



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERIA
CARRERA DE AGROINDUSTRIA**

Desarrollo de un jarabe obtenido a partir de los residuos del olote de maíz

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Agroindustrial

Autor:

Sinche Villafuerte, Carla Daniela

Tutor:

Ing. Diana Yáñez PhD.


Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Sinche Villafuerte Carla Daniela, con cédula de ciudadanía 0605787043, autora del trabajo de investigación titulado: Desarrollo de un jarabe obtenido a partir de los residuos del olote de maíz, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 23 de Abril del 2026.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carla Daniela Sinche Villafuerte', is written over a horizontal line.

Carla Daniela Sinche Villafuerte

C.I: 0605787043

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Diana Estefanía Yánez Sevilla catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Desarrollo de un jarabe obtenido a partir de los residuos del olote de maíz, bajo la autoría de Carla Daniela Sinche Villafuerte; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 23 días del mes de Abril de 2026.



Diana Estefanía Yánez Sevilla

C.I: 1721969978

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación

Desarrollo de un jarabe obtenido a partir de los residuos del olote de maíz, presentado por Carla Daniela Sinche Villafuerte, con cédula de identidad número 0605787043, bajo la tutoría de Ing. Diana Estefanía Yáñez Sevilla, PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 23 de Abril del 2026.

Ing. Paúl Stalin Ricauter Ortiz, PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



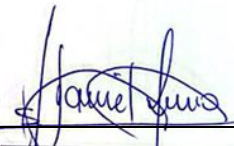
PhD. Jenny Patricia Paredes Fierro

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Nombre Apellido, PhD./Mgs.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





CERTIFICACIÓN

Que, **SINCHE VILLAFUERTE CARLA DANIELA** con CC: **0605787043**, estudiante de la Carrera **AGROINDUSTRIA** Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Desarrollo de un jarabe obtenido a partir de los residuos del olote de maíz”** cumple con el 7% similitud y 7% de similitud posibles generados por IA, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 27 de enero de 2026



Ing. Diana Yáñez Sevilla, Ph.D.

TUTORA

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis primeramente a Dios, porque a estado conmigo en cada paso y fortaleza para o rendirme en este camino.

A mis queridos padres Amada y Antonio, quienes con su ejemplo de trabajo. Por ser mi guía en cada etapa de mi vida y darme las bases necesarias para seguir adelante y triunfar en la vida.

A mi esposo Marco, que fue un gran apoyo y me acompañó en esta etapa lleno de retos y enseñanzas, que no me ha dejado sola y me impulso a seguir adelante cuando las dificultades parecían mayores.

A mis hijos Santy y Antony quienes son la razón de cada uno de mis logros, me motivan a ser una mejor persona y este triunfo es dedicado para ustedes dos que son lo más importante en mi vida.

Este trabajo es para ustedes con todo mi cariño y gratitud.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de manera muy especial a Dios por ser mi fuente de sabiduría y sostenerme en este proceso lleno de desafíos que hoy logro cumplir cada uno de ellos.

A la Universidad Nacional de Chimborazo y a la Carrera de Agroindustria, por las enseñanzas recibidas en sus aulas.

A mi tutora Ing. Diana Yáñez, PhD, por su guía académica y compromiso para poder culminar este trabajo.

A mis padres Amada y Antonio, quienes son la razón más grande de mis esfuerzos, que siempre me dieron impulso para que siga adelante hasta alcanzar esta meta.

A mi esposo, Marco compañero fiel en este camino, gracias por tu paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

Quiero hacer especial mención a mis hijos Santy y Antony quienes han sido mi mayor inspiración y el motor que me ayudado a llegar a donde estoy.

Por último, muchas gracias a mi familia, amigos, docentes por sus ánimos para seguir adelante en mis estudios y llegar a culminar este trabajo.

A todos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
ÍNDICE GENERAL.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	14
1.2. Antecedentes.....	14
1.3. Problema.....	14
1.4. Justificación.....	15
1.5. Objetivos.....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. MARCO REFERENCIAL.....	16
2.2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.2.1 Olote de maíz.....	17
2.2.2. Celulosa.....	17
2.3 Normativas.....	18
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Tipo de Investigación.....	19
3.2 Diseño Experimental.....	19
3.2.1 Variables.....	19
3.3 Diagrama de flujo del proceso de obtención del jarabe.....	20

3.4	Extracción de la celulosa	21
3.5	Extracción de glucosa a partir de la celulosa.....	22
3.6	Técnicas de recolección de datos.....	24
3.6.1	Determinación de pH.....	24
3.6.2	Determinación de ° Brix	24
3.6.3	Determinación de azúcares reductores	25
3.6.4	Determinación viscosidad.....	25
3.7	Población de estudio y tamaño de muestra.....	26
3.8	Hipótesis	26
3.9	Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos.....	26
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		28
4.1	Obtención de glucosa del olote de maíz	28
4.1.1	Resultados del rendimiento de la celulosa.....	28
4.1.2	Hidrólisis enzimática – Prueba Fehling	29
4.1.3	Resultados FTIR de glucosa obtenidas en la hidrolisis enzimática	29
4.1.4	FTIR de la glucosa obtenida del olote de maíz.....	30
4.1.5	Comparación de curvas FTIR de la glucosa estándar y glucosa obtenida por hidrolisis enzimática.....	31
4.1.6	Resultados de rendimiento de la glucosa.....	32
4.2	Resultados de la caracterización fisicoquímicamente del jarabe de glucosa.....	33
4.3	Análisis Estadístico.....	34
4.4	Análisis de costos	35
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES		38
5.1	Conclusiones.....	38
5.2	Recomendaciones	38
BIBLIOGRAFÍA		39
ANEXOS		43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimiento de la celulosa	28
Tabla 2. Resultados hidrólisis enzimática – prueba Fehling.....	29
Tabla 3. Rendimiento de la glucosa	32
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos.....	33
Tabla 5. Anova de la hidrólisis enzimática	34
Tabla 6. Materia prima directa.....	35
Tabla 7. Costos indirectos de fabricación (CIF)	36
Tabla 8. Línea de producción, unidades, empaques y peso	36
Tabla 9. Costos fijos y variables	36
Tabla 10. Beneficio/Costo.....	37

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Diagrama de flujo de la obtención de la celulosa a partir del olote.....	20
<i>Figura 2.</i> Diagrama de flujo de la obtención del jarabe a partir del olote.....	21
<i>Figura 3.</i> Glucosa estándar	30
<i>Figura 4.</i> FTIR de glucosa obtenida.....	30
<i>Figura 5.</i> Comparación de glucosa estándar y glucosa obtenida	31
<i>Figura 6.</i> Glucosa liberada.....	35
<i>Figura 7.</i> Olote de maíz	43
<i>Figura 8.</i> Trituración y secado de la muestra del olote de maíz	43
<i>Figura 9.</i> Muestras del olote del maíz antes y después del pretratamiento.....	44
<i>Figura 10.</i> Celulosa obtenida	44
<i>Figura 11.</i> Hidrólisis enzimática	45
<i>Figura 12.</i> Prueba de Fehling.....	45
<i>Figura 13.</i> Prueba de FTIR de la glucosa obtenida	46
<i>Figura 14.</i> Pruebas de análisis fisicoquímicas	47

RESUMEN

La producción de maíz produce grandes cantidades de desechos agroindustriales. Uno de ellos es el olote, que es una biomasa lignocelulósica con alto contenido de celulosa y que, en su mayor parte, no se utiliza. En este escenario, el propósito de la investigación actual fue elaborar un jarabe a partir de los residuos del olote de maíz utilizando un proceso de hidrólisis enzimática. Con este objetivo, el olote fue tratado inicialmente con hidróxido de sodio para conseguir un rendimiento medio de celulosa del 41,72 %. Más adelante, se hidrolizó la celulosa obtenida mediante el uso de la enzima Cellulase Ultra 7, bajo condiciones controladas de temperatura y pH. Se realizó la prueba de Fehling para comprobar la liberación de glucosa, y se utilizó espectroscopía FTIR para corroborar su estructura; esta tenía un 82,5 % de similitud estructural con la glucosa estándar. El jarabe que se generó mostró un pH de 5,22, una viscosidad de 137,13 cP, una concentración de azúcares reductores de 33,79 mg/100 g y un valor de 2 °Brix. Se demostró mediante un análisis ANOVA de una vía que las diferencias entre los tratamientos analizados eran importantes ($p < 0,05$). El análisis económico también reveló que el proceso a pequeña escala es factible, con un costo/beneficio de 1,25. Su uso contribuye a la valorización sostenible de residuos agroindustriales.

Palabras clave: Olote de maíz, hidrólisis enzimática, glucosa, Cellulase Ultra 7, residuos agroindustriales, jarabe natural.

ABSTRACT

Corn production generates large amounts of agro-industrial waste. One type of waste is corn cobs, which are a lignocellulosic biomass with a high cellulose content and are largely unused. In this context, the purpose of the current research was to produce syrup from corn cob waste using an enzymatic hydrolysis process. To this end, the corn cobs were initially treated with sodium hydroxide to achieve an average cellulose yield of 41.72%. The cellulose obtained was then hydrolyzed using the enzyme Cellulase Ultra 7 under controlled temperature and pH conditions. The Fehling test was performed to verify glucose release, and FTIR spectroscopy was used to corroborate its structure, which had an 82.5% structural similarity to standard glucose. The syrup generated had a pH of 5.22, a viscosity of 137.13 cP, a reducing sugar concentration of 33.79 mg/100 g, and a value of 2 °Brix. A one-way ANOVA analysis showed that the differences between the treatments analyzed were significant ($p < 0.05$). The economic analysis also revealed that the small-scale process is feasible, with a cost/benefit ratio of 1.25. Its use contributes to the sustainable recovery of agro-industrial waste.

Keywords: Corn cob, enzymatic hydrolysis, glucose, Cellulase Ultra 7, agro-industrial waste, natural syrup.



Reviewed by:
MsC. Edison Damian Escudero
ENGLISH PROFESSOR
C.C.0601890593

CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

1.2. Antecedentes

El maíz (*Zea mays*) constituye uno de los cultivos de mayor importancia a nivel mundial debido a su amplio uso en la alimentación humana, la industria y la producción de biocombustibles. En Ecuador, este cereal ocupa un lugar fundamental tanto en la dieta de la población como en la economía agroindustrial, ya que su producción genera ingresos para miles de agricultores, especialmente en la región andina.

Un reto importante que trae consigo el aprovechamiento agrícola es la acumulación de residuos agroindustriales, los cuales se convierten en pasivos ambientales debido a la ausencia de protocolos para su gestión.

El olote de maíz es un ejemplo: este residuo, que representa hasta el 16 % de la biomasa de la mazorca y que, a pesar de su riqueza en hemicelulosa, celulosa y lignina, normalmente acaba incinerado o arrojado en vertederos. No solo se intensifica la contaminación con esta práctica, sino que también se malgastan biopolímeros valiosos.

En Ecuador, la magnitud del problema es evidente; datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2022) indican que, de los 1,6 millones de toneladas de maíz producidas anualmente, surgen más de 190,000 toneladas de olote que permanecen ajenas a cualquier cadena de valorización biotecnológica.

