



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA
BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays*) PROVENIENTE
DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO
ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES**

William Alejandro Reyes López

Asesorado por el Ing. Pedro Rolando García Vélez

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA
BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays*) PROVENIENTE
DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO
ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILLIAM ALEJANDRO REYES LÓPEZ
ASESORADO POR EL ING. PEDRO ROLANDO GARCÍA VÉLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ENERO DE 2023

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:

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays*) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha del 17 de agosto del 2021.


William Alejandro Reyes López

Universidad de San Carlos de
Guatemala



Facultad de Ingeniería
Unidad de EPS

Guatemala, 29 de julio de 2022.
REF.EPS.DOC.246.07.2022.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **William Alejandro Reyes López** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **201503542**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (Zea Mays) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Ing. Sergio Alejandro Recinos
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química

c.c. Archivo
SAR/ra



Guatemala, 29 de julio de 2022.
REF.EPS.D.236.07.2022.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (Zea Mays) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES"** que fue desarrollado por el estudiante universitario William Alejandro Reyes López, quien fue debidamente asesorado por el M. A. Ing. Qco. Pedro Rolando García Vélez y supervisado por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra



Guatemala, 10 de octubre de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.028.2022.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **003-2021**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **William Alejandro Reyes López**.
Identificado con número de carné: **3497169780901**.
Identificado con registro académico: **201503542**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (Zea Mays) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Pedro Rolando García Vélez, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Jorge García
Jorge Rodolfo García Carrera
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA



Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Agencia Centroamericana de Acreditación de
Universidades de Investigación Científica

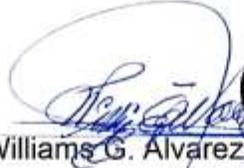




LNG.DIRECTOR.0247.EIQ.2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Química 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 de Área y aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (*Zea mays*) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES**, presentado por: **William Alejandro Reyes López**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Alvarez Mejia. M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, noviembre de 2022.



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Sistemas de Enseñanza e Investigación



LNG.DECANATO.OI.110.2023

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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DEL PROCESO DE HIDRÓLISIS Y FERMENTACIÓN DE UNA BEBIDA ALCOHÓLICA A BASE DE MAÍZ AMARILLO (Zea mays) PROVENIENTE DE RETALHULEU, GUATEMALA, A ESCALA LABORATORIO, COMO ALTERNATIVA DE INNOVACIÓN EN UNA INDUSTRIA DE LICORES**, presentado por: **William Alejandro Reyes López**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser ese guía que me ha ayudado a tomar las mejores decisiones y que me ha cuidado durante toda mi vida. Gracias Dios.
- Mis padres** Magda López y William Reyes, por su amor y apoyo incondicional, consejos y momentos compartidos que siempre guardaré en mi corazón.
- Mi hermana** Amanda Reyes, que esto sea una motivación para que cumplas tus sueños, también sabes que siempre estaré para ti.
- Mi familia cercana** Mis padrinos y tíos que son parte fundamental en mi vida y fuente de gran apoyo. Los quiero mucho.
- Mis compañeros** A todas las personas con las que compartí este viaje universitario, especialmente a: Christian Estrada, María Fernanda Díaz, Julio Marroquín, José Pablo Morales, Javier Navarro, Mónica Roquel, Ástrid Méndez y Ana Escobar.

Adely Vela

Por la linda compañía y amistad que me has dado. Gracias por todo el apoyo y por los bonitos momentos compartidos. Te guardo un cariño muy especial.

CUCV

A todos los residentes que conocí mientras viví en el centro, especialmente a: Erick Alvarado, Mario Zepeda, Carlos Guoron, Saúl Reyes, Gerson Blanco, Danilo Carías, Christian Detlefsen, Didier Castillo, Francois Castillo, los compañeros que estudiaban medicina y a todas las demás personas con las que compartimos buenos momentos.

Compañeros en general

A todas las personas con las que compartí durante estos años, el equipo de natación y en los diferentes lugares que viví.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por permitirme concluir esta etapa de mi vida y darme la oportunidad de continuar con nuevos retos.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y por la excelente educación que brindan.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación como ingeniero.
Escuela de Ingeniería Química	Por su flexibilidad y apoyo en esta última etapa.
Mi núcleo familiar	Por su apoyo incondicional.
Unidad de EPS	Por apoyarme en mi última etapa como universitario de pregrado, especialmente al Ing. Sergio Recinos.
Mi asesor	Ing. Pedro García, por su apoyo y ser un ejemplo de perseverancia, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Maíz.....	3
2.1.1. Maíz en Guatemala	3
2.1.2. Clasificación taxonómica	4
2.1.3. Estructura del maíz.....	5
2.1.4. Composición química del grano.....	6
2.2. Almidón.....	6
2.2.1. Composición química del almidón	7
2.2.2. Amilosa	7
2.2.3. Amilopectina	8
2.2.4. Hidrólisis del almidón.....	9
2.3. Operaciones unitarias.....	10
2.3.1. Hidrólisis	10
2.3.2. Fermentación.....	11
2.3.3. Destilación	12

2.4.	Congéneres.....	13
2.4.1.	Metanol (CH ₃ OH)	13
2.4.2.	Aldehídos	14
2.4.3.	Aceites de fusel	14
2.4.4.	Alcoholes superiores	14
2.4.5.	Ésteres	14
2.5.	Análisis de laboratorio	15
2.5.1.	Cromatografía de gases	15
2.5.2.	Densimetría	15
2.5.3.	Polarimetría	16
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	17
3.1.	Variables	17
3.1.1.	Variables independientes	17
3.1.2.	Variables dependientes	17
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	17
3.3.	Recurso humano.....	18
3.4.	Recursos materiales.....	18
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa (procedimientos)	19
3.5.1.	Peso y molienda de maíz	19
3.5.2.	Cocimiento (hidrólisis) a escala laboratorio	20
3.5.3.	Filtración y desecho de sedimentos	21
3.5.4.	Medición de °POL (polarimetría)	22
3.5.5.	Fermentación a escala laboratorio	23
3.5.6.	Destilación a escala laboratorio.....	23
3.6.	Recolección y ordenamiento de los datos.....	24
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	27
3.8.	Análisis estadístico.....	29

3.8.1.	Media.....	29
3.8.2.	Varianza y desviación estándar.....	30
4.	RESULTADOS.....	31
4.1.	Determinación del rendimiento de hidrólisis respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (<i>Zea mays</i>), para la producción de la bebida alcohólica a escala laboratorio.....	31
4.2.	Determinación del rendimiento de fermentación respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (<i>Zea mays</i>).....	32
4.3.	Determinación del rendimiento de fermentación respecto al volumen de levadura.....	33
4.4.	Volúmenes de etanol respecto a la cantidad de maíz (<i>Zea mays</i>).....	34
4.5.	Costos de producción de las 5 bebidas alcohólicas que presentaron mayor rentabilidad.....	35
4.6.	Descripciones del perfil organoléptico de las 5 bebidas que presentaron mayor rentabilidad.....	36
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	43
	CONCLUSIONES.....	45
	RECOMENDACIONES.....	47
	REFERENCIAS.....	49
	APÉNDICES.....	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Porcentaje de producción de maíz de cada departamento de Guatemala.....	4
2.	Sección transversal de un grano de maíz	5
3.	Estructura granular del almidón	7
4.	Amilosa que muestra los enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$	8
5.	Amilopectina con enlaces $\alpha(1,4)$ y $\alpha(1,6)$	8
6.	Hidrólisis del almidón	9
7.	Molécula de maltosa con el enlace glicosídico.....	10
8.	Rendimiento de hidrólisis respecto a la cantidad de maíz.....	31
9.	Rendimiento de fermentación respecto a la cantidad de maíz para los distintos volúmenes de levadura.....	32
10.	Rendimiento de fermentación respecto al volumen de..... levadura, para las distintas cantidades de maíz.....	33
11.	Volumen de etanol respecto a la cantidad de maíz para los distintos volúmenes de levadura.	34

TABLAS

I.	Toma de datos para rendimiento de hidrólisis.....	25
II.	Toma de datos para rendimiento de fermentación.....	26
III.	Rentabilidad de las bebidas alcohólicas.....	27
IV.	Rendimiento de hidrólisis	27
V.	Rendimiento de fermentación	28

VI.	Rentabilidad de las bebidas alcohólicas	28
VII.	Las 5 bebidas alcohólicas con mayor rentabilidad.....	35
VIII.	Descripciones del perfil organoléptico de las 5 bebidas con mayor rentabilidad	36

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
C	Carbono
σ	Desviación estándar
α	Enlace alfa
C_n	Extremos de una molécula de glucosa
g	Gramo
°C	Grado Celsius
°GL	Grados Gay-Lussac
h	Hora
lb	Libra
\bar{X}	Media
mL	Mililitro
n	Número de muestras
%	Porcentaje
Q	Quetzal, moneda de Guatemala
R_{hn}	Rendimiento de hidrólisis
X_n	Pertenece a una población
v/v	Proporción volumen/volumen
V_e	Volumen de etanol

GLOSARIO

Almidón	Molécula orgánica compuesta por dos polímeros de glucosa, llamados amilosa y amilopectina.
Amilopectina	Polisacárido que constituye la mayoría de los galmidones más comunes, contiene enlaces glucosídicos.
Amilosa	Polisacárido que tiene unidades D-glucosa unidos por medio de enlaces $\alpha(1-4)$, se caracteriza por su estructura de cadena helicoidal sin ramificaciones, es el segundo polisacárido en mayor proporción en una molécula de almidón.
Aldehídos	Grupo de moléculas compuestas por enlaces funcionales CHO-, lo cual es resultado de la deshidratación de un alcohol primario. En la industria de las bebidas alcohólicas, los aldehídos forman parte del grupo de compuestos denominados congéneres.
Congéneres	Compuestos que se producen en la fermentación de un mosto hidrolizado, dan características organolépticas, pero la mayoría son dañinos para la salud.

Cromatografía de gases Técnica en la que una muestra se volatiliza y se inyecta en una columna de un equipo llamado cromatógrafo, con el fin de determinar con exactitud todo compuesto químico contenido en la muestra inyectada.

Densimetría Técnica que se ocupa en la medición de la densidad de una muestra, la cual se introduce en un cilindro vacío que contiene un bulbo pesado, donde está unido un vástago graduado; cuando el líquido es introducido, el bulbo flota y el vástago marca la densidad.

Destilación Operación unitaria que separa compuestos químicos volátiles según su punto de ebullición, existen distintos equipos para realizar esta operación y dependerá de la cantidad de compuestos a tratar, algunos ejemplos puede ser una columna de platos bajo presión o un alambique de cobre.

Dióxido de carbono Gas incoloro que forma parte de diversos procesos biológicos e industriales, está compuesto por un átomo de carbono y dos de oxígeno. En la industria de las bebidas alcohólicas, se obtiene por medio del proceso metabólico de la levadura. Se le conoce como CO_2

Endospermo Constituye la mayoría del peso del grano de maíz, ya que es donde se constituye el almidón del grano.

Etanol	Uno de los principales compuestos químicos de interés en la fermentación de un mosto con azúcares fermentables. Compuesto por cadenas orgánicas que dan el característico grado alcohólico a una solución. Es miscible en agua, apto para el consumo humano en bajas cantidades y es agente de desinfección también. C_2H_5OH .
Fermentación	Operación unitaria caracterizada por ser el proceso metabólico de la levadura. Se refiere a la producción de etanol y otros componentes a partir de azúcares fermentables.
Fructosa	Monosacárido con la misma fórmula molecular que la glucosa ($C_6H_{12}O_6$), pero con diferente estructura tridimensional, es decir, es un isómero de la glucosa. Es un azúcar fermentable directamente.
Glucosa	Monosacárido más abundante ($C_6H_{12}O_6$), fuente muy importante de energía en los organismos, usado para muchos fines, alimenticios y metabólicos.
Grados brix	Expresión usada para cuantificar los sólidos solubles totales presentes en una solución. Están compuestos por partículas propias del mosto y azúcares fermentables en la solución.
Hidrólisis del almidón	Operación unitaria en la cual se descomponen los enlaces de la molécula del almidón, por medio de un

calentamiento en agua para obtener azúcares. Puede incrementarse el rendimiento de hidrólisis por medio de la adición de enzimas o ácidos al calentamiento.

Hidrólisis

Operación unitaria que separa una molécula en subproductos, por medio de un calentamiento en medio acuoso; la temperatura de calentamiento varía en función del compuesto a hidrolizar y el tiempo necesario.

