



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE  
EDULCORANTE “XILITOL” COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAÍZ CULTIVADO EN  
GUATEMALA**

**Erick Alejandro Roldán García**

Asesorado por la MSc. Inga. Hilda Piedad Palma de Martini

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE  
EDULCORANTE “XILITOL” COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAÍZ CULTIVADO EN  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ERICK ALEJANDRO ROLDÁN GARCÍA**

ASESORADO POR LA INGA. HILDA PIEDAD PALMA DE MARTINI

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford Estrada
EXAMINADOR	Ing. Jaime Roberto Ruiz Díaz
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas Argueta
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE  
EDULCORANTE “XILITOL” COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAÍZ CULTIVADO EN  
GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 27 de agosto de 2020.

**Erick Alejandro Roldán García**

Ref. *EEPFI-958-2020*  
Guatemala, 17 de agosto de 2020

Director  
César Ernesto Urquizú Rodas  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE EDULCORANTE "XILITOL" COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAIZ CULTIVADO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Erick Alejandro Roldán García** carné número **200511753**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Ciencia y Tecnología de los Alimentos.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

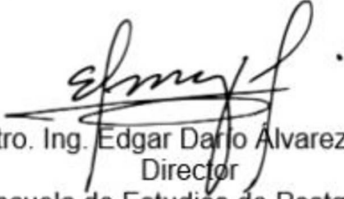
Atentamente,

*"Id y Enseñad a Todos"*

  
Mtra. Hilda Piedad Palma de Martini  
Asesora  
**INGA. HILDA PALMA DE MARTINI**  
COLEGIADO N.º

  
Mtra. Hilda Piedad Palma de Martini  
Coordinador de Maestría  
Ciencia y Tecnología de los Alimentos



  
Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIMI-064-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE EDULCORANTE “XILITOL” COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAIZ CULTIVADO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Alejandro Roldán García**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAR A TODOS

  
Ing. César Ernesto Urquizú Rodas  
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

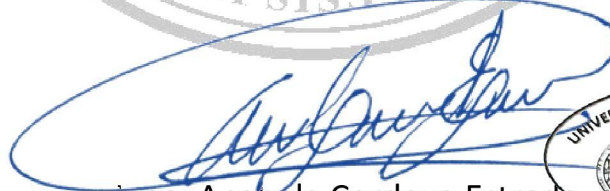


Guatemala, agosto de 2020

DTG. 198.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN A ESCALA LABORATORIO DE EDULCORANTE "XILITOL" COMO SUBPRODUCTO DEL OLOTE DE MAÍZ CULTIVADO EN GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Alejandro Roldán García**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, mayo de 2021.

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por iluminar mi camino, guiarme, protegerme, acompañarme y bendecir todos los días de mi vida.
<b>Virgen Santísima</b>	Por su intercesión y llevar mis plegarias al Padre Celestial.
<b>Mis padres</b>	Edgar René Roldán Castro y Flor de María García de Roldán, por su ejemplo, confianza, apoyo, consejos, amor incondicional y cuidados; por siempre querer hacer de mí una persona exitosa.
<b>Mis hermanos</b>	Edgar Javier y Flor de María Roldán García, por sus consejos, alegría, apoyo incondicional y amor sincero.
<b>Mi cuñada</b>	Tanea Salomé Arreaga López, por su cariño sincero, alegría y apoyo incondicional.
<b>Mis abuelos</b>	Domingo Roldán Pivaral (q. e. p. d.), Zoila Margarita Castro de Roldán (q. e. p. d.), Santiago Ernesto García Lima (q. e. p. d.) y Berta Augusta Castro de García, por su dedicación y esfuerzo.



**Mis sobrinos**

Edgar Enrique, Marco Fabián y Mariana Salomé Roldán Arreaga, por su alegría, bondad y cariño.

**Mi familia**

Tíos y tías, primos y primas, por compartir conmigo los momentos importantes y apoyarme siempre que han podido.

**Mis amigos**

Por acompañarme y compartir conmigo las alegrías y tristezas durante todos los momentos de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la institución que me brindó la oportunidad y los conocimientos para formarme profesionalmente para contribuir con el desarrollo de mi país.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi segundo hogar y centro de enseñanza durante mi carrera universitaria.
<b>Mis catedráticos</b>	Por compartir generosamente su conocimiento y experiencia.
<b>Mi asesora</b>	Ingeniera Hilda Piedad Palma de Martini, por el apoyo, enseñanzas y conocimientos brindados para la elaboración de este trabajo.
<b>Mi familia</b>	Principalmente a mi padre, madre, hermana y hermano, cuñada, sobrinos y sobrina por su apoyo incondicional y por impulsarme todos los días a ser mi mejor versión.
<b>Todas las personas</b>	Que durante mi carrera o en el desarrollo de este trabajo me apoyaron e impulsaron a seguir adelante.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Contexto general .....	7
3.2. Descripción del problema .....	8
3.3. Delimitación del problema.....	9
3.4. Formulación del problema .....	9
3.4.1. Pregunta principal .....	10
3.4.2. Preguntas secundarias .....	10
3.5. Viabilidad.....	10
3.6. Consecuencias de la investigación .....	11
4. JUSTIFICACIÓN .....	13
5. OBJETIVOS.....	15
5.1. Objetivo principal .....	15
5.2. Objetivos específicos.....	15

6.	NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	17
7.	MARCO TEÓRICO .....	19
7.1.	El maíz.....	19
7.1.1.	Consumo de maíz en Guatemala .....	19
7.1.2.	El olate de maíz.....	22
7.2.	Métodos de obtención de subproductos del olate de maíz .....	23
7.2.1.	Hidrólisis enzimática .....	24
7.2.2.	Hidrólisis alcalina.....	24
7.2.3.	Hidrólisis ácida .....	24
7.2.4.	Hidrólisis térmica .....	24
7.3.	Edulcorantes .....	24
7.3.1.	Edulcorantes intensos .....	25
7.3.2.	Edulcorantes nutritivos .....	25
7.3.2.1.	Xilitol.....	26
7.4.	Métodos para la determinación del contenido de xilosa .....	27
7.4.1.	La reacción de Benedict .....	27
7.4.2.	Reacción DNS .....	28
7.4.3.	Cromatografía líquida de alta eficiencia.....	28
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	29
9.	METODOLOGÍA.....	31
9.1.	Enfoque de la investigación.....	31
9.2.	Diseño de la investigación.....	31
9.3.	Tipo de estudio.....	32
9.4.	Alcance de la investigación .....	32
9.5.	Variables e indicadores .....	32
9.6.	Fases de la investigación .....	34

9.7.	Resultados esperados .....	35
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	37
11.	CRONOGRAMA.....	39
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	41
13.	REFERENCIAS.....	43
14.	APÉNDICES .....	47

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Porcentaje de superficie cultivada con maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018).....	20
2.	Superficie cultivada con maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018) ....	21
3.	Producción de maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018).....	22
4.	Estructura molecular de xilitol.....	27
5.	Cronograma .....	39

### TABLAS

I.	Composición del olote de maíz.....	23
II.	Variables e indicadores .....	33
III.	Presupuesto.....	41



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>US\$</b>	Dólar americano
<b>°C</b>	Grado Celsius
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Hora
<b>L</b>	Litro
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzal guatemalteco
<b>s</b>	Segundo



## GLOSARIO

<b>Aceptabilidad</b>	Conjunto de características o condiciones que hacen que una cosa sea aceptable.
<b>Ácido sulfúrico</b>	También conocido como sulfato de hidrógeno. Es un compuesto químico líquido, incoloro, viscoso y extremadamente corrosivo cuya fórmula es $H_2SO_4$ . Se emplea en la obtención de fertilizantes, la síntesis de otros ácidos y sulfatos.
<b>Anticariogénico</b>	Que previene la formación de caries.
<b>Azúcares reductores</b>	Son aquellos azúcares que poseen su grupo carbonilo (grupo funcional) intacto, y que a través del mismo pueden reaccionar como reductores con otras moléculas que actuarán como oxidantes.
<b>Biomasa</b>	Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados, fuente renovable de energía con un alto potencial de aprovechamiento.
<b>Cariogénico</b>	Que es capaz de producir o inducir la producción de caries dental.

