



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

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*),
COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO
LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO**

Juan Manuel Velásquez Dardón

Asesorado por la Inga. Hilda Palma de Martini

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*)
COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO
LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

Juan Manuel Velásquez Dardón

ASESORADO POR LA Inga. Hilda Palma de Martini

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, ENERO DE 2023

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

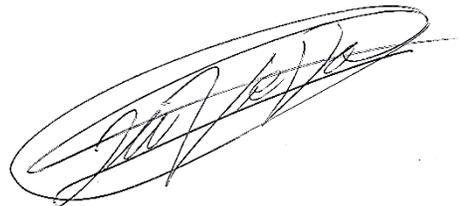
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Adela María Marroquín Gonzáles
EXAMINADOR	Ing. Jorge Rodolfo García Carrera
EXAMINADOR	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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 DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*)
COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO
LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería química, con fecha 19 de noviembre del 2019.



Juan Manuel Velásquez Dardón

Guatemala 28 de mayo de 2022

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Williams Guillermo Álvarez Mejía:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*), COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO", elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Juan Manuel Velásquez Dardón, quien se identifica con el registro académico 201504279 y con el CUI 3001461320101.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Hilda Piedad Palma Ramos de Martini
ASESORA

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 11 de octubre de 2022.
Ref. EIQ.TG-IF.031.2022.

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

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **075-2019**, 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: **Juan Manuel Velásquez Dardón**.
Identificado con número de carné: **3001461320101**.
Identificado con registro académico: **201504279**.
Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.
En la modalidad: **Informe Final, 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 DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA
(*Daucus carota*), COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN
DE BIOMASA UTILIZANDO LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*)
A ESCALA LABORATORIO**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Hilda Piedad Palma Ramos de Martini, 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”


Adela María Marroquín González
Ingeniera Química Col/No. 1465
Adela María Marroquín González
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



LNG.DIRECTOR.007.EIQ.2023

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 DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*), COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO**, presentado por: **Juan Manuel Velásquez Dardón**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“Id y Enseñad a Todos”



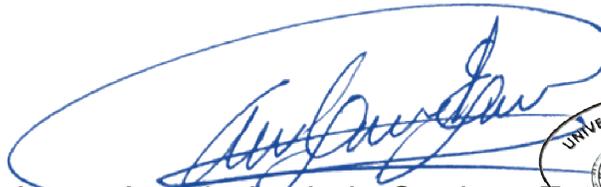
Ing. Williams G. Alvarez Mejía: M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, enero de 2023.

LNG.DECANATO.OI.009.2023

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 DE LA UTILIZACIÓN DE LA CÁSCARA DE ZANAHORIA (*Daucus carota*), COMO SUSTRATO FERMENTABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA UTILIZANDO LEVADURA (*Saccharomyces cerevisiae*) A ESCALA LABORATORIO**, presentado por: **Juan Manuel Velásquez Dardón**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Ariabela Cordova Estrada



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

Decana

Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por su infinito amor, protección, bendiciones y oportunidades que me ha brindado toda la vida.
- Mis padres** Ana Consuelo Dardón Guzmán, Manuel Velásquez Morales, por sus enseñanzas, confianza, apoyo y amor incondicional depositado en mí.
- Mi hermano** Julio David, por su amor, apoyo y ser siempre un ejemplo a seguir.
- Asesora** Inga. Hilda Palma, por su guía, tiempo y esfuerzo dedicado en este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por permitirme el acceso a la educación superior y ser mi casa de estudio.
Facultad de Ingeniería	Por inspirarme a aprender cada vez más e inculcarme el pensamiento crítico.
Mis padres	Ana Consuelo Dardón Guzmán, Manuel Velásquez Morales, por su amor, valores inculcados, su apoyo y cuidarme siempre de la mejor manera.
Mi hermano	Julio David, por motivarme a alcanzar mis metas y apoyarme cuando lo necesitaba.
Mi familia	Tíos, primos, sobrinos, por velar siempre por mi bienestar y motivarme.
Mis amigos	Lucía Paniagua, Luis del Cid, por acompañarme en mis metas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
HIPÓTESIS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	3
1.3. Determinación del problema.....	5
1.3.1. Definición	5
1.3.2. Delimitación	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Uso de residuos vegetales	7
2.2. Zanahoria	7
2.2.1. Partes de una zanahoria.....	10
2.3. Fermentación.....	11
2.3.1. Fermentación anaeróbica	12
2.3.2. Sustrato	12
2.3.3. Microorganismos en fermentaciones	13
2.3.4. Medio de fermentación	13
2.3.5. Medio de fermentación.....	13

2.4.	Levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	14
2.4.1.	Productos de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	15
2.5.	Tipos de fermentaciones	15
2.5.1.	Fermentación alcohólica.....	15
2.5.2.	Fermentación acética	16
2.6.	Pasos en la fermentación.....	16
2.6.1.	Fase de adaptación o latencia.....	16
2.6.2.	Fase de atenuación	17
2.6.3.	Fase de acondicionamiento.....	17
2.7.	Efecto Pasteur.....	18
2.8.	Efecto Crabtree	18
2.9.	Combinación del efecto Pasteur y Crabtree.....	19
2.10.	Requerimiento nutriciones para la levadura	19
2.11.	Recuperación de la levadura.....	21
2.12.	Oxigenación del mosto.....	22
2.13.	Valor nutricional de la levadura	23
3.	METODOLOGÍA	25
3.1.	Variables	25
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	25
3.3.	Recursos humanos disponibles	26
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	26
3.4.1.	Análisis químico proximal.	26
3.4.1.1.	Equipo utilizado para el examen químico proximal.....	27
3.4.1.2.	Cristalería utilizada para el examen químico proximal.....	27
3.4.1.3.	Reactivos utilizados en el análisis	

	químico proximal.....	28
3.5.	Técnica cuantitativa	29
3.5.1.	Proceso de fermentación aeróbica.	29
3.5.2.	Proceso para la producción de levadura mediante la fermentación aeróbica	30
3.5.3.	Proceso de secado de la levadura.....	30
3.6.	Recolección y ordenamiento de datos.....	32
3.6.1.	Análisis químico proximal	32
3.6.2.	Rendimiento másico	32
3.7.	Análisis estadístico	33
3.7.1.	Grados de libertad de tratamientos.....	33
3.7.2.	Grados de libertad de error.....	34
3.7.3.	Suma de datos total.....	34
3.7.4.	Factor de corrección	34
3.7.5.	Suma de cuadrados totales	35
3.7.6.	Suma de cuadrados de tratamientos	35
3.7.7.	Suma de cuadrados del error	35
3.7.8.	Cuadrados medios de los tratamientos	36
3.7.9.	Cuadrados medios del error	36
3.7.10.	Razón F	36
3.8.	Plan de análisis de resultados	37
3.9.	Programas a utilizar para análisis de datos	37
4.	RESULTADOS	39
4.1.	Análisis químico proximal	39
4.2.	Pretratamiento de la cáscara de la zanahoria	40
4.3.	Condiciones de fermentación de la levadura.....	40
4.4.	Formulación del medio de cultivo a partir de la cáscara de la zanahoria.....	41

4.5. Rendimiento másico de la levadura <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	41
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43
CONCLUSIONES.....	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53
APÉNDICES.....	55
ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Partes de la zanahoria	11
2.	Diagrama de proceso de fermentación aeróbica.....	29
3.	Recuperación de levadura	31
4.	Rendimiento másico de la levadura en función de las horas de fermentación.....	41

TABLAS

I.	Cantidades de nutrientes que contiene 100 gramos de zanahoria.	8
II.	Nivel de oxígeno diluido según el método de inyección.....	23
III.	Recolección de datos para la cáscara de zanahoria	32
IV.	Recolección de datos para el rendimiento másico	33
V.	Análisis químico proximal para la cáscara de la zanahoria	39
VI.	Proceso del pretratamiento de la cáscara de zanahoria	40
VII.	Condiciones de fermentación de la levadura	40
VIII.	Formulación del medio de cultivo	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
CME	Cuadrados medios del error
CMt	Cuadrados medios de los tratamientos
Fc	Factor de corrección
°C	Grados centígrados
GLE	Grados de libertad del error
GLt	Grados de libertad de los tratamientos
g	Gramos
h	Hora
µm	Micrómetro
mL	Mililitro
mM/g	Milimol dividido gramo
n	Número total de datos
ppm	Partes por millón
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
F	Razón F
Tn	Representación de cada dato
SCE	Suma de cuadrados del error
SCt	Suma de cuadrados de los tratamientos
SCT	Suma de cuadrados totales
T	Suma total de datos

GLOSARIO

Aerobio	Condición de un proceso o sistema en presencia de oxígeno.
Anaerobio	Condición de un proceso o sistema en ausencia de oxígeno.
ANOVA	Es un método utilizado para comparar las varianzas entre dos grupos de datos.
Decantación	Procedimiento físico que sirve para separar una mezcla heterogénea compuesta por un sólido y un líquido. Por diferencia de densidades el sólido se separa de la fase acuosa en función del tiempo.
Examen proximal	Análisis que identifica los porcentajes de humedad, grasa, fibra, cenizas, carbohidratos solubles y proteína en los alimentos.
Fermentación	Procedimiento por el cual microorganismos obtienen energía a partir de compuestos orgánicos, transformándolos en compuestos químicos más simples como dióxido de carbono, alcohol, ácidos, entre otros.