Innovación

Acción de modificar un producto o servicio para beneficiar a una empresa. Introduce nuevas técnicas que suponen una mejora del producto, para mejorar la facilidad de su uso o su atractivo al cliente.

Laboratorio

Lugar que cumple con requerimientos para realizar análisis de interés para una empresa. Varias normas y buenas prácticas indican la manera de equipar, gestionar y estandarizar los procedimientos del laboratorio.

Levadura

Hongo unicelular responsable de que una fermentación se lleve a cabo, organismo responsable de la conversión de azúcares a etanol y otros compuestos de interés.

Maíz

Cereal con el más alto volumen de producción a nivel mundial, cuenta con alto contenido de almidón y nombre científico *Zea mays*. Existen distintas

variedades, las más conocidas son: amarillo, blanco y negro.

Maíz amarillo	Variedad de <i>Zea mays</i> que contiene pigmentos de aceite de carotina, que le dan el color amarillo. Es la variedad con mayor siembra y producción industrial.
Materia prima	Conjunto de elementos extraídos de la naturaleza o en estado no procesado, los cuales se utilizarán para un fin determinado, con su respectivo procesamiento en una industria.
Metanol	Alcohol resultante de la fermentación de un mosto, se le espera como un subproducto del proceso. En grandes cantidades, es un líquido tóxico para el consumo humano, dado que su metabolismo en el hígado produce formaldehído. Su fórmula CH_3OH .
Operación unitaria	Etapa incluida en una línea de producción que implica un cambio físico o químico, importante para llevar a cabo el producto final.
Perfil organoléptico	Propiedades de color, sabor, olor y textura de algún alimento o bebida. Son el grupo de características que serán las determinantes para identificar la marca en el mercado.
Pericarpio	Conocido como la capa exterior o piel del grano de maíz, constituye la minoría del peso del grano, dado su delgada constitución.

pH	Valor representado en una escala de 0 a 14 a 25 °C que representa el grado de acidez o alcalinidad de una solución. En la industria de alimentos es una variable que requiere bastante atención, debido a que un mal control de acidez en el proceso puede provocar un cambio en la composición del producto final.
Polarimetría	Técnica utilizada para medir la actividad óptica de los compuestos químicos. La luz linealmente polarizada gira al pasar por compuestos ópticamente activos, dando la característica que cada sustancia tiene su propia rotación específica. El valor de la actividad óptica se identifica con °POL.
Rendimiento	Beneficio obtenido de la relación entre dos variables, los resultados reales y los resultados teóricos. Suele medirse en porcentaje, siendo 0 el valor más bajo y 100 el valor máximo.
Rentabilidad	Beneficio debido a una inversión, suele ser el exceso entre la diferencia de los costos de producción y el precio venta del producto. Determinar esta variable ayuda a saber las ganancias o pérdidas totales de un proceso.
Utilidad	Satisfacción o provecho de una inversión realizada, hace referencia al retorno en exceso sobre una inversión en un producto o servicio. La demanda y

oferta del producto en el mercado provocan su rentabilidad o ineficiencia.

RESUMEN

El presente estudio de investigación consistió en el desarrollo de una nueva bebida alcohólica, en escala laboratorio a base de maíz amarillo (*Zea mays*) como alternativa de innovación para una industria de licores. Con el objetivo de evaluar la etapa de hidrólisis y fermentación por medio del rendimiento a partir de la separación de la sacarosa y producción de alcohol, respectivamente. Asimismo, se estimó la rentabilidad del proceso y se evaluó como producto para comercializar.

Para la evaluación de la nueva bebida alcohólica, se establecieron dos variables, las cuales fueron la cantidad de maíz en la hidrólisis y el volumen de levadura en la fermentación. Se determinó el rendimiento de hidrólisis a partir de la relación entre el azúcar real hidrolizado y el azúcar teórico, así como el rendimiento de fermentación, obtenido de la relación entre el volumen de etanol real y el volumen de etanol teórico. Se estimó la rentabilidad tomando en cuenta la utilidad obtenida, es decir, la diferencia entre los costos de producción y el posible precio de venta del producto.

A partir de la evaluación de la nueva bebida, se estableció que con un 7.48 % de rendimiento de hidrólisis, se producen hasta 4.12 °GL de alcohol por litro de bebida alcohólica. Sin embargo, la rentabilidad no es suficiente para cubrir los costos de producción a escala laboratorio.

OBJETIVOS

General

Evaluar el proceso de hidrólisis y fermentación de una bebida alcohólica a base de maíz amarillo (*Zea mays*) a escala laboratorio, como alternativa de innovación en una industria de licores.

Específicos

1. Determinar el rendimiento de hidrólisis respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*), para la producción de la bebida alcohólica a escala laboratorio.
2. Determinar el rendimiento de fermentación respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*), para la producción de la bebida alcohólica a escala laboratorio.
3. Determinar el rendimiento de fermentación respecto a la cantidad de levadura, para la producción de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo guatemalteco (*Zea mays*), escala laboratorio.
4. Determinar el volumen de etanol destilado respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo inicial (*Zea mays*), para la producción de la bebida alcohólica a escala laboratorio.

5. Determinar la rentabilidad de la producción a escala laboratorio de la bebida alcohólica de maíz amarillo (*Zea mays*) con base en el costo en quetzales (moneda guatemalteca) por litro de bebida producida.

6. Obtener descripciones sobre el perfil organoléptico de las 5 bebidas alcohólicas con mayor rentabilidad, a base de maíz amarillo, a escala laboratorio, por medio de un panel sensorial de 5 voluntarios.

HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación - H1:

Los rendimientos de hidrólisis respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) son directamente proporcionales.

$$R_{h1} < R_{h2} < R_{h3}$$

Hipótesis de investigación nula - Ho:

Los rendimientos de hidrólisis respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) no son directamente proporcionales.

$$R_{h1} \cong R_{h2} \cong R_{h3}$$

Hipótesis estadística alternativa - H1:

Sí existe diferencia significativa en los rendimientos de hidrólisis respecto a las cantidades de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$R_{h1} \neq R_{h2} \neq R_{h3}$$

Hipótesis estadística nula - Ho:

No existe diferencia significativa en los rendimientos de hidrólisis respecto a las cantidades de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$R_{h1} = R_{h2} = R_{h3}$$

Hipótesis de investigación – H1:

Los rendimientos de fermentación respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) son directamente proporcionales.

$$R_{f1} < R_{f2} < R_{f3}$$

Hipótesis de investigación nula – H0:

Los rendimientos de fermentación respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) no son directamente proporcionales.

$$R_{f1} \cong R_{f2} \cong R_{f3}$$

Hipótesis estadística alternativa - H1:

Sí existe diferencia significativa en los rendimientos de fermentación respecto a las cantidades de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$R_{f1} \neq R_{f2} \neq R_{f3}$$

Hipótesis estadística nula - Ho:

No existe diferencia significativa en los rendimientos de fermentación respecto a las cantidades de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$R_{f1} = R_{f2} = R_{f3}$$

Hipótesis de investigación – H1:

Los rendimientos de fermentación respecto al volumen de levadura son directamente proporcionales.

$$R_{fc1} < R_{fc2} < R_{fc3}$$

Hipótesis de investigación nula – H0:

Los rendimientos de fermentación respecto al volumen de levadura no son directamente proporcionales.

$$R_{fc1} \cong R_{fc2} \cong R_{fc3}$$

Hipótesis estadística alternativa - H1:

Sí existe diferencia significativa entre los rendimientos de fermentación respecto a los volúmenes de levadura.

$$R_{fc1} \neq R_{fc2} \neq R_{fc3}$$

Hipótesis estadística nula - Ho:

No existe diferencia significativa entre los rendimientos de fermentación respecto a los volúmenes de levadura.

$$R_{fc1} = R_{fc2} = R_{fc3}$$

Hipótesis de investigación – H1:

Los volúmenes de etanol destilados respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) son directamente proporcionales.

$$V_{e1} < V_{e2} < V_{e3}$$

Hipótesis de investigación nula – H0:

Los volúmenes de etanol destilados respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*) no son directamente proporcionales.

$$V_{e1} \cong V_{e2} \cong V_{e3}$$

Hipótesis estadística alternativa - H1:

Sñi existe diferencia significativa para los volúmenes de etanol destilados respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$V_{e1} \neq V_{e2} \neq V_{e3}$$

Hipótesis estadística nula - Ho:

No existe diferencia significativa para los volúmenes de etanol destilados respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*).

$$V_{e1} = V_{e2} = V_{e3}$$

Hipótesis de investigación – H1:

La producción de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo guatemalteco, a escala laboratorio, es rentable.

Hipótesis de investigación nula – H0:

La producción de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo guatemalteco, a escala laboratorio, no es rentable.

INTRODUCCIÓN

La demanda de producción de bebidas alcohólicas se ha incrementado en los últimos años, por lo que las empresas, constantemente, innovan con planes estratégicos para los procesos. La ejecución exitosa de estos planes se logra cuando se realizan estudios referentes a la producción, para determinar cambios que garanticen la mejora.

El presente estudio de investigación consistió en la elaboración de una bebida alcohólica nueva, a base de maíz amarillo (*Zea mays*) a escala laboratorio, elaborada con el fin de evaluar el aspecto técnico, financiero y organoléptico del producto. El propósito de la investigación es conocer el comportamiento de la hidrólisis y la fermentación de la materia prima, la rentabilidad y la aceptabilidad del producto, mediante un panel de catadores.

Para el proceso experimental se elaboraron bebidas alcohólicas a partir de variaciones en la cantidad de maíz y volumen de levadura, para determinar el rendimiento de hidrólisis y fermentación de cada combinación, y así conocer la más eficaz y confiable. Como parte del proceso de producción de alcohol, se realizó el proceso de separación de almidón y la sacarosa, para luego mezclarse con los volúmenes de levadura definidos para el proceso fermentativo. Sin embargo, la cantidad de etanol (C_2H_5OH) obtenido dependería del metabolismo de la levadura con el azúcar obtenido a partir del maíz.

Luego, se determinó el rendimiento de los procesos productivos para establecer el comportamiento de la transformación de la materia. El rendimiento

se obtuvo a partir de la relación entre el dato experimental y el teórico, basados en mediciones de métodos analíticos de laboratorio y cálculos estequiométricos.

Posteriormente, se calculó la rentabilidad de producción de cada combinación de maíz y levadura a través del cálculo de la utilidad y el punto de equilibrio. Para esto, se calculó la diferencia entre los costos totales y el precio de venta aproximado por litro de producto. De igual forma, se obtuvieron descripciones del perfil organoléptico de las cinco bebidas con mayor rentabilidad, por medio de un panel sensorial.

Se decidió que la evaluación fuera sobre estas bebidas, por fines prácticos y económicos, ya que evaluar las veintisiete bebidas producidas hubiera resultado un proceso largo y costoso.

1. ANTECEDENTES

Las bebidas alcohólicas han tenido demanda a lo largo de la historia, esto ha demostrado su rentabilidad en el mercado. Existen 2 categorías para clasificarlas: las bebidas destiladas y las fermentadas; esto se refiere a la última etapa de cada categoría, previo al envasado del producto.

Las bebidas destiladas representan líquidos con un alto grado de alcohol, porque se logra separar eficientemente el etanol (C_2H_5OH) de los demás compuestos. Algunos ejemplos son: ron, *whiskey* o tequila. Con respecto a las bebidas fermentadas, las cervezas y los vinos son los que destacan a nivel mundial (Baschali et al., 2017). Las cuales son bebidas que no pasan por ninguna etapa de destilación, solamente por una filtración previo al envasado.

En la Universidad de Rajshashi, Bangladesh, se llevó a cabo un estudio para producir bioetanol a partir de zanahoria y maíz, tomando en cuenta que estos son vegetales amiláceos. Concluyeron que debido a que los vegetales no contienen azúcares fermentables, debe pasarse por dos etapas importantes previo a fermentar, una de precocimiento/sacarificación y otra de hidrólisis, para descomponer el almidón y fermentar el grano directamente, para terminar con la destilación. (Yesmin et al., 2020).