<b>Celulosa</b>	Sustancia sólida, blanca, amorfa, inodora y sin sabor, e insoluble en agua, alcohol y éter, que constituye la membrana celular de muchos hongos y vegetales.
<b>Desechos lignocelulósicos</b>	Subproductos de bajo valor agregado que se obtienen de la lignocelulosa, que es el principal componente de la pared celular de las plantas.
<b>Enzimas</b>	Son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción.
<b>Estándar</b>	Es una preparación que contiene una concentración conocida de un elemento específico o sustancia.
<b>Factibilidad</b>	Se refiere a la disponibilidad de recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos fijados.
<b>Hemicelulosas</b>	Término empleado para designar a un grupo muy diverso de polisacáridos presentes en las paredes celulares de muchas plantas y que representan más de un tercio de la biomasa de dichas estructuras.
<b>Kcal</b>	Kilocaloría.
<b>Kg</b>	Kilogramo.

<b>Levadura</b>	Hongo unicelular que produce enzimas capaces de provocar la fermentación alcohólica de los hidratos de carbono.
<b>Lignina</b>	Sustancia natural que forma parte de la pared celular de muchas células vegetales, a las cuales da dureza y resistencia.
<b>ml</b>	Mililitro.
<b>min</b>	Minuto.
<b>Reactivo</b>	Sustancia que, por su capacidad de provocar determinadas reacciones, sirve en los ensayos y análisis químicos para revelar la presencia o medir la cantidad de otra sustancia.
<b>Residuo</b>	Son aquellas materias originadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado, en el contexto en que se producen, ningún valor económico.
<b>ROI</b>	<i>Return of investment</i> (retorno de inversión).
<b>Sacarificación</b>	Es un procedimiento mediante el cual los almidones y materias celulósicas se hidrolizan y convierten en azúcares fermentables.

<b>Sacarosa</b>	La sacarosa, sucrosa, azúcar común o azúcar de mesa es un disacárido formado por glucosa y fructosa.
<b>Sostenibilidad</b>	Cualidad de sostenible, especialmente las características del desarrollo que aseguran las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de futuras generaciones.
<b>TIR</b>	Tasa interna de retorno.
<b>Termolábil</b>	Material o sustancia que se destruye al alcanzar cierta temperatura.
<b>VPN</b>	Valor presente neto.
<b>Xilosa</b>	También llamada azúcar de madera. Es una aldopentosa, un monosacárido que contiene cinco átomos de carbono y un grupo funcional aldehído.

## RESUMEN

El maíz forma parte de los granos básicos que constituyen base de la dieta de la población guatemalteca ya sea a través del consumo directo o mediante subproductos, como lo son harinas, cereales y *snacks*, por mencionar algunos.

Luego de ser consumido es habitual que el desperdicio de la mazorca, conocido como olote, sea desechado en vertederos municipales, utilizado como alimento para animales o como método para disminuir la erosión del suelo. Sin embargo, debido a su composición, el olote de maíz es un recurso altamente valorado para la industria alimenticia y farmacéutica.

Debido al alto contenido de xilanas en las hemicelulosas del olote de maíz es posible mediante tratamientos físicos, químicos y/o enzimáticos extraer el edulcorante xilitol de él. Dicho edulcorante es altamente aceptado en la industria alimenticia y farmacéutica debido a que no produce caries, contiene menos calorías que el azúcar y puede ser consumido por personas diabéticas.

El presente diseño de investigación busca definir un método de extracción a escala laboratorio mediante el cual se logre obtener la mayor cantidad posible del edulcorante xilitol utilizando como sustrato el olote de maíz cultivado en Guatemala para luego evaluar la factibilidad de realizar la extracción a escala industrial.

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se considera de innovación debido a que busca realizar una investigación experimental que sirva como fuente de información acerca de un proceso de extracción a escala laboratorio, que incremente el rendimiento del edulcorante xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala, para determinar la factibilidad económica y realizar el producto a escala industrial.

El maíz es un cereal que presenta diversidad de usos nutricionales e industriales y cuya producción mundial se emplea principalmente para alimentación humana y animal. La utilización del maíz ya sea como producto alimenticio o como materia prima para la elaboración diversos productos, se ha incrementado significativamente a nivel mundial. De acuerdo con datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (2017), la producción de maíz ha incrementado aproximadamente un 16 % en los últimos siete años.

Sin embargo, el olote, que es la parte central de la mazorca de maíz que ha perdido los granos, se utiliza como alimento para ganado porcino y bovino o se desecha en basureros generando gran volumen de desperdicios. Se estima que, del total de la producción mundial de maíz, el 17 % resulta en olote desaprovechado (FAOSTAT, 2012). El presente trabajo de investigación busca brindar una alternativa para la utilización beneficiosa y sostenible del olote de maíz desde los puntos de vista económico y ambiental.

Debido al contenido de hemicelulosas presentes en el olote de maíz, este se considera aplicable para la elaboración de diferentes subproductos útiles tanto

en la industria como en el consumo directo y, debido al alto contenido de xilanas en las hemicelulosas, se considera que es posible extraer el edulcorante xilitol como subproducto del olote de maíz. Dicho edulcorante posee cualidades muy atractivas para el consumidor; por ejemplo, contiene menos calorías que la sacarosa, es no cariogénico y puede ser consumido por personas diabéticas.

El trabajo de investigación tiene un enfoque mixto debido a que se analizarán variables cuantitativas y cualitativas. Utiliza diseño experimental debido a que permite reproducir los fenómenos bajo condiciones controladas, permitiendo la manipulación de variables. Su alcance es descriptivo debido a que su propósito es explicar de manera detallada y específica los factores presentes, y es transversal debido a que se observarán las variables durante un periodo de tiempo específico. Además, el trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para ejecutar las diferentes fases que lo conforman.

El informe final tendrá cinco capítulos principales:

En el primer capítulo, titulado antecedentes, se estudian enfoques de diferentes investigadores que anteriormente han indagado acerca del tema. En este se brindan los aspectos relevantes de cada investigación, además sirve de guía para esta investigación.

El segundo capítulo corresponde al marco teórico, donde se realizará una revisión de literatura que tiene relación con el tema principal o alguno de los objetivos. Se busca brindar la base científica que permita evitar el sesgo en la investigación.

En el tercer capítulo se podrá encontrar el desarrollo de la investigación. Se describen los métodos utilizados, así como los parámetros bajo los cuales se realizó la investigación. Busca brindar la explicación detallada de cada uno de los pasos realizados para la obtención del xilitol a partir del olote de maíz cultivado en Guatemala.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos de las operaciones realizadas en el capítulo anterior. Busca brindar la información de una manera clara y transparente acerca del producto de cada una de las fases de la investigación.

Por último, se presenta el quinto capítulo, denominado discusión de resultados, en el cual se busca explicar los resultados obtenidos y compararlos, de ser posible, con resultados de otros investigadores. Es una evaluación crítica de los resultados desde la perspectiva del investigador tomando en cuenta trabajos de otros investigadores.





## 2. ANTECEDENTES

El estudio realizado por Grembecka, Lebiezińska y Szefer (2014) describe un método para la separación y determinación simultánea de los diferentes carbohidratos: eritritol, xilitol, sorbitol, manitol, maltitol, fructosa, glucosa, sacarosa y maltosa en los productos alimenticios, utilizando cromatografía líquida de alto rendimiento acoplados a un detector de aerosol cargado. Dicho estudio se considera de interés para la determinación del contenido de xilosa en la solución obtenida del olote de maíz.

González (2013) realizó el diseño de una planta para la obtención del concentrado de xilosa a partir del bagazo de caña. Es de importancia para la investigación debido a que en el estudio analiza las eficiencias de diferentes equipos para brindar una solución costo-eficiente para la producción industrial de xilosa.