Horno al vacío	Horno con capacidad de aislamiento al ambiente que permite, mediante una bomba de vacío, generar vacío dentro de la cámara en donde se regula la temperatura deseada.
Inocuidad	Condiciones y prácticas que preservan la calidad de los alimentos para prevenir la contaminación y las enfermedades transmitidas por el consumo de alimentos.
Inoculación	Se refiere a la etapa en que el microorganismo se agrega al sustrato para iniciar la fermentación. La inoculación puede variar según el método a utilizar.
Rendimiento másico	Relación del peso seco de la biomasa obtenida al final de la fermentación y el peso seco de la biomasa inicial.
Sobrenadante	Líquido que queda por encima del sedimento o precipitado, después de producida la sedimentación.
Sustrato	Es la base, material o sustancia que sirve de sostén y de la cual obtienen nutrientes distintos organismos.
Viabilidad de un microorganismo	Microorganismo que es capaz de replicarse o de transferir material genético.

RESUMEN

En el estudio de evaluación de la utilización de la cáscara de zanahoria como sustrato fermentable para la producción de biomasa usando levadura *Saccharomyces cerevisiae*, se utilizó la cáscara de zanahoria para formular un sustrato acuoso el cual pudo ser fermentado de forma aeróbica para optimizar la reproducción de la levadura y así se obtuvo un rendimiento másico de levadura.

Para poder formular un sustrato acuoso a base de cáscara de zanahoria se realizó un examen proximal con el fin de saber si la cáscara de zanahoria contenía los suficientes nutrientes para la levadura. Una vez identificada la cantidad de nutrientes, se procedió a realizar el pretratamiento de la cáscara para asegurar la inocuidad del sustrato, se establecieron las condiciones de fermentación y la formulación del mismo y se procedió a inocular el sustrato con levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Una vez terminada la fermentación se recuperó la levadura por medio de decantación y secado al vacío para obtener rendimientos másicos.

El análisis proximal dio como resultado un 54,7 % de extracto libre de nitrógeno, lo que indicó que la cáscara posee los nutrientes necesarios para la levadura. Se estableció un pretratamiento para la cáscara de zanahoria que consistió en un lavado con agua del grifo remover tierra e impurezas y un segundo lavado con solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm. Las condiciones de fermentación se establecieron como: fermentación tipo aeróbica con un volumen inicial de 250 mL, a temperatura ambiente de 23 a 24 °C, tiempo de fermentación de 22 a 26 h y una masa de levadura en la inoculación de 3 g, esto permitió obtener resultados de rendimiento másico en un lapso de tiempo y un

volumen manejables a escala laboratorio en un tiempo corto. La formulación del sustrato fermentable consistió en licuar 150 g de cáscara de zanahoria en 250 mL de agua desmineralizada. Dicha solución se filtró por medio de un colador y luego se filtró utilizando un filtro al vacío de 11 μm de poro. La solución final contuvo los nutrientes necesarios de la cáscara para que fuera posible iniciar y mantener el proceso de fermentación.

Una vez terminada la fermentación se procedió a recuperar la levadura, esta misma se recuperó utilizando el método de decantación de la levadura, retirando poco a poco el sobrenadante mediante una micropipeta. Una vez se obtuvo la levadura con lo menos posible de líquido, se retiró toda humedad mediante secado utilizando un horno al vacío para así poder sacar un rendimiento másico. Los rendimientos másicos obtenidos varían desde un 103,4 % hasta un 115,45 % para un tiempo de fermentación de 22 a 26 h respectivamente. Estos rendimientos másicos demuestran que es posible utilizar la cáscara de zanahoria para formular un sustrato fermentable para la producción de biomasa. Un análisis ANOVA aplicado a los tratamientos demuestra al ser el factor F calculado de 18,63 y el crítico de 2,87, que existe diferencia significativa entre el rendimiento másico y el tiempo de fermentación, rechazándose así la hipótesis nula.

OBJETIVOS

General

Evaluar el aprovechamiento de la cáscara de zanahoria para la producción de biomasa mediante la elaboración de un sustrato fermentable y su evaluación utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae* a escala laboratorio.

Específicos

1. Caracterizar la cáscara de la zanahoria mediante un análisis proximal.
2. Estandarizar el pretratamiento que debe de aplicarse a la cáscara de la zanahoria para la formulación de un sustrato fermentable.
3. Establecer las condiciones de fermentación de la levadura, *Saccharomyces cerevisiae* en el sustrato formulado.
4. Formular un medio de cultivo a partir de la cáscara de zanahoria.
5. Evaluar el rendimiento másico de levadura *Saccharomyces cerevisiae* producida.

HIPÓTESIS

- Hipótesis de trabajo

La cáscara de la zanahoria contiene un alto contenido de minerales y carbohidratos que permite la formulación de un sustrato fermentable acuoso para la producción de levadura.

- Hipótesis estadística

- Hipótesis nula:

No existe diferencia significativa entre el rendimiento másico de levadura producida y el tiempo de fermentación.

Hipótesis nula (H_0): $y_1 = y_2 = y_3 \dots y_n$

- Hipótesis alternativa:

Existe diferencia significativa entre el rendimiento másico de levadura producida y el tiempo de fermentación.

Hipótesis alterna (H_1): $y_1 \neq y_2 \neq y_3 \dots y_n$

INTRODUCCIÓN

Los desperdicios generados a partir de la zanahoria como industrias pasteleras, industrias que venden zanahorias ya peladas, jugo de zanahoria, entre otros, pueden llegar a tener un valor como materia prima para algún otro producto. De esta forma el reutilizar los desperdicios ayuda tanto al medio ambiente como a otros sectores del área industrial.

La zanahoria es una de las verduras que mayor cantidad de carbohidratos posee, de ahí su sabor dulce. Los principales carbohidratos que posee la zanahoria son: glucosa, sacarosa y fructosa. Estos azúcares sirven como alimento para levaduras como lo que es la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un hongo unicelular, de tipo levadura. Es uno de los modelos más utilizados para el estudio biológico debido a su versatilidad en los cuidados que requiere. Esta puede crecer tanto en sistemas aerobios como en sistemas anaerobios. En sistemas anaerobios, su reproducción por meiosis es limitada por la falta de oxígeno, transformando azúcares en metanol, etanol y dióxido de carbono. Mediante estas condiciones la levadura se utiliza para la elaboración de vinos y cervezas, ambas bebidas alcohólicas. En condiciones aeróbicas, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se encuentra en condiciones óptimas para su reproducción debido a la presencia de oxígeno por lo que en dichas condiciones la levadura es reproducida para usos como elaboración de pan y levadura como alimento para ganado. La levadura en condiciones aeróbicas produce dióxido de carbono y ácido acético.

El presente trabajo de investigación de graduación pretende investigar sobre el valor nutricional de la cáscara de zanahoria y buscar su aprovechamiento mediante la formulación y elaboración de un sustrato fermentable que permita la producción de biomasa. Se pretende establecer parámetros como el pretratamiento que la cáscara de zanahoria requiera, compuestos y sus cantidades para la formulación del mismo sustrato y condiciones de fermentación. Dicho sustrato se evaluará con levadura *Saccharomyces cerevisiae* cuantificando el rendimiento másico de la misma levadura producida.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En cuanto a estudios relacionados con la fermentación de jugo de zanahoria, producción de biomasa y obtención de un sustrato fermentable se han llevado a cabo los siguientes estudios.

Según Rivera W. (2006), existen distintos tipos de levaduras que pueden ser utilizadas de forma benéfica en muchos procesos industriales, Selección de una levadura para la producción de biomasa: crecimiento en suero de leche es un artículo que en base a experimentos demuestra que tipo de levadura es la que mejor se puede generar una producción cuando el sustrato es suero de leche. Se comparan las levaduras *Kluyveromyces marxianus*, *Candida kefir* y *Saccharomyces cerevisiae* en donde la levadura *Kluyveromyces marxianus* es la levadura que se elige debido a que es la que presenta un menor tiempo de fermentación de 19 h, sin embargo, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es la que presenta mayor porcentaje de proteínas siendo este del 35 %, 3 % más que la levadura *Kluyveromyces marxianus*.

Según Bancynski B. (2007), en la producción de biomasa se requiere de cumplir ciertas características del medio para la reproducción adecuada de la levadura. En la patente europea, Procedimiento para la producción de biomasa, se detalla minuciosamente el procedimiento y características que conlleva la producción de biomasa para panificación utilizando melaza como el sustrato fermentable. Ya la que la melaza presenta deficiencia en nutrientes como nitrógeno y fosforo para la levadura, se deben de añadir en forma de sales como

sales de amonio o sales de fosfatos en cantidades de 0,3 y 0,5 g por cada 100 g de azúcar respectivamente. Para una producción más elevada de levadura las condiciones de fermentación deben de ser aeróbicas. Luego de la fermentación, para la recuperación de la biomasa se debe de centrifugar, lavar con agua y nuevamente centrifugar para así obtener la levadura lista para su uso.

