de Caiza (2023) respalda estos hallazgos al demostrar que el jarabe obtenido mediante hidrólisis enzimática no solo presenta mejores características fisicoquímicas, sino que también es más adecuado para su aplicación en productos procesados, como mermeladas. Esto refuerza la superioridad del método enzimático no solo a nivel de rendimiento técnico, sino también en términos de aplicabilidad industrial y aceptación del consumidor.

En términos de costos, la hidrólisis ácida presenta una ventaja económica, con un costo unitario de producción de 4.66 \$/kg frente a los 5.39 \$/kg del método enzimático. No obstante, esta diferencia de 0.73 \$/kg debe evaluarse en función de los beneficios técnicos del producto obtenido. A pesar de su menor costo, el jarabe producido por hidrólisis ácida mostró menores valores de °Brix y azúcares reductores, lo que podría limitar su aceptación en aplicaciones alimentarias que demandan altos estándares de calidad. En contraste, la rentabilidad también debe entenderse desde la perspectiva de valor agregado, tal como lo evidencia Castillo (2018) en su estudio de bebidas de mortiño, donde una formulación con mejores características sensoriales generó una rentabilidad destacable de 0.23 USD por dólar invertido. Al comparar con el jarabe de glucosa de maíz comercial de la marca INNOVAPEC con un valor de 4.14 \$/kg, se evidencia que la materia prima sí influye con el método de

obtención del jarabe, presentando valores inferiores respecto a costos. Por tanto, invertir en procesos que aseguren un producto de mayor calidad, como la hidrólisis enzimática, puede traducirse en una mayor competitividad en el mercado, aun cuando el costo inicial sea superior.

Desde un enfoque técnico y aplicado, Ríos y Zelada (2017) indican que la hidrólisis enzimática se posiciona como la opción más adecuada para la obtención de jarabe de glucosa, debido a su mayor eficiencia en la conversión del almidón, su capacidad para preservar las propiedades funcionales del producto y su menor impacto ambiental. Este método permite un control preciso de variables críticas como pH, temperatura y tiempo de reacción, evitando la formación de compuestos secundarios indeseables asociados al uso de ácidos fuertes. Además, Urgilez (2018) menciona que al prescindir de procesos de neutralización, reduce riesgos operativos y facilita la implementación en ambientes industriales bajo estándares de inocuidad alimentaria. En consecuencia, la hidrólisis enzimática no solo ofrece un producto de mejor calidad fisicoquímica, sino que también representa una estrategia sustentable y tecnológicamente avanzada para valorizar la producción local de papa, especialmente en regiones con alto potencial agrícola como el Carchi.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Del análisis estadístico se pudo evidenciar que para la obtención de jarabe de glucosa por hidrólisis enzimática de almidón de papa, el tratamiento T2 es el mejor, con una concentración de almidón de papa óptima del 6 % y de enzimas del 2 %  $\alpha$ -amilasa y 2 %  $\beta$ -amilasa.
- En la obtención de jarabe de glucosa por hidrólisis ácida de almidón de papa, el mejor tratamiento es T6 con una concentración de almidón de papa óptima del 12 % y de ácido clorhídrico del 5 %.
- Se determinó que el mejor método para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa es el enzimático puesto que alcanza niveles de azúcares reductores de 2.18 g/L y de °Brix de 18.80, que son superiores con relación al método ácido que alcanzó en azúcares reductores 2.14 y °Brix de 13.70.
- Se determinó que el método ácido para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa presenta el menor costo unitario de producción, con un valor de 4.66 \$/kg, en comparación con el método enzimático, que alcanzó 5.39 \$/kg. No obstante, la investigación concluye que el método enzimático es el más eficiente, ya que, pese a su mayor costo, permite obtener mayores concentraciones de azúcares reductores y grados Brix en el producto final.