Frente a este escenario, la bioeconomía propone reintegrar estos materiales lignocelulósicos al ciclo productivo. Según Bouchard et al. (2017), convertir estos residuos en insumos de gran valor, como jarabes o biopolímeros, es una vía efectiva para reducir la huella ecológica del sector.

A su vez, las investigaciones de Hernández-Melchor et al. (2020) y Sánchez-Mendoza et al. (2021) confirman que el olote es una fuente de polisacáridos que pueden transformarse en azúcares con características funcionales.

Aunque la industria ha utilizado tradicionalmente el almidón o la caña de azúcar para producir jarabes, la FAO (2023) exhorta a encontrar opciones que no entren en competencia con la seguridad alimentaria. Es aquí donde el olote adquiere importancia científica ya que la hidrólisis enzimática es una alternativa ecológica para procesarlo, este procedimiento posibilita la obtención de azúcares de modo eficaz sin la necesidad de utilizar sustancias químicas corrosivas que produzcan desechos tóxicos, como señalan Meneses, Morales y Martínez (2019). En este sentido, Rodríguez Valiente (2016) evidenció que, además, es

fundamental utilizar pretratamientos alcalinos (como el NaOH) para "desplegar" la estructura de la celulosa y optimizar su transformación en glucosa.

En este contexto, el presente estudio se enfocó en la elaboración de un jarabe a partir del olote de maíz, utilizando la enzima Cellulase Ultra 7. La investigación no solo midió el rendimiento de la celulosa y la dinámica de liberación de glucosa, sino que también analizó la viabilidad financiera del proceso a pequeña escala.

1.3. Problema

La generación de residuos agroindustriales, especialmente del maíz, se ha convertido en un problema ambiental relevante. Entre estos residuos destaca el olote, que en la mayoría de las zonas agrícolas suele quemarse o desecharse al aire libre, causando contaminación del suelo y aumento de emisiones.

En Ecuador, la producción anual de maíz supera 1,6 millones de toneladas y se estima que entre el 12 % y 16 % corresponde a olote, lo que equivale a más de 190 000 toneladas de biomasa que generalmente no se aprovecha, pese a su contenido de celulosa y su potencial para transformarse en productos de valor agregado (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2022).

A pesar de que el olote tiene una riqueza estructural, basada en celulosa y hemicelulosa, este potencial biotecnológico no ha sido explorado por la industria en gran medida. Las cifras del Ministerio de Agricultura y Ganadería en el caso de Ecuador muestran una situación alarmante: por lo menos el 80% de estos residuos no entra en ningún ciclo de procesamiento avanzado, sino que se destina a empleos marginales o simplemente se abandona.

Por otro lado, la gestión deficiente de los excedentes del maíz se ha consolidado como un foco de degradación ambiental, particularmente en las regiones donde su producción es intensiva. Al no contar con protocolos de aprovechamiento, el olote suele acumularse de forma descontrolada o eliminarse mediante quemas a cielo abierto.

Estas prácticas impactan negativamente en la calidad del aire y del suelo, aceleran la emisión de gases de efecto invernadero y propician condiciones sanitarias adversas por la proliferación de plagas.

En definitiva, desechar el olote es, en esencia, desperdiciar una fuente estratégica de biomasa lignocelulósica. La alta concentración de celulosa en este subproducto dicta que, más que un desperdicio, estamos ante una materia prima desaprovechada que espera ser integrada en procesos de transformación hacia productos de alto valor agregado.

1.4. Justificación

La realización de este trabajo se justifica por la necesidad de buscar alternativas sostenibles para el aprovechamiento de residuos agroindustriales, particularmente de los olotes de maíz.

A través de la extracción de celulosa y su conversión bioquímica en azúcares fermentables, se pretende no solo reducir la carga de residuos, sino también generar insumos con un alto potencial de comercialización.

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de mitigar el impacto de los excedentes agrícolas, transformándolos en recursos estratégicos para sectores de alta exigencia como el farmacéutico, alimentario y cosmético. A través de la extracción de celulosa y su conversión bioquímica en azúcares fermentables, se pretende no solo reducir la carga de residuos, sino también generar insumos con un alto potencial de comercialización.

Se emplearon olotes de maíz tierno (*Zea mays*) como materia prima. Se eligieron estos porque tienen más celulosa que otras etapas de madurez, lo cual permite su uso en biotecnología.

1.5. Objetivos

General

Desarrollar un jarabe a partir de los residuos del olote de maíz.

Específicos

- Obtener glucosa a partir del olote de maíz mediante un proceso de hidrólisis enzimática.
- Determinar las propiedades del jarabe mediante análisis fisicoquímico.
- Evaluar la viabilidad económica de la producción de jarabe obtenido.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1. MARCO REFERENCIAL

En relación con el aprovechamiento de residuos de maíz, diversos estudios han explorado alternativas para valorizar el olote y otros subproductos lignocelulósicos mediante procesos químicos y biotecnológicos.

Mayta-Paucara et al. (2020) desarrollaron procesos de extracción y caracterización de celulosa a partir de hojas de maíz, utilizando tratamientos alcalinos y fases de blanqueamiento con el fin de obtener celulosa más pura, que podría ser utilizada dentro del ámbito industrial. La literatura científica actual confirma que la efectividad dentro de la obtención de materiales celulósicos de alta pureza se relaciona con la implementación de pretratamientos químicos optimizados.

Valdivieso (2020) planteo un enfoque integral para elaborar papel y bioetanol a partir del olote de maíz, mediante hidrólisis enzimática con procesos de fermentación simultánea, validando la viabilidad técnica del residuo como un elemento clave del modelo de bioeconomía.

La digestibilidad de la biomasa ha sido un punto importante para investigadores como Huang et al. (2017) y Santos-Rocha et al. (2017). Los primeros determinaron que métodos como la explosión de vapor y el empleo de NaOH aumentan la liberación de azúcares fermentables en el sabugo y la paja de maíz, mientras los segundos fueron capaces de mejorar la producción de etanol mediante métodos hidrotérmicos y el uso de *Saccharomyces cerevisiae*. En ambos casos se llegó a la conclusión que, para incrementar la eficiencia de conversión, es necesario la preparación previa de la biomasa lignocelulósica.

Soto Velásquez (2024) examinó el rango de usos industriales del maíz, destacando su potencial en biorremediación y biopolímeros, sin embargo, enfatizó la necesidad de crear tecnologías que sean accesibles desde un punto de vista técnico y económico.

Por otro lado, Reyes Ramírez et al. (2025), han abordado la extracción específica de xilanos mediante tratamientos alcalinos y enzimáticos con xilanasas, considerando al olote como una fuente económica de polisacáridos útiles para usos biotecnológicos.

García et al. (2021), perfeccionaron el proceso de hidrólisis mediante el desarrollo de extractos multienzimáticos para alcanzar una conversión más eficaz de la celulosa hacia azúcares simples, dirigiéndose a un proceso sostenible para la industria de los alimentos.

A su vez, López et al. (2022) evidenciaron que se puede producir jarabes endulzantes de buena calidad a partir de materias primas no convencionales, utilizando el ñame espino como ejemplo; esto apoya la idea de diversificar los insumos industriales.

Martínez et al. (2023) logró disminuir costos y optimizar la eficiencia energética en la producción de bioetanol a partir de olote, cerrando así la brecha operativa existente ya que combinó pretratamientos químicos, enzimáticos y fermentables en cada paso para conservar la celulosa a etanol.

Yang et al. (2023), realizó investigaciones sobre las mazorcas mediante despolimerización, un proceso que lleva a cabo la hidrólisis alcalina y tratamiento hidrotermales. Mediante este tratamiento incluyó eliminar la lignina, continuamente realizó la hidrólisis enzimática, teniendo como resultado una buena eficiencia en el uso de los residuos agrícolas hacia productos innovadores.

Finalmente, Procentese et al. (2015) utilizaron solventes eutécticos profundos (DES) como una opción sostenible para el pretratamiento del olote de maíz. Esto permitió que la lignocelulosa se descompusiera eficazmente y que los azúcares fermentables se liberaran con mayor facilidad.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1 Olote de maíz

El olote, parte interna de la mazorca de maíz sin granos, contiene fibras como la celulosa y la hemicelulosa que pueden ser transformadas en productos útiles como jarabes, representando una oportunidad para valorizar residuos agrícolas (Espinoza-Avalos, García-Peña & Ruiz-Ordóñez, 2021).

2.2.2. Celulosa

La celulosa es un polisacárido estructural formado por largas cadenas lineales de unidades de β -D-glucosa, unidas entre sí mediante enlaces glucosídicos β -1,4. Estas cadenas se asocian entre sí a través de puentes de hidrógeno intra e intermoleculares, dando lugar a microfibrillas altamente organizadas que confieren rigidez y resistencia a la pared celular de las plantas. La celulosa se forma a partir de la polimerización de glucosa sintetizada durante la fotosíntesis y constituye el principal componente estructural de los tejidos vegetales. (Klemm et al., 2018).

2.2.3. Hidrólisis ácida e Hidrólisis enzimática

Este método consiste en la descomposición de componentes vegetales complejos mediante el uso de ácidos fuertes, como el ácido sulfúrico, cuyo mecanismo de acción bioquímico se basa en la protonación de los enlaces glucosídicos presentes en los polisacáridos, particularmente en la celulosa. La protonación del oxígeno del enlace β -1,4-glucosídico debilita la unión entre las unidades de glucosa, facilitando su ruptura por acción del agua mediante reacciones de hidrólisis.

No obstante, diversos estudios han señalado que, al regular de forma adecuada la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de reacción, es posible llevar a cabo la hidrólisis ácida en condiciones más moderadas. Esto permite disminuir la formación de subproductos indeseables y favorece la obtención de jarabes con mayor grado de pureza (Kumar, Singh & Sharma, 2021; Silva et al., 2020).

2.2.5. Enzima Celulase Ultra 7

Cellulase Ultra 7 es una enzima hidrolasa comercial que contiene una mezcla de celulasas altamente activas, específicamente formuladas para catalizar la hidrólisis de la celulosa presente en materiales lignocelulósicos. El grupo hidrolasa desempeña un papel crucial en la biotecnología de materiales, ya que su función principal es romper los enlaces químicos mediante la adición de moléculas de agua, lo que constituye el principal mecanismo para la descomposición de polímeros complejos.

En este contexto, Cellulase Ultra 7 se presenta como un complejo multienzimático diseñado para atacar la estructura de la celulosa. Su eficacia proviene de la acción coordinada y sinérgica de tres componentes principales: endoglucanasa, exoglucanasa y β -glucosidasa.

El sistema funciona desintegrando los enlaces β -1,4-glicosídicos que unen las unidades de glucosa. El proceso no es lineal, sino más bien un proceso gradual de descomposición; las cadenas de celulosa se descomponen inicialmente en oligómeros más pequeños hasta que se libera la glucosa libre.

En esta investigación, su uso se justifica porque permite trabajar bajo condiciones relativamente suaves de pH y temperatura, reduciendo la generación de subproductos no deseados y mejorando la eficiencia de conversión del material pretratado (Novozymes, 2020).

2.3 Normativas

En el desarrollo del producto se tomaron como referencia los criterios establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2127, que define los requisitos de calidad para el jarabe de glucosa comercializado en el país.