Según Andrade B. (2010), la zanahoria es uno de los productos hortícolas que más azúcar contiene, abriendo la posibilidad en que esta sea utilizada en procesos de fermentaciones. En el trabajo de grado, Elaboración de vino de zanahoria mediante fermentación alcohólica, se utiliza la levadura *Saccharomyces cerevisiae* para la elaboración de un vino de zanahoria. Se utiliza zanahoria la cual fue lavada y desinfectada con una solución de cloro a 200 ppm se pelan y cortan y luego se lavan con agua potable. Utilizando un extractor de jugos obtienen un jugo de zanahoria el cual es utilizado para la fermentación alcohólica. A dicho sustrato se le agrega una cantidad de azúcar hasta llegar a los 18 grados brix y meta bisulfito de potasio para evitar la contención del sustrato en la fase de fermentación, la fermentación se lleva a cabo en erlenmeyer de L de forma anaeróbica. El producto de la fermentación luego de la clarificación, es un vino dulce de color anaranjado levemente transparente con 17 días de fermentación y una cantidad de 6 grados brix y 8.6 % v/v de etanol medido mediante una cromatografía de gases.

Según Lallemand B. (2013), existen dos fenómenos químicos que se dan en una fermentación de forma aeróbica, Bioquímica de la producción de levadura, es un artículo que explica cada uno de los fenómenos que se dan. La tendencia de la levadura a reproducirse vía respiración cuando grandes cantidades de oxígeno está presente se le conoce como efecto Pasteur, la producción de levadura es 18 veces más eficientes en presencia de grandes cantidades de oxígeno que sin presencia de oxígeno. Cuando hay una gran cantidad de azúcar

en el sustrato la levadura puede llegar a producir de igual forma una cierta cantidad de etanol a lo que se le conoce como efecto Crabtree. La combinación del efecto Pasteur y Crabtree es la razón por la cual al producir levadura se añade gran cantidad de oxígeno y se dosifica la cantidad de azúcar para que esta siempre esté presente en pequeñas cantidades para maximizar la producción de levadura.

Según Suarez A (2016), la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se utiliza comúnmente en la industria panadera, aunque esta también puede ser utilizada como un alimento pro biótico para ganado. En el artículo *Levadura Saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol* utilizan levadura *Saccharomyces cerevisiae* para la producción de etanol mediante la melaza como sustrato. Se enfocan tanto en la obtención de etanol como en la recuperación de la levadura producida por la fermentación por su alto valor nutricional o por su reutilización para futuras fermentaciones. La recuperación de la levadura se da por lavado y centrifugación y luego se pasa por filtros prensa o rotatorios para disminuir el contenido de agua hasta obtener un producto de 68 a 70 % de humedad. Si se desea levadura seca activa, se utilizan secadores de lechos fluidizado de atomización o al vacío para obtener una levadura con 8 % de humedad.

1.2. Justificación

La zanahoria es uno de los vegetales más comunes en Guatemala y es frecuentemente utilizada en la industria alimenticia, como es la elaboración de jugo de zanahoria envasado, zanahorias peladas para venta en supermercados y también en la industria pastelera para elaboración de pasteles de zanahoria. La cáscara es una materia residual de dichos procesos el cual en muchos casos se considera como un desperdicio y pasa a ser parte de la basura o bien es utilizada

como abono o alimento para ganado sin considerar que se puede obtener aún más provecho de la misma.

La cáscara de la zanahoria contiene un alto contenido de vitaminas, minerales y carbohidratos que pueden ser debidamente utilizados como en la elaboración de un sustrato fermentable para la producción de levadura. De esta forma bajo ciertos pretratamientos y procesos aplicados a la cáscara de zanahoria se logra un aprovechamiento en su totalidad de los desechos generados por las industrias. Al obtener un sustrato fermentable a partir de la cáscara de la zanahoria también se obtienen sólidos como desechos del proceso, los cuales aún poseen una cantidad considerable de vitaminas y minerales que se pueden seguir utilizando como fertilizantes y alimento para ganado.

El aprovechamiento de la totalidad de la cáscara de la zanahoria implica obtener una mayor cantidad de productos con un valor significativo y una reducción en la contaminación por materia orgánica en descomposición que produce gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y gas metano.

El presente diseño de investigación busca dar una alternativa que consiste en el aprovechamiento de la cáscara de zanahoria para obtener un sustrato fermentable el cual permite la producción de levadura. Para ello se debe realizar un análisis proximal a la cáscara de zanahoria que revelará la presencia de carbohidratos presentes y su cantidad para la correcta formulación. La cáscara se debe de someter a un pretratamiento evitando que esta contenga contaminantes a la hora de formular el sustrato fermentable, que se evaluará con levadura *Saccharomyces cerevisiae* y se obtendrá un rendimiento másico de levadura producida confirmando así la viabilidad de la formulación de un sustrato fermentable para la producción de biomasa a partir de la cáscara de zanahoria.

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

Todo desperdicio de materia orgánica procedente de cualquier fruto, vegetal o cualquier otro tipo puede aprovecharse para la obtención de algún producto con cierto valor significativo. De esta forma se puede reducir considerablemente la cantidad de desperdicios producidos tanto por el sector público como el área industrial. La materia orgánica en descomposición atrae a plagas como insectos que pueden representar un daño perjudicial a la población por lo que reutilizar los desperdicios de la mejor forma se ha hecho de vital importancia en la actualidad.

Es el caso de la cáscara de la zanahoria que posee una considerable cantidad de nutrientes, minerales y carbohidratos que pueden ser utilizados para la elaboración de un sustrato fermentable acuoso que permita la producción de levadura, el cual es el fin de esta investigación.

1.3.2. Delimitación

Se evaluará la cantidad de carbohidratos presentes en la cáscara de la zanahoria para formular un sustrato fermentable acuoso que permita la producción de levadura siendo este evaluado con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, con el fin de aprovechar los residuos de la zanahoria.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Uso de residuos vegetales

La alta demanda de productos a nivel industrial genera que las agroindustrias al realizar sus procesos productivos produzcan de igual forma una gran cantidad de desechos agroindustriales. En la actualidad se lleva a cabo una gestión por reutilizar todos estos desechos agroindustriales y darles un valor agregado al ser estos utilizados como materia prima para algún producto secundario.

Los desechos generados por materia prima vegetal tienden a ser utilizados dependiendo de su valor nutricional para formar parte de alimento para ganado, elaboración de fertilizantes, producción de biogás y en algunos casos son estos utilizados como sustratos para fermentaciones cuya finalidad es la obtención de etanol, la misma producción de levaduras o algún otro producto derivado de fermentaciones.

2.2. Zanahoria

La zanahoria cuyo nombre científico es *Daucus carota*, es un producto hortícola de gran consumo a nivel mundial. Esta especie es principalmente consumida por su raíz de color naranja típicamente que es bastante rica en nutrientes, carbohidratos y vitaminas. Debido a la cantidad de carbohidratos presentes en la zanahoria, esta contiene un sabor típicamente dulce al igual que la remolacha.

Según Conabio (2009), es un alimento excelente desde el punto de vista nutricional gracias a su contenido en vitaminas y minerales. Contiene alta cantidad de los hidratos de carbono, nutrientes que aportan energía. Presenta un contenido en carbohidratos superior a otras hortalizas. Al tratarse de un tubérculo, absorbe los nutrientes y los asimila en forma de azúcares. El contenido de dichos azúcares disminuye tras la cocción y aumenta con la maduración. A continuación, se muestra el valor nutricional de 100 g de zanahoria.

Tabla I. **Cantidades de nutrientes que contiene 100 gramos de zanahoria**

Nutrientes	Cantidad
Carbohidratos	9,6 g
Azúcares	4,7 g
Fibra alimentaria	2,8 g
Grasas	0,24 g
Proteínas	0,93 g
Retinol	835 µg
β- caroteno	8285 µg
Tiamina	0,066 mg
Riboflamina	0,058 mg
Niacina	0,983 mg
Ácido pentoténico	0,273 mg
Vitamina B	0,138 mg
Vitamina C	5,9 mg
Vitamina E	0,66 mg
Vitamina K	13,2 µg
Calcio	33 mg
Hierro	0,3 mg
Magnesio	12 mg
Manganeso	0,143 mg
Fósforo	35 mg
Potasio	320 mg
Sodio	69 mg
Zinc	0,24 mg

Fuente: Lilith Bacynski. *Procedimiento para la producción de levadura.*

La energía que aporta 100 g de zanahoria es de 173 kJ.

Existen 5 tipos de zanahorias principales que están estandarizadas para el consumo humano, dichos tipos son actualmente cultivados principalmente para el consumo humano y son de uso cotidiano.