### 5.2. RECOMENDACIONES

- Explorar la integración de tecnologías emergentes, como la hidrólisis asistida por ultrasonido o microondas, para determinar su efecto en los tiempos de proceso y mejorar la conversión del almidón en glucosa.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balanda, A. (2005). *Contabilidad de costos*. Universidad Nacional de Misiones. [https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos\\_digitales/Contabilidad\\_de\\_Costos-Alberto\\_Balanda.pdf](https://editorial.unam.edu.ar/images/documentos_digitales/Contabilidad_de_Costos-Alberto_Balanda.pdf)
- Benavides, I., y Pozo, M. (2008). *Elaboración de una bebida alcohólica destilada (Vodka) a partir de tres variedades de papa (Solanum tuberosum) utilizando dos tipos de enzimas* [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/327/1/03%20AGI%2026%20TESIS.pdf>
- Bernal, C., Morales, D., Cuellar, L., y Jaramillo, S. (2017). Hidrólisis enzimática de almidón. *Revista de Investigación*, 10(1), 129-140.
- Blacio, C., y Santana, S. (2023). *Propiedades físicas y de barrera de películas a base de almidón de maíz acetilado, gelatina y aceite esencial de orégano* [Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/22298>
- Caiza, S. (2023). [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <https://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/18795>
- Casas, M., Vélez, J., y Acosta, A. (2013). *Producción de jarabes glucosados empleando un complejo enzimático en la hidrólisis de almidón contenido en harinas de yuca, sorgo y maíz*. 4(1), 12-22.
- Castillo, V. (2018). *Desarrollo de una bebida gaseosa de mortiño (vaccinium meridionale) en la comunidad de Sigchos provincia de Cotopaxi* [Universidad De Las Américas]. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/9292>
- Cevallos, A. (2019). *Producción de alfa-amilasa recombinante de Bacillus licheniformis ATCC 14580 en Escherichia coli BL21 (DE3)* [Universidad De Las Américas]. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/11451/1/UDLA-EC-TIB-2019-30.pdf>
- Chaves, D., y Mejía, D. (2022). Comparación fisicoquímica y tecnofuncional del almidón de variedades de papa nativa (Solanum phureja) con almidones comerciales. *Tecnol*, 26(56), 24-55.

- Cieza, R., & Diaz, G. (2018). *Obtención de azúcares reductores a partir de cáscara de papa (Solanum tuberosum) por hidrólisis química y enzimática*. Universidad Señor de Sipán: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5777/Cieza%20Garc%C3%ADa%20&%20Diaz%20Rodriguez.pdf?sequence=1>
- Cuesta, X., Monteros, C., Racines, M., y Rivadeneira, J. (2022). *Catálogo de variedades de papa del Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5850/1/CATALOGO%20PAPA%202022.pdf>
- Decheco, A. (2015). Obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de yuca Manihot (esculenta Crantz) y estudio comparativo entre los métodos de hidrólisis aciday enzimática. *Revista de Investigación Universidad Le Cordon Bleu*, 2(2), 2409-1537.
- Gaona, J., Montesdeoca, D., Brito, B., Sotomayor, A., y Viera, W. (2019). Aprovechamiento de la naranjilla Solanum quitoense Lam. Variedad INIAP Quitoense-2009 para la obtención de una bebida carbonatada. *Enfoque UTE*, 10(2), 107-114.
- Lazo, M., y Sarmiento, H. (2021). *Obtención de un jarabe glucosado a partir de la hidrólisis enzimática de papa fermentada [Universidad del Azuay]*. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11242>
- Mallaupoma, S., y Ramos, R. (2014). *Efecto del método de hidrólisis en el almidón de papa (solanum tuberosum) para la obtención de alcohol [Universidad Nacional del Centro del Perú]*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1233>
- Maza, J., Santiana, C., Flores, L., y Bonilla, M. (2021). Obtención de almidón de maíz chulpi (Zea Mays Amylosaccharata). *Ciencias técnicas y aplicadas*, 7(3), 943-958.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2020). *Análisis de mercado (Papa)*. Sierra y selva exportadora. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1471847/Análisis%20de%20Mercado%20-%20Papa%202020.pdf>
- Miranda, J., y Ernesto, C. (2022). *Obtención de maltodextrinas mediante hidrólisis con enzima alpha amilasa inmovilizada en alginato a partir del almidón de papa Solanum tuberosum [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]*. <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/263bbdc0-d8e0-43c4-878b-bf880f58ca48/content>
- Molina, M. (2022). *Determinación de las propiedades físico-químicas y tasa de digestión in vitro del almidón crudo y gelatinizado de ocho genotipos y tres*

variedades de papa de la estación experimental santa catalina del INIAP- Quito [Universidad Politécnica Salesiana Ecuador]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23078/1/TTQ838.pdf>