Córdova, Salcedo, Rodríguez, Zamora, Manríquez, Contreras, Robledo y Delgado (2013) caracterizaron químicamente el olote y lo trataron hidrotermicamente bajo condiciones subcríticas para modificar su forma recalcitrante y obtener una fracción sólida compuesta principalmente de celulosa y lignina, además de una fracción soluble rica en xilosa. Es de relevancia para el estudio debido a que menciona varios métodos para la extracción de la xilosa, así como los utilizados para medir el contenido de la misma en la solución.

Casalombo (2015) en su trabajo de graduación describe el método de hidrólisis ácida para la obtención de xilosa a partir del olote de maíz. El estudio

analiza el efecto de la variación de temperatura y concentración de ácido sulfúrico para determinar las variaciones en el rendimiento del contenido de xilosa. Es importante para el presente trabajo debido a que brinda un rango de concentración y temperatura óptima para obtener el mejor rendimiento.

Ramírez y Reyes (2017) indican un método por hidrólisis enzimática para la obtención de xilitol a partir de residuos lignocelulósicos de piña utilizando dos tipos de especies de levadura del género *Cándida* como la *guilliermondii* y *tropicalis*, y con ello realizar una vía alterna de la síntesis química a través de enzima xilanasa. Es relevante para el estudio debido a que además estudia la diferencia en el rendimiento de xilosa en función de la levadura utilizada.

Corradini, Cavazza y Bignardi (2012) en su trabajo de graduación *Cromatografía de intercambio aniónico de alto rendimiento junto con la detección electroquímica pulsada como una potente herramienta para evaluar los carbohidratos de interés alimentario: principios y aplicaciones*, brindan un método alternativo para la medición de los azúcares en diferentes alimentos. Es de importancia para el estudio puesto que brinda otra técnica para la medición del concentrado de xilosa.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad, en Guatemala, existe poca o nula investigación para el aprovechamiento de desechos de productos orgánicos que debido a su composición química representan fuentes de materia prima para otros productos.

#### **3.1. Contexto general**

El maíz es un cereal que presenta diversidad de usos nutricionales e industriales y cuya producción mundial se emplea principalmente para alimentación humana y animal. El grano de maíz es una importante materia prima de bajo costo para la elaboración de diferentes productos que se usan en la industria, como el almidón y derivados, edulcorantes, aceite, alcohol y otros reemplazantes de derivados del petróleo. A partir del maíz se fabrican más de 3,500 productos (Robutti, 2010).

Sin embargo, el olote, que es la parte central de la mazorca de maíz que ha perdido los granos, se utiliza como alimento para ganado porcino y bovino o se desecha en basureros generando gran volumen de desperdicios.

El Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés) estima que la producción mundial de maíz para el año 2020 será de 1,099 millones de toneladas. El olote de maíz representa aproximadamente un 17 % de la producción (FAOSTAT, 2012), por tal razón se puede estimar que se generarán aproximadamente 187 millones de toneladas de olote.

De acuerdo con un estudio realizado por Córdova *et al.* (2013), los principales productos presentes en el olote de maíz son lignina, celulosas y hemicelulosas. De estos se podrían obtener beneficios económicos al obtener subproductos con demanda en el mercado y atractivo medioambiental por la reducción de desechos orgánicos en basureros.

De acuerdo con el estudio mencionado en el párrafo anterior aproximadamente el 94 % del contenido de hemicelulosas (34 %) presentes en el olote corresponden a xilanas. Debido al alto contenido de xilanas es posible utilizar el olote de maíz para la extracción del edulcorante xilitol, el cual es ampliamente utilizado en la industria farmacéutica, en la producción de confites y en productos alimenticios para personas diabéticas. Cubero, Monferrer y Villalta (2002) mencionan que entre las propiedades destacables del xilitol se encuentran:

- Es un producto no cariogénico. Es decir, no produce caries, por lo cual es utilizado en la producción de dulces para niños.
- No pasa por el ciclo de la insulina, por tal razón es apto para ser consumido por personas diabéticas.
- Posee menos contenido calórico que la sacarosa.

### **3.2. Descripción del problema**

En Guatemala el cultivo del maíz forma parte de la dieta básica de los habitantes y está profundamente arraigado en su cultura desde épocas ancestrales. El maíz es uno de los cereales alimenticios más importantes, constituye una fuente importante de carbohidratos y proteínas.

De acuerdo con datos publicados en El Agro en Cifras por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala (2017), la producción de maíz ha incrementado pasando de producir 36,117,212 quintales en el año 2010 a producir 41,872,600 quintales en el año 2017. Estos datos incluyen tanto el maíz que se exporta como el de consumo interno, sin embargo, no incluye datos de importación de maíz.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente se puede estimar que para el año 2017 en Guatemala se produjeron aproximadamente 7,118,342 quintales de olote, que en su mayoría son desechados inadecuadamente o, en el mejor de los casos, utilizados como alimento animal sin ningún valor añadido.

### **3.3. Delimitación del problema**

Todas las actividades que conlleva la extracción del edulcorante xilitol se realizarán en el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Escuela de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y en el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala. Las actividades relacionadas a la determinación del contenido de xilosa se realizarán en el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala.

El periodo de ejecución de la investigación será entre los meses abril a octubre del año 2020.

### **3.4. Formulación del problema**

Se formula a través de las preguntas de investigación.

### **3.4.1. Pregunta principal**

¿Cómo extraer a escala laboratorio el edulcorante xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala?

### **3.4.2. Preguntas secundarias**

- ¿Se puede incrementar el contenido de xilosa al modificar parámetros en el experimento?
- ¿Cuál es el contenido de xilosa en el jarabe obtenido del olote?
- ¿Cuál es la factibilidad económica de producir el edulcorante xilitol a escala industrial?

### **3.5. Viabilidad**

A escala laboratorio, como a escala industrial, existen los equipos, la tecnología, los insumos y recurso humano necesario para llevar a cabo la investigación. Dichos recursos se encuentran disponibles para su utilización tanto en la etapa de extracción como en los análisis de laboratorio.

El financiamiento de los gastos y costos en los que se incurra para realizar la investigación serán aportados por el investigador.

### **3.6. Consecuencias de la investigación**

De realizarse la investigación se contará con una alternativa para la utilización del olate de maíz. Dicha alternativa permitirá reducir la cantidad de desechos orgánicos manejados inadecuadamente, además de ello se ofrecerá un producto útil para diferentes industrias, con el cual se podrá generar riqueza.

Por el contrario, de no realizarse la investigación un recurso tan útil como el olate de maíz será desechado en vertederos generando basura o será utilizado como alimento para ganado, desaprovechando sus características químicas y su capacidad de convertirse en un producto de alto valor agregado.





## 4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad de San Carlos, con la cual se relaciona el presente estudio, es el desarrollo de líneas de producción que utilizan materias primas subutilizadas en la industria de alimentos, enfocándose en particular en un recurso actualmente subutilizado y ampliamente disponible en Guatemala como el olote de maíz.

La cantidad de desechos que se generan como sociedad crece aceleradamente y la forma en que se gestionan estos desechos no es la más efectiva. Existen muchos desechos que pueden ser aprovechables o reutilizables, sin embargo, al existir poca o nula investigación científica tampoco existen incentivos económicos que permitan dar un mejor uso a estos desechos.

Existen diversos productos que se pueden extraer del olote de maíz debido a su composición química: celulosas, hemicelulosas y lignina (Córdova *et al.*, 2013). A través de la experimentación se buscará una forma eficiente para la extracción del edulcorante xilitol como subproducto del olote maíz cultivado en Guatemala, con el fin de evitar exceso de desechos orgánicos en vertederos o basureros y además generar productos de alto valor añadido aceptados por la industria y los consumidores.