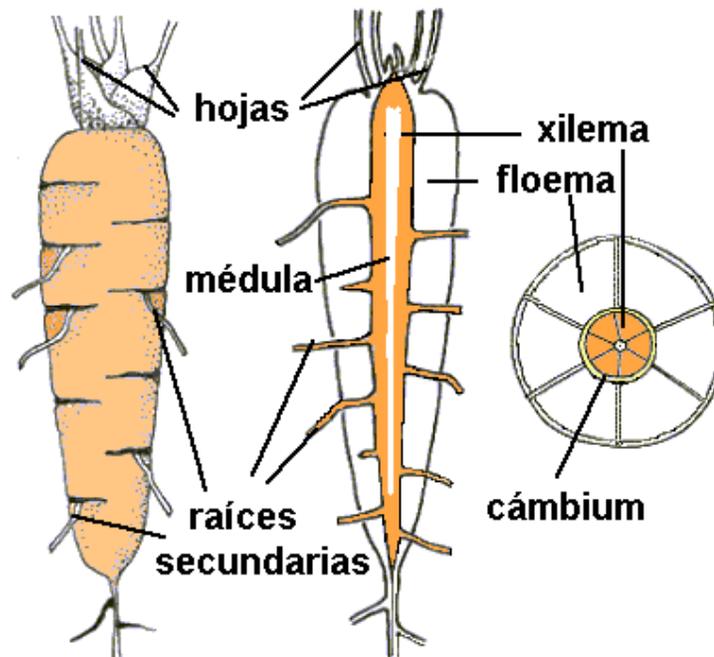
- Zanahoria Nantes: de follaje vigoroso, fuerte con buena sanidad. Produce zanahorias cilíndricas largas y delgadas muy uniformes, de excelente color interno y externo, de poco corazón ideal para la industria de rodajas y mercado fresco. Tolera altas densidades de siembra. Longitud de 18 a 20 cm, diámetro de 3 a 4 cm y su color es naranja.
- Zanahoria Ámsterdam: produce zanahorias pequeñas, delgadas y finas, la más precoz en su tipo, de excelente sabor y color, ideal para el mercado de mini zanahorias, puede usarse para manojos, bolsas plásticas y bandejas. Longitud de 12 a 18 cm, diámetro de 1 a 2 cm y su color es naranja.
- Zanahoria Berlicum: es la más rendidora, segura y versátil del mercado, de follaje vigoroso con buena sanidad, fuerte para el arranque manual y mecánico, fácil de crecer, produce zanahorias cilíndricas muy uniformes, con excelente vida post cosecha. Ideal para mercado fresco, supermercados y en la industria para la producción de jugos, rodajas y cubos. Longitud de 25 a 30 cm, diámetro de 5 a 8 cm y su color es naranja.

- Zanahoria Chantenay: follaje vigoroso, produce raíces cortas cónicas de excelente color, muy lisas, buena consistencia y muy uniforme a la cosecha. Extraordinaria tolerancia al rajado y al lavado mecánico. De alto rendimiento y con buena capacidad para soportar altas densidades, recomendada para siembras de todo el año. Longitud de 10 a 15 cm, diámetro de 5 a 8 cm y su color es naranja.
- Zanahoria Flakkee: altamente productiva, con follaje erecto, muy vigoroso y verde oscuro. Produce zanahorias de excelente color externo e interno, cónicas, grandes, muy uniformes a la cosecha. Recomendada para la industria de jugos, cubos o rodajas. Longitud de 20 a 25 cm, diámetro de 5 a 8 cm y su color es naranja.
- Zanahorias de color: follaje alto muy fuerte y sano, de color verde oscuro. Produce zanahorias de color purpura interno y externo muy intenso, productiva, fácil de crecer ideal para la industria de jugos, mermeladas, platos especiales. Se recomienda también para zanahorias minis, tolera altas densidades de siembra. Longitud de 25 a 30 cm, diámetro de 4 a 5 cm y color purpura.

2.2.1. Partes de una zanahoria

La parte que se come normalmente de la zanahoria es propiamente una raíz, las partes de una zanahoria son:

Figura 1. Partes de la zanahoria



Fuente: Mibayra. *Partes de la zanahoria*. www.mibayra.wordpress.com.
Consulta: septiembre 2019.

La concentración de los nutrientes, vitaminas y principalmente de los carbohidratos se encuentran en floema y cáscara de la zanahoria.

2.3. Fermentación

Según Alzate (1988), una fermentación es un proceso por el cual uno o varios microorganismos metabolizan un sustrato formando productos ya sea deseados o indeseados. Todo fermento presenta la característica común que con un peso pequeño o mínima cantidad adicionada del microorganismo o levadura se transforma gran cantidad de la sustancia fermentable en el producto deseado. La cantidad solo determina la rapidez con que se llega al producto final.

2.3.1. Fermentación aeróbica

En este tipo de fermentación, el microorganismo encargado de fermentar el sustrato se debe de alimentar con cierta cantidad de oxígeno para que este pueda hacer uso de él. Dichas fermentaciones se llevan a cabo inyectando la cantidad necesaria de aire en el contenedor de fermentación, en casos más específicos se puede inyectar directamente oxígeno puro regulando su cantidad para un mejor control o inocuidad según sea el caso.

2.3.2. Fermentación anaeróbica

En el tipo de fermentación anaeróbica se pretende aislar completamente la fermentación del oxígeno. Por lo que el contenedor debe de ser completamente un sistema cerrado y aislado al ambiente para evitar el contacto con el aire. Esto se hace con el fin de evitar que el microorganismo consuma oxígeno alterando la reacción como es el caso de una fermentación alcohólica.

2.3.3. Sustrato

Un sustrato en biología es la superficie en que una planta o un animal viven. El sustrato puede incluir materiales bióticos o abióticos. Para el caso de las fermentaciones gran parte de los sustratos son de forma acuosa, en el área industrial la mayoría de las fermentaciones se da en forma acuosa ya que así se tiene un mejor control del sustrato a utilizar tanto en su movilidad o transporte como en el control de las condiciones requeridas para que la fermentación se lleve a cabo de forma exitosa.

2.3.4. Microorganismos en fermentaciones

Los microorganismos varían de gran manera en las fermentaciones, pueden ser desde bacterias como las utilizadas para la elaboración de yogurt, hasta levaduras que son comúnmente utilizadas para elaboración de pan o vino. Los microorganismos más comunes para realizar fermentaciones son las levaduras y bacterias.

Según Bacynski (2007), la especie de levadura más importante desde el punto de vista económico es *Saccharomyces cerevisiae*. Sin embargo, existen numerosos tipos de levadura menos corrientes con potencial para aplicaciones tecnológicas. Una cepa de levadura técnica importante es, por ejemplo, *Kluyveromyces lactis*. Estos microbios se cultivan en fermentadores para la producción de quimosina, renina, a escala industrial; esta renina, que sustituye a la forma habitual obtenida a partir de animales sacrificados, tiene gran aplicación en la actualidad en la producción de queso.

2.3.5. Medio de fermentación

El medio de fermentación puede variar significativamente dependiendo el objetivo de la misma. La fermentación puede ser en un medio seco o un medio acuoso. En el medio seco podemos encontrar la fermentación del queso por medio de levaduras o mohos. En el caso de una fermentación de medio acuoso podemos encontrar la fermentación alcohólica que se lleva a cabo en un medio con agua. De la misma manera que la fermentación alcohólica, la producción de levadura se lleva a cabo fermentando un sustrato en medio acuoso el cual está compuesto principalmente por azúcares fermentables y agua.

2.4. Levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Según Carballo (2000), *Saccharomyces cerevisiae* es la especie de levaduras utilizadas por excelencia para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación y recuperación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no se presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante, capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares, presenta alta viabilidad celular para el reciclado y características de floculación y sedimentación para el procesamiento posterior.

Según Tuite y Oliver (1991), el etanol es el producto del metabolito anaeróbico de esta levadura y es parte de su metabolismo energético. En los procesos de fermentación, los valores de pH deben de ser controlados entre 4 y 5 para reducir el riesgo de contaminación bacteriana, además para la producción de etanol la temperatura pueden estar en rango de 30 hasta 39 °C, sin embargo, a los 40 °C se presenta pérdida de viabilidad de las células; ya que la temperatura óptima de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* es entre 28 °C y 35 °C. Teóricamente la temperatura óptima para la producción de etanol debe de ser de 5 °C a 10 °C más elevada que la temperatura de crecimiento, esto para incrementar el rendimiento del proceso de fermentación.

Según Bacynski (2007), en cuanto a la producción de la misma levadura se debe de realizar una fermentación aerobia para maximizar la producción de levadura. De esta forma la levadura produce dióxido de carbono, calor y más levadura. La temperatura óptima para su crecimiento como bien se menciona debe de ser de 5 a 10 °C menor que la temperatura de fermentación alcohólica siendo esta de 18 a 30 °C.

2.4.1. Productos de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Según Bacynski (2007), las levaduras *Saccharomyces cerevisiae* se clasifican en general como inocuas. Producen dos productos metabólicos importantes: etanol y dióxido de carbono. El etanol se utiliza para la producción de bebidas alcohólicas, como combustible y como disolvente. El dióxido de carbono se utiliza como agente leudante para masa de pan, para la producción de bebidas gaseosas, como gas inerte para la conservación de alimentos y como disolvente para extracciones. La levadura en sí misma se utiliza como potenciador del sabor en alimentos y como fuente de nucleótidos en la producción de sustitutos de la leche materna. Además, la levadura también es una fuente importante de vitamina B en la alimentación del ser humano y de los animales.