Montoya, D., Madera, T., Aguirre, C., Grijalva, C., Gonzales, G., Nuñez, C., y Rodríguez, J. (2023). Physicochemical characterization of residual potato (*Solanum tuberosum*) starch recovered from the potato chips industry in Mexico. *Biotecnia*, 25(2). <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1880>

Morales, Y., y Sánchez, I. (2004). *Diseño conceptual y comparación técnica de los procesos de hidrólisis ácida y enzimática para la producción de glucosa a partir de almidón de yuca* [Universidad Industrial de Santander]. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/509ce5f4-0250-4178-b382-7b4814bfcbf7/content>

Morejón, J. (2016). "Sustitución de la hidrólisis ácida por la enzimática en la obtención de jarabes glucosados utilizando almidón de maíz como sustrato." [Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas]. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/44e8de30-4c4e-4689-b193-eeac9d7f16db/content>

Parada, J., y Rozowski, J. (2008). Relación entre la respuesta glicémica del almidón y su estado microestructural. *Revista chilena de nutrición*, 35(2), 84-92.

Pardo, M., Rivera, P., Castellanos, O., y González, G. (2004). Estudio cinético de la hidrólisis enzimática de almidón de papa. *Revista Ingeniería e Investigación*, 54. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4902565.pdf>

Pumisacho, M., y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>

Punina, E. (2013). *Evaluación agronómica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) C.V. «fripapa» a la aplicación de tres abonos completos* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/f943a5e3-4b32-46a0-9693-868ee0874538/content>

Racines, M., Amagua, J., Suango, V., y Cuesta, H. (2023). *Producción y consumo de papa en Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6145>

Reategui, M. (2009). *Enzimas para la panificación Estado del Arte* [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/20.500.112737/2920/T%20664.752%20R31.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Ríos, E., y Zelada, H. (2017). *Determinación del Rendimiento de Glucosa por Hidrólisis Enzimática de Almidones de Yuca (Manihot esculenta), Camote (Ipomoea batatas) y Papa (Solanum tuberosum)* [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/1061>
- Sarmiento, H. (2021). Obtención de un jarabe glucosado a partir de la hidrólisis enzimática de papa fermentada. Universidad del Azuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/11242/1/16779.pdf>
- Urgilez, M. (2018). *Efecto de la combinación de enzimas amilolíticas en la obtención de jarabe glucosado a partir de miga de pan* [Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7969/1/13707.pdf>
- Vera, A., y Chavarría, M. (2020). Extracción y caracterización del almidón de papa (*solanum tuberosum*) variedad leona blanca. *Revista Ciencia Y Tecnología El Higo*, 10(2). <https://doi.org/10.5377/elhigo.v10i2.10550%20>
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., y Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3). <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Acta de la sustentación de Predefensa del TIC

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE ALIMENTOS


**RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN ORAL DE LA PREDENSA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

ESTUDIANTE:	Gavilima Moreno Damarys Leslie	CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005024169
PERIODO ACADÉMICO:	2025A	FECHA:	26 de junio de 2023
ESIDENTE TRIBUNAL:	PhD. Francisco Javier Domínguez Rodríguez	DOCENTE TUTOR:	PhD. Guaberto Gerardo León Revelo
PRESENTE:	Msc. Carlos Alberto Rivas Rosero	AULA:	101 EDIFICIO DE AULAS
TEMA DEL TIC:	"Comparación del método de hidrólisis ácido con el enzimático para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.)"		