Realizar la presente investigación se considera de importancia ya que puede ser la base para mejoras en los siguientes aspectos: para el medio ambiente, por la reducción de desperdicios orgánicos vertidos en basureros; para el desarrollo de emprendimientos que permitan generar riqueza a la cadena

productiva involucrada en el proceso; para la industria, puesto que le permite encontrar materia prima producida localmente a un costo accesible, y, por último, para los consumidores que buscan alternativas a productos que pueden ser consumidos por personas diabéticas o simplemente que buscan reducir la ingesta de calorías en su dieta.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo principal**

Extraer a escala de laboratorio el edulcorante xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Describir y comparar el efecto de modificar parámetros del experimento sobre el contenido de xilosa obtenido.
- Determinar el contenido de xilosa en el jarabe obtenido durante el proceso de extracción.
- Determinar la factibilidad económica de realizar el producto a escala industrial.



## **6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

La principal necesidad por cubrir con esta investigación es el aprovechamiento del olote de maíz cultivado en Guatemala, de manera que se busca obtener el edulcorante xilitol a partir del olote de maíz. Existe en el país poca investigación acerca del aprovechamiento de los residuos de productos orgánicos generados a escala industrial o por individuos. Estos desechos generan contaminación ambiental, son nido de infestación de plagas y, a consecuencia de su desaprovechamiento, se dejan de percibir ingresos.

El esquema de solución para el problema planteado inicia con la adquisición por red del olote de maíz en la Central de Mayoreo (CENMA), ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

Para la realización de la investigación será necesario el apoyo de dos instituciones: el Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala, en donde se realizarán todas las operaciones relacionadas a la extracción del xilitol del olote de maíz. Además, en el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala, también se llevarán a cabo las actividades de análisis del rendimiento obtenido de xilitol a través de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC, por sus siglas en inglés).

Por último, se buscará realizar un análisis de factibilidad industrial utilizando el rendimiento obtenido, el precio del edulcorante en el mercado y las diferentes opciones de equipo industrial disponibles en el mercado.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. El maíz**

El maíz es un cereal que presenta diversidad de usos nutricionales e industriales y cuya producción mundial se emplea principalmente para alimentación humana y animal.

En diferentes industrias el maíz es muy utilizado debido a que tiene muchos usos, como: la elaboración de alcohol, colorantes, endulzantes, industrias alimenticias, fabricación de pinturas y jabones, y también para el uso casero (Gavilanes, 2010).

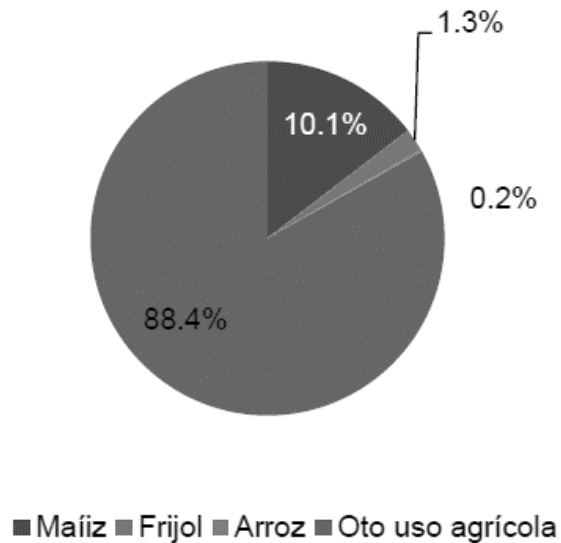
#### **7.1.1. Consumo de maíz en Guatemala**

El consumo del maíz forma parte de la dieta básica de los habitantes y está profundamente arraigado en su cultura desde épocas ancestrales. El maíz es uno de los cereales alimenticios más importantes, constituye una fuente importante de carbohidratos y proteínas.

De acuerdo con datos publicados en la Encuesta Nacional Agropecuaria, publicada por el Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE), en el año 2018 se estimó que el 10.1 % de la superficie está siendo cultivada con maíz, el 1.3 % con frijol y menos del 1 % con arroz.



Figura 1. **Porcentaje de superficie cultivada con maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018)**

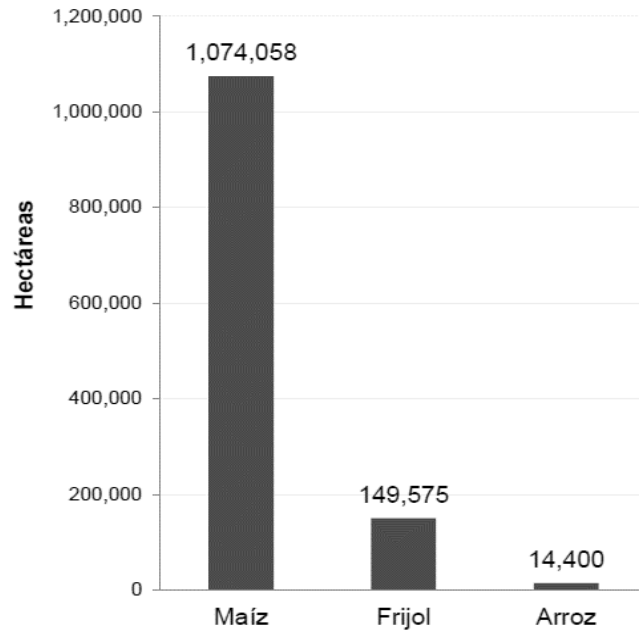


Fuente: INE. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria*.

De los cultivos anuales, el maíz y frijol son los que ocupan la mayor superficie del área con potencial uso agrícola, ya que estos cultivos son la base de la seguridad alimentaria y nutricional de la población guatemalteca.

La encuesta además estimó para el año agrícola 2017-2018 que 1.07 millones de hectáreas están cultivadas con maíz, 149.5 mil hectáreas con frijol y 14.4 mil hectáreas con arroz.

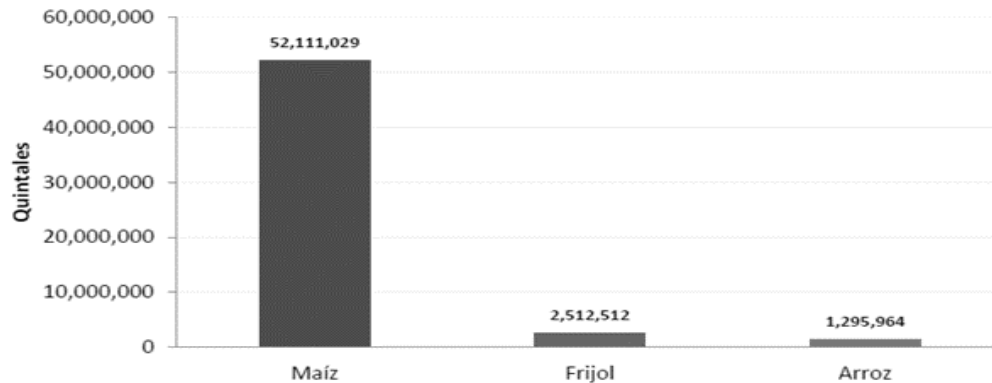
Figura 2. **Superficie cultivada con maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018)**



Fuente: INE. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria*.

Dicha encuesta estima que la producción de maíz para el año agrícola 2017-2018 se sitúa alrededor de los 52.1 millones de quintales.

Figura 3. **Producción de maíz, frijol y arroz (año agrícola 2017-2018)**



Fuente: INE. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria*.

### 7.1.2. **El olote de maíz**

El olote es un residuo o subproducto agrícola que se genera en grandes cantidades en el proceso de separación del grano de la mazorca y se estima que por cada tonelada de maíz se obtienen 170 kg de olote (CIMMYT, 1995).

El olote del maíz se encuentra entre las fuentes de recursos no maderables con un alto contenido de xilanas, por lo que ha sido considerado de interés como fuente alternativa de diferentes compuestos químicos de interés comercial o industrial, entre otras fuentes de biomasa (Córdova *et al.*, 2013) (Samantha *et al.*, 2012) (Oliveira *et al.*, 2010).