En la Universidad de San Marcos, Perú, se llevó a cabo un estudio llamado hidrólisis de almidón, en el cual mencionan que la hidrólisis es un proceso esencial para descomponer el almidón en glucosa y sacarosa, los cuales son azúcares que se pueden fermentar directamente y, para obtener un mejor rendimiento, los granos amiláceos deben encontrarse gelatinizados, es decir, se deben hervir (hidrolizar) luego de haberlos dejado reposando en agua un cierto tiempo. (Bernal Bustos et al., 2017)

Un estudio realizado por la Universidad de Purdue en Indiana, Estados Unidos sobre el proceso de producción de etanol (C_2H_5OH) a partir de maíz, concluye que el maíz es un 70 % almidón y para hidrolizarlo eficientemente debe cocerse a una temperatura de 100 °C. Luego de su respectiva hidrólisis, puede pasar entre 50-72 horas para una fermentación eficiente, con cualquier tipo de levadura. De igual forma, menciona que en la fermentación se libera dióxido de carbono, el cual se libera a la atmósfera en la mayoría de los casos. En el proceso de fermentación es importante controlar el consumo de azúcar, espuma y temperaturas. (Mosier & Ileleji, 2015)

Un libro titulado *Making Pure Corn Whiskey – A Professional guide*, indica que al destilar en alambique, se obtienen varios compuestos orgánicos en nuestro destilado, los cuales son etanol (C_2H_5OH) y congéneres. El compuesto que se desea en mayor proporción es el etanol, ya que los congéneres resultan siendo tóxicos y muy dañinos para el cuerpo humano. Debido a esto, debe separarse el destilado en varias partes, las cuales son: cabezas, corazón colas y vinazas, con el fin de obtener un porcentaje de etanol alto en el corazón. En la destilación de 20 l de mosto fermentado de maíz al 7.95 % v/v de alcohol, las proporciones en el destilado fueron las siguientes: 20.5 % de cabezas, 57.14 % de corazón, 8.4 % de colas y 9 6 % de vinazas. (Smiley Ian, 1999).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es un cereal que se originó en el continente americano, ya que estudios demuestran la aparición de trazas arqueológicas del cereal que tienen 7,000 años de antigüedad, aproximadamente, estos estudios se realizaron en un valle en México (National Corn Handbook USDA, 1985). A lo largo de los años, el maíz ha evolucionado como especie dadas las condiciones climáticas. El maíz que se observa en la actualidad, no es el mismo que se encontró en el estudio mencionado anteriormente.

Alrededor de 300 tipos de maíz se han detectado desde México hasta Sudamérica y, por ende, se ha comprobado que esta planta es una de las más adaptables, sin importar su entorno, y por referirse a un entorno, se hace referencia a variables como la temperatura, la humedad del aire y de la tierra, tipo de suelo, calidad de tierra, duración del día, entre otras; son características que impactan directamente en la planta y en la genética de la misma, a largo plazo. (National Corn Handbook USDA, 1985).

2.1.1. Maíz en Guatemala

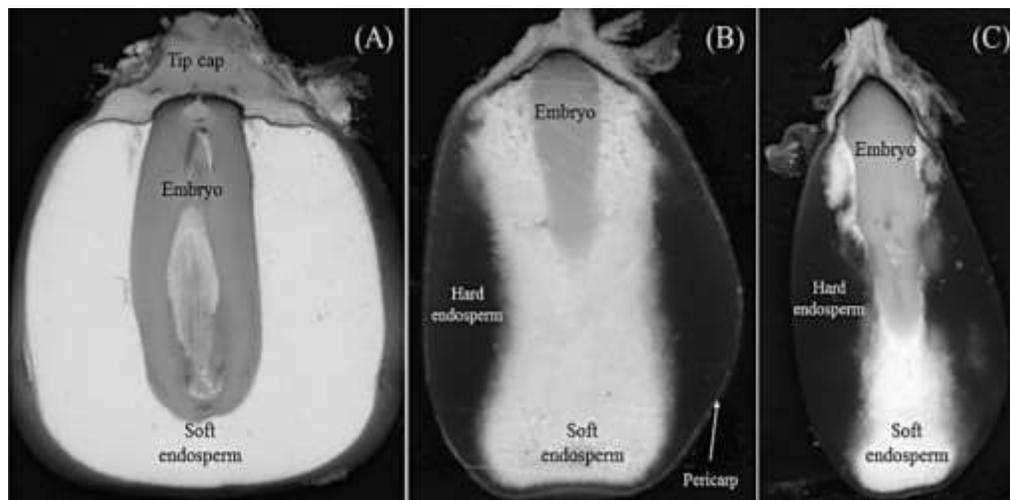
El agro en cifras es un reporte anual que publica el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, para informar sobre el estado actual de la agroindustria en Guatemala, con indicadores económicos, sociales y estadísticos.

parte de la domesticación en la época de la Conquista, se le conoce como *Zea mays*.

2.1.3. Estructura del maíz

Así como toda materia en la naturaleza, la cual está compuesta por partes que no son visibles al ojo humano, el grano del maíz no es la excepción, ya que este se compone de distintas capas con distintos valores nutritivos. Las partes que componen el grano de maíz regular son el endospermo, embrión y el pericarpio (Pairochteerakul et al., 2018). En la figura 2, se observan las capas mencionadas.

Figura 2. Sección transversal de un grano de maíz



Fuente: Cruz-Vázquez, et al., (2019). *Tamales texture properties as a function of corn endosperm type*. p. 3.

El pericarpio y el endospermo es claramente la cobertura exterior del embrión, mientras que el embrión es la parte del grano que iniciaría a desarrollar

en caso el grano desarrolle una nueva planta. El endospermo es la parte nutritiva del grano, en donde se encuentra la mayor cantidad de almidón (Pairochteerakul, et al., 2018).

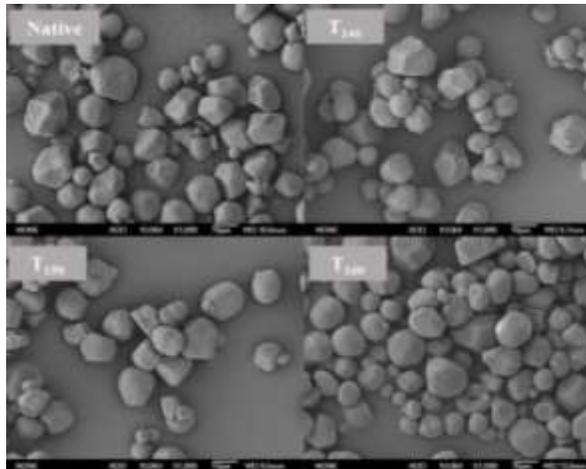
2.1.4. Composición química del grano

El maíz (*Zea mays*) contiene altos contenidos de almidón que están listos para convertirse en azúcares fermentables por medio de la hidrólisis; de igual forma contiene fibra, aceite, carbohidratos, entre otros. Estudios realizados demuestran que “el grano de maíz está constituido aproximadamente de un 72 % de almidón, un 9.5 % de fibra, 9.5 % de proteína” (Yesmin et al., 2020, p. 2). Lo demás es una variedad de compuestos.

2.2. Almidón

Es el principal nutriente que está contenido en el grano del maíz (*Zea mays*); como se mencionó anteriormente, este se encuentra en el endospermo, constituyendo un 70 % de los nutrientes que posee el maíz. Esta molécula está compuesta por dos polímeros de glucosa, la amilosa y la amilopectina (Agama-Acevedo, et al., 2013).

Figura 3. **Estructura granular del almidón**



Fuente: Lei, et al., (2020). *Effect of dry heating treatment on multi-levels of structure and physicochemical properties of maize starch: A thermodynamic study*. p. 11.

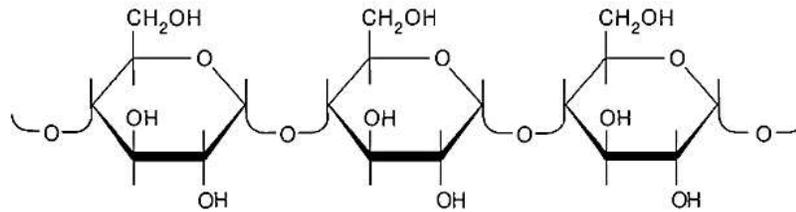
2.2.1. **Composición química del almidón**

El almidón es el glucano más abundante en la naturaleza, compuesto, principalmente, por dos componentes estructurales, los cuales son amilosa y amilopectina (Diao, et al., 2017). A continuación, se detallan las estructuras de estos compuestos.

2.2.2. **Amilosa**

Este compuesto es una unidad de glucosa, específicamente, D-glucosa, que está unida por enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, formando una cadena lineal sin ramificaciones (Estereois, et al., 2010). “Hay entre 60 a 300 unidades de glucosa por cada macromolécula del polisacárido” (Universidad Nacional de la Plata, 2018, p. 7).

Figura 4. **Amilosa que muestra los enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$**

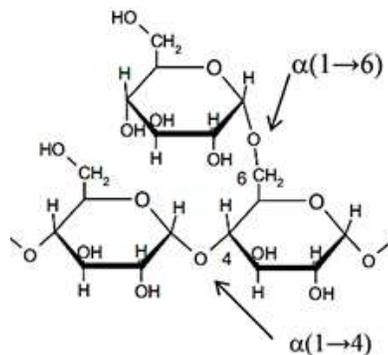


Fuente: Estereois, et al., (2010). *Código de los azúcares*. p. 245.

2.2.3. Amilopectina

Es un polímero ramificado que contiene enlaces glucosídicos en $\alpha(1,4)$ y $\alpha(1,6)$. El número de ramificaciones de glucosa en la amilopectina pueden existir desde unos cuantos miles hasta millones (Estereois et al., 2010).

Figura 5. **Amilopectina con enlaces $\alpha(1,4)$ y $\alpha(1,6)$**

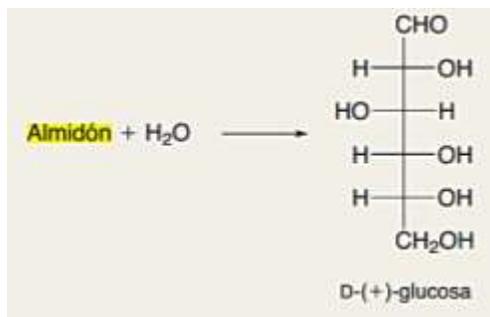


Fuente: Estereois et al., (2010). *Código de los azúcares*. p. 246.

2.2.4. Hidrólisis del almidón

En principio, hidrólisis se conoce como el proceso unitario en donde una molécula es descompuesta gracias a la presencia de agua, en ciertos casos se necesita que el agua se encuentre a una temperatura determinada o la adición de alguna enzima o ácido, ya que los lazos entre los átomos necesitan algún catalizador para lograr su total composición. La glucosa se prepara por hidrólisis del almidón, al agregar una enzima, esta reaccionaría a convertirse en fructosa (Carey, F. 2013).

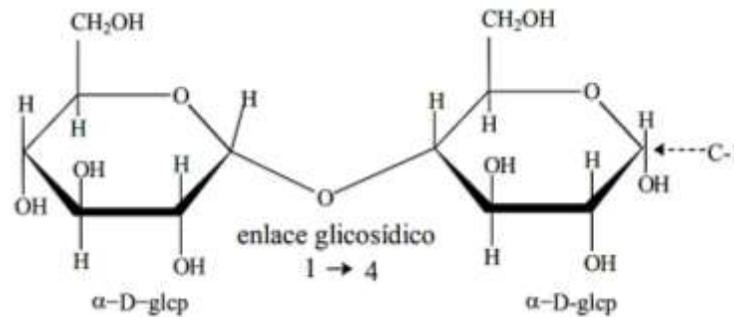
Figura 6. Hidrólisis del almidón



Fuente: Carey, F. (2013). *Química orgánica*. p. 972.

Al hidrolizar parcialmente el almidón, se obtiene la maltosa (Universidad Nacional de la Plata, 2018). “El enlace glicosídico se produce entre el C-1 y el C-4 de otra molécula de glucosa” (Estereois, et al., 2010, p. 5).

Figura 7. **Molécula de maltosa con el enlace glicosídico**



Fuente: López, M. (2018). *Hidratos de carbono*. p. 5.

2.3. Operaciones unitarias

El fin en los procesos industriales es transformar la materia prima para obtener un producto atractivo para el mercado. En esta secuencia de procesos, se encuentran etapas que cumplen una función específica y esencial en el proceso, a estas se les denomina operaciones unitarias. En la presente investigación se encuentran operaciones unitarias que son de gran importancia mencionar, ya que es gracias a ellas que se logran el producto final.