2.5. Tipos de fermentaciones

Existen alrededor de 9 tipos de fermentaciones sin embargo las más comunes son las fermentaciones alcohólicas y fermentaciones acéticas.

2.5.1. Fermentación alcohólica

Según W. Fuery (1998), la fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de oxígeno, originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono como azúcares, por ejemplo: glucosa, fructosa, sacarosa, entre otros, para obtener como productos finales alcohol en forma de etanol, dióxido de carbono, y moléculas de adenosin trifosfato ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaerobio.



2.5.2. Fermentación acética

La fermentación acética es un proceso biológico de fermentación en presencia de grandes cantidades de oxígeno. La formación del ácido acético resulta de la oxidación de etanol por un microorganismo en presencia de oxígeno el cual sirve para el crecimiento del propio microorganismo y su actividad.



2.6. Pasos en la fermentación

La fermentación en las levaduras presenta 3 fases definidas. La levadura actúa de forma distinta en cada una de ellas y depende de cómo la levadura crece y metaboliza el sustrato disminuyendo cada vez más la concentración de los azúcares a consumir.

2.6.1. Fase de adaptación o latencia

La fase de adaptación empieza inmediatamente después de que la levadura se haya inoculado en el mosto, y se alarga aproximadamente unas 24 h. Durante esta fase la levadura evalúa su nuevo ambiente, haciendo balance de los azúcares, el oxígeno y otros nutrientes disponibles, así como desarrollando las enzimas necesarias para tal adaptación.

Según Tomkinson S. (2014), también es un período de rápida reproducción. La levadura se reproduce de forma por meiosis dividiéndose en células hijas. Este proceso se denomina gemación, y para que ocurran las células necesitan desarrollar paredes celulares fuertes. Aunque ello se puede conseguir de forma anaeróbica, se logra de forma mucho más eficaz con la presencia de oxígeno.

Por esta razón los elaboradores cerveceros airean el mosto cuando lo traspasan al fermentador. Una vez se ha usado el oxígeno disponible, la levadura empieza la fermentación anaeróbica.

2.6.2. Fase de atenuación

Según Tomkinson S. (2014), la fase de atenuación dura entre 3 y 10 días, en función del tipo y la salud de la levadura. Durante esta fase, la levadura convierte los azúcares en CO₂, alcohol y otros subproductos. Asimismo, también crea una fina y burbujeante capa de espuma, denominada kreusen, originada por la levadura, las proteínas y las resinas del lúpulo, que atrapa el CO₂. Mientras los azúcares disponibles se consumen y el nivel de alcohol aumenta, la levadura empieza a asentarse, hecho que hace descender el kreusen. A su vez, ello también implica que el proceso está terminando.

2.6.3. Fase de acondicionamiento

Según Tomkinson S. (2014), después de que termine la fase de fermentación primaria, la mayor parte de la levadura pasa a un estado latente. Sin embargo, aún resta algo de levadura en estado activo, la cual se dedicará a limpiar. Con ello queremos decir que, al haber consumido ya los azúcares simples, ahora la levadura metabolizará azúcares más complejos, y reabsorberá compuestos indeseados producidos durante los primeros procesos de la fermentación. Una vez completadas esas tareas, la levadura formará unos grumos, a partir de un proceso llamado floculación, y se desplazará hacia el fondo del fermentador.

Según Tonkinson S. (2014), La fase de acondicionamiento puede durar una semana en las cervezas ales, mientras que se puede ampliar varios meses en las lagers. Las lagers, y a veces las ales, se almacenan en frío a temperaturas cercanas a la congelación, causando que más levadura se precipite hacia el fondo. Así se obtienen cervezas más claras.

2.7. Efecto Pasteur

Según Lallemand B. (2013), el efecto que se obtiene al realizar una fermentación en presencia de oxígeno evitando que se produzca muy poco o casi nada de etanol, es una alta reproducción del microorganismo, a dicho efecto se le conoce como efecto Pasteur. Luis Pasteur fue el primer científico en darse cuenta en 1857 en que, al realizar una fermentación de forma aerobia, aumentaba la tasa de crecimiento del microorganismo y disminuía o cesaba la producción de alcohol y los productos obtenidos eran prácticamente dióxido de carbono además de la reproducción del mismo microorganismo.

2.8. Efecto Crabtree

Según Bacynski, Buddie y Wirth (2007), dicho efecto fue estudiado con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* por el bioquímico inglés Hebert Grace Crabtree y consiste que, en una fermentación de forma aerobia, al haber una gran cantidad de azúcares en el sustrato la levadura aun produce cierta cantidad de etanol, disminuyendo así la tasa de producción de levadura mediante el ciclo de Krebs. Este proceso ocurre mayoritariamente en las levaduras.

Durante toda la tesis se verá en la necesidad de colocar tanto, figuras, tablas y las respectivas fuentes de información de donde las sacó. Para ello se desarrollaron estilos especiales para las mismas

2.9. Combinación del efecto Pasteur y Crabtree

La combinación de estos dos efectos es la razón por la cual a la hora de enfocarse en la producción de biomasa se prefiere generar un sistema aeróbico. En donde se añadan grandes cantidades de aire para así la levadura aprovechar de mejor forma el oxígeno aumentando la tasa de producción de levadura y disminuyendo o cesando la producción de etanol y de forma simultánea, se añade de forma gradual los azúcares fermentables para evitar la alta concentración de azúcares y que dé lugar al efecto Crabtree produciendo cierta cantidad de etanol, disminuyendo la tasa de producción de levadura.

En forma general el efecto Crabtree es el efecto que se quiere evitar en la fermentación y el efecto Pasteur es el que se quiere aumentar para que la producción de levadura será la más alta posible.

Si se requiere hacer una fermentación de forma Batch, es inevitable que se dé el efecto Crabtree debido a que el sistema está diseñado para que el sustrato contenga la cantidad total de azúcares a fermentar desde el inicio de la fermentación, sin embargo a medida que la fermentación transcurre la levadura ira consumiendo los azúcares presentes disminuyendo su concentración por lo que el efecto Crabtree se dará en su máximo al principio de la fermentación y decaerá conforme la concentración de azúcares disminuya, comportamiento inverso al que se tendrá del efecto Pasteur.

2.10. Requerimiento nutriciones para la levadura

- **Fósforo:** según Carballo (2000), es esencial para el crecimiento, regula la síntesis de los lípidos y los carbohidratos, y mantiene la integridad de la pared celular. El fosfato es asimilado por la célula en forma de iones orto

fosfato H_2PO_4 . Las fuentes de fósforo en el medio de cultivo están constituidas por el dihidrogenofosfato KH_2PO_4 o por hidrogenofosfato di sódico Na_2HPO_4 en una concentración de mM/g de células para una fermentación óptima.

- Nitrógeno: Carballo (2000), este elemento es un constituyente importante en los medios de cultivo para promover el crecimiento; ya que representa alrededor del 10 % de peso seco de las levaduras, *S. cerevisiae* es capaz de utilizar el nitrógeno en forma de ion amonio. Los iones amonio pueden ser aportados en el medio por el cloruro de amonio, el nitrato de amonio, fosfato de amonio y sobretodo el sulfito de amonio que provee además una fuente de azufre asimilable. Otra fuente de nitrógeno son los aminoácidos, los dipéptidos, tripéptidos, y la urea en asociación con biotina y las bases púricas y pirimidicas.
- Carbono: según Tuite y Oliver (1991), los compuestos carbonados son utilizados a la vez como fuente de energía y como fuente de carbono por *Saccharomyces cerevisiae* ya que necesita D-azúcares como hexosa, glucosa, fructosa y manosa, porque los L-azúcares pueden ser considerados no fermentables por esta levadura.
- Azufre: según Carballo (2000), constituye el 0.4 % del peso seco de las levaduras. La fuente de azufre más utilizada por *Saccharomyces cerevisiae* es el sulfato de amonio, el sulfito y el tiosulfato; la metionina puede ser utilizada como fuente única de azufre y permite un crecimiento más rápido que los iones sulfatos.

2.11. Recuperación de la levadura

Un método de recuperación de la levadura lo describe John Palmer en su libro *How to Brew*. El método que se recomienda es para recuperar las levaduras de una forma desactivada al terminar una fermentación alcohólica para este caso una fermentación para la elaboración de cerveza. El método consiste en 6 pasos:

- Desinfectar dos recipientes preferiblemente de vidrio, que van a usarse para separar sedimentos de la levadura que se desea capturar.
- Hervir agua y dejarla enfriar, o usar agua fría de botella, y agregarla a uno de los recipientes de vidrio desinfectados.
- Verter el sedimento del fermentador en el recipiente con agua fría y agitar para que todo el sedimento se revuelva con el agua.
- Esperar unos minutos hasta que las partículas más pesadas se asienten en el fondo del frasco. La levadura a reutilizar quedará en suspensión mezclada con el agua.
- Trasvasar el líquido a otro recipiente desinfectado, teniendo cuidado de no verter el sedimento asentado, y desechar las partículas asentadas.
- Repetir el proceso si todavía hay partículas mezcladas con la levadura en suspensión.