La tabla que se muestra a continuación contiene un resumen de datos de diferentes autores que han determinado los porcentajes de cada uno de los componentes que posee el olote de maíz.

Tabla I. **Composición del olote de maíz**

Autores/región	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina	Cenizas	Xilosa	Manosa	Galactosa	Arabinosa
Córdoba <i>et al.</i> , 2013/México	33.6%	45%	15.8%	2.00%	35%	N.C	N.C	N.C
Gerena F., 2013/Colombia	N.C	N.C	N.C	N.C	29.1%	0%	0%	2.7%
Suesca A., 2012	26- 31%	39- 47%	3- 5%	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Barroso M., 2010/España	N.C	N.C	N.C	N.C	29.1%	0%	0%	2.7%
Cortínez A., 2010/Chile	35%	45%	15%	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Quinteros, R., 2009	23%	36%	17%	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Caparrós S., 2009/España	30-41.7%	33.7-41.2%	4.5-15.9%	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Ortega M., Rojas L. & Arias M., 2008	35%	45%	15%	1.46%	N.C	N.C	N.C	N.C
Garrote <i>et al.</i> , 2007/España	31.1%	34.3%	18.8%	N.C	N.C	N.C	N.C	N.C
Carmona J., Caparrós S. & Jiménez L., 2007/España	N.C	N.C	N.C	N.C	29.1%	0%	0%	2.8%
Badal, 2003/E.E.U.U	45%	35%	15%	N.C	48-54%	N.C	N.C	N.C

Nota: N.C= no consta resultados por dicho autor.

Fuente: Casalombo, I. (2015). *Obtención de xilosa a partir del zuro de maíz mediante hidrólisis ácida.*

## 7.2. Métodos de obtención de subproductos del olote de maíz

Como se puede apreciar en la tabla anterior, el olote de maíz está compuesto principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa y la hemicelulosa son polímeros de carbohidratos que deben descomponerse en azúcares de bajo peso molecular (básicamente monómeros) para que puedan ser fermentados por microorganismos, sin embargo, la fracción de celulosa es nativamente resistente a la descomposición enzimática. Para hacer que la celulosa sea susceptible a la conversión enzimática, se requiere una etapa de tratamiento previo.

### **7.2.1. Hidrólisis enzimática**

Se utiliza para la hidrólisis de la celulosa, para esto es necesario realizar una modificación de su cristalinidad, para que así puedan acceder con facilidad las enzimas y realicen la despolimerización (López *et. al.*, 2008).

### **7.2.2. Hidrólisis alcalina**

Se añaden bases diluidas, para separar la lignina de los carbohidratos, la eficacia en su rendimiento depende del contenido de lignina en la biomasa (Espinosa, 2013).

### **7.2.3. Hidrólisis ácida**

Este tipo de hidrólisis es el que más se emplea por las industrias debido a su fácil y económico proceso, separa azúcares monoméricos de la hemicelulosa, por medio del tratamiento con ácidos (Abril y Navarro, 2012).

### **7.2.4. Hidrólisis térmica**

También denominada método hidrotérmico, al utilizar el agua con altas temperaturas se ocasiona una hidrólisis de los grupos acetilo y ácido acético, actuando el ácido como un catalizador generando la solubilización de la hemicelulosa, a lo que se le denomina autohidrólisis (López *et. al.*, 2008).

## **7.3. Edulcorantes**

Los edulcorantes son aditivos alimentarios (diferentes del azúcar) que confieren a un alimento un sabor dulce (Ministerio de Economía, 2010).

Los edulcorantes constituyen uno de los grupos de aditivos alimentarios que están experimentando un mayor incremento en su consumo y a los que se dedica mayores esfuerzos en su investigación (Cubero, Monferrer y Villalta, 2002). Se clasifican atendiendo a su aporte calórico, de la siguiente manera:

- Edulcorantes nutritivos, de volumen o calóricos
- Edulcorantes no nutritivos, no calóricos o intensos

### **7.3.1. Edulcorantes intensos**

Los edulcorantes intensos son aquellos compuestos que proporcionan un poder edulcorante muy superior al de la sacarosa, pero con un poder energético nulo o insignificante y ausencia de otras funcionalidades tecnológicas, como, por ejemplo: no caramelizan, no son higroscópicos y no confieren textura (Cubero *et. al.*, 2002). Dentro de esta categoría se encuentran:

- Sacarina
- Ciclamato
- Acesulfame-K
- Aspartame
- Neohesperidina dihidrochalcona (NHDC)
- Taumatina

### **7.3.2. Edulcorantes nutritivos**

Los edulcorantes nutritivos son aquellos cuya ingesta provee calorías o energía a la dieta a razón de 4 kilocalorías por gramo, 2.4 kilocalorías en el caso de los polialcoholes (Torresani, 2002). Dentro de esta categoría se encuentran:

- Sacarosa y otros disacáridos (maltosa, lactosa, entre otros)
- Monosacáridos (glucosa, fructosa, entre otros)
- Polioles (sorbitol, manitol, maltitol, xilitol, lactitol, entre otros)

#### **7.3.2.1. Xilitol**

El xilitol es un derivado hidrogenado de la xilosa. Se encuentra en pequeñas cantidades en ciertas frutas, hortalizas y cereales. Industrialmente se prepara a partir de la D-xilosa obtenida por hidrólisis de hemicelulosa proveniente como subproducto agrícola (Cubero *et. al.*, 2002).

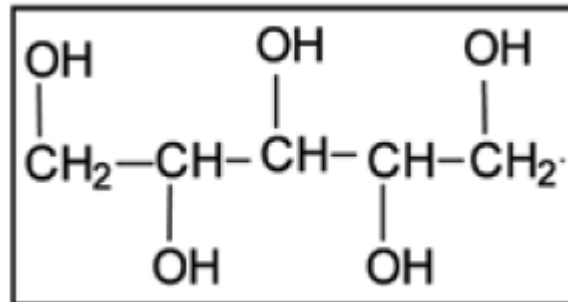
Presenta propiedades anticariogénicas por el hecho de no ser utilizado por los microorganismos de la flora bucal, en particular por la bacteria *Streptococcus mutans*, lo que evita la formación de ácidos que atacan el esmalte dental (Martínez *et. al.*, 2002).

Por otra parte, induce la remineralización del esmalte de los dientes, revertiendo lesiones recién formadas, por el aumento de la concentración de los iones calcio y fosfato (Mäkinen, 1976). Las propiedades anticariogénicas del xilitol son una característica de gran importancia principalmente para los países del tercer mundo, donde la incidencia de caries es extremadamente alta. El xilitol posee también varias aplicaciones clínicas que lo indican para el tratamiento de personas con diabetes, desórdenes en el metabolismo de lípidos, lesiones renales y parenterales, en la prevención de otitis, infecciones pulmonares y osteoporosis (Mäkinen, 2000).

Presenta una solubilidad inferior a la sacarosa a temperatura ambiente, sin embargo al incrementar la temperatura este fenómeno se invierte de manera

que el xilitol puede llegar a superar la solubilidad de la sacarosa (Cubero *et. al.*, 2002).

Figura 4. Estructura molecular de xilitol



Fuente: Cubero, N; Monferrer, A. y Villalta, J. (2002). *Aditivos alimentarios*.

#### 7.4. Métodos para la determinación del contenido de xilosa

Son los siguientes:

##### 7.4.1. La reacción de Benedict

La reacción o prueba de Benedict identifica azúcares reductores (aquellos que tienen libre su OH del C anomérico) como la lactosa, glucosa, xilosa, entre otras (Bonner y Castro, 1974).

La reacción de Benedict reduce el  $Cu^{+2}$  a  $Cu^{+}$  formando óxido cuproso, dando como resultado un precipitado de la solución con un rojo ladrillo; si la cantidad de azúcares reductores es pequeña, el precipitado será de color anaranjado o de tono verdoso, la formación del precipitado evidencia la presencia de azúcares reductores, debido al efecto del grupo aldehído del azúcar (Casalombo, 2015).