De acuerdo con esta normativa, el jarabe debe presentar un contenido mínimo de 70 °Brix en sólidos solubles para asegurar una concentración adecuada, así como un porcentaje de azúcares reductores, expresados como glucosa, comprendido entre 35 % y 45 %, según el tipo de jarabe. Además, el pH debe encontrarse en un rango de 4,0 a 6,5, lo que asegura la estabilidad del producto durante su almacenamiento y consumo (INEN, 2013).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo de Investigación.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque experimental de tipo cuantitativo, debido a que se orientó a la obtención y evaluación objetiva de un jarabe elaborado a partir de los residuos del olate de maíz, utilizando para ello mediciones de parámetros fisicoquímicos.

Este enfoque resultó pertinente, ya que permitió registrar, comparar y analizar los datos obtenidos de manera numérica durante cada etapa del proceso, lo cual contribuyó a asegurar exactitud en la formulación y validación del producto final.

3.2 Diseño Experimental

En esta investigación se implementó un diseño experimental de un factor, en el cual se establecieron tres tratamientos (T1, T2 y T3), correspondientes a diferentes extracciones de celulosa a partir de residuos de olate de maíz. Específicamente el tiempo de hidrólisis enzimática, mientras que las demás variables experimentales, como la temperatura, el pH y la concentración de enzima, se mantuvieron constantes durante el desarrollo del experimento. Por esta razón, se consideró pertinente la aplicación de un ANOVA de una vía para la comparación de los tratamientos.

Las muestras fueron codificadas considerando la concentración de enzima y el tiempo de hidrólisis enzimática, manteniéndose constantes las demás condiciones del proceso. Para el análisis presentado, se trabajó con una concentración de enzima del 0,25 % (p/p), por lo que los tratamientos se identificaron de la siguiente manera:

- E0,25–24 h: muestra hidrolizada con 0,25 % de enzima durante 24 horas
- E0,25–48 h: muestra hidrolizada con 0,25 % de enzima durante 48 horas
- E0,25–120 h: muestra hidrolizada con 0,25 % de enzima durante 120 horas

Cada tratamiento se realizó por triplicado, obteniéndose un total de nueve unidades experimentales y los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar, lo que permitió asegurar la reproducibilidad de los resultados y mejorar la confiabilidad del análisis.

3.2.1 Variables

En el desarrollo de la investigación se definieron como variables independientes la concentración de celulosa y la cantidad de enzima empleada durante el proceso de hidrólisis enzimática del olate de maíz. Estas variables fueron modificadas de manera deliberada con la finalidad de analizar su influencia en la generación de glucosa y en las características del jarabe obtenido. La variable dependiente correspondió a la cantidad de glucosa liberada, así como a parámetros fisicoquímicos del jarabe, entre ellos el pH, los sólidos solubles y la viscosidad. Asimismo, se mantuvieron constantes ciertas condiciones experimentales, tales

como el volumen de agua o buffer utilizado, la temperatura y el tiempo de reacción, con el propósito de garantizar que las variaciones observadas respondieran únicamente a los cambios introducidos en las concentraciones de celulosa y enzima.

3.3 Diagrama de flujo del proceso de obtención del jarabe

Figura1.

Diagrama de flujo de la obtención de la celulosa a partir del olole

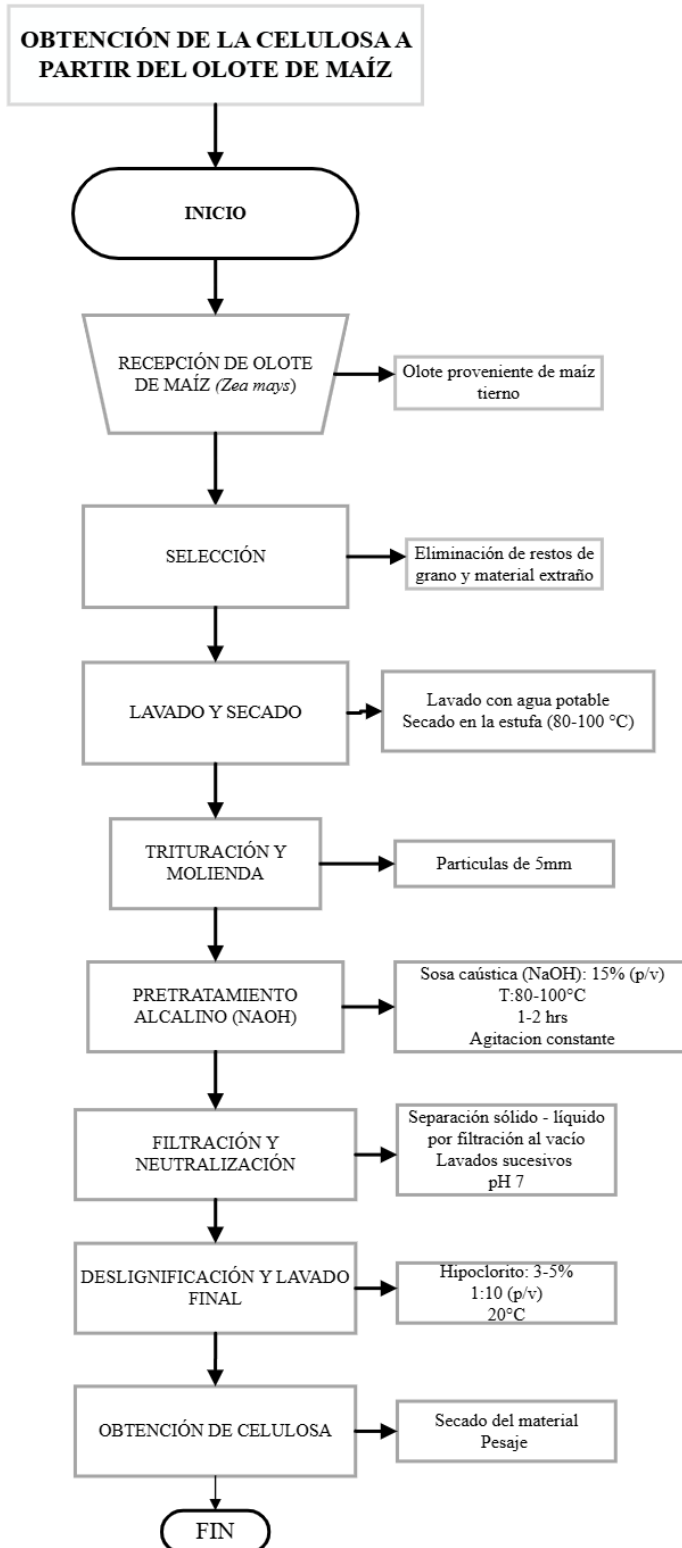
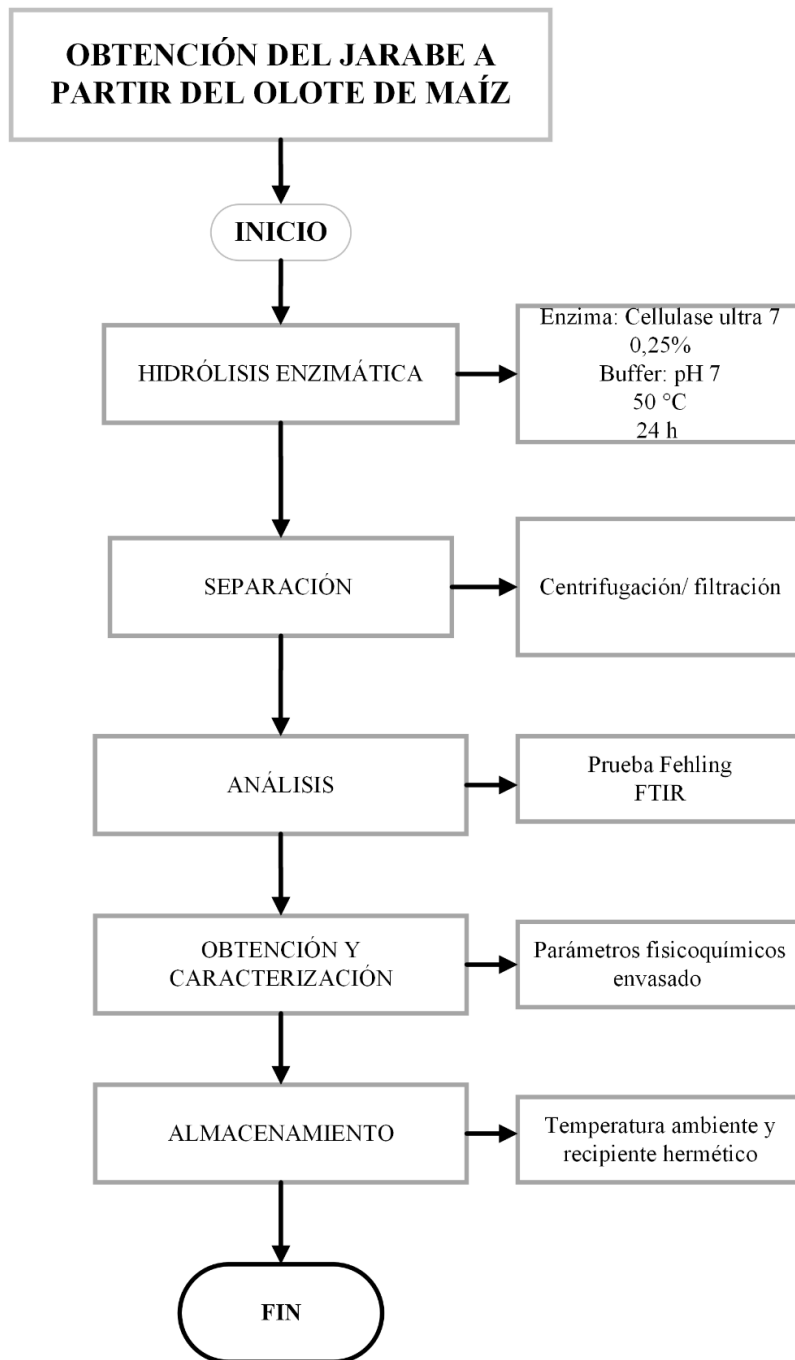


Figura 2.

Diagrama de flujo de la obtención del jarabe a partir del olote



3.4 Extracción de la celulosa

La extracción de celulosa del olote de maíz se llevó a cabo comenzando con la recolección de olores frescos o secos, asegurándose de que estuvieran libres de impurezas visibles. Luego, se lavaron con agua para eliminar suciedad superficial y si estaban frescos, se secaron en un horno a baja temperatura (40–60 °C) hasta lograr una deshidratación completa. Una vez secos, los olores fueron triturados mecánicamente mediante un molino de piedra marca (Molino Ed. especial discos de piedra 2HP110V / 3HP220V mod. ED002) hasta obtener trozos pequeños o polvo. Posteriormente, se preparó una solución de sosa

cáustica (NaOH) al 15 %, disuelta en agua destilada, y se mezcló con el material triturado en una proporción de 1:20 (peso: volumen). Esta mezcla fue calentada entre 80 y 100 °C durante 1 a 2 horas con agitación constante, con el objetivo de remover la lignina y hemicelulosa presentes, dejando como residuo una celulosa de mayor pureza, siguiendo procedimientos similares a los descritos por García y Peralta (2022) y Al-Mardeai et al. (2022).