2.3.1. Hidrólisis

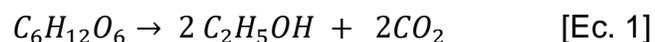
La hidrólisis es considerada una operación unitaria que sucede en solución acuosa y, específicamente, causa la separación de un compuesto en subproductos, los cuales le dan un nuevo pH a la solución. La hidrólisis de una sal describe la reacción de un anión o un catión con una sal, en algunos casos son ambos (González, 2009).

En la presente investigación se iniciará cocinando el maíz para hidrolizar el almidón contenido, porque es de interés obtener azúcares que sean fermentables directamente. Esta etapa es esencial en el proceso, porque sin ello, no podrían realizarse las etapas posteriores.

2.3.2. Fermentación

Es un proceso bioquímico, en el que están involucradas sustancias químicas y organismos vivos, se trata de un metabolismo anaerobio que forma principalmente etanol y dióxido de carbono como productos; el protagonista principal es un organismo eucariota, perteneciente a la categoría de hongos, llamado *Saccharomyces cerevisiae*, esta es una levadura que puede variar levemente, según la industria en donde se use, pero su composición y misión biológica es la misma siempre, convertir los azúcares en etanol y dióxido de carbono (Stanbury et al., 2016).

Posterior al cocimiento del maíz, se procede a fermentar el mosto, lo que dará como resultado el etanol y el perfil característico de la bebida alcohólica. Una ecuación química que describe el proceso mencionado anteriormente es la siguiente:



El proceso metabólico inicia al inocular la levadura, en las primeras horas del proceso, predomina la parte aerobia, ya que hay oxígeno disuelto en el mosto, luego sigue el metabolismo anaerobio.

A partir de ese momento da inicio lo que se llama fermentación alcohólica o primaria, la cual es la que interesa.

Así como el oxígeno, la temperatura también es una variable importante en este proceso, ya que repercute directamente sobre la cinética de fermentación (Shirai Marsumoto & Malpica Sánchez, 2013). Cuando el azúcar es consumido a totalidad y el burbujeo ha parado se da por terminada la fermentación.

2.3.3. Destilación

La destilación es una operación unitaria usada en distintas industrias para separar, por medio de la vaporización, una mezcla líquida de sustancias miscibles y volátiles.

En algunos casos, el objetivo es separar un solo componente del resto de compuestos líquidos en la solución, como suele ser separar el etanol de algún mosto fermentado, ya sea para uso de combustible, higiénico o de alimentos; y en otros casos, el objetivo es separar varios componentes de una mezcla compleja, como el petróleo (McCabe et al., 2007). Posterior a la fermentación se procederá a trasladar el mosto fermentado a los destiladores para separar los compuestos que son de menor interés como los congéneres y aislar en mayor cantidad el etanol.

La destilación se basa en la separación de componentes dependiendo del punto de ebullición de cada componente. Unos ejemplos pueden ser la separación de nitrógeno de otras mezclas para obtenerlo como nitrógeno de amoníaco, otro puede ser la separación de carbono, obteniéndolo como dióxido de carbono, entre otros (Holler & Crouch, 2015).

Existen distintos tipos de destilación, entre los cuales destaca la destilación al vacío, en donde se usan compuestos con punto de destilación muy alto; la

destilación molecular, la cual ocurre a presión muy baja para usar temperatura muy baja, también y evitar dañar los componentes. La pervaporación es un método para separar por volatilización parcial mezclas a través de una membrana no porosa (Holler & Crouch, 2015).

2.4. Congéneres

Una bebida alcohólica se define como una sustancia que se obtiene de un proceso de destilación de productos fermentados y que pueden contener sustancias aromáticas con edulcorantes (Hernández et al., 2015).

Muchas de esas sustancias aromáticas que le dan un perfil organoléptico a la bebida son compuestos químicos distintos al etanol, llamados congéneres. Entre los congéneres que existen están los “aldehídos, furfural, ésteres, alcoholes superiores” (Hernández et al., 2015, p. 30). Entre otros.

2.4.1. Metanol (CH₃OH)

Es un alcohol característico por su toxicidad, es un líquido incoloro, volátil y soluble en agua. En los seres humanos la toxicidad se produce a través del metabolismo que se lleva a cabo en el hígado, lo cual produce formaldehído (CH₂O) y ácido fórmico (CH₂O₂). Estos causan disfunción neurológica, respiratoria y renal. Tiene un volumen de 0.6-1ml/kg (Contreras Camarena et al., 2019). Su fórmula química es CH_3OH .

2.4.2. Aldehídos

Los aldehídos son parte de los compuestos que integran la fracción aromática de las bebidas alcohólicas, ya que son parte de los grupos de compuestos llamados congéneres. “Son los compuestos de mayor volatilidad, en el cual se destaca el acetaldehído y los acetales (Dietilacetal, 1,1-dietoxietano)” (Borroto et al., 2017, p. 9). Estos se caracterizan por poseer un grupo funcional – CHO.

2.4.3. Aceites de fusel

Los aceites de fusel se producen junto con el etanol en la etapa de fermentación de los azúcares, entre estos destacan los siguientes: “1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol y 3-metil-1-butanol” (Borroto et al., 2017, p.1).

2.4.4. Alcoholes superiores

Los alcoholes superiores se producen, mayoritariamente a partir de los aminoácidos aromáticos y, por definición, son los que poseen más carbonos que el etanol, los más característicos son los “propanoles, butanoles y pentanoles” (Borroto et al., 2017, p. 2).

2.4.5. Ésteres

Los ésteres se originan por medio de la esterificación entre un ácido orgánico y un alcohol, estos compuestos forman parte del perfil organoléptico de la bebida destilada (Borroto et al., 2017). Son compuestos en donde un grupo alquilo se reemplaza por un átomo de hidrógeno.

2.5. Análisis de laboratorio

Los análisis de laboratorio se realizan para evaluar como la materia prima se va transformando en cada operación unitaria, es por ello que a continuación se detallan dos análisis que se llevarán a cabo en la investigación.

2.5.1. Cromatografía de gases

Este tipo de análisis de laboratorio se caracteriza por la eficacia para determinar compuestos químicos en una muestra. La muestra se inyecta en la cabeza de una columna y los componentes se distribuyen entre la fase móvil y la fase estacionaria. Depende del compuesto a detectar, así será como este fluirá. Actualmente, aunque es costosa, tiene mayor uso esta técnica en la determinación de congéneres; ya que es posible su aplicabilidad en la modulación de parámetros fermentativos en las destilerías (Borroto et al., 2017).

Luego de destilar, se prepara una muestra para ser introducida en el cromatógrafo de gases; este análisis indica todo compuesto que está contenido la muestra destilada, esto es de bastante importancia, porque así se conocerá qué compuestos son los responsables del perfil organoléptico de la bebida.

2.5.2. Densimetría

Es un principio aplicado ampliamente para determinar la densidad y proporción de un compuesto en una mezcla binaria (Martens et al., 2020).

El equipo en el que se lleva a cabo el análisis de laboratorio es llamado densímetro y este cuenta con un cilindro translúcido con un material dentro, el

cuál flota cuando se introduce un líquido y con ayuda de un vástago indica la densidad del fluido interno, ya que este está graduado.

Con apoyo de este equipo se determinará el grado alcohólico de una muestra del destilado, para saber cuántos mililitros de etanol se produjeron en la fermentación. Este resultado será de utilidad para determinar el volumen de etanol y el rendimiento de fermentación.

2.5.3. Polarimetría

Es una técnica de laboratorio que consiste en medir la rotación óptica de un compuesto polarmente activo. El equipo en el que esta técnica se realiza es llamado polarímetro y tiene la peculiaridad de lanzar un haz de luz entre la sustancia que fue introducida como muestra y mide la actividad óptica de la misma.

Por medio de esta técnica se medirá la concentración del azúcar real hidrolizado. Debido a que los azúcares fermentables son polarmente activos, el equipo podrá marcar cuanto de estos compuestos detecta como grados POL.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

A continuación, se detallan las variables independientes y dependientes de la investigación:

3.1.1. Variables independientes

- Cantidad de maíz (lb)
- Volumen de levadura (ml)

3.1.2. Variables dependientes

- Azúcares totales (g)
- Volumen de etanol (ml)

3.2. Delimitación del campo de estudio

La evaluación de la hidrólisis y fermentación de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo (*Zea mays*) se realiza con maíz proveniente de Retalhuleu, Guatemala, a escala laboratorio, a 240 ms.n.m. a una presión de atmosférica de 1 atm.

Los resultados a presentar son el rendimiento de hidrólisis, rendimiento de fermentación y volumen de etanol destilado respecto a la cantidad de maíz, el rendimiento de fermentación respecto a la cantidad de levadura, la rentabilidad de las bebidas alcohólicas producidas y descripciones del perfil organoléptico de las 5 bebidas alcohólicas con mayor rentabilidad.

3.3. Recurso humano

- Estudiante: William Alejandro Reyes López
- Asesor: M. A. Ing. Qco. Pedro Rolando García Vélez
- Director EIQ: Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
- Director EPS: Ing. Óscar Argueta Hernández
- Asesor-supervisor EPS: Ing. Alejandro Recinos
- Revisor asignado por EIQ: Ing. Jorge García Carrera
- Personal del Área de Producción y laboratorio de la planta

3.4. Recursos materiales

- Recursos para elaboración de bebidas alcohólicas y análisis de laboratorio
 - Instalaciones de los laboratorios.
 - Polarímetro.
 - Cristalería de laboratorio (vaso de precipitados), probetas, balones de diversas capacidades, paleta, entre otros).
 - Planchas de laboratorio.
 - Licuadora Oster.
 - Colador de cocina.
 - Cromatógrafo de gases (7890 GC Agilent Tech).
 - Equipo para destilación a escala laboratorio.

- Congelador.
- Materia prima
 - Maíz amarillo guatemalteco (*Zea mays*) proveniente del departamento de Retalhuleu, Guatemala.
- Reactivos químicos
 - Floculador en polvo para polarimetría
 - Levadura

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa (procedimientos)

A continuación, se detallan los métodos y procedimientos utilizados para la elaboración de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo, a escala laboratorio.

3.5.1. Peso y molienda de maíz

En esta etapa se busca cuantificar la materia prima a utilizar para el cocimiento y exponer el endospermo del maíz por medio de la molienda.

- Preparar la balanza de maíz y asegurarse que esté limpia.
- Tarar un recipiente de acero inoxidable, preferiblemente que sea el mismo con el que se va a cocer.
- Pesar la cantidad de maíz para ese ensayo.
- Retirar envase con el maíz contenido.

- Apagar balanza y asegurarse que la licuadora esté conectada.
- Agregar maíz a licuadora e iniciar molienda.
- Moler por ciclos de 1:30 min. (La licuadora no debe permanecer más de 2 min. encendida, ya que puede ocasionar un sobrecalentamiento).
- En los ciclos donde se apague la licuadora, tomar recipiente y agitar, de modo que los granos se reacomoden para que se pueda moler más eficientemente.
- Terminar molienda al obtener apariencia/mesh deseado. (90-120 mesh).
- Limpiar licuadora y trasladar maíz a recipiente de acero inoxidable.

3.5.2. Cocimiento (hidrólisis) a escala laboratorio

El cocimiento del maíz molido se realiza con el fin de romper las cadenas de almidones contenidas en el endospermo, para obtener glucosa, sacarosa y fructosa.

- Asegurarse que la plancha esté limpia y conectada.
- Colocar recipiente con maíz encima de la plancha.
- Por medio de una probeta, agregar 1.5 L de agua al recipiente con maíz y agitar con una varilla metálica hasta obtener una consistencia homogénea.
- Cocer por 1 h a una temperatura de 70 °C.

- Agitación manual (Se recomienda que sean 5 revoluciones cada 3 minutos).
- Toma de temperatura cada 15 min.
- Limpiar área de trabajo al terminar cocimiento.

3.5.3. Filtración y desecho de sedimentos

Por medio de la filtración del líquido hidrolizado se obtiene la separación entre los sedimentos no disueltos y el líquido rico en azúcares.

- Preparar el envase en donde se filtrará el líquido.
- Preparar el colador de cocina.
- Verificar que ambos accesorios estén limpios y secos.
- Colocar colador sobre el recipiente.
- Inmediatamente después de terminar el cocimiento, agregar mezcla sobre el colador y filtrar sedimentos.
- Desechar sedimentos del colador al basurero.
- Limpiar área y lavar recipiente de acero inoxidable para próximo cocimiento

3.5.4. Medición de °POL (polarimetría)

La polarimetría busca cuantificar indirectamente la cantidad de azúcares fermentables obtenidos por medio del cocimiento del maíz.