No.	CATEGORÍA	CRITERIO ÓPTIMO DE EVALUACIÓN	PRESIDENTE	TUTOR	DOCENTE
1	PROBLEMA - OBJETIVOS	Se expone el planteamiento, formulación y justificación, los objetivos son expuestos como académicos para alcanzar el objetivo general; las preguntas de investigación aportan a entender lo que se quiere investigar y son coherentes con los objetivos.	8	8	8
2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	Es un marco de referencia para el desarrollo e interpretación de los resultados de la investigación. Los antecedentes investigativos incluidos tienen relación con el tema planteado.	8	8	7
3	METODOLOGÍA	El estudiante explicó el enfoque de la investigación de manera lógica al análisis estadístico, la población, muestra, técnicas e instrumentos presentados, permitiendo entender que el informe es consistente en resultados y discusión.	7	8	7
4	RESULTADOS	Se analizó la relación entre las variables de manera cualitativa, cuantitativa y fueron representativas a la profesión. Expone gráficos, figuras, tablas de frecuencia y contingencia coherentes y de acuerdo a la metodología de investigación. Los datos fueron presentados de forma clara y efectiva a lo observado y no exigen interpretaciones.	8	8	8
5	DISCUSIÓN	La discusión expuesta y defendida establece la relación de los objetivos propuestos, con los antecedentes de la investigación y el tema.	6	7	6
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	Las conclusiones y recomendaciones expuestas, son claras, concisas y acordes a los objetivos y resultados de la investigación.	7	8	7
7	DEFENSA, ARGUMENTACIÓN Y VOCABULARIO PROFESIONAL	El estudiante demostró conocimiento y seguridad del objeto de estudio. Relacionó conceptos y teorías. El vocabulario utilizado fue acorde a la terminología de la profesión con un volumen de voz adecuado. Hizo un uso correcto del tiempo. Utilizó recursos didácticos apropiados.	7	7	7
<b>PROMEDIO SOBRE SIETE</b>				5,17	
8	FORMATO, ORGANIZACIÓN Y CALIDAD DE LA INFORMACIÓN	El formato, la organización de contenidos, redacción, uso de gramática y ortografía, aplicación de normas de citas y referencias cumplen con el formato de la UPEC.	6	8	8
<b>PROMEDIO SOBRE TRES</b>				2,20	
				<b>7,37</b>	

1.3. Los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones, los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones de los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.


1.4. La aprobación de la pre-defensa del informe final del TIC, De la aprobación de la pre-defensa del informe final del TIC, El estudiante deberá obtener una nota mínima de 7/10; el estudiante que no obtenga esta nota mínima, presentará a un segundo proceso de sustentación, transcurrido el término de 10 días desde la fecha primera.



PhD. Francisco Javier Domínguez Rodríguez  
PRESIDENTE



PhD. Guaberto Gerardo León Revelo  
DOCENTE TUTOR



Msc. Carlos Alberto Rivas Rosero  
DOCENTE

**Anexo 2.** Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN  
AND NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
<b>NAME:</b> Gavilima Moreno Damarys Leslie <b>DATE:</b> Miércoles, 9 de julio de 2025 <b>Topic:</b> "Comparación de la hidrólisis ácida con la hidrólisis enzimática para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L)." <b>MARKS AWARDED</b> <span style="float: right;"><b>QUANTITATIVE AND QUALITATIVE</b></span>				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 <input type="checkbox"/>	GOOD: 1,5 <input type="checkbox"/>	AVERAGE: 1 <input type="checkbox"/>	LIMITED: 0,5 <input type="checkbox"/>
<p>9 - 10: EXCELLENT            7 - 8,9: GOOD            5 - 6,9: AVERAGE            0 - 4,9: LIMITED</p> <p><b>TOTAL/AVERAGE</b> <span style="margin-left: 150px;"><b>TOTAL 9</b></span></p>				



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL  
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES  
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico  
o Investigación.**

**Autor:** Gavilima Moreno Damarys Leslie  
**Fecha de recepción del abstract:** Jueves, 10 de julio de 2025  
**Fecha de entrega del informe:** Jueves, 10 de julio de 2025  
10 de julio de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

**Observaciones:**

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.



Atentamente  
MA. Martha Viveros  
Docente responsable del  
CIDEN

**Anexo 3.** Proceso de extracción del almidón de papa



**Figura 1313.** Selección



**Figura 14.** Tamizado



**Figura 15.** Decantación



**Figura 16.** Almacenado



**Figura 17.** Secado

**Anexo 44.** Análisis de azúcares reductores



**Figura 18.** Pesado de materia prima y ácido clorhídrico



**Figura 19.** Lectura de azúcares reductores y ° Brix

**Anexo 55.** Hidrólisis enzimática



**Figura 20.** Pesado de almidón de papa y enzimas alfa y beta amilasas



**Figura 21.** Lectura de azúcares reductores y ° Brix

**Anexo 66.** Hidrólisis ácida



**Figura 22.** Pesado de materia prima



**Figura 23.** Hidrólisis ácida