Finalizado se filtró el material y se neutralizó con agua destilada hasta que el pH del enjuague alcanzó un valor cercano a 7.

Para mejorar aún más la eliminación de lignina, se aplicó una etapa de deslignificación adicional con hipoclorito de sodio (cloro comercial del 3–5 %), en una proporción 1:10 (peso: volumen), se mantuvo con agitación a una temperatura de 20 °C y diversos estudios sobre purificación de celulosa. Finalmente, el material fue nuevamente enjuagado hasta obtener un filtrado claro, lo que confirmó la eliminación de compuestos no deseados y la obtención de celulosa.

Mediante la siguiente fórmula se pudo obtener el rendimiento de la celulosa obtenida:

$$\text{Rendimiento de celulosa (\%)} = \left(\frac{\text{peso de la celulosa obtenida}}{\text{peso inicial de la muestra}} \right) \times 100$$

3.5 Extracción de glucosa a partir de la celulosa

Procedimiento de Hidrólisis Enzimática

Una vez purificada la celulosa obtenida del olote de maíz mediante pretratamientos alcalinos con sosa caustica y deslignificación con hipoclorito de sodio (cloro comercial), se procedió a la etapa de hidrólisis enzimática con el objetivo de transformar esta celulosa en glucosa utilizable.

Para esta etapa se empleó la enzima Cellulase Ultra 7, seleccionada debido a su capacidad demostrada para hidrolizar los enlaces β -1,4-glucosídicos característicos de la estructura de la celulosa y favorecer su conversión en azúcares fermentables (Al-Mardeai et al., 2022; *Fermentation Journal*, 2023).

La hidrólisis se llevó a cabo bajo condiciones controladas de temperatura y pH, utilizando una solución tampón a pH 7 con el fin de mantener la estabilidad de la enzima durante el proceso.

Se prepararon mezclas experimentales de celulosa y se codificaron en la Tabla 2 y son las siguientes (2g) y niveles proporcionales de enzima (0,25%), según el diseño experimental. Cada tratamiento fue completado con buffer hasta alcanzar un volumen de 20 mL.

Las mezclas fueron incubadas a 50 °C durante 24, 48, 96, 196 horas, con agitación constante para asegurar la homogeneidad de la suspensión y favorecer la acción enzimática. El procedimiento de liberación de glucosa se monitoreó en diferentes intervalos de tiempo.

Para determinar el punto final de la reacción con exactitud, se empleó azul de metileno como indicador redox, permitiendo así una medición precisa de los azúcares liberados durante el proceso

El viraje de color de azul a rojo ladrillo indicó el punto final de la titulación, momento en el que se registró el volumen gastado (V muestra).

La glucosa fue cuantificada aplicando la fórmula descrita por Cañizares et al. (2006):

$$\text{Glucosa (mg)} = V \text{ muestra} \times F$$

Donde:

- V muestra: volumen (mL) de muestra gastado hasta el viraje
- F: factor del reactivo de Fehling, que indica cuántos miligramos de glucosa reducen 1 mL del reactivo mixto.

Una vez cuantificada la glucosa mediante el método de Fehling, se realizó un análisis estructural utilizando espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) con el fin de confirmar la presencia de glucosa y evaluar la eficacia del proceso de hidrólisis enzimática aplicado a la celulosa extraída del olote de maíz.

Para ello, el sobrenadante de cada tratamiento fue secado a baja temperatura (40 °C) en una estufa de convección hasta obtener un residuo sólido, el cual se preparó según el método correspondiente: ya sea mediante mezcla con cloruro de potasio (KCr) en una proporción 1:10 para la formación de pastillas prensadas, o aplicando directamente la muestra sobre el cristal del accesorio ATR (Attenuated Total Reflectance).

Procedimiento para el FTIR de la glucosa obtenida

El análisis por espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) se utilizó para identificar la presencia de glucosa obtenida a partir de la hidrólisis enzimática del material celulósico. El análisis se realizó empleando un espectrofotómetro de infrarrojo por transformada de Fourier, como el equipo mostrado, equipado con software para la adquisición y procesamiento de los espectros. Previamente a la fase de análisis, el hidrolizado líquido se sometió a un proceso de filtración para garantizar la pureza del material, seguido de una etapa de secado rigurosa hasta obtener un residuo sólido apto para el escaneo espectral.

Los espectros obtenidos tales como los grupos hidroxilo (–OH), enlaces C–H y enlaces C–O. Posteriormente, se compararon los espectros de la muestra y de la glucosa

estándar, contabilizando el número de bandas coincidentes entre ambos utilizando la expresión:

$$\text{Similitud estructural (\%)} = \left(\frac{\text{Número de bandas coincidentes}}{\text{Número total de bandas características de la glucosa estándar}} \right) \times 100$$

Para este análisis se consideró que la glucosa estándar presenta aproximadamente 40 bandas relevantes en la región espectral evaluada, valor que se utilizó como referencia en el cálculo.

3.6 Técnicas de recolección de datos

Los datos se obtuvieron de los análisis de pH, viscosidad, cenizas, azúcares reductores, grados brix obtenida tras la hidrólisis enzimática de la celulosa, cuyos valores se registraron en la bitácora de laboratorio y en hojas de Excel, los procedimientos de los parámetros indicados anteriormente se describen a continuación:

3.6.1 Determinación de pH

La determinación del pH se realizó utilizando un potenciómetro (Hach sensION 3 Benchtop pH/mV Meter, 110 VAC), debidamente calibrado con soluciones tampón patrón de pH 4.0 y 7.0. Una vez obtenida la glucosa, se tomó una alícuota del sobrenadante clarificado y se midió el pH de manera directa a temperatura ambiente, evitando burbujas para no alterar la lectura. Con esta medición se verificó que el producto se mantuviera dentro del rango recomendado para soluciones de glucosa (pH 4,0–6,5), reduciendo el riesgo de degradación y de desarrollo microbiano. El procedimiento se basó en los lineamientos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2013) en la Norma Técnica NTE INEN 2127, que regula los parámetros de calidad del jarabe de glucosa en Ecuador.

3.6.2 Determinación de ° Brix

La determinación de los grados Brix se llevó a cabo utilizando un refractómetro manual (refractómetro marca pce modelo PCE-018) previamente calibrado con agua destilada, cuyo valor de referencia fue 0 °Brix. Se tomó una pequeña alícuota del sobrenadante obtenido después de la hidrólisis y se colocó directamente sobre el prisma del refractómetro, asegurando que la muestra se encontrara a temperatura ambiente.

Este procedimiento es común en el control de jarabes y se contrasta con la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2127, la cual establece un valor mínimo de 70 °Brix para jarabes de glucosa concentrados (INEN, 2013), criterio que se tomó como referencia para evaluar la calidad del producto.

3.6.3 Determinación de azúcares reductores

La cuantificación de azúcares reductores, principalmente glucosa, se realizó mediante el método volumétrico de Fehling, el cual se basa en la capacidad de los azúcares con función aldehído o cetona libre para reducir iones cúpricos (Cu^{2+}) a óxido cuproso (Cu_2O) en medio alcalino. Este método ha sido ampliamente utilizado para evaluar la eficiencia de procesos de hidrólisis de carbohidratos (Cañizares et al., 2006).

Para la titulación, se mezclaron volúmenes iguales de las soluciones Fehling A (solución de sulfato de cobre) y Fehling B (solución de tartrato sódico-potásico en hidróxido de sodio), y se calentaron bajo agitación constante. A esta mezcla caliente se añadieron progresivamente alícuotas de la muestra a analizar, previamente filtrada, hasta que se produjo un viraje de color de azul intenso a rojo ladrillo. Como indicador redox se empleó azul de metileno, el cual desaparece al alcanzarse el punto final de la reacción.

El volumen gastado de muestra (V_m) fue registrado y utilizado para calcular la concentración de glucosa equivalente, empleando la siguiente fórmula:

$$\text{Glucosa (mg)} = V_{\text{muestra}} \times F$$

Donde:

V_{muestra} : volumen de muestra gastado (mL) hasta el viraje.

F: factor del reactivo de Fehling, previamente determinado mediante titulación con una solución estándar de glucosa conocida (100 mg/5,22 mL en este estudio).

Finalmente, para expresar el resultado en gramos, se aplicó la conversión correspondiente:

$$\text{Glucosa (g)} = \frac{\text{Glucosa (mg)}}{1000}$$

Este procedimiento permitió estimar la cantidad de glucosa liberada en cada tratamiento, lo que sirvió como base para el análisis comparativo del rendimiento de hidrólisis enzimática aplicado a la celulosa extraída del olote de maíz.

3.6.4 Determinación viscosidad

La determinación de la viscosidad (Viscosímetro de baja viscosidad NDJ-8S 20-2000000 mPa·s – Drawell) se realizó utilizando un viscosímetro Brookfield de cilindro rotacional, modelo estándar, bajo condiciones controladas de temperatura. Para ello, se vertió una cantidad suficiente de muestra en el vaso del equipo, asegurándose de eliminar burbujas de aire, y se mantuvo a una temperatura constante de 25 °C, ya que la viscosidad de soluciones azucaradas es altamente dependiente de la temperatura.

Si bien la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2127 no fija un valor exacto de viscosidad, recomienda que esta sea coherente con la de un jarabe concentrado (INEN, 2013), aspecto que influye en su manejo, envasado y posibles aplicaciones industriales.

3.7 Población de estudio y tamaño de muestra

En la investigación, la población de estudio estuvo conformada por residuos lignocelulósicos del olote de maíz (*Zea mays*). El material vegetal fue obtenido a partir de maíz tierno comercializado por comerciantes mayoristas del Mercado Mayorista, ubicado en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Dicho mercado concentra productos agrícolas provenientes de diversas zonas rurales y agrícolas aledañas de la región andina, caracterizadas por una producción tradicional de maíz destinada principalmente al consumo humano.

Para el desarrollo experimental se trabajó con una muestra total de 400 gramos de olote de maíz, la cual fue previamente seleccionada, triturada y pulverizada con el propósito de homogenizar el material y garantizar condiciones uniformes durante el proceso de hidrólisis. Esta cantidad de muestra fue suficiente para llevar a cabo los ensayos experimentales planificados, asegurando la repetibilidad de las pruebas y permitiendo evaluar el efecto de las condiciones aplicadas sobre la liberación de glucosa y las características fisicoquímicas del jarabe obtenido.

3.8 Hipótesis

Se planteó como hipótesis nula (H_0) que no existe una diferencia estadísticamente significativa en la cantidad de glucosa (g/L) liberada al aplicar distintos tiempos de hidrólisis enzimática (24 h, 48 h y 120 h) del olote de maíz, es decir, que la variación en el tiempo de reacción no influye en la cantidad de glucosa obtenida.

Como el análisis mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), se descartó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. Para precisar entre qué tratamientos estaban esas diferencias, se aplicó la prueba de comparación de medias de mínima diferencia significativa (LSD). Con este paso fue posible identificar de forma clara cuáles tratamientos se separaban estadísticamente y, con ello, interpretar mejor el efecto del factor evaluado sobre la liberación de glucosa y las propiedades fisicoquímicas del jarabe obtenido.