- Asegurarse que el polarímetro esté encendido.
- Asegurarse que los ductos del polarímetro estén destapados, por medio de la adición de agua en el cono de muestreo.
- Preparar los embudos, vaso de precipitados y balones de 100 ml.
- Asegurarse de que la balanza esté encendida.
- Tarar el balón de 100 ml en una balanza.
- Pesar 26 g de muestra y luego aforar con agua a 100 ml.
- Agregar floculante hasta notar la separación de fases dentro del balón.
- Filtrar solución a un vaso de precipitados, por medio de un embudo. (Solución filtrada debe ser totalmente transparente).
- Agregar solución filtrada al embudo del polarímetro.
- Estar atento al valor que el polarímetro muestre en la pantalla. Se toma el valor que mayor tiempo se mantenga.
- Tomar en cuenta que el resultado tiene unidades POL.

3.5.5. Fermentación a escala laboratorio

Por medio de la adición de levadura al mosto de maíz se busca que, por medio de su metabolismo, esta convierta los azúcares fermentables en alcohol.

- En una probeta de 500 ml medir el volumen de líquido hidrolizado de maíz que logró filtrarse a través del colador y anotar.
- En una probeta de 100 ml medir el volumen de levadura a utilizar.
- Agregar ambas cantidades a un balón de 6,000 ml.
- Colocar un balón en un área donde no le dé el sol.
- Dejar transcurrir 24 h.

3.5.6. Destilación a escala laboratorio

Debido a que el metabolismo de la levadura produce etanol y varios compuestos más, surge la necesidad de separar el etanol de los demás compuestos, es por ello que se destila el mosto fermentado.

- Al haber transcurrido las 24 horas, trasladar muestra cerca del equipo de destilación del laboratorio.
- Preparar un balón de 100 ml, un embudo plástico, un tapón que se ajuste a la boquilla del balón y una probeta de 100 ml.
- Preparar el balón de destilación, donde se hará la dilución.

- Verificar que la cristalería esté limpia.
- Agregar 100 ml del mosto fermentado y agregar 200 ml de agua al balón de destilación.
- Colocar balón sobre plancha calentadora, conectar enchufe a la electricidad, colocar balón de 100 ml (con embudo en la boquilla) debajo de serpentín y esperar 25-30 min.
- Estar atento al destilado, el balón de 100 mL debe retirarse cuando el destilado llegue al menisco de aforo.
- Desconectar enchufe y colocar el vaso de precipitados pequeño para recolectar colas de destilación.
- Limpiar área de trabajo.

3.6. Recolección y ordenamiento de los datos

El cocimiento (hidrólisis) del maíz amarillo se realizará 5 veces para cada una de las 3 cantidades de maíz, obteniendo en total 15 distintos datos para evaluar el rendimiento de hidrólisis. La fermentación del maíz hidrolizado se realizará 3 veces con cada uno de los 3 volúmenes de levadura, para las 3 cantidades de maíz, obteniendo un total de 27 datos distintos para la evaluación del rendimiento de fermentación y para obtener el volumen de etanol destilado.

Con estas cantidades, también se obtendrá suficiente información para determinar la rentabilidad de la bebida alcohólica y suficientes muestras para que el panel sensorial realice el catado del producto.

Tabla I. Toma de datos para rendimiento de hidrólisis

Cantidad de maíz (lb)	Corridas	Azúcares totales teóricos (g)	Azúcar total final real (pol)	Azúcares totales reales (g azúcar)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)
0.5	1	176.56	2.08	11.84	6.71	4.92
	2		1.8	10.25	5.8	
	3		2.03	11.56	6.54	
	4		0.81	4.61	2.61	
	5		0.91	5.18	2.93	
1	1	353.11	3.84	21.86	6.19	7.45
	2		4.02	31.93	9.04	
	3		3.89	22.14	6.27	
	4		4.15	23.62	6.69	
	5		5.61	31.93	9.04	
1.5	1	502.74	0.48	2.73	0.54	0.59
	2		0.4	2.28	0.45	
	3		0.48	2.73	0.54	
	4		0.6	3.42	0.68	
	5		0.65	3.7	0.74	

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Toma de datos para rendimiento de fermentación

Cantidad inicial (lb)	Cantidad de levadura (ml)	Volumen de etanol real (ml)	Etanol promedio real (ml)	Desviación estándar del volumen real (σ)	Etanol final teórico (ml)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)	Desviación estándar del rendimiento (σ)
0.5	75	9.8	10.38	0.245	114.44	8.56	9.07	0.214
		11				9.61		
		10.34				9.04		
	150	15.64	14.77	0.307	114.44	13.67	12.91	0.269
		14.4				12.58		
		14.28				12.48		
	225	15.4	16.76	0.756	114.44	13.46	14.64	0.661
		16				13.98		
		18.87				16.48		
1	75	23.37	28.46	4.384	228.88	10.21	12.43	1.915
		40.8				17.82		
		21.21				9.27		
	150	34.34	33.02	0.799	228.88	15	14.43	0.349
		30.77				13.44		
		33.95				14.83		
	225	22.39	33.61	5.461	228.88	9.78	14.68	2.386
		48.41				21.15		
		30.03				13.12		
1.5	75	7.52	15.22	2.738	343.33	2.19	4.43	0.797
		19.8				5.77		
		18.34				5.34		
	150	16.85	17.67	0.364	343.33	4.91	5.15	0.106
		18.62				5.42		
		17.55				5.11		
	225	17.33	17.82	0.595	343.33	5.05	5.19	0.173
		19.46				5.67		
		16.68				4.86		

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. Utilidad obtenida de la producción de las bebidas alcohólicas

Cantidad de maíz (lb)	Volumen de levadura (ml)	Costos de electricidad (Q)	Costo de levadura (Q)	Maíz (Q)	Costos totales (Q)	Volumen de etanol (L)	°GL	Costo de bebida (Q/L)	Costos de mano de obra (%)	Costos totales (Q/L)	Precio venta (Q/L)	Utilidad (Q/L)
0.5	75	2.5	0.18	1.25	3.93	0.01038	1.00%	378.23	15%	434.96	200	-234.96
	150		0.35		4.10	0.01477	1.50%	277.76		319.42	200	-119.42
	225		0.53		4.28	0.01676	1.62%	255.25		293.54	200	-93.54
1	75		0.18	2.5	5.18	0.02846	3.98%	181.87		209.15	200	-9.15
	150		0.35		5.35	0.03302	3.15%	162.10		186.41	200	13.59
	225		0.53		5.53	0.03361	4.12%	164.46		189.13	200	10.87
1.5	75		0.18	3.75	6.43	0.01767	1.20%	363.67		418.22	200	-218.22
	150		0.35		6.60	0.01243	1.24%	531.17		610.85	200	-410.85
	225		0.53		6.78	0.01782	1.26%	380.36		437.41	200	-237.41

Fuente: elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

A continuación, se encuentran tablas con los promedios de los resultados.

Tabla IV. Rendimiento de hidrólisis

Cantidad de maíz (lb)	Rendimiento promedio de hidrólisis (%)
0.5	4.92
1	7.45
1.5	0.59

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Rendimiento de fermentación

Cantidad inicial (lb)	Cantidad de levadura (ml)	Etanol final real (ml)	Rendimiento promedio de fermentación (%)
0.5	75	10.38	9.07
	150	14.77	12.91
	225	16.76	14.64
1	75	28.46	12.43
	150	33.02	14.43
	225	33.61	14.68
1.5	75	15.22	4.43
	150	17.67	5.15
	225	17.82	5.19

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Rentabilidad de las bebidas alcohólicas

Cantidad de maíz (lb)	Volumen de levadura (ml)	Rentabilidad (%)
0.5	75	- 54.02
	150	- 37.39
	225	- 31.87
1	75	- 4.37
	150	7.29
	225	5.75
1.5	75	- 52.18
	150	- 67.26
	225	- 54.28

Fuente: elaboración propia.

3.8. Análisis estadístico

La acumulación de datos de un estudio se realiza para evaluar la relación que estos presentan entre sí, para aprobar o desaprobar hipótesis establecidas al principio de la investigación. A continuación, se presentan las herramientas estadísticas que se usaron para esta investigación.

3.8.1. Media

La media muestral es simplemente un promedio de toda la muestra o población de datos. Es la más utilizada debido a la simplicidad al calcularla y lo fácil de entender.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

[Ecuación núm. 3]

Donde:

\bar{x} : media

x_n : valor numérico

n :: cantidad de datos en la muestra o población

3.8.2. Varianza y desviación estándar

La varianza es una medida de dispersión, es decir, se utiliza para demostrar qué tanta variabilidad existe entre el conjunto de datos que se desea estudiar. Se calcula con la suma de la diferencia de cada dato con la media muestral elevada al cuadrado, dividido entre el número total de observaciones.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n} .$$

[Ecuación núm. 4)

Donde:

\bar{x} : media

σ^2 : varianza o desviación estándar al cuadrado

n : cantidad de datos en la población

X_i : dato perteneciente a la población

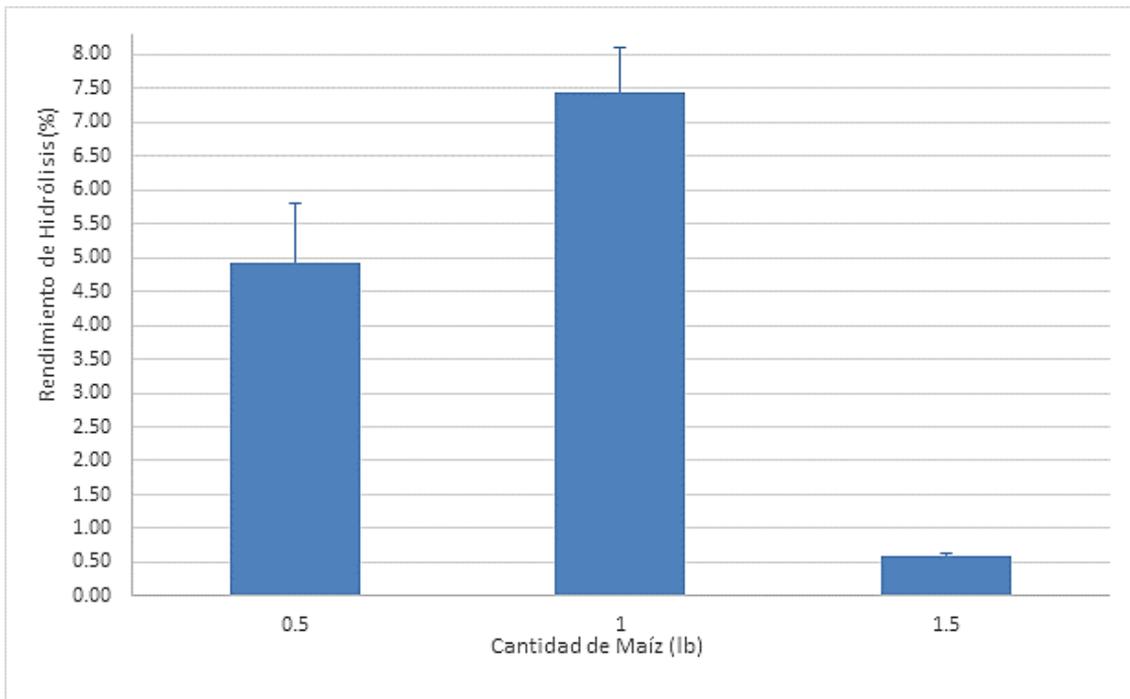
$\sqrt{\sigma^2}$: desviación estándar

4. RESULTADOS

4.1. Determinación del rendimiento de hidrólisis respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*), para la producción de la bebida alcohólica a escala laboratorio

A continuación, en la figura 8 se muestra la relación mencionada, para la producción de la bebida.