Según Palmer (2006), de esta forma la levadura que se obtiene está en suspensión acuosa y se encuentra de forma desactivada, si se quiere volver a utilizar la levadura se debe de reactivar mediante un mosto o una solución azucarada hasta la reactivación de la levadura.

En la industria el método mayormente utilizado para la concentración de la levadura es por medio de separación por centrifugación, en donde se separa gran parte del líquido de la levadura. Una vez realizado la primera centrifugación, se

realiza un lavado con agua potable y se realiza una nueva centrifugación para así dejar a la levadura limpia de sólidos suspendidos entre otras cosas. La crema de levadura resultante se pasa a prensar para obtener levadura solida al 60 a 70 % de humedad lista para su uso como en industrias panaderas.

Una de las formas para obtener levadura con bajo porcentaje de humedad es el secado a bajas temperaturas, para ello puede utilizarse equipos en donde se genere vacío para poder evaporar el agua con mayor facilidad a temperaturas bajas, sin dañar al microorganismo. Una vez la levadura pierde suficiente humedad, pasa a ser una levadura desactivada lo cual es una especie de levadura dormida que espera a las condiciones ideales para volver metabolizar el sustrato y reproducirse.

2.12. Oxigenación del mosto

Según Cuellar (2008), dependiendo de la cepa, la levadura requiere de 8 a 12 ppm de oxígeno disuelto en el sustrato. Ya que para maximizar la producción de levadura se requiere de una buena aireación en el mosto, esta es una parte crítica del proceso. Una buena oxidación del sustrato, asegura una buena reproducción de la levadura que garantiza contar con suficientes células jóvenes para fermentar todo el mosto.

Existen distintos métodos para oxigenar el mosto siendo unos más eficientes que otros. En la siguiente tabla se muestran las opciones y la cantidad de oxígeno que logran solubilizar en el mosto.

Tabla II. **Nivel de oxígeno diluido según el método de inyección**

Método	Tiempo (min)	Nivel de oxígeno diluido (ppm)
Agregar el mosto en un fermentador con un sifón, generando salpicaduras.	N/A	4
Agitar el mosto dentro del fermentador	5	2,7
Agregar aire al mosto con bomba de acuario	5	8
Agregar aire al mosto con tanque de oxígeno	1	12

Fuente: Cuellar, L. *Cómo prevenir sabores indeseados (off flavors) de la cerveza.*

La forma más viable económicamente y la que tiene un alto nivel de oxígeno diluido es la opción de agregar aire al mosto con bomba de acuario ya que la oxigenación es constante a través del tiempo y permite una alta tasa de reproducción de levadura.

2.13. Valor nutricional de la levadura

Según Robert G. (2015), las levaduras se han administrado a los animales en el alimento durante más de 100 años, ya sea en la forma de una masa fermentada producida en el rancho, subproductos de levaduras de cervecería o destilería, o productos comerciales elaborados a base de levaduras específicamente para la alimentación animal. Aun cuando esta práctica de utilizar las levaduras en los alimentos pecuarios ha existido durante mucho tiempo, todavía no hay mucha difusión o confusión en la industria para utilizarlas. Pero por donde se observe el uso de levaduras tiene grandes beneficios, ya que la levadura en sí proporciona vitaminas del complejo B, minerales, es una buena

fuelle de proteÍna y de aminoÁcidos. Aproximadamente el 40 % del peso de la levadura seca consiste en proteÍna. La calidad de la proteÍna de la levadura es excelente, tratÁndose de una proteÍna de origen vegetal, y su calidad es equivalente a la soya, pues ambas son ricas en lisina.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables

Se definen las variables dependientes e independientes del desarrollo de la investigación, en donde las primeras son consideradas como el factor que es observado y medido, y las segundas como las causas.

- Variables dependientes
 - Rendimiento másico de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.
 - pH del sustrato en fermentación
 - Carbohidratos presentes en la cáscara de la zanahoria

- Variables independientes
 - Tiempo de fermentación.
 - Grados brix iniciales del sustrato fermentable

3.2. Delimitación del campo de estudio

El trabajo de investigación se limitará a realizar el estudio a escala laboratorio. Se estudiará la posibilidad de obtener un sustrato fermentable utilizado para la producción de biomasa a partir del aprovechamiento de la cáscara de la zanahoria utilizando levadura *Saccharomyces cerevisiae*. Primero se realizará un análisis proximal para cuantificar la cantidad de carbohidratos presentes en la cáscara y se estandarizará un debido pretratamiento para la inocuidad del sustrato formulado.

Posteriormente se formulará el sustrato fermentable y se establecerán las condiciones de fermentación para así iniciar la fermentación y poder obtener un rendimiento másico de levadura producida verificando así la viabilidad de la formulación de un sustrato fermentable a partir de la cáscara de zanahoria.

3.3. Recursos humanos disponibles

Las personas involucradas en el desarrollo adecuado de la investigación, en donde aportaron su trabajo, esfuerzo y conocimientos, fueron:

- Investigador: Juan Manuel Velásquez Dardón
- Asesora: Inga. Qca. Hilda Palma de Martini

3.4. Recursos materiales disponibles

Los recursos que se usarán en la investigación serán los siguientes:

3.4.1. Análisis químico proximal

En el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia del Campus Central de la USAC, se realizará la elaboración de la harina a base de cáscara de zanahoria utilizando su propio equipo de laboratorio.

Materia prima:

- Cáscara de zanahoria

3.4.1.1. Equipo utilizado para el examen químico proximal

- Horno: se utilizó en la materia seca a 105 °C
- Balanza analítica: mediciones de la masa
- Mufla: utilizada para generar cenizas y materiales totales a 600 °C
- Extractor de gases: para generar el extracto etéreo
- Digestor de fibra ANKOM 200: se obtiene la fibra cruda
- Destilador Kieldhal: para obtener proteína cruda
- Agitador magnético y centrifuga: se utilizaron para determinar la solubilidad del KOH

3.4.1.2. Cristalería utilizada para el examen químico proximal

Materia seca

- Espátula
- Pinzas
- Desecadora

Cenizas y minerales totales

- Crisol de porcelana
- Pinzas
- Mechero
- Soporte universal
- Rejilla de asbesto
- Desecadora

- Guates de asbesto

Extracto etéreo

- Porta dedal
- Pinzas
- Beaker de Velp
- Extractor por solventes Velp
- Dedal de celulosa

Fibra cruda

- Espátula
- Probeta
- Tubos Kjeldahl
- Destilador de proteínas
- Digestor

3.4.1.3. Reactivos utilizados en el análisis químico proximal

- Bencina de petróleo, grado analítico
- Ácido Sulfúrico, grado analítico
- Hidróxido de sodio, grado analítico
- Agua destilada, grado analítico
- Ácido clorhídrico, grado analítico

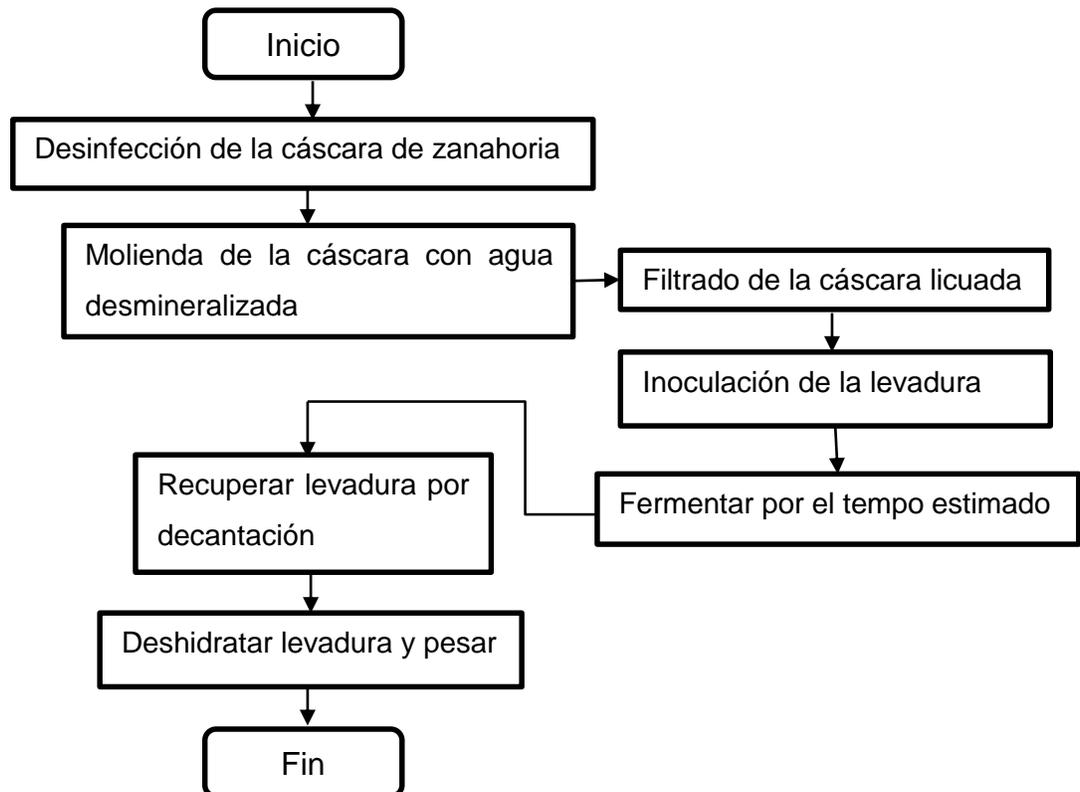
3.5. Técnica cuantitativa

Los resultados obtenidos al finalizar la fermentación aeróbica, serán ordenados en tablas. Con el uso de métodos estadísticos se realizará el procesamiento de datos y se tabularan y graficarán para presentar los resultados.