3.9 Métodos de Análisis y Procesamiento de Datos

Los datos obtenidos a partir de las determinaciones fisicoquímicas del jarabe elaborado (pH, sólidos solubles, viscosidad y rendimiento de glucosa) fueron organizados y tabulados en hojas de cálculo utilizando el programa Microsoft Excel. Posteriormente, se aplicaron análisis estadísticos utilizando el software estadístico InfoStat y/o RStudio, con el fin de evaluar el efecto de las concentraciones de celulosa y enzima sobre las variables de respuesta.

Previo a la aplicación del análisis de varianza (ANOVA), se asumió el cumplimiento de los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas, considerando que los datos provinieron de ensayos experimentales controlados, realizados por triplicado y con tamaños de muestra similares entre tratamientos. Como el análisis mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), se descartó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa. Para precisar entre qué tratamientos estaban esas diferencias, se aplicó la prueba de comparación de medias de mínima diferencia significativa (LSD). Con este paso fue posible identificar de forma clara cuáles tratamientos se separaban estadísticamente y, con ello, interpretar mejor el efecto del factor evaluado sobre la liberación de glucosa y las propiedades fisicoquímicas del jarabe obtenido.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención de glucosa del olote de maíz

4.1.1 Resultados del rendimiento de la celulosa

En la **Tabla 1** se presenta el rendimiento de celulosa obtenido mediante el pretratamiento alcalino del olote de maíz, conforme a la metodología descrita. Los ensayos se realizaron por triplicado para asegurar la confiabilidad y representatividad de los resultados.

Tabla 1.

Rendimiento de la celulosa

RENDIMIENTO DE LA CELULOSA			
TRATAMIENTOS	PESO OLOTE SECO (g)	PESO CELULOSA (g)	RENDIMIENTO (%)
T1	101,1946	43,4784	42,965%
T2	31	13,98	45,754%
T3	31,0955	11,34	36,468%
TOTAL	54,2816	43,4784	41,729%

Nota: Los valores corresponden al promedio de tres repeticiones (n = 3).

La Tabla 1 presentó el rendimiento de celulosa obtenido del olote de maíz, calculado a partir de ensayos por triplicado, con un promedio de 41,73 %. Los tratamientos T1, T2 y T3 corresponden a diferentes condiciones de extracción de celulosa, en las cuales se variaron los parámetros del proceso con el objetivo de evaluar su efecto sobre el rendimiento obtenido. Los valores reportados representan el promedio de tres repeticiones (n = 3), lo que permitió comparar la eficiencia de cada condición experimental.

Resultados similares fueron reportados por (Villanueva & García, 2016), quienes observaron que, tras aplicar un pretratamiento alcalino (NaOH al 1 %, 120 °C, 60 min), el contenido de celulosa aumentó notablemente. Esto respalda la eficacia del proceso empleado y confirma el potencial del olote como una fuente viable de celulosa

Por su parte, (Macías Rodríguez et al., 2021), en su estudio con rastrojo y olote de maíz, informan un contenido de celulosa cercano al 35%, lo que complementa los presentes hallazgos al indicar que la variación observada en los valores puede deberse a la heterogeneidad del residuo y las condiciones del proceso. A esto se suma lo reportado por Venegas-Sánchez & Díaz-Gómez, (2023), aplicaron un pretratamiento con NaOH al 0,5 % asistido por ultrasonido al olote de maíz y reportaron una remoción de lignina de hasta 8,6 % a 60 °C durante 60 minutos. Estos resultados respaldaron lo obtenido en este estudio, al demostrar que el uso de pretratamientos químicos neutros combinados con ultrasonido mejoró la accesibilidad de la celulosa.

No obstante, (Juárez Vidal Oscar, 2023), reportaron valores significativamente menores, cercanos al 27%, cuando emplearon un pretratamiento enzimático en lugar de alcalino, lo que sugiere que la elección del método influye notablemente en el rendimiento. Esto contrasta con los resultados del presente estudio y evidencia que no todos los procesos son igualmente eficaces para liberar la celulosa contenida en matrices lignocelulósicas complejas.

Finalmente, Valdivieso León, (2020), aplicó un pulpeado con NaOH en proporción 3:10 y obtuvo un rendimiento de celulosa del 44,73 %. Este valor fue ligeramente superior al alcanzado en el presente estudio (41,73 %), lo que evidenció que las condiciones de tratamiento influyeron en el rendimiento final, aunque en ambos casos se confirmó el potencial del olote como fuente de celulosa.

4.1.2 Hidrólisis enzimática – Prueba Fehling

La **Tabla 2** presentó los resultados de la hidrólisis enzimática del olote de maíz a 50 °C, considerando distintos tiempos y dosis de enzima mediante la prueba de Fehling.

Tabla 2.

Resultados hidrólisis enzimática – prueba Fehling

Número de prueba	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Enzima (uL)	Prueba Fehling (Positivo/Negativo)
1	50	24	250	Positivo
2	50	48	250	Positivo
3	50	120	250	Positivo
4	50	196	500	Positivo

La positividad en la prueba de Fehling confirma la presencia de azúcares reductores, principalmente glucosa.

El olote de maíz alcanzó un rendimiento de celulosa del 41,73 %, mientras que, en la investigación de Belén Narváez et al., (2021) la hidrólisis enzimática de papel y aserrín, realizada a 45–55 °C con tiempos de 48 a 96 horas y volúmenes enzimáticos de 315 a 400 µL, mostró resultados positivos en todos los casos mediante la prueba de Fehling. Esta comparación evidenció que, aunque los materiales utilizados fueron distintos, ambos estudios coincidieron en demostrar la efectividad de la hidrólisis enzimática para liberar azúcares reductores, confirmando la viabilidad de este tipo de procesos para aprovechar residuos lignocelulósicos.

De igual manera, Marchwicka, (2021) observaron que la eficiencia de conversión de celulosa a glucosa se maximiza al utilizar dosis adecuadas de enzima y un pH ligeramente ácido (4,8), logrando altos rendimientos en tan solo 24 horas de incubación a 50 °C, lo cual explica los resultados positivos obtenidos incluso en los tratamientos de menor tiempo.

Por otro lado, la efectividad observada en la hidrólisis también puede estar relacionada con el tratamiento previo aplicado al sustrato. De acuerdo con (Rodríguez Valiente, 2016) los pretratamientos alcalinos, como el uso de NaOH, promueven la remoción parcial de la lignina y aumentan la exposición de las fibras de celulosa, facilitando así la acción enzimática.

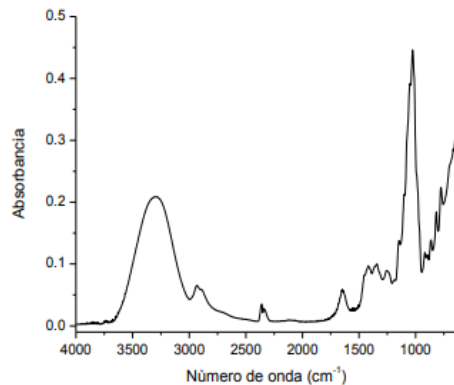
En conjunto, los resultados obtenidos y los antecedentes científicos citados confirman que el uso de *Cellulase Ultra 7* en condiciones térmicas adecuadas y con pretratamientos efectivos puede promover la liberación de azúcares reductores en el olote de maíz, siendo una estrategia viable para la producción de glucosa a partir de residuos agroindustriales.

4.1.3 Resultados FTIR de glucosa obtenidas en la hidrolisis enzimática

Glucosa estándar

El espectro FTIR de la glucosa estándar presenta una banda ancha en torno a 3300 cm^{-1} , atribuida al estiramiento del grupo funcional hidroxilo ($-\text{OH}$), característico de alcoholes y carbohidratos. Asimismo, se distingue una señal en 1640 cm^{-1} , correspondiente a la flexión del enlace $\text{H}-\text{O}-\text{H}$, asociada a agua absorbida. En la región fingerprint se observan múltiples picos relacionados con vibraciones de enlaces $\text{C}-\text{O}$, $\text{C}-\text{C}$ y torsiones del anillo glucopiranos, confirmando la presencia de glucosa pura (Mondragón Cortez, 2017).

Figura 3.
Glucosa estándar

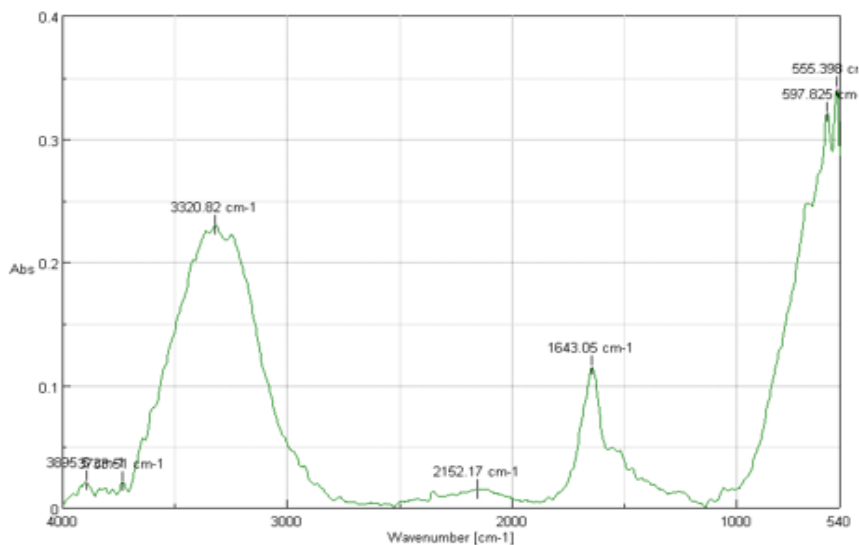


Nota: Tomado de Espectroscopia de infrarrojo para todos... y 51 espectros de alimentos consumidos en México, por P. Mondragón Cortez, (2017), CIATEJ. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf

4.1.4 FTIR de la glucosa obtenida del olote de maíz

Figura 4.
FTIR de glucosa obtenida

Frasco 3 - 0,25%	
Wavenumber [cm-1]	Abs
3895.5	0.0220322
3733.51	0.0212606
3320.82	0.229874
2152.17	0.0153668
1643.05	0.11583
597.825	0.321379
555.398	0.342744