Figura 8. Rendimiento de hidrólisis respecto a la cantidad de maíz

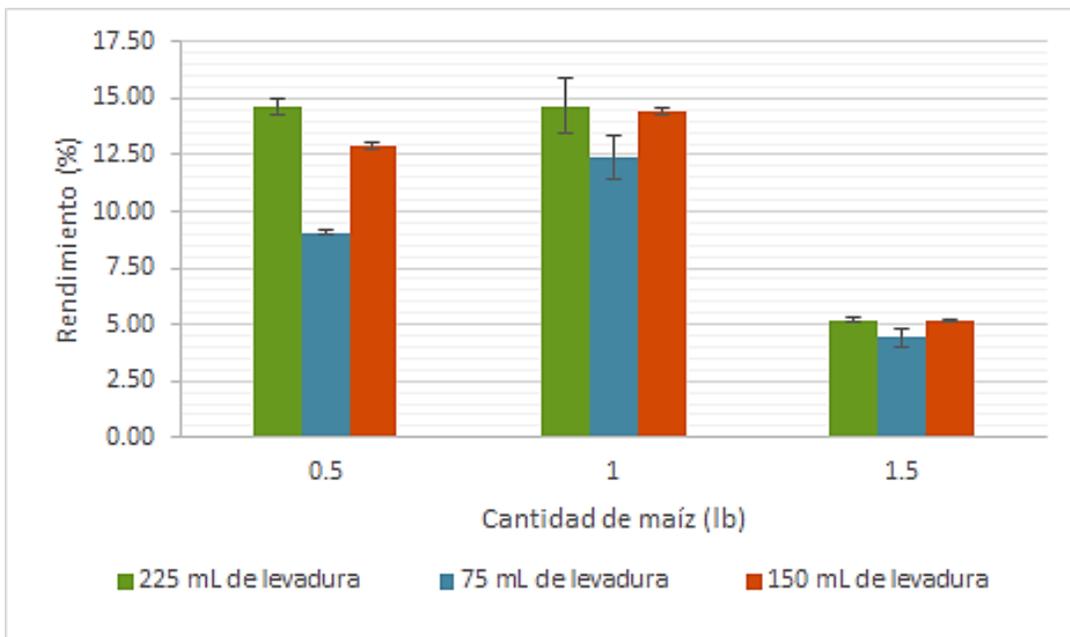


Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4.2. Determinación del rendimiento de fermentación respecto a la cantidad inicial de maíz amarillo (*Zea mays*)

A continuación, se muestra la figura 9 con la relación mencionada.

Figura 9. Rendimiento de fermentación respecto a la cantidad de maíz para los distintos volúmenes de levadura

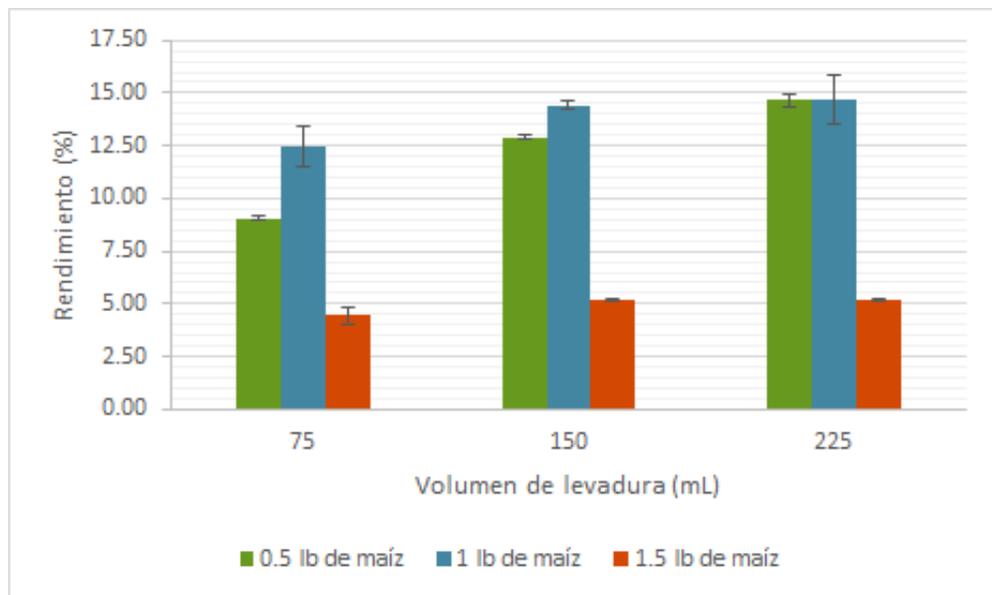


Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel

4.3. Determinación del rendimiento de fermentación respecto al volumen de levadura

A continuación, se muestra la figura 10 con la relación mencionada.

Figura 10. Rendimiento de fermentación respecto al volumen de levadura, para las distintas cantidades de maíz

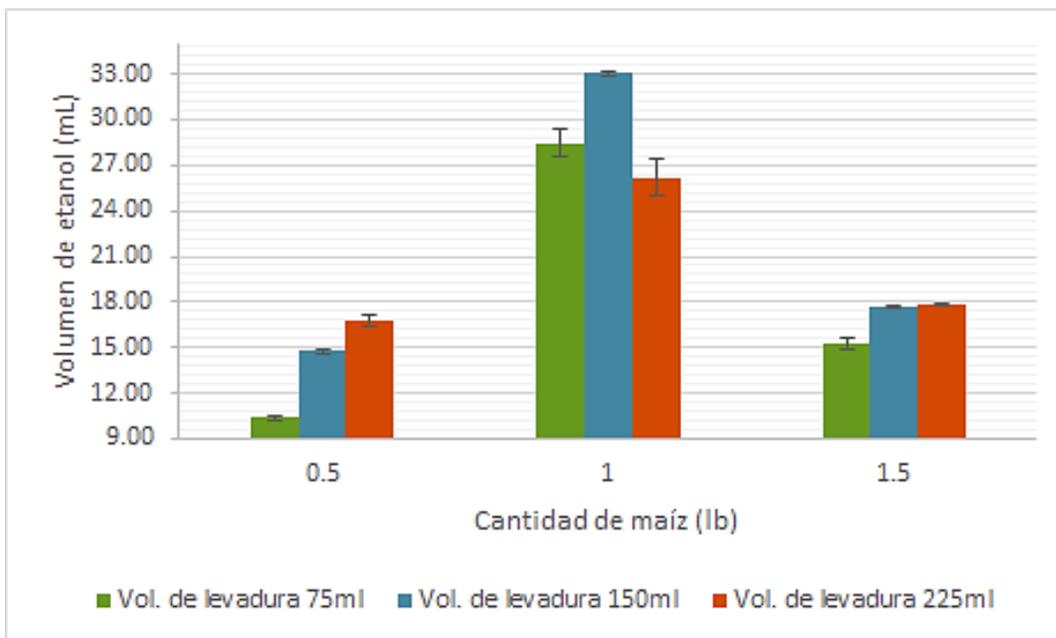


Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4.4. Volúmenes de etanol respecto a la cantidad de maíz (*Zea mays*)

A continuación, se muestra la figura 11 con la relación mencionada.

Figura 11. **Volumen de etanol respecto a la cantidad de maíz para los distintos volúmenes de levadura**



Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4.5. Costos de producción de las 5 bebidas alcohólicas que presentaron mayor rentabilidad

A continuación, se muestra la tabla VII que detalla los costos del proyecto.

Tabla VII. **Las 5 bebidas alcohólicas con mayor rentabilidad**

Cantidad de maíz (lb)	Vol. de levadura (ml)	Costos varios (Q)	Volumen de etanol destilado (L)	Costo de bebida (Q/L)	Costo de mano de obra (%)	Costos totales (Q/L)	Precio venta (Q/L)	Utilidad (Q/L)	Rentabilidad (%)	Alc.Vol (%)
0.5	150	4.10	0.01477	277.76	15.00	319.42	200.00	-119.42	-37.39	1.50
	225	4.28	0.01676	255.25		293.54		-93.54	-31.87	1.62
1	75	5.18	0.02846	181.87		209.15		-9.15	-4.37	3.98
	150	5.35	0.03302	162.10		186.41		13.59	7.29	3.15
	225	5.53	0.03361	164.46		189.13		10.87	5.75	4.12

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

4.6. Descripciones del perfil organoléptico de las 5 bebidas que presentaron mayor rentabilidad

A continuación, se muestra la tabla VIII que muestra las opiniones de los panelistas.

Tabla VIII. **Descripciones del perfil organoléptico de las 5 bebidas con mayor rentabilidad**

Panelista	Catación	Descripción del olor	Descripción de la apariencia	Descripción del sabor
1	Las 5 bebidas con mayor rentabilidad	Tortilla tostada y nota dulce acentuada	Líquido incoloro y un poco viscoso.	Sabor refrescante y nota dulce.
2		Nota alcohólica pronunciada y atol con notas a tueste	Líquido poco viscoso e incoloro.	Fresco de pinol y notas a maíz
3		Nixtamal cocido y elotes fermentados	Ligera, poco viscoso y agradable.	Maíz tierno y agua de maíz
4		Almidonado y rancio	Líquido claro y ligeramente blanquecino	Almidonado y amargo
5		Maíz tostado, tortilla tostada, fresco de maíz y crema de maíz	Poco viscoso e incoloro	Nota dulce, poca nota alcohólica, fresco de pinol y picante

Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El presente estudio de investigación consistió en la elaboración de bebidas alcohólicas a base de maíz amarillo guatemalteco (*Zea mays*), mediante un proceso productivo a escala laboratorio.

En la figura 8, se encuentra la relación entre la cantidad de maíz (lb) y el rendimiento de hidrólisis (%) (p. 31), en donde se evaluó la eficacia de separación del almidón en moléculas de glucosa, al haber hidrolizado el maíz. Esta se construyó con base en la relación entre el azúcar real y el azúcar teórico, es decir, la glucosa real resultante del cocimiento del maíz y la calculada por medio de estequiometría, respectivamente.

En la figura 9, se encuentran tres columnas que representan las cantidades de 0.5, 1 y 1.5 lb de maíz (p. 32). La cantidad de 1 lb presentó el mayor rendimiento de hidrólisis en comparación con las demás cantidades, con un valor de 7.45 % y una desviación de 1.31 %, mientras que la cantidad de 1.5 lb presentó el menor rendimiento de los tres, con un valor de 0.59 % y una desviación de 0.10 %. Esto indica que la cantidad de 1 lb logró una mayor saturación en el agua en comparación con las demás cantidades, porque se disoció almidón en mayor proporción, mientras que la cantidad de 1.5 lb se sobresaturó en el agua, dando como resultado una disociación de almidón limitada en comparación con las demás cantidades.

Los rendimientos de hidrólisis no son directamente proporcionales al aumento de la cantidad de maíz, por lo que la hipótesis de investigación alternativa se descarta, mientras que la hipótesis estadística alternativa se aprueba, ya que los valores de los rendimientos de hidrólisis presentaron diferencia significativa entre sí. El apéndice 1 presenta las desviaciones estándar de esta sección.

En la figura 11, se encuentra la relación entre la cantidad de maíz (lb) y el rendimiento de fermentación (%) (p. 34), en donde se evaluó la eficacia con la que se fermentó el mosto de maíz hidrolizado. En esta relación se evaluó el volumen de etanol real y el volumen de etanol teórico, es decir, el etanol obtenido en la fermentación del maíz y el que se calculó por medio de estequiometría, respectivamente.

Se encuentran tres grupos de tres columnas cada uno, que representan las cantidades de 0.5, 1 y 1.5 lb de maíz amarillo, al haber sido fermentadas con 75, 150 y 225 ml de levadura. El grupo de columnas de la cantidad de 1.5 lb, presentó los valores de rendimiento más bajos en comparación con los otros grupos, independientemente de la cantidad de levadura utilizada, debido a la sobresaturación de almidón ocurrida en la hidrólisis.

Mientras que para las cantidades de 0.5 y 1 lb, fermentadas con 225 y 150 ml, se observan valores de rendimiento más altos en comparación con las demás columnas, lo cual indica que estas combinaciones de maíz y levadura, hidrolizaron mejor en comparación con la cantidad de 1.5 lb y que, por consecuencia, la levadura metabolizó en mayor proporción los azúcares disponibles.

Es de interés determinar la combinación de cantidad maíz y volumen de levadura más eficaz y confiable, en caso el producto se llegue a comercializar en el futuro. Es importante tomar en cuenta que la combinación más eficaz no fue la que presentó el mayor rendimiento, sino que también, la que presentó una menor desviación estándar en comparación con las demás combinaciones.

Este es el caso para la combinación de 1 lb fermentada con 150 ml de levadura, porque presentó el tercer rendimiento más alto y una desviación estándar menor en comparación con las otras combinaciones de alto rendimiento, es por ello, que se determinó como la combinación más eficaz y confiable. El rendimiento fue de 14.43 % y la desviación de 0.35 %.

Debido a que los rendimientos no aumentaron en valor mientras aumentó la cantidad de maíz, la hipótesis de investigación alternativa se descarta, mientras que la hipótesis estadística alternativa se aprueba, ya que los rendimientos presentaron diferencia significativa entre los valores. En el apéndice 5 se muestran las desviaciones estándar de esta sección.