3.5.1. Proceso de fermentación aeróbica

A continuación, se presenta el proceso general para la producción de levadura.

Figura 2. Diagrama de proceso de fermentación aeróbica



Fuente: elaboración propia, realizado en Word 2016.

3.5.2. Proceso para la producción de levadura mediante la fermentación aeróbica

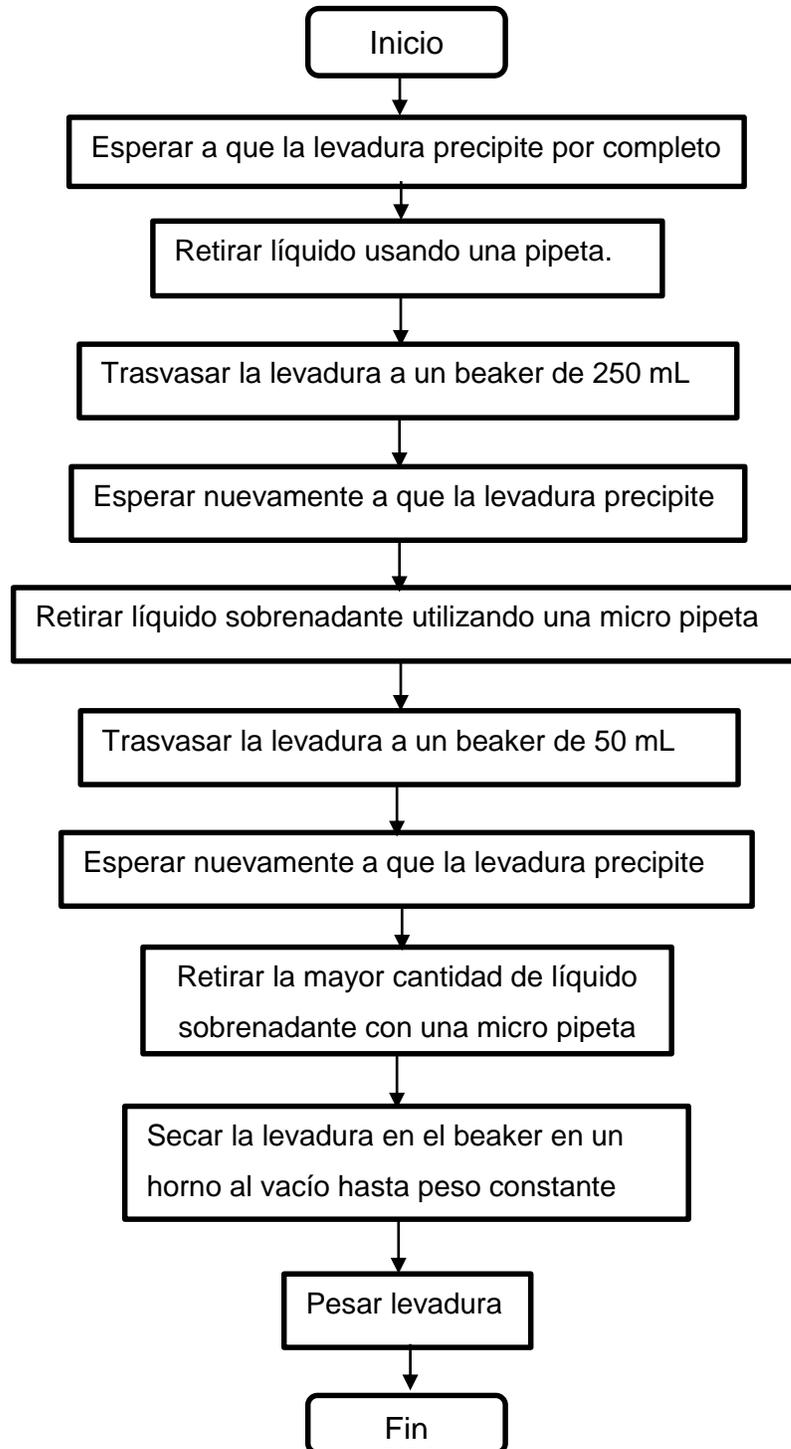
Para la producción de levadura *Saccharomyces cerevisiae* se procederá a realizar el pretratamiento a la cáscara de zanahoria mediante un lavado con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm y luego se enjuagará con agua. Una vez la cáscara se encuentra de condiciones, se procederá a licuar la cáscara con agua desmineralizada respetando la proporción propuesta.

Luego se filtrará el licuado para retirar todos los sólidos mediante una bomba de vacío utilizando papel filtro de poros de 11 μm . Se utilizarán 250 mL de dicho sustrato en un Kitasato de 500 mL y se inoculara con 3 g de levadura. Se coloca la bomba de aire y se dejara fermentando por el tiempo deseado. Pasado este tiempo se retirará la bomba de aire y se separará la levadura por medio de decantación y se secará en horno al vacío para estimar su peso sin agua.

3.5.3. Proceso de secado de la levadura

A continuación, se mostrará el proceso de recuperación de la levadura para poder obtener un rendimiento másico:

Figura 3. **Recuperación de levadura**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word 2016.

3.6. Recolección y ordenamiento de datos

La recolección y ordenamiento de datos se realizará de la siguiente manera:

3.6.1. Análisis químico proximal

Se aplicará un análisis químico proximal a la cáscara de zanahoria, el cual comprende los siguientes análisis:

Tabla III. Recolección de datos para la cáscara de zanahoria

Análisis	Muestra
Humedad	X ₁
Cenizas	X ₂
Extracto libre de nitrógeno	X ₃
Proteína	X ₄
Fibra cruda	X ₅
Extracto etéreo	X ₆

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

3.6.2. Rendimiento másico

El rendimiento másico de la levadura producida se recopiló tanto para repeticiones como corridas.

Tabla IV. **Recolección de datos para el rendimiento másico**

Rep. / Cor.	C1	C2	C3	C4	C5
R1	X ₁₁	X ₂₁	X ₃₁	X ₄₁	X ₅₁
R2	X ₁₂	X ₂₂	X ₃₂	X ₄₂	X ₅₂
R3	X ₁₃	X ₂₃	X ₃₃	X ₄₃	X ₅₃
R4	X ₁₄	X ₂₄	X ₃₄	X ₄₄	X ₅₄
R5	X ₁₅	X ₂₅	X ₃₅	X ₄₅	X ₅₅

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

3.7. **Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos en la experimentación, serán analizados mediante el método estadístico análisis de varianza para verificar si efectivamente existe diferencia significativa entre las distintas corridas realizadas al variar la cantidad inicial de levadura en la inoculación.

Para realizar un análisis ANOVA correcto se utilizan las siguientes ecuaciones.

3.7.1. **Grados de libertad de tratamientos**

$$GLt = K - 1 \quad \text{Ecuación No.1}$$

Donde:

GLt = Grados de libertad de tratamientos

K = Tratamientos

3.7.2. Grados de libertad de error

$$GLE = n - K$$

Ecuación No.2

Donde:

GLE = Grados de libertad del error

n = Número total de datos

3.7.3. Suma de datos total

$$T = T_1 + T_2 + \dots T_n$$

Ecuación No.3

Donde:

T = Suma total de datos

T_n = representación de cada dato.

3.7.4. Factor de corrección

$$Fc = \frac{T^2}{n}$$

Ecuación No. 4

Donde:

Fc = Factor de corrección

T = Suma total de datos

n = Número total de datos

3.7.5. Suma de cuadrados totales

$$SCT = \sum_i \sum_j (x_{i,j}^2 - Fc) \quad \text{Ecuación No.5}$$

Donde

SCT= Suma de cuadrados totales

Fc = Factor de corrección

3.7.6. Suma de cuadrados de tratamientos

$$SCt = \sum_{i=1}^K \left(\frac{T_i^2}{n_i} - Fc \right) \quad \text{Ecuación No.6}$$

Donde:

SCt = Suma de cuadrados de tratamientos

K= Tratamientos

Fc = Factor de corrección

3.7.7. Suma de cuadrados del error

$$SCE = SCT - SCt \quad \text{Ecuación No.7}$$

Donde:

SCE = Suma de cuadrados del error

SCT = Suma de cuadrados totales

SCt = Suma de cuadrados de tratamientos

3.7.8. Cuadrados medios de los tratamientos

$$CMt = \frac{SCt}{GLt} \quad \text{Ecuación No. 8}$$

Donde:

CMt = Cuadrados medios de los tratamientos

SCt = Suma de cuadrados de los tratamientos

GLt = Grados de libertad de los tratamientos

3.7.9. Cuadrados medios del error

$$CME = \frac{SCE}{GLE} \quad \text{Ecuación No.9}$$

Donde:

CME = Cuadrados medios del error

SCE = Suma de cuadrados del error

GLE = Grados de libertad del error

3.7.10. Razón F

$$F = \frac{CMt}{CME} \quad \text{Ecuación No.10}$$

Donde:

F = Razón F

CME = Cuadrados medios del error

CMt = Cuadrados medios de los tratamientos

3.8. Plan de análisis de resultados

Los datos obtenidos a través de las fermentaciones aeróbicas serán tabulados en el programa Excel 2016 y se representarán de forma gráfica dichos datos. Esto permitirá obtener una mejor perspectiva del comportamiento de cada corrida tratamiento realizado.