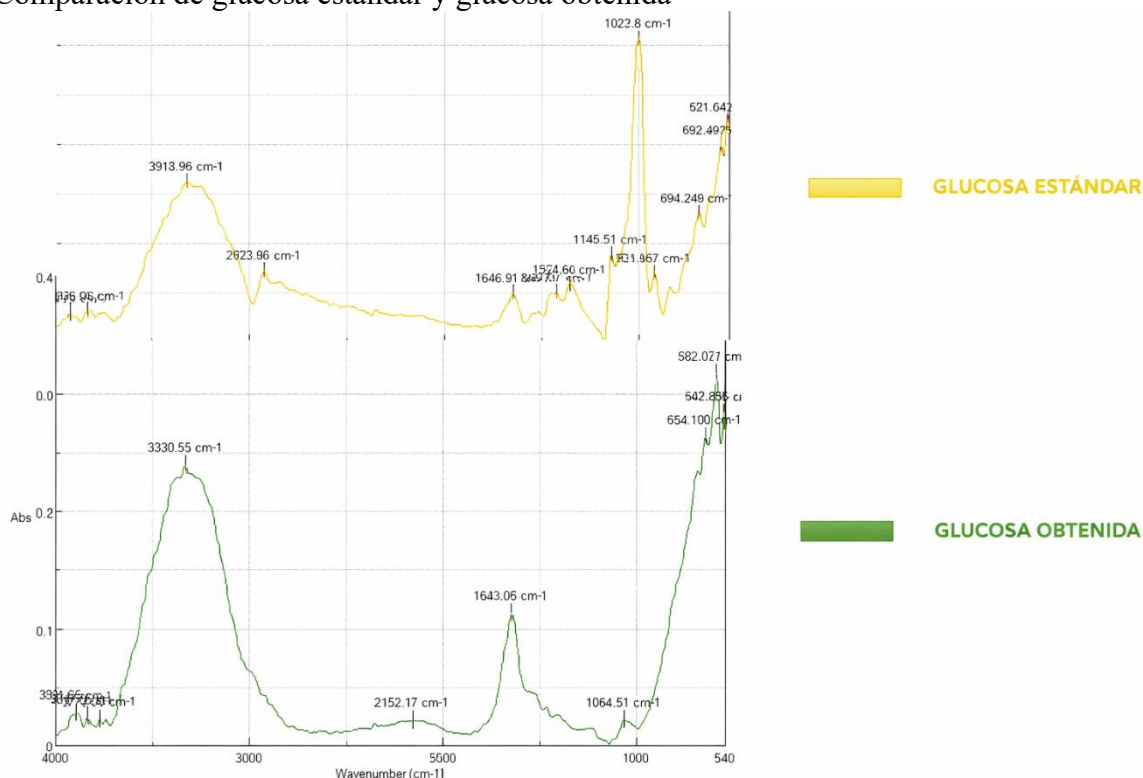


En la Figura 4 se presenta el espectro FTIR del tratamiento 3 (0,25%), donde se observa un pico en 3320.82 cm^{-1} correspondiente al grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), y otro en 1643.05 cm^{-1} asociado a la flexión del enlace $\text{H}-\text{O}-\text{H}$, ambos presentes en la glucosa estándar. En la región fingerprint se identifican bandas en 597.825 cm^{-1} y 555.398 cm^{-1} , atribuidas a vibraciones del anillo de glucopiranososa. La coincidencia con los picos de la glucosa indica una alta similitud estructural, confirmando la presencia de glucosa como producto de la hidrólisis enzimática

4.1.5 Comparación de curvas FTIR de la glucosa estándar y glucosa obtenida por hidrólisis enzimática

Figura 5.

Comparación de glucosa estándar y glucosa obtenida



En la Figura 5 se observa la curva FTIR correspondiente a la glucosa estándar y la curva de glucosa obtenida por hidrólisis enzimática. En los espectros se observa una marcada coincidencia en los picos principales, particularmente en las bandas cercanas a 3300 cm^{-1} , asociadas al grupo hidroxilo ($-\text{OH}$), y en torno a 1643 cm^{-1} , correspondientes a la flexión del enlace $\text{H}-\text{O}-\text{H}$ del agua absorbida. Asimismo, en la región “fingerprint” comprendida entre 600 y 1000 cm^{-1} se identifican señales características de los enlaces $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ y de las vibraciones propias del anillo glucopiranososa.

Con el fin de estimar el porcentaje de similitud estructural de la glucosa obtenida mediante hidrólisis enzimática, se realizó una comparación directa entre los espectros FTIR de la muestra y del estándar. Para ello, se consideraron las bandas características atribuidas a la glucosa y se determinó el porcentaje de coincidencia mediante la siguiente expresión:

En FTIR, la glucosa estándar suele presentar ~ 40 bandas características relevantes en la región $4000-400\text{ cm}^{-1}$.

- Bandas características de la glucosa estándar = 40
- Bandas coincidentes con la muestra = 33

Entonces:

$$\text{Similitud estructural (\%)} = \left(\frac{33}{40}\right) \times 100$$

$$\text{Similitud estructural (\%)} = 82,5\%$$

El porcentaje de similitud estructural (82,5 %) se determinó a partir del análisis comparativo de los espectros FTIR, considerando la coincidencia de 33 bandas características identificadas en la glucosa obtenida, en relación con un total de 40 bandas características correspondientes a la glucosa estándar.

4.1.6 Resultados de rendimiento de la glucosa

Tabla 3.

Rendimiento de la glucosa

Muestra	Celulosa obtenida (g)	Glucosa teórica (g)	Glucosa obtenida (g)	Rendimiento (%)
1	42,96	47,73	0,3379	71%
2	45,75	50,83	0,345	68%
3	36,47	40,52	0,32	79%

En la Tabla 3 se presentan los valores del rendimiento de glucosa obtenidos a partir de la hidrólisis enzimática de la celulosa extraída del olote de maíz. Según (Sun & Cheng, 2002) La glucosa teórica calculada, basada en el factor estequiométrico de 1,11 g de glucosa por cada gramo de celulosa, fue superior a la glucosa obtenida experimentalmente mediante la titulación de azúcares reductores. El rendimiento promedio obtenido fue del 72,6 %, con valores individuales que oscilaron entre el 68 % y el 79 %, lo que evidenció una liberación parcial de la glucosa contenida en la biomasa.

Según (Xue et al., 2021), el pretratamiento alcalino y las condiciones controladas de temperatura y pH optimizan la accesibilidad enzimática, mejorando la liberación de azúcares fermentables. La ligera diferencia con el rendimiento teórico se atribuye a la inhibición por productos intermedios, fenómeno típico en biomásas lignocelulósicas.

La diferencia entre la glucosa teórica y la experimental puede atribuirse a la inhibición por productos intermedios, como celobiosa u oligómeros, que reducen la actividad de la enzima, fenómeno también señalado por (Xue et al., 2021) en estudios de biomasa lignocelulósica.

Además, la presencia de lignina residual y la cristalinidad de la celulosa pudieron limitar la accesibilidad de la enzima, tal como lo explican Baig et al. (2020) y Teixeira et al. (2020), quienes mencionan que la unión no productiva entre enzima y lignina disminuye la conversión.

Si bien la determinación de glucosa se basó en la prueba de Fehling, este método únicamente permitió cuantificar azúcares reductores en general, sin diferenciar específicamente la glucosa de otros monosacáridos o disacáridos reductores. Para subsanar esta limitación, se aplicó espectroscopía FTIR, la cual permitió identificar la presencia de glucosa mediante la coincidencia de bandas características con un estándar comercial, alcanzando una similitud estructural del 82,5 %. No obstante, el FTIR proporcionó información cualitativa y no cuantitativa, por lo que no fue posible calcular el rendimiento de manera directa con esta técnica.

4.2 Resultados de la caracterización fisicoquímicamente del jarabe de glucosa

Tabla 4.
Análisis fisicoquímicos

Parámetro	Valor
pH	5,22±0,02
Brix	2%±0,002
Azúcares reductoras	33,79±4,7381
Viscosidad	137,13±1,001

Nota: El pH es adimensional; los grados brix están en %, los azúcares reductores en mg/100 g y la viscosidad en cP.

El tratamiento T3 presentó los valores fisicoquímicos más representativos entre las muestras evaluadas, con un pH de $5,22 \pm 0,02$, un contenido de sólidos solubles totales de $2 \pm 0,002$ °Brix, una concentración de azúcares reductores de $33,79 \pm 4,74$ mg/100 g y una viscosidad de $137,13 \pm 1,001$ cP.

El pH ligeramente ácido obtenido se ubicó dentro del intervalo óptimo para la estabilidad de monosacáridos, condición que favorece su permanencia en solución y reduce la ocurrencia de reacciones de degradación. En este sentido, Zheng y Wang (2015) indican que las soluciones obtenidas por hidrólisis enzimática de almidón, como las dextrinas, presentan mayor estabilidad química y un comportamiento reológico más uniforme cuando el pH se mantiene entre 4,5 y 6,0, lo cual concuerda con los resultados observados en este estudio.

Asimismo, la elevada viscosidad registrada en esta muestra puede atribuirse a la presencia de azúcares parcialmente hidrolizados, los cuales generan interacciones hidrofílicas con las moléculas de agua, disminuyendo su movilidad y aumentando la resistencia al flujo. Este fenómeno fue también reportado por Castro et al. (2016), quienes demostraron que las maltodextrinas de bajo valor DE (Dextrose Equivalent) exhiben mayor viscosidad debido a la retención de estructuras oligosacáridicas de cadena media.

Por otra parte, si bien el valor de °Brix fue relativamente bajo, la concentración de azúcares reductores indicó una hidrólisis parcial efectiva, permitiendo la liberación de compuestos fermentables y solubles.

En términos normativos, el producto se mantuvo dentro de rangos aceptables: pH entre 4,0–6,0 y viscosidad dentro del intervalo típico de jarabes (50–200 cP) según criterios del Codex Alimentarius.

4.3 Análisis Estadístico

ANOVA factorial de un factor: tiempo de hidrólisis enzimática

Para el análisis del ANOVA se propuso las siguientes hipótesis:

H₀: No existen diferencias significativas en la cantidad de glucosa liberada entre los distintos tiempos de hidrólisis enzimática (24 h, 48 h y 120 h).

H₁: Al menos uno de los tiempos de hidrólisis enzimática genera una cantidad de glucosa significativamente diferente, lo que indica que el tiempo influye en la liberación de glucosa.

Tabla 5.

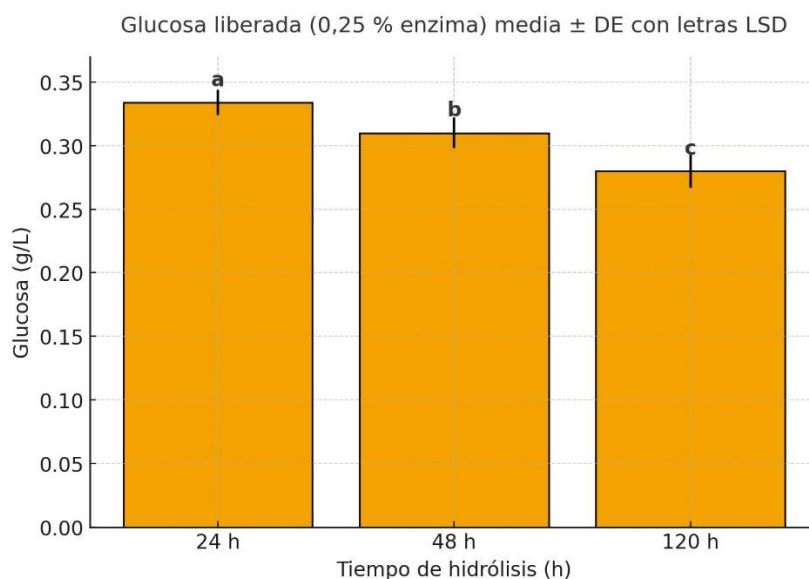
Anova de la hidrólisis enzimática

Fuente de variación	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C(Tiempo_h)	2	0,008651	0,004326	45,815	0.0000
Residual	12	0,001133	0,000094	—	—
Total	14	0,009784	—	—	—

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de varianza (ANOVA) de una vía, se procedió a la comprobación de las hipótesis planteadas para el factor tiempo de hidrólisis enzimática. El valor de probabilidad asociado al estadístico F fue $p = 0,0000$, el cual es inferior al nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0), que establece que no existen diferencias significativas en la cantidad de glucosa liberada entre los distintos tiempos de hidrólisis evaluados (24 h, 48 h y 120 h), y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

La aceptación de la hipótesis alternativa evidencia que el tiempo de hidrólisis enzimática tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la liberación de glucosa a partir de la celulosa del olote de maíz.