En la figura 10, se encuentra la relación entre el volumen de levadura (ml) y el rendimiento de fermentación (%) (p. 33), donde se evaluó la eficacia de fermentación del mosto de maíz hidrolizado. Esta relación es una perspectiva distinta de la figura 9, ya que se evalúan las mismas características, que son la relación entre etanol real y el etanol teórico, con la diferencia que las columnas hacen referencia a los volúmenes de levadura utilizados. Nuevamente se observa que las cantidades de 0.5 y 1 lb presentaron los valores de rendimiento mayores en comparación con la cantidad de 0.5 lb, independientemente del volumen de levadura utilizado.

La cantidad de 1 lb de maíz fermentada con 150 ml se estimó como la combinación más confiable y eficaz, debido al rendimiento y la desviación estándar de las repeticiones realizadas. La hipótesis de investigación alternativa se descarta, debido a que los rendimientos no fueron directamente proporcionales al aumento del volumen de levadura, mientras que la hipótesis estadística alternativa se aprueba, ya que los rendimientos si presentaron diferencia significativa entre sus valores.

En la figura 11 se encuentra la relación entre el volumen de etanol (ml) y la cantidad de maíz amarillo (lb) (p. 34), donde se evaluó el etanol existente en cada bebida alcohólica, resultante de la fermentación del mosto de maíz. El etanol se obtuvo a partir del metabolismo de la levadura, el cual es una reacción química que transforma los azúcares en el mosto a etanol y otros subproductos.

Asimismo, se encuentran tres grupos de tres columnas cada uno, que indican el volumen de etanol resultante de haber combinado las cantidades de maíz y levadura mencionados anteriormente. La cantidad de 1 lb de maíz fermentada con 150 ml de levadura, fue la combinación de mayor atractivo, debido al volumen de etanol obtenido, 33.02 mL, y la desviación de 0.799 ml. Se visualiza que esta combinación destaca tanto en volumen de etanol y por su baja variabilidad en comparación con la columna de 75 y 225 ml de levadura.

La hipótesis de investigación alternativa se descarta, ya que los volúmenes de etanol no fueron directamente proporcionales al aumento de la cantidad de maíz, mientras que la hipótesis estadística alternativa se aprueba, debido a que los volúmenes si presentaron diferencia significativa entre sus valores.

En la tabla VII, se presentan las 5 rentabilidades más altas de las bebidas alcohólicas producidas (p. 35). La columna de costos varios (Q), hace referencia

a los costos de electricidad, transporte de materia prima, análisis de laboratorio, costo de materia prima y costos de la levadura, los cuales se visualizan de manera más clara en la tabla III de la metodología. De igual forma, se tomó en cuenta el costo de mano de obra, como un 15 % de los costos varios, porque es de vital importancia considerar el involucramiento del personal que elaboró el producto. El volumen de etanol destilado promedio (L) es el producto entre el volumen del mosto de maíz y el grado alcohólico de la bebida, determinada por medio de densimetría. El costo de bebida por litro de alcohol (Q/L) es la relación entre los costos totales y el volumen de etanol.

El precio de venta de la bebida alcohólica es el valor que tendría un litro de producto a granel. La utilidad es la diferencia entre el precio de venta y los costos totales de la producción, por litro de producto (Q/L). La mayor utilidad es de Q 13.59 por litro de alcohol, para la cantidad de 1 lb de maíz fermentada con 150 ml de levadura. Lo cual era previsto, ya que esta combinación presentó el rendimiento de hidrólisis y fermentación más alto, en comparación con las demás combinaciones, y de igual forma, presentó una desviación estándar conveniente para producción en comparación con los demás.

Debido al bajo rendimiento de hidrólisis y de fermentación de las bebidas alcohólicas, solamente las combinaciones de 1 lb de maíz con 150 ml y 225 ml de levadura, presentaron una utilidad positiva, por lo tanto, una rentabilidad positiva también, es decir, un retorno en exceso sobre la inversión inicial, sin embargo, todas las demás combinaciones de bebidas alcohólicas presentaron una utilidad negativa, lo que provoca que las demás combinaciones no sean rentables.

La hipótesis de investigación se aprueba solamente para las combinaciones de 1 lb de maíz con 150 ml y 225 ml de levadura, ya que la rentabilidad es positiva

para estos casos, en cambio para el resto de las combinaciones, la hipótesis alternativa se descarta, debido a la falta de rentabilidad.

En conclusión, las combinaciones de 1 lb de maíz con 150 ml y 225 ml de levadura, se determinan como rentables, dados los valores de rentabilidad obtenido, los cuales son de 7.29 y 5.75 %, respectivamente. Podría obtenerse hasta Q 13.59 de ganancia por litro de bebida alcohólica. Las demás combinaciones de cantidad de maíz y volumen de levadura se determinan como no rentables.

En la tabla VIII, se exponen los resultados del catado realizado por el panel sensorial (p. 36). La evaluación del perfil organoléptico se realizó sobre las cinco bebidas con mayor rentabilidad, en total fueron 5 catadores, que por confidencialidad se reservó su nombre y profesión.

Se registraron resultados agradables por parte de los catadores, tanto para olor, apariencia y sabor. Por ejemplo, para el olor de las bebidas, algunas de las descripciones fueron tortilla tostada, nota alcohólica pronunciada, elotes cocidos, almidonado, entre otros. Para la apariencia se registraron características como líquido incoloro, poco viscoso, ligeramente blanquecino, agradable, entre otros. Para el sabor se registraron descripciones como fresco de pinol, maíz tierno, refrescante, nota dulce, entre otros.

6. LOGROS OBTENIDOS

- Evaluación del proceso de hidrólisis y de fermentación de bebidas alcohólicas a base de maíz amarillo, a escala laboratorio.
- Determinación de la rentabilidad y utilidad de cada una las combinaciones de maíz amarillo y levadura, a escala laboratorio.
- Descripciones del perfil organoléptico de 5 bebidas que presentaron mayor rentabilidad.
- Gráficas de columnas que presentan el comportamiento de los rendimientos de hidrólisis y de fermentación en función de la cantidad de maíz amarillo y volumen de levadura, para las bebidas alcohólicas.
- Gráficas de columnas que presentan la cantidad de etanol destilado en función de la cantidad de maíz amarillo y el volumen de levadura.

CONCLUSIONES

1. La cantidad de maíz que presentó mayor rendimiento de hidrólisis fue la de 1 lb, con un valor de 7.45 %, es decir, al hidrolizar esa cantidad se obtendrán más azúcares fermentables en comparación con las otras cantidades de maíz. La mayor variación de rendimientos la presentó la cantidad de 0.5 lb de maíz, con una desviación estándar de 1.78 %.
2. La bebida alcohólica que presentó mayor rendimiento de fermentación fue la libra de maíz fermentada con 225 ml de levadura, con un valor de 14.68 %, es decir, al combinar estas cantidades, la levadura catalizará mayores azúcares fermentables resultando en mayor cantidad de etanol. La mayor variación de rendimientos la presentó la cantidad mencionada anteriormente, con una desviación estándar de 2.39 %.
3. La cantidad de maíz que presentó mayores rendimientos de fermentación, independientemente del volumen de levadura agregado, fue la cantidad de 1 lb de maíz. Los rendimientos fueron 12.43 %, 14.43 % y 14.68 %, para 1 lb de maíz fermentado con 50 ml, 150 ml y 225 ml, respectivamente. La mayor variación de rendimientos la presentó la cantidad de 1 lb de maíz fermentada con 225 ml de levadura, con una desviación estándar de 2.39%.

4. La cantidad de 1 lb de maíz con 225 ml de volumen de levadura fue la combinación que mayor volumen de etanol fermentó, dando un valor de 33.61 ml de etanol, en promedio, por 1 litro de mosto fermentado. La mayor variación de volúmenes de etanol la presentó la cantidad de 1 lb de maíz fermentada con 225 ml de levadura, con una desviación estándar de 5.46 %.
5. La bebida alcohólica que mayor rentabilidad presentó fue la combinación de 1 lb de maíz fermentado con 150 ml de levadura, con una utilidad de Q 13.59 por litro de bebida producida. Esta combinación, en conjunto con los 225 ml de levadura, se determinan como rentables. Las demás combinaciones de cantidad de maíz y volumen de levadura presentaron una utilidad negativa, por lo tanto, se denominan como no rentables.
6. Las descripciones que resultaron más comunes entre los panelistas fueron tortilla y maíz cocido, nota dulce y a tueste, para sabor; líquido claro, viscoso e incoloro; para apariencia y almidonado, poca nota alcohólica y fresco de pinol, para olor; con lo que se concluye que la bebida presenta notas agradables al gusto, al olor y a la apariencia.

RECOMENDACIONES

1. Considerar la evaluación de la etapa de hidrólisis en la elaboración de la bebida alcohólica a base de maíz amarillo, por medio de la adición de enzimas que catalicen la separación del almidón en azúcares fermentables.
2. Realizar la evaluación de la hidrólisis y fermentación para la elaboración de una bebida alcohólica a base de maíz blanco, maíz negro o maíz rosado, a escala laboratorio.
3. Evaluar el proceso de destilación para la elaboración de una bebida alcohólica a base de maíz amarillo, a escala laboratorio.
4. Considerar la evaluación del proceso de producción de una bebida alcohólica a base de maíz amarillo a escala planta piloto.
5. Evaluar el rendimiento del proceso de producción de una bebida alcohólica a base de maíz amarillo a escala planta piloto.
6. Realizar la evaluación del perfil organoléptico para la producción de las bebidas alcohólicas a base de maíz blanco y maíz negro guatemalteco.

REFERENCIAS

1. Agama-Acevedo, E., et al. (2013). *Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis*. *Agrociencia*, 47(1), 1–12.
2. Baschali, A., Tet al. (2017). *Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group*. *Nutrition Research Reviews*, 30(1), 1–24. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/S0954422416000202>.
3. Bernal Bustos, C. R., Morales, D., Cuellar, L., Jaramillo, S. (2017). *Hidrólisis enzimática de almidón*. *Revista de investigación*. 10(1), 129–140. Recuperado de <https://doi.org/10.29097/2011-639x.70>.
4. Borroto, D., Lorenzo, M., García, R., Reyes, A. (2017). *Aspectos generales sobre la determinación de alcoholes superiores en bebidas alcohólicas*. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 51(3), 58–65. Recuperado de <https://www.redalyc.org/exportarcita.oa?id=223158039009>.
5. Carey, A. F. G. M. R. (2013). *Química orgánica*. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
6. Diplan Maga, A. E. (2016). *El agro en cifras 2016, MAGA (Ministerio de Agricultura y Ganadería), Guatemala (versión 1)*.

7. Contreras Camarena, C., et al. (2019). *Magnitud y características de la intoxicación por alcohol metílico.*
8. Cruz-Vázquez, C., et al. (2019). *Tamales texture properties as a function of corn endosperm type. International Journal of Gastronomy and Food Science*, 16 (January), 100153. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2019.100153>.
9. Diao, Y., et al. (2017). *Efecto de las interacciones entre el almidón y el chitosán en las propiedades fisicoquímicas y digestivas del almidón de maíz ceroso. CYTA - Journal of Food*, 15(3), 327–335. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1255916>.
10. Estereois, R., et al. (n.d.). *7.5 Código de los azúcares lectinas: traductoras del código de los azúcares glucidoma.*
11. González, A. (2009). *Hidrólisis.* 1–11. Recuperado de https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiF_veujYrZAhUCUK0KH a5iCG8QFggI MA A&url=https%3A%2F%2Fanaliticaagro.jimdo.com%2Fapp%2Fdownload%2F6814094854%2FHIDROLISIS.pdf%3Ft%3D1478128125&usg=AOvVaw0hX50IkLJUc.
12. Handbook, N. C. (1985). *Origin, adaptation, and types of corn. National Corn Handbook*, may, 1–6.