#### **7.4.2. Reacción DNS**

La determinación de azúcares reductores consiste en la reducción del ácido 3,5 dinitrosalicílico en ácido 3 amino 5 dinitrosalicílico, para poder realizar la lectura del azúcar reductor a una longitud de onda de 540 nm en el espectrofotómetro (Casalombo, 2015).

#### **7.4.3. Cromatografía líquida de alta eficiencia**

Es la traducción de *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC). Es un tipo de cromatografía en columna en el que, por acción de una bomba, se hace pasar una mezcla de compuestos o analitos en un sistema disolvente comúnmente conocido como fase móvil. La fase móvil pasa a través de una columna cromatográfica, que contiene la fase estacionaria a un flujo especificado. La separación de los compuestos ocurre con base en la interacción de estos con la fase móvil y la fase estacionaria.

HPLC es la técnica analítica de separación más utilizada en la actualidad debido a su sensibilidad, su adecuación para realizar determinaciones cuantitativas exactas y a su aplicabilidad a diferentes tipos de sustancias (Alfonso, 2006).

## 8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS

ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El maíz

2.1.1. Consumo de maíz en Guatemala

2.1.2. El olote de maíz

2.2. Métodos de obtención de subproductos del olote de maíz

2.2.1. Hidrólisis enzimática

2.2.2. Hidrólisis alcalina

2.2.3. Hidrólisis ácida

2.2.4. Hidrólisis térmica

2.3. Edulcorantes

2.3.1. Edulcorantes intensos

2.3.2. Edulcorantes nutritivos

2.3.2.1. Xilitol

2.4. Métodos para la determinación del contenido de xilosa

2.4.1. La reacción de Benedict

2.4.2. Reacción DNS

2.4.3. Cromatografía líquida de alta eficiencia

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

## **9. METODOLOGÍA**

### **9.1. Enfoque de la investigación**

El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, permite recaudar más información que la recopilada por los enfoques de manera separada (Piloña, 2012). La presente investigación se considera un estudio mixto debido a que se analizarán variables de tipo cuantitativo, como el contenido de xilosa en el jarabe obtenido y el precio de mercado del kilogramo de xilitol, así como cualitativas en la etapa de extracción.

### **9.2. Diseño de la investigación**

Se utilizará un diseño experimental debido a que este tipo de investigación permite reproducir el fenómeno bajo condiciones controladas, para estudiarlo. Se establece una relación lógica causal entre los factores manipulados. Este tipo de investigación supone la manipulación de todas las variables, con el objeto de someter el fenómeno a condiciones relativamente fáciles de controlar para verificar sus resultados (Piloña, 2012).

El trabajo de investigación se realizará en tres fases distintas. La primera busca obtener el edulcorante xilitol a partir del olote de maíz cultivado en Guatemala, utilizando como referencia revisiones bibliográficas de estudios previos acerca del tema. En la segunda fase se analizará, a través de pruebas en laboratorio, el contenido de xilosa en el jarabe obtenido de las muestras con modificación de algunas variables del experimento, para luego comparar los

rendimientos obtenidos. Por último, la tercera fase busca obtener el precio de mercado del edulcorante xilitol con el fin de evaluar la factibilidad de su producción a escala industrial.

### **9.3. Tipo de estudio**

La investigación transversal se da cuando la investigación se centra en analizar cuál es el nivel o estado de una o diversas variables en un momento dado, o bien cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo (Piloña, 2012). La investigación se considera de tipo transversal debido a que se estudiarán las variables durante un tiempo definido y la misma se llevará a cabo durante un tiempo específico.

### **9.4. Alcance de la investigación**

El alcance de tipo descriptivo no permite la comprobación de hipótesis ni la predicción de resultados, sin embargo, con este tipo de investigación será posible caracterizar globalmente el objeto de estudio (Lerma, 2009).

El alcance del trabajo de investigación es de tipo descriptivo, ya que su propósito es describir el estado, características, factores y otros aspectos presentes en situaciones o fenómenos naturales. Para el presente trabajo se pretende describir las condiciones y parámetros bajo los cuales se obtendrá la mayor cantidad de xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala.

### **9.5. Variables e indicadores**

Se muestran en la tabla de la siguiente página:

Tabla II. **Variables e indicadores**

Nom bre de la varia ble	Descripción conceptual	Descripción operacional	Indicadores	Instrumento
Rend imien to del prod ucto	Proporción entre el producto o el resultado obtenido y los medios utilizados (RAE)	Es la determinación del contenido de xilosa en el jarabe mediante un análisis en cromatografía HPLC	Colorimetría % de xilosa en el jarabe $R = \frac{\text{gramos de Xilitol}}{\text{gramos de olote}}$	Formato de muestras con reactivo de Benedict  Concentración de xilosa obtenida por HPLC
Cost os	Es el valor de lo consumido o inmovilizado en un proceso de producción o el consumo, valorado en dinero, de los bienes o servicios necesarios para la producción que constituye el objeto de la empresa	Cuantifica en unidades monetarias cada etapa del proceso proyectado a escala industrial con el fin de evaluar la factibilidad comercial	$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$  $TIR = VAN(0)$ $TIR > k, se acepta$ $TIR = k, se analiza$ $TIR < k, se rechaza$  $ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Gastos}}{\text{Gastos}}$	Precios de mercado  Ecuaciones definidas para indicadores

Fuente: elaboración propia.

## 9.6. Fases de la investigación

Para cumplir con los objetivos propuestos en el diseño de la investigación se realizará un proceso que consta de cuatro fases, las cuales se describen a continuación:

- Fase 1: revisión documental. Dedicada a la revisión documental de antecedentes y otras referencias bibliográficas para la realización de la investigación y el marco teórico. La información obtenida en esta fase servirá como guía para la elaboración de las fases posteriores.
- Fase 2: extracción de xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala. Durante esta fase se realizarán todas las actividades relacionadas a la extracción de xilitol (apéndice 3). Esta etapa inicia con la compra del olote de maíz y finaliza con la obtención del edulcorante xilitol en presentación granulada. Se variará la temperatura, la concentración de ácido y otras características del proceso para cada una de las muestras para su posterior análisis (apéndice 4).

Para llevar a cabo esta fase se contará con el apoyo del Laboratorio de Investigación de Productos Naturales (LIPRONAT) de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala.

- Fase 3: determinación del contenido de xilosa en el jarabe obtenido durante el proceso de extracción. Se determinará el contenido de xilosa en el jarabe obtenido de la extracción. En el inicio se analizarán todas las muestras obtenidas en la fase anterior utilizando la prueba de Benedict para

determinar cualitativamente mediante colorimetría la muestra con mayor contenido de xilosa (apéndice 5). Posterior a ello, la muestra seleccionada se analizará mediante cromatografía líquida de alta precisión para obtener un dato cuantitativo en el Centro de Estudios Agrícolas y Alimentarios (CEAA) de la Universidad del Valle de Guatemala.

- Fase 4: determinar la factibilidad económica de realizar el producto a escala industrial. Durante esta fase se realizará el análisis de factibilidad para realizar el edulcorante a escala industrial. Para realizarlo se tomarán en cuenta el precio y las especificaciones técnicas de los equipos disponibles en el mercado que cuentan con la tecnología adecuada para realizar a gran escala las operaciones realizadas en el laboratorio. Con ello se pretende estimar la inversión inicial y la capacidad de producción del equipo. Adicional a ello se buscará el precio de mercado del xilitol para con ello obtener la tasa interna de retorno y el retorno de la inversión.

#### **9.7. Resultados esperados**

Con el desarrollo de la investigación se espera describir un método para la obtención de xilitol que maximice el rendimiento del producto.





## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de información se utilizarán técnicas metodológicas y técnicas de estadística descriptiva, las cuales se describen a continuación:

- Referencias bibliográficas: a través de libros, antecedentes, revistas y publicaciones científicas se recolectará información de manera sistemática, por medio de la lectura, con el objetivo de enriquecer los temas relacionados al tema y formar un marco de referencia sobre el desarrollo de la investigación.
- Diagramas de flujo: se utilizarán representaciones gráficas del proceso de extracción de xilitol que facilite la visualización del proceso en general.
- Gráficas de barra: a lo largo de la investigación se utilizarán gráficas de barra para mostrar porcentajes, proporciones o comparación, particularmente útiles en la presentación de resultados del rendimiento obtenido.
- Fórmulas o ecuaciones: existen algunas fórmulas que se consideran útiles para las diferentes fases de la investigación, serán particularmente útiles para la determinación de la factibilidad de la obtención del producto a escala industrial.



## 11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma

Id	Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Cronograma																	
						jun	tri 3, 2019	jul	ago	sep	tri 4, 2019	oct	nov	dic	tri 1, 2020	ene	feb	mar	tri 2, 2020	abr	may	jun	tri 3, 2020
1	*	Diseño del protocolo del trabajo de investigación	132 días	sáb 01/06/19	sáb 30/11/19	[Barra horizontal que cubre desde junio 2019 hasta noviembre 2019]																	
2	*	Aprobación del protocolo	62 días	sáb 30/11/19	lun 24/02/20	[Barra horizontal que cubre desde noviembre 2019 hasta febrero 2020]																	
3	*	Desarrollo de la investigación	14 días	mar 25/02/20	vie 13/03/20	[Barra horizontal que cubre desde marzo hasta abril 2020]																	
4	*	Fase 1: Revisión documental	15 días	lun 16/03/20	vie 03/04/20	[Barra horizontal que cubre desde marzo hasta abril 2020]																	
5	*	Fase 2: Extracción de xilitol como subproducto del olote de maíz cultivado en Guatemala	45 días	sáb 04/04/20	jue 04/06/20	[Barra horizontal que cubre desde abril hasta junio 2020]																	
6	*	Fase 3: Determinar el contenido de Xilosa en el jarabe obtenido durante el proceso de extracción	11 días	vie 05/06/20	vie 19/06/20	[Barra horizontal que cubre desde junio hasta julio 2020]																	
7	*	Fase 4: Evaluar la aceptabilidad del edulcorante Xilitol a través de análisis sensorial en consumidores	28 días	sáb 20/06/20	mar 28/07/20	[Barra horizontal que cubre desde junio hasta agosto 2020]																	
8	*	Fase 5: Determinar la factibilidad económica de realizar el producto a escala laboratorio	23 días	mié 29/07/20	vie 28/08/20	[Barra horizontal que cubre desde julio hasta agosto 2020]																	
9	*	Presentación de resultados	27 días	sáb 29/08/20	sáb 03/10/20	[Barra horizontal que cubre desde agosto hasta octubre 2020]																	
10	*	Discusión de resultados	12 días	sáb 10/10/20	sáb 24/10/20	[Barra horizontal que cubre desde octubre hasta noviembre 2020]																	
11	*	Elaboración de conclusiones	1 día	sáb 31/10/20	sáb 31/10/20	[Barra horizontal que cubre el día 31 de octubre 2020]																	
12	*	Elaboración de recomendaciones	1 día	sáb 07/11/20	sáb 07/11/20	[Barra horizontal que cubre el día 7 de noviembre 2020]																	
13	*	Redacción del informe final	12 días	sáb 14/11/20	sáb 28/11/20	[Barra horizontal que cubre desde noviembre hasta diciembre 2020]																	

Fuente: elaboración propia.



## 12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para ejecutar cada una de las fases de la presente investigación y cumplir con los objetivos propuestos.

Tabla III. **Presupuesto**

Ítem		Cantidad	Costos Q	Fuente de financiamiento
Recurso humano	Asesor	1	Q 1,500.00	Propio
	Investigador	1	Q 1,000.00	Propio
	Otros	--	---	---
	TOTAL			Q 2,500.00
Recursos materiales	Olote de maíz	1 red	Q 40.00	Propio
	Ácido sulfúrico	200 ml	Q 225.00	Propio
	Carbón activado	2 lb	Q 350.00	Propio
	Levadura		Q 450.00	Propio
	Laboratorio para el análisis	4	Q 2,500.00	Propio
	Estándar analítico	1	Q 200.00	Propio
	TOTAL			Q 3,765.00

Continuación de la tabla III.

Recursos físicos	Papel filtro	100	Q 50.00	Propio
	Resma papel bond	2	Q 80.00	Propio
	TOTAL		Q 130.00	
Recursos tecnológicos	Computadora	1	Q -	Propio
	Impresora	1	Q -	Propio
	TOTAL		Q -	Propio
Equipo	Molino	1 semana	Q 4,500.00	Propio
	Tamizador			
	Incubadora			
	Centrifugadora			
	Horno			
	Agitador			
	Balanza			
	Matraces aforados			
	Embudo de decantación			
	TOTAL			

Fuente: elaboración propia.

El presupuesto total general del trabajo de investigación es de Q 10,895.00, el cual será asumido completamente por el investigador.

### 13. REFERENCIAS

1. Abril, A. y Navarro, E. (2012). *Etanol a partir de biomasa lignocelulósica*. Valencia, España: Aleta Ediciones.
2. Alfonso, M. (2006). *Desarrollo de métodos para el aislamiento y la detección de toxinas marinas en productos de la pesca y la acuicultura*. (Tesis de licenciatura). Universidad Santiago de Compostela, España.
3. Bonner, W. y Castro, A. (1974). *Química orgánica básica*. Madrid, España: Alhambra, S. A.
4. CIMMYT. (1995). *Manejo de los ensayos e informes de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz*. México D.F., México: Autor.
5. Córdova, A.; Delgado, F. y Toriz, G. (2013). Generación de compuestos orgánicos en el olote, mediante la oxidación en húmedo. *Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 29 (1), 186 -200.
6. Espinosa, F. (2013). *Obtención de etanol mediante hidrólisis alcalina, enzimática y fermentación a partir del excedente orgánico del banano variedad Musa paradisiaca*. (Tesis de licenciatura). Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.