Figura 6.
Glucosa liberada



En la Figura 5 se observa la liberación de glucosa según el tiempo de hidrólisis con 0,25 % de Cellulase Ultra 7. El mayor valor se alcanzó a las 24 h (0,334 g/L) y luego disminuyó a 48 h (0,310 g/L) y 120 h (0,280 g/L), mostrando una tendencia decreciente. El ANOVA confirmó diferencias altamente significativas entre los tiempos evaluados ($p = 0,0000$), evidenciando que el tiempo influye en la eficiencia del proceso.

La reducción observada después de las 24 h puede atribuirse a la inhibición por productos intermedios (celobiosa), a la adsorción no productiva de la enzima sobre lignina residual y a la desactivación parcial de la enzima por efecto del tiempo y la temperatura, lo que limita la conversión adicional de celulosa en glucosa.

4.4 Análisis de costos

Con el propósito de evaluar el costo de producción, la rentabilidad y la relación beneficio/costo del jarabe de olote, se establecieron los cálculos correspondientes que se detallan a continuación en la tabla 6:

Tabla 6.
Materia prima directa

Categoría	Unidad Utilizada	Cantidad	Costos (\$)
Olote de maíz	5 kg	1	\$ 2,00
Sosa cáustica (NaOH)	250 ml	2	\$ 3,25
Cellulase ultra 7	1 kg	1	\$ 15,00
Agua destilada	3 Lt	3	\$ 3,00
Envases	7	7	\$ 4,00
Total			\$ 27,25

Nota: Costos de materia prima; kg: kilogramo; g: gramo; l: litros; %: porcentaje; \$: dólares americanos.

Tabla 7.
Costos indirectos de fabricación (CIF)

	Cantidad	P/U	Costos (\$)
Costos de limpieza	1	1	1
Etiquetas	7	0,1	0,7
Depreciación de maquinaria	1	0,5	0,5
Papel filtro	3	0,15	0,45
Alcohol	50 ml	0,15	0,15
Hipoclorito	50 ml	0,1	0,1
Guantes	2	0,15	0,3
Mascarilla	1	0,1	0,1
Agua destilada extra	500 ml	0,3	0,3
Total			3,6

Nota: costos indirectos de fabricación; p/u: precio unitario; \$ dólares americanos

Tabla 8.
Línea de producción, unidades, empaques y peso

Producto	L/día	ml/día	Unidades	Paquetes
Jarabe de olote	1,75	1750	7	7

Nota: capacidad de producción

Tabla 9.
Costos fijos y variables

COSTOS DE PRODUCCIÓN			
Detalle	Costos Fijos	Costos Variables	
Materia prima directa		27,25	
Materia prima indirecta (insumos)		5	
Depreciación de maquinaria	0,50		
Mano de obra	3,10	-----	
COSTOS DE OPERACIÓN			
TOTAL	3,6	\$	32,25
Costo total		\$	33,95

Nota: Resumen de costos fijos y variables

Tabla 10.
Beneficio/Costo

DETALLE	VALOR (\$)
CV	\$ 33,95
UNIDADES	7
CU	\$ 4,85
Margen de utilidad	9%
PV (Sin IVA)	\$ 5,29
IVA 15%	\$ 0,79
PVP	\$ 6,08

Nota: CV: costos de producción; CU: costo unitario; PV: precio de venta

El análisis económico demostró que la producción experimental de jarabe de olote de maíz es viable a pequeña escala. El costo total para obtener siete frascos fue de US \$ 33,95, de los cuales US \$ 27,25 correspondieron a materia prima directa (Tabla 6). Este resultado concuerda con investigaciones previas que indican que el aprovechamiento de residuos agroindustriales permite reducir costos en procesos experimentales y artesanales.

Los costos indirectos (limpieza, etiquetado, insumos complementarios y depreciación) sumaron US \$ 3,60, un valor razonable para trabajos en laboratorios universitarios, donde parte de la infraestructura ya está disponible y no se factura como un costo directo.

La producción fue de 1,75 L, equivalente a siete frascos (Tabla 8). Con un costo unitario de US \$ 4,85 y un margen de utilidad del 9 %, se estableció un precio sin impuestos de US \$ 5,29. Al aplicar el IVA (15 %), el precio final fue de US \$ 6,08 por frasco. En total, la venta de los siete frascos alcanzaría US \$ 42,56, con una relación Beneficio/Costo de 1,25, lo que respalda la viabilidad económica del proceso a esta escala.

Estos resultados se alinean con lo reportado por Dávila-Rincón et al. (2014), quienes obtuvieron costos de US \$ 2,48/kg en jarabes de glucosa a partir de cáscara de maíz. Además, la literatura sobre biorrefinerías indica que, cuando el proceso se integra y se optimiza, es posible mantener relaciones B/C > 1.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se obtuvo celulosa a partir del olote de maíz mediante pretratamiento alcalino con NaOH, alcanzando un rendimiento promedio de 41,72 %, lo que confirma su potencial como materia prima lignocelulósica.
- El análisis FTIR evidenció una similitud estructural de 82,5 % entre la glucosa obtenida y el estándar (33/40 bandas coincidentes), respaldando la efectividad de la hidrólisis enzimática.
- El ANOVA mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) en la liberación de glucosa entre tratamientos, confirmando la influencia del tiempo/condición evaluada.
- El proceso fue económicamente viable a pequeña escala, con una relación beneficio/costo de 1,22 lo cual indica una rentabilidad inicial positiva y posibilidades de escalamiento futuro.

5.2 Recomendaciones

- Escalar el proceso a nivel piloto, considerando que los ensayos se realizaron en volúmenes reducidos, con el fin de evaluar su desempeño técnico y económico en condiciones más cercanas a las industriales.
- Se recomienda complementar los métodos empleados con técnicas instrumentales de mayor precisión, tales como HPLC o espectrofotometría UV-Vis, a fin de mejorar la cuantificación de azúcares y fortalecer el control de calidad del producto.
- Se sugiere incorporar una etapa de concentración del jarabe (por ejemplo, evaporación controlada) para alcanzar los valores mínimos de °Brix exigidos por la normativa vigente y, con ello, incrementar su aplicabilidad y potencial de comercialización.

BIBLIOGRAFÍA

Ávila, M., Sánchez, R., & Torres, L. (2013). Valorización de residuos agrícolas en la agroindustria. *Revista Agroindustrial*, 7(2), 34–45.

Belén Narváez, A., María, J., Carmen, D., Flores, O., Braulio, I. J., & Pinos, A. (2021). *CUANTIFICACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DE CELULOSA A GLUCOSA MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA Y ENZIMÁTICA*.

Bouchard, J., Hébert, J., & Lapiere, C. (2017). Valorisation of agricultural residues in biorefinery systems. *Industrial Crops and Products*, 109, 509–520.

Cañizares, B., Morales, A., & Pérez, C. (2006). Determinación de azúcares reductores por el método de Fehling. *Manual de análisis químico*, 3(1), 102–105.

Castillo-Saldarriaga, M., & Velásquez-Lozano, M. (2018). Optimización del pretratamiento ácido en la hidrólisis de biomasa lignocelulósica. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2), 38–46.

Colombia. (2020). *Situación agroindustrial y producción de residuos en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Espinoza-Avalos, M., García-Peña, E., & Ruiz-Ordóñez, L. (2021). Aprovechamiento del olote de maíz para el desarrollo de bioproductos. *Ciencia y Tecnología Agroindustrial*, 22(1), 101–110.

FAO. (2023). El aprovechamiento sostenible de residuos agrícolas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>

Fermentation Journal. (2023). Advances in enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass for glucose production. *Fermentation Journal*, 9(2), 455–470.

García, R., Rodríguez, P., & López, M. (2020). Impacto ambiental del mal manejo de residuos agrícolas en zonas rurales. *Revista de Agroecología*, 14(1), 55–63.

García, R., & Peralta, J. (2022). Extracción alcalina de celulosa a partir de residuos agroindustriales. *Revista Latinoamericana de Tecnología*, 11(2), 123–132.

Juárez Vidal Oscar. (2023). Extracción de celulosa a partir de residuos lignocelulósicos, para su potencial aplicación en la formulación de parches transdérmicos tipo matricial. <https://www.researchgate.net/publication/390141920> Extraccion de celulosa a partir de residuos lignocelulosicos para su potencial aplicacion en la formulacion de parches transdermicos tipo matricial

Hernández-Melchor, D., Martínez-Robles, C., & Escobar-Sánchez, M. (2020). Caracterización fisicoquímica del olote de maíz para su uso en bioproductos. *Ciencia e Ingeniería Agroalimentaria*, 10(3), 89–97.

INEN. (2013). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2127: Jarabe de glucosa. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización.

López, A., Vásquez, M., & García, J. (2022). Producción de jarabes edulcorantes a partir del almidón de ñame espinoso. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 6(4), 211–219.

Macías Rodríguez, N. A., Armenta Valenzuela, B., Victoria, U., Estrada, P., Alicia, G., Cervantes, N., & Luque, A. C. (2021). Obtención de celulosa a partir de rastrojo y olote de Maíz, *Zea mays L. INNOVACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO*, 13(4).

Marchwicka, M. (2021). Influence of pH and Cellic® CTec2 enzymes dose on the glucose yield after enzymatic hydrolysis of cellulose at 50 °C. In *Forestry and Wood Technology* (Vol. 114).

Martínez, L. (2019). Aprovechamiento de residuos lignocelulósicos en la agroindustria ecuatoriana. *Revista Agroambiente*, 13(1), 98–105.

Martínez, V., Muñoz, C., & Reyes, A. (2023). Sacarificación y fermentación simultánea del olote para bioetanol. *Ingeniería y Ciencia*, 19(2), 67–75.

Mayta-Paucara, R., & Valdivieso, M. (2020). Extracción de celulosa de hojas de maíz y su aplicación en materiales biodegradables. *Revista Boliviana de Ingeniería*, 17(2), 45–53.

Meneses, J., Morales, P., & Martínez, E. (2019). Aplicación de la hidrólisis ácida en la conversión de residuos agrícolas en azúcares simples. *Revista Mexicana de Biotecnología*, 24(3), 112–121.

Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022). *Boletín situacional del maíz duro seco en el Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. <https://www.agricultura.gob.ec>

Mondragón Cortez, P. (2017, June). *ESPECTROSCOPIA DE INFRARROJO PARA TODOS ...y 51 espectros de alimentos consumidos en México*. https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_5a43b7c09fdc1.pdf

Novozymes. (2020). Cellulase Ultra 7 – Technical datasheet. <https://www.novozymes.com>

Pérez, D., Romero, A., & Torres, J. (2018). Alternativas biotecnológicas para la valorización de residuos agroindustriales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 77–85.