13. Hernández, F. J., Recalde, V. E., Erazo, A. M. (2015). *Determinación de congéneres en alcohol extra neutro rectificado empleado en la elaboración de bebidas alcohólicas*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 13(1), 28. Recuperado de [https://doi.org/10.18684/bsaa\(13\)28-37](https://doi.org/10.18684/bsaa(13)28-37)
14. Holler, J., & Crouch, S. R. (2015). 9ª ed. *Medicina narrativa* (Vol. 5, Issue 1).
15. Hospital Nacional Dos de Mayo. *Horizonte médico (Lima)*, 19 (1), 59–66. Recuperado de <https://doi.org/10.24265/horizmed.2019.v19n1.10>.
16. Iv, E. S. B., Stevens, N. M., Darwin, C. (2016). 4. *Maize origins, domestication, and selection*. *Darwin's Harvest*, 67–90. Recuperado de <https://doi.org/10.7312/motl13316-005>.
17. Lei, N., et al. (2020). *Effect of dry heating treatment on multi-levels of structure and physicochemical properties of maize starch: A thermodynamic study*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 109–116. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.060>
18. Martens, M., et al. (2020). *Combination of Refractometry and Densimetry – A promising option for Fast raw methanol analysis*. *Chemie-Ingenieur-Technik*, 92(10), 1474–1481. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/cite.202000058>.

19. McCabe, W., Smith, J., & Harriott, P. (2007). *Operaciones en las que intervienen partículas de sólidos. In Operaciones unitarias en ingeniería química.*
20. Mosier, N. S., & Ileleji, K. E. (2015). *How Fuel Ethanol Is Made from Corn. In Bioenergy. Anju Dahiya.* Recuperado de <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-407909-0.00023-7>.
21. Pairochteerakul, P., et al. (2018). *Seed germination in relation to total sugar and starch in endosperm mutant of sweet corn genotypes. Agronomy, 8(12).* Recuperado de <https://doi.org/10.3390/agronomy8120299>.
22. Shirai Marsumoto, K., Malpica Sánchez, F. P. (2013). *Manual de prácticas de laboratorio. Tecnología de fermentaciones alimentarias. Universidad Autónoma Metropolitana, 5(2).*
23. Smiley Ian, 1999. (n.d.). *Making pure corn whiskey by Ian Smiley BSc.*
24. Stanbury, P. F., Whitaker, A., & Hall, S. J. (2016). *Principles of Fermentation Technology: 3a. ed. Principles of Fermentation Technology: 1–803.*
25. Universidad Nacional de la Plata. (2018). *Trabajo práctico n° 10 hidratos de carbono.* Recuperado de 14. http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/quimicaorg/practicas/10_Guia_y_TP10_Hidratos_de_Carbono.pdf.

26. Yesmin, M. N., et al. (2020). *Bioethanol Production from Corn, Pumpkin and Carrot of Bangladesh as Renewable Source using Yeast Saccharomyces cerevisiae*. *Acta Chemica Malaysia*, 4(2), 45–54. Recuperado de <https://doi.org/10.2478/acmy-2020-0008>.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Datos calculados para la figura núm. 8**

Cantidad de maíz (lb)	Rendimiento (%)	Desviación estándar (%)
0.5	4.92	1.78
1	7.45	1.31
1.5	0.59	0.1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Datos calculados para la figura núm. 9**

Para todos los volúmenes de levadura						
Cantidad de maíz (lb)	Rendimiento (%) (Vol. 5ml)	σ (ml)	Rendimiento (%) (Vol. 150 ml)	σ (ml)	Rendimiento (%) (Vol. 225ml)	σ (ml)
0.50	9.07	0.214	12.91	0.269	14.64	0.661
1.00	12.43	1.915	14.43	0.349	14.68	2.386
1.50	4.43	0.797	5.15	0.106	5.19	0.173

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Datos calculados para la figura núm. 10**

Para todas las cantidades de maíz						
Cantidad de Levadura (ml)	Rendimiento (%) (0.5lb)	σ (ml)	Rendimiento (%) (1lb)	σ (ml)	Rendimiento (%) (1.5lb)	σ (ml)
75	9.07	0.214	12.43	1.915	4.43	0.797
150	12.91	0.269	14.43	0.349	5.15	0.106
225	14.64	0.661	14.68	2.386	5.19	0.173

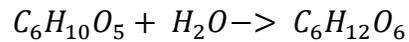
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Datos calculados para la figura núm. 11**

Para todos los volúmenes de levadura						
Cantidad de maíz (lb)	Vol. de etanol (ml) (Vol. 75ml)	σ (ml)	Vol. de etanol (ml) (Vol. 150ml)	σ (ml)	Vol. de etanol (ml) (Vol. 225ml)	σ (ml)
0.5	10.38	0.245	14.77	0.307	16.76	0.756
1	28.46	4.384	33.02	0.799	33.61	5.461
1.5	15.22	2.738	17.67	0.364	17.82	0.595

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Cálculos para determinar la cantidad de glucosa teórica, resultante de la hidrólisis del almidón**



Cantidades de maíz (lb):

- A. 1
- B. 0.5
- C. 1.5

Considerando que cada grano de maíz es 70 % almidón, en promedio (Yesmin et al., 2020):

- 0.7 lb de almidón -> 317.52 g
- 0.35 lb -> 158.76 g
- 1.05 lb-> 476.27 g

Peso molecular del almidón: 162g/mol

- 1.96 mol de almidón
- 0.98 mol
- 2.94 mol

Por medio de estequiometria: 1 mol de $C_6H_{10}O_5 = 1$ mol de $C_6H_{12}O_6$

Peso molecular de la glucosa: 180 g/mol

- 1.96 mol de glucosa -> 352.80 g de glucosa
- 0.98 mol -> 176.40 g
- 2.94 mol -> 529.20 g

Continuación del apéndice 5.

R// Se obtendrán 352.80 g de glucosa al hidrolizar 1 lb de maíz, 176.40 g con 0.5 lbs y 529.20 g con 1.5 lbs de maíz. Tomando en cuenta que estos cálculos suponen un 100 % de rendimiento.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Cálculos para determinar el volumen etanol teórico, resultante de la fermentación de la glucosa**



Cantidades de glucosa (g):

Peso molecular de la glucosa: 180g/mol

352.80 g de glucosa -> 1.96 mol de glucosa

176.40 g -> 0.98 mol

529.20 g -> 2.94 mol

Por medio de estequiometria: 1 mol de $C_6H_{12}O_6 = 2$ mol de C_2H_5OH

Peso molecular del etanol: 46g/mol

3.92 mol de etanol -> 180.32g de etanol

1.96 mol -> 90.16 g

5.88 mol -> 270.48 g

Densidad del etanol: 0.789 g/ml

228.54 ml de etanol

114.27 ml

32.81 ml

R// Se obtendrán 228.54 ml de etanol al hidrolizar 1 lb de maíz, 114.7 ml con 0.5 lbs y 32.81 ml con 1.5 lbs de maíz. Tomando en cuenta que estos cálculos suponen un 100 % de rendimiento.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Determinación del volumen de etanol real destilado, resultante de la fermentación de las 3 cantidades de maíz**

1. Obtener un análisis de densimetría al destilado de maíz, por medio de un densímetro.
2. Dividir el grado alcohólico resultante dentro de 100.
3. Multiplicar ese valor por el volumen del mosto de maíz, para obtener el volumen de etanol real.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Determinación de la utilidad y rentabilidad de una bebida alcohólica de maíz amarillo**

Para la bebida alcohólica de 1 lb de maíz y 150 ml de levadura se acumularon costos por la cantidad de Q 162.10 por litro de bebida alcohólica. El precio venta proyectado para la bebida alcohólica es de Q 200.00 por litro de bebida alcohólica.

Para el cálculo de la utilidad se calcula la diferencia entre el precio venta y los costos de producción. Por ejemplo:

$$Utilidad = (200 - 162.1) \frac{Q}{L} = Q37.9 \text{ por litro de bebida alcohólica}$$

Para el cálculo de la rentabilidad se calcula la división entre la utilidad y el precio costo, dado que esto indicaría el exceso o la falta de capital obtenido debido a la inversión en el producto.

Si se realiza el cálculo con una utilidad positiva, se obtendría el porcentaje de retorno de inversión positivo sobre la producción de la bebida alcohólica. Si se calcula la rentabilidad con una utilidad negativa, el porcentaje final indicaría la diferencia de pérdida que resultó de la inversión en la bebida alcohólica.

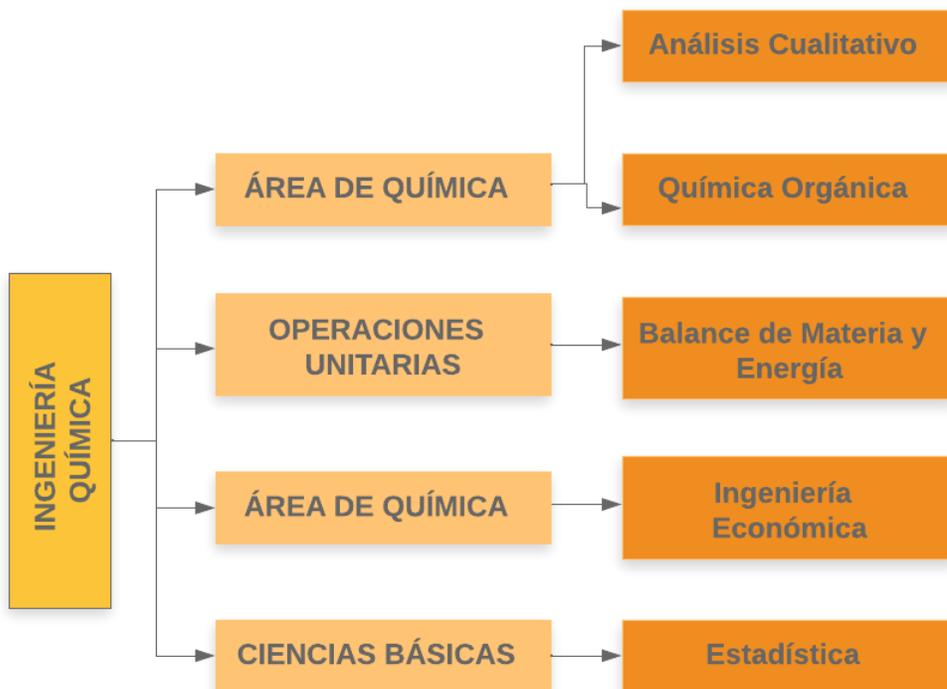
$$Rentabilidad = \frac{37.9 \frac{Q}{L}}{162.1 \frac{Q}{L}} * 100 = 23.38 \%$$

Continuación del apéndice 8.

R// La rentabilidad de la bebida alcohólica de 1 lb de maíz y 150 ml de levadura es 23.38 % respecto a la inversión inicial.

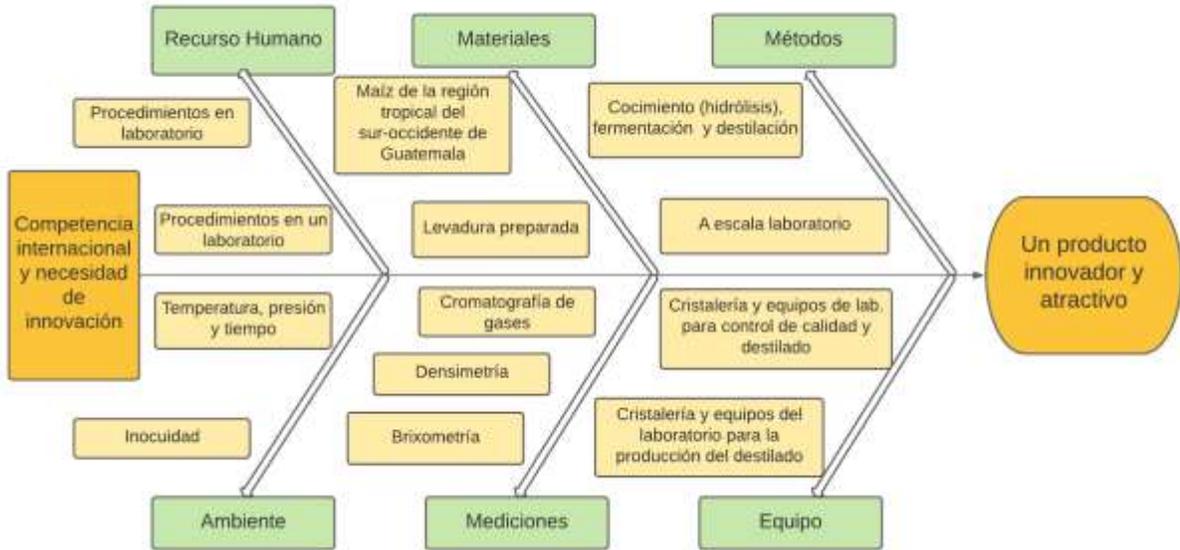
Fuente: elaboración propia

Apéndice. 9. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