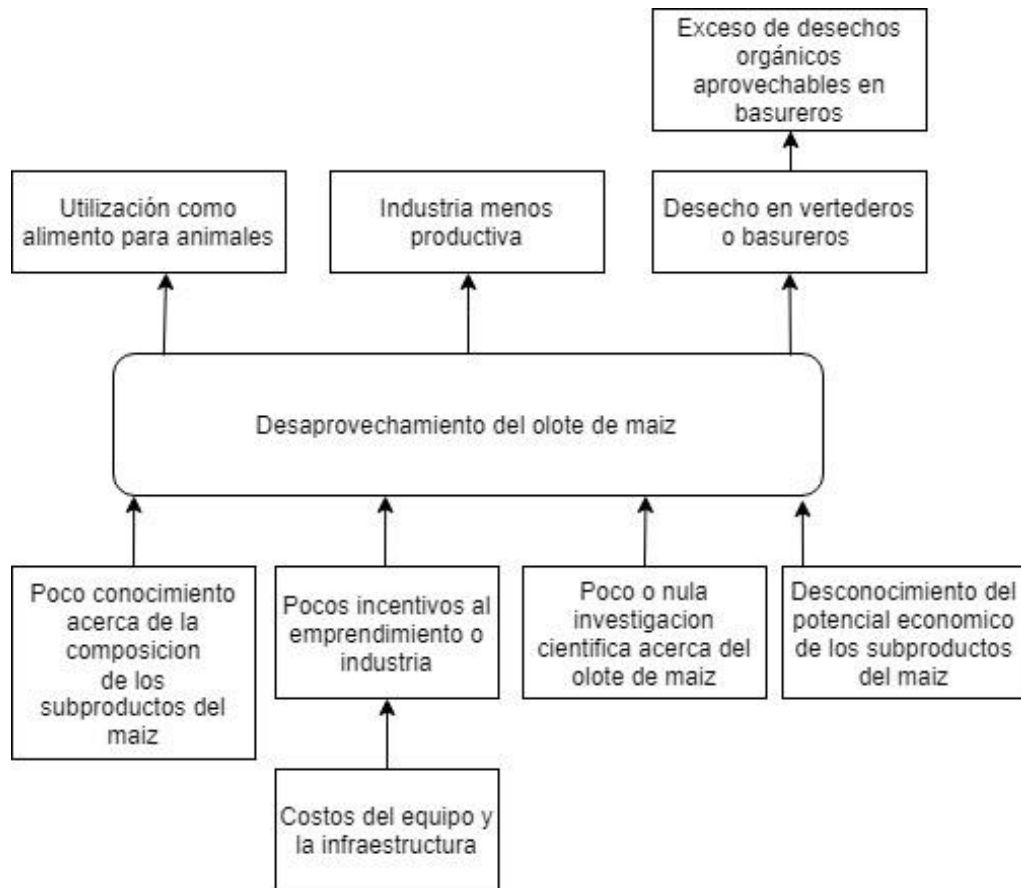
7. FAO STAT. (2012). *Producción mundial de maíz*. Recuperado de <http://http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>.
8. Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Encuesta Nacional Agropecuaria de granos básicos 2017-2018*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Autor.
9. López, F.; Alfaro, A.; Caparrós, S.; García, M.; Pérez, A. y Garrote, G. (2008). *Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de biomasa lignocelulósica forestal y agroindustrial. Caracterización de hemicelulosas, celulosas y otros productos de fraccionamiento*. Huelva, España: CIDEU.
10. Mäkinen, K. (2000). The Rocky Road of Xylitol to its Clinical Application. *Journal of Dental Research*, 79 (6), 1352–1355. doi: <https://doi.org/10.1177/00220345000790060101>
11. Mäkinen, K. (1976). *Xylitol and oral health*. Turku, Finland: University of Turku. doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2628\(08\)60236-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2628(08)60236-0)
12. Martínez, E.; Villareal, M.; Almeida, J.; Solenzal, A.; Canilha, L. y Mussatto, S. Uso de diferentes materias primas para la producción de xilitol. *Ciencia y tecnología alimentaria*, 3 (5), 295-301.
13. Ministerio de Economía. (2012). *Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA) 67.04.54:10. Alimentos y bebidas procesados. Aditivos alimentarios*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Autor.

14. Oliveira, E.; Silva, A.; Nagashima, T.; Salgado, M.; Muratori, L.; Marcelino, H.; Batista, I.; Bayer, M.; Ricardo, N.; Gomes, A. y Tabosa, E. (2010). Xylan from corn cobs, a promising polymer for drug delivery: Production and characterization. *Bioresource Technology*, 101 (1), 5402–5406.
15. Samantha, A.; Senani, S.; Kolte, A.; Sridhar, M.; Sampath, K.; Jayapal, N. y Devi, A. (2012). Production and in vitro evaluation of xylooligosaccharides generated from corn cobs. *Food Bioproduction. Process*, 90 (1), 466–474.
16. Torresani, M. y Somoza, M. (2009). *Lineamientos para el cuidado nutricional*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba.
17. Watts, B.; Ylimaki, G.; Jeffery, L. y Elías, L. (1992). *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. Ottawa, Canadá: CIID.
18. Zu, S.; Li, W.; Zhang, M.; Li, Z.; Wang, Z.; Jameel, H. y Chang, H. (2013). Pretreatment of corn stover for sugar production using dilute hydrochloric acid followed by lime. *Elsevier*, 34 (1), 366-368. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.034>



## 14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Matriz de coherencia**

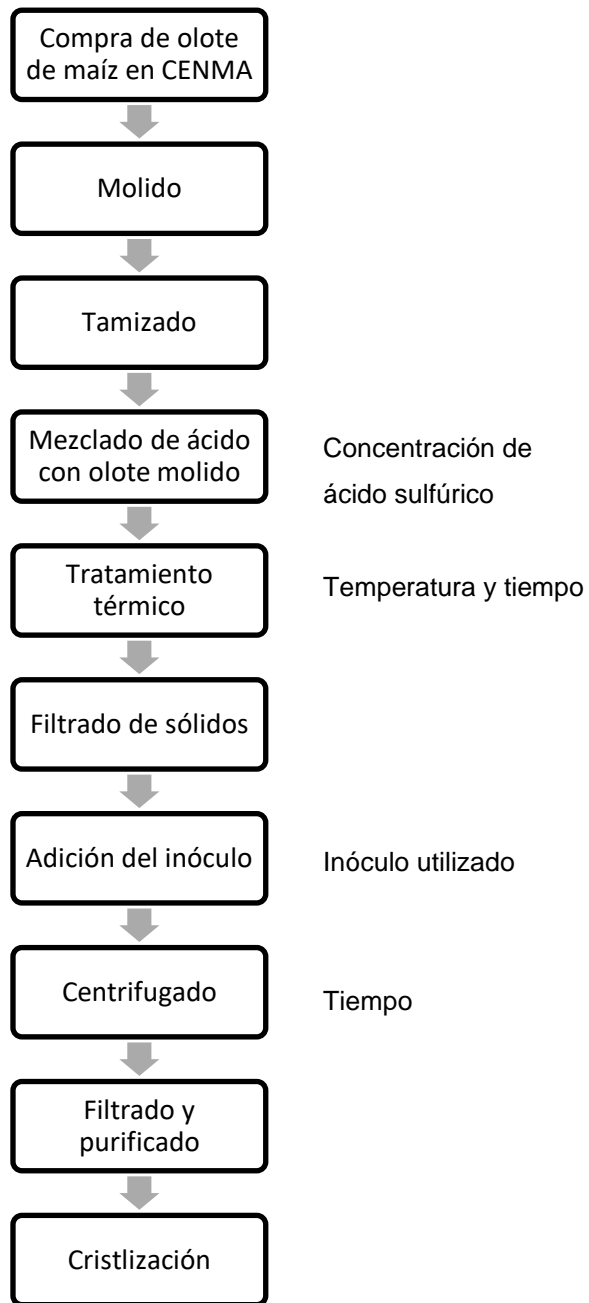
<b>OBJETIVOS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>TÉCNICAS E INSTRUMENTOS</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
Describir y comparar el efecto de modificar parámetros del experimento sobre el contenido de xilosa obtenido	<p>Temperatura</p> <p>Tiempo</p> <p>Concentración de ácido sulfúrico</p> <p>Inoculo utilizado</p>	<p>°C</p> <p>Horas, minutos y segundos</p> <p>Porcentaje de ácido sulfúrico en la muestra</p> <p>Nombre del inoculo</p>	<p>Termómetro, cronómetro, matraces aforados.</p> <p>Formato de parámetros del tratamiento.</p>	<p>Se prepararán muestras en donde podrán variar los parámetros de temperatura, tiempo, concentración de ácido sulfúrico e inoculo utilizado para la fermentación. Las variaciones se definirán en el laboratorio.</p>
Determinar contenido de xilosa en jarabe	Contenido de xilosa	Rendimiento g / L	Método y equipo utilizado por laboratorio	Definida por laboratorio

Continuación del apéndice 2.

Realizar análisis económico de factibilidad industrial	Factibilidad económica	Retorno de la inversión	Costo del edulcorante por presentación  Costo de maquinaria	Obtener un ingreso estimado utilizando el rendimiento y el precio de mercado  Luego compararlo con la inversión inicial y costos de producción estimados.
--	------------------------	-------------------------	---	---


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Diagrama de flujo del proceso de extracción  
propuesto**



Fuente: elaboración propia.


Apéndice 4. **Parámetros de tratamiento por muestra**

 PARÁMETROS DE TRATAMIENTO	
Número de muestra	
Fecha	
Hora	
Temperatura alcanzada	
Tiempo de tratamiento térmico	
Concentración de ácido	
Inoculo utilizado	
Tiempo de centrifugado	
Observaciones	

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 5. **Prueba de Benedict por muestra**

		Prueba de Benedict	
Número de muestra			
Fotografía después de la reacción			
Fecha de fotografía			

Fuente: elaboración propia.