Procentese, A., Johnson, E., & Oliva, G. (2015). Deep eutectic solvents as effective pre-treatment for lignocellulosic biomass. *Green Chemistry*, 17(5), 2231–2235.

Reyes Ramírez, G., Zúñiga, J., & Castillo, A. (2025). Extracción de xilanos a partir del olote de maíz y su aplicación biotecnológica. *Ciencia y Biotecnología*, 11(1), 29–38.

Rodríguez Valiente. (2016). *PRETRATAMIENTO DE HIDRÓLISIS HIDROTÉRMICA PARA LA DEGRADACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS COMPLEJOS DE RESIDUOS DE FRUTAS PARA LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL*.

Sánchez, M. (2014). Importancia del cultivo de maíz en América Latina. *Revista Agroindustrial*, 9(2), 11–17.

Sánchez, L., & González, F. (2017). Obtención de jarabes de glucosa a partir de residuos vegetales. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 13(1), 25–31.

Sánchez-Mendoza, J., Escalante, A., & Montoya, P. (2021). Potencial antioxidante del jarabe de maíz derivado del olote. *Revista de Ciencia Alimentaria*, 8(2), 65–73.

Santos-Rocha, T., Oliveira, A., & Barbosa, P. (2017). Pretratamiento hidrotérmico y producción de etanol a partir de residuos de maíz. *Biofuels Journal*, 6(3), 102–109.

Silva, G., Rodríguez, N., & Torres, F. (2020). Aplicaciones industriales de la hidrólisis enzimática en residuos vegetales. *Revista Latinoamericana de Biotecnología*, 10(1), 40–52.

Soto Velásquez, M. (2024). Revisión de usos alternativos del residuo de maíz en la industria moderna. *Revista de Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 53–66.

Sun, Y., & Cheng, J. (2002). Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology*, 83(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00212-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00212-7)

Valdivieso León, J. E. (2020). *Diseño de un proceso para la obtención de papel a partir de la celulosa extraída del olote de maíz (Zea mays L. var. ceratina) [Tesis de pregrado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13964>

Valdivieso, F. (2020). Obtención de papel y bioetanol a partir de olote de maíz mediante procesos integrados. *Revista Peruana de Ingeniería Química*, 11(2), 70–79.

Valiente, M. (2016). *Manual de costos para microempresas agroindustriales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

Velásquez, D. (2024). *Análisis económico del aprovechamiento de subproductos del maíz*. Universidad Técnica de Manabí

Venegas-Sánchez, J. A., & Díaz-Gómez, L. (2023). Deslignificación de olote de maíz por ultrasonido. *Revista Tecnología En Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i10.7009>

Villanueva, P. G., & García, Y. G. (2016). Sacarificación y fermentación simultánea de olote pretratado / Simultaneous Saccharification and Fermentation process of pre-treated corn cob. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(9), 53–67. <https://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/50>

Xue, F., Li, W., An, S., Li, C., Li, X., Wu, M., & Wei, X. (2021). Ethylene glycol based acid pretreatment of corn stover for cellulose enzymatic hydrolysis. *Royal Society of Chemistry*. <https://doi.org/10.1039/d0ra10877d>

Zúñiga, M., & Romero, P. (2017). Innovación y sostenibilidad en el uso de residuos agrícolas. *Revista Desarrollo Rural*, 5(3), 89–96.

ANEXOS

Figura 7.
Olote de maíz



Figura 8.
Trituración y secado de la muestra del olote de maíz

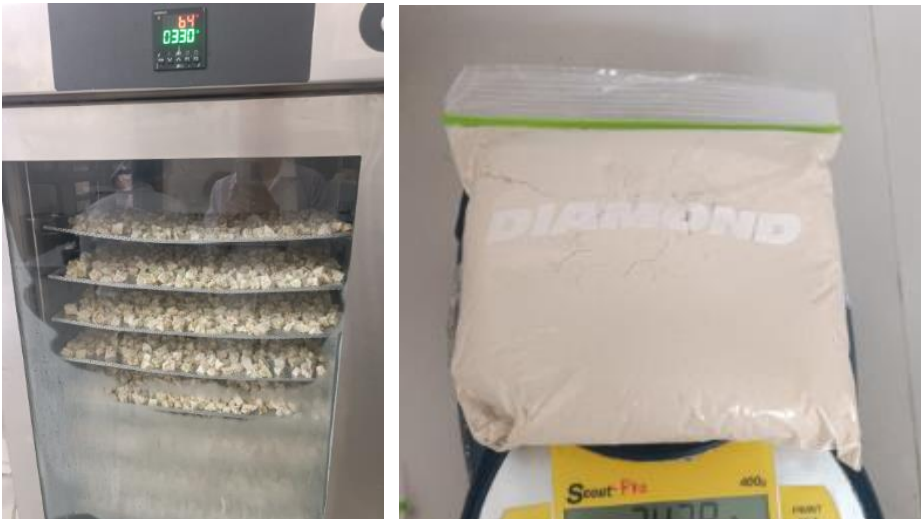


Figura 9.
Muestras del olote del maíz antes y después del pretratamiento



Figura 10.
Celulosa obtenida



Figura 11.
Hidrólisis enzimática



Figura 12.
Prueba de Fehling

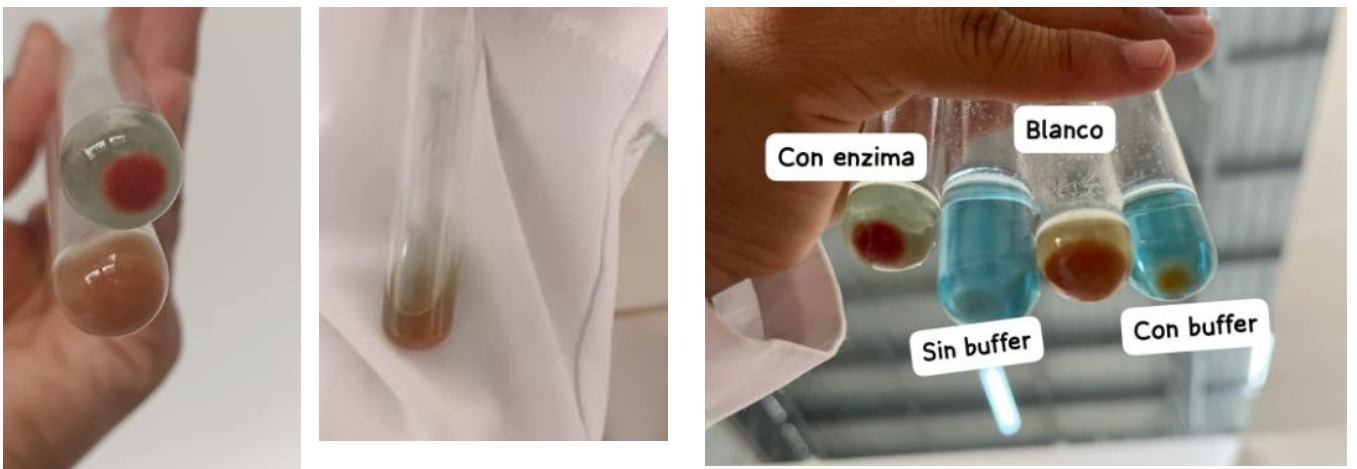
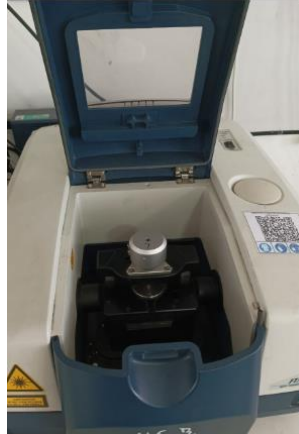
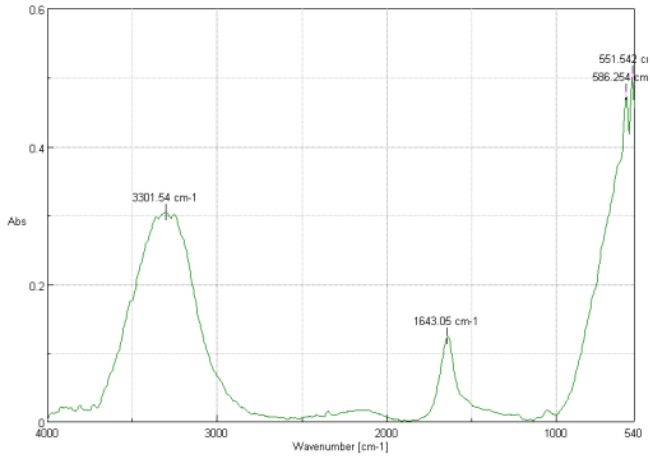


Figura 13.
Prueba de FTIR de la glucosa obtenida



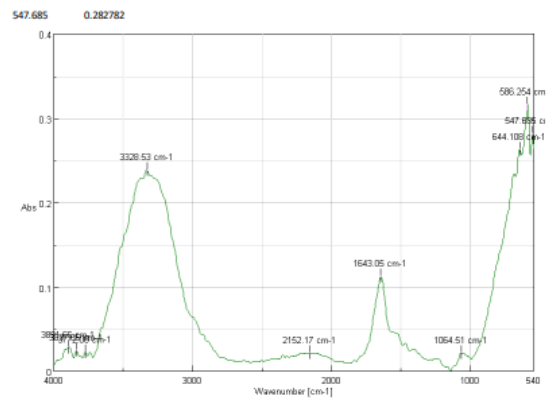
Frasco 1 - 0,25%

Wavenumber [cm-1]	Abs
3301.54	0.304543
1643.05	0.12505
586.254	0.478493
551.542	0.505538



Frasco 2 - 0,50%

Wavenumber [cm-1]	Abs
3891.65	0.028998
3837.65	0.0252925
3772.08	0.022906
3328.53	0.239792
2152.17	0.0219713
1643.05	0.113142
1064.51	0.0219801
644.108	0.263695
586.254	0.316916



Frasco 4 - 0,25

Wavenumber [cm-1]	Abs
3972.64	0.0180861
3872.36	0.0293931
3829.94	0.0301484
3301.54	0.249505
2348.87	0.0192789
2159.88	0.0202565
1643.05	0.124546

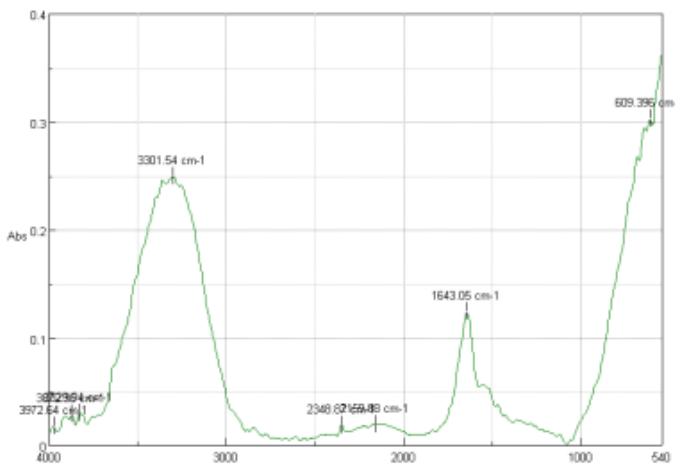


Figura 14.
Pruebas de análisis fisicoquímicas