De igual forma, se procesarán los datos mediante un análisis ANOVA lo que permitirá identificar si existe o no una diferencia significativa entre los distintos tratamientos demostrando así su variación del resultado obtenido según la cantidad inicial de levadura en la inoculación. Este análisis se realizará de igual forma en el programa Excel 2016 utilizando las ecuaciones anteriormente mencionadas.

3.9. Programas a utilizar para análisis de datos

Los programas a utilizar para el correcto análisis de datos son:

- Microsoft Word 2016 para realizar el informe, edición de imágenes y tablas.
- Microsoft Excel 2016 para manejar de forma gráfica los datos y de forma estadística.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis químico proximal

Por medio de un análisis químico proximal, se identificaron las características nutricionales de la cáscara de zanahoria.

Tabla V. Análisis químico proximal para la cáscara de la zanahoria

Categoría (%)	Cantidad
Agua	98,09
Materia seca total	1,91
Extracto etéreo	0,60
Fibra cruda	15,14
Proteína	8,40
Cenizas	18,46
Extracto libre de nitrógeno	57,40

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

4.2. Pretratamiento de la cáscara de la zanahoria

Tabla VI. **Proceso del pretratamiento de la cáscara de zanahoria**

Etapas	Acciones
1	Enjuagar cáscara con agua del grifo
2	Lavar cáscara con solución 200 ppm e hipoclorito de sodio
3	Dejar reposar la cáscara con la solución por 15 minutos
4	Retirar solución de hipoclorito
5	Enjuagar cáscara con agua desmineralizada
6	Retirar toda el agua excedente
7	Dejar destilar la cáscara por 20 minutos

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

4.3. Condiciones de fermentación de la levadura

Tabla VII. **Condiciones de fermentación de la levadura**

Condición	Valor
Volumen inicial (mL)	250
Temperatura (°C)	23 - 24
Tiempo fermentación (H)	22 - 26
Medio de fermentación	Acuoso aeróbico
Masa de levadura inicial (g)	3

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

4.4. Formulación del medio de cultivo a partir de la cáscara de la zanahoria

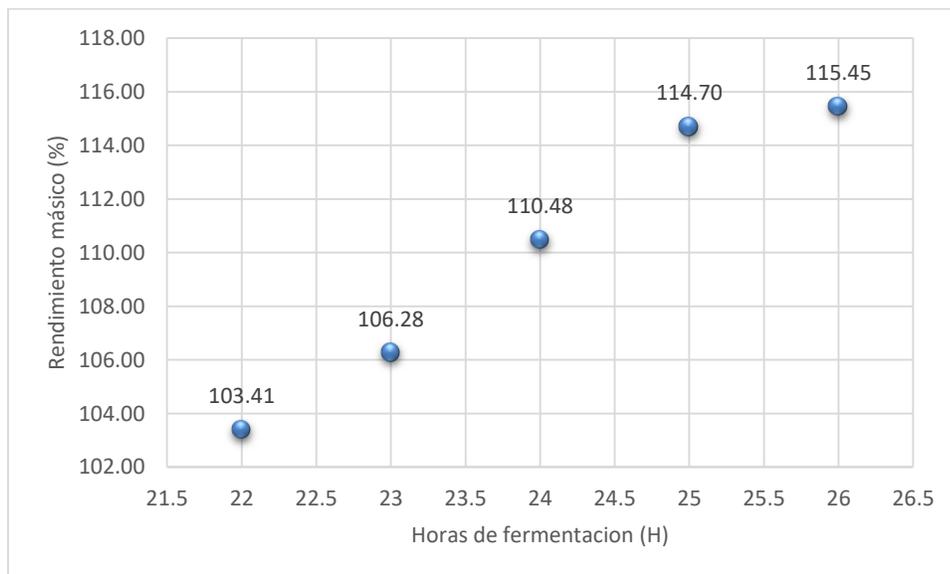
Tabla VIII. Formulación del medio de cultivo

Condición	Valor
Cáscara de zanahoria (g)	150
Agua desmineralizada (mL)	250
Número de poro del filtro (μm)	11

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

4.5. Rendimiento másico de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*

Figura 4. Rendimiento másico de la levadura en función de las horas de fermentación



Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La cáscara de la zanahoria es una de las partes más infravaloradas del mismo tubérculo. Dicha parte del tubérculo contiene una gran cantidad de nutrientes y carbohidratos que se desperdician de forma cotidiana al momento de retirar la cáscara y luego consumirla sin ella. Esto hace que surjan ideas de como poder utilizar la cáscara de la zanahoria y sus nutrientes.

La forma a evaluar la utilización de cáscara de la zanahoria, como sustrato fermentable para la producción de biomasa, inicia con los resultados mostrados en la tabla V. Dicha tabla muestra los resultados de un examen proximal realizado a la cáscara de la zanahoria en donde se puede observar que el 98,09 % en peso de la misma es puramente de agua. De igual forma se puede observar que la cáscara de la zanahoria contiene un 57,4 % en peso base seca de extracto libre de nitrógeno. Este dato es de gran interés ya que al saber que la zanahoria no posee almidones, dicho extracto libre de nitrógeno se refiere principalmente a los azúcares que contiene la zanahoria. Estos azúcares forman parte de la principal materia prima de ingesta para la levadura y lograr su reproducción.

En la tabla V también se puede observar que la cáscara de la zanahoria contiene un 8,3 % en peso de base seca de proteínas. Lo que permite complementar los nutrientes necesarios para la levadura y ayudar en su correcta reproducción y producción de biomasa.

Una vez se confirma el hecho de que la cáscara de la zanahoria posee los suficientes nutrientes y azúcares que consume la levadura para su reproducción, se debe de enfocar en el pretratamiento que requiere la cáscara de zanahoria

para poder formular un sustrato fermentable de forma inocua y libre de contaminación por alguna otra cepa que esta misma podría contener. Para ello se puede observar en la tabla VI las indicaciones a seguir para dar a la cáscara de zanahoria su correcto pretratamiento y se inician estas indicaciones con un lavado con agua del grifo directamente con la cáscara. Este paso se realiza principalmente para remover suciedad como tierra que aún se pueda encontrar adherida a la cáscara y así evitar tanto contaminación como errores con el peso de la levadura al recuperarla.

Como segundo paso, se hace un lavado con una solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm dejando esta actuar por 15 minutos. El principal objetivo de este paso es eliminar todo tipo de vida microbiana, hongos o alguna cepa de levaduras que pueda contener la cáscara de la zanahoria y así evitar una contaminación en la fase de fermentación. Para retirar la solución de hipoclorito de sodio de forma eficiente, únicamente se retira dicha solución y se enjuaga con agua desmineralizada retirando así todo rastro de químico utilizado. Dicho paso es de suma importancia ya que, al haber un rastro de hipoclorito de sodio en la cáscara, este podría dañar la cepa de levadura a estudiar lo que se traduce en una inhibición en la reproducción de la misma. Por último, se deja reposar la cáscara de zanahoria durante 20 minutos para que pueda destilar toda el agua y evitar que haya agua de más a la hora de formular el sustrato fermentable.

En la tabla VII podemos observar con las condiciones a las que se sometió las respectivas fermentaciones. Para poder establecer las condiciones de fermentación de la levadura es de suma importancia conocer tanto la cepa como las condiciones que esta requiere para su reproducción de forma ideal. Para este caso de estudio se utilizó levadura *Saccharomyces cerevisiae*, dicha levadura es una de las más comunes y es muy conocida por su uso en la industria de la panadería. Esta levadura requiere como condiciones para favorecer su

reproducción una temperatura entre los 22 a 28 °C. Como podemos observar en la tabla V, se optó por utilizar la temperatura ambiente la cual oscila entre los 23 a 24 °C.

El volumen total del sustrato a fermentar se optó por 250 mL debido a que es un volumen de fácil manejo y permite recuperar la levadura de una forma más rápida. La levadura *Saccharomyces cerevisiae* tiene la capacidad de fermentar un sustrato tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas, la diferencia reside en que en condiciones anaeróbicas la levadura en lugar de reproducirse esta produce etanol lo que inhibe aún más su reproducción. Por lo tanto, se opta por realizar una fermentación aeróbica y así potenciar el efecto Pasteur. La cantidad de oxígeno suministrado en el sustrato debe de ser la mayor posible para poder evitar el efecto Crabtree y así llevar la tasa de reproducción de la levadura a lo más alto posible.

Una vez establecidas dichas condiciones y debido a la cantidad de volumen del sustrato acuoso se opta por una masa de 3 g de levadura para la inoculación. Esta masa de levadura es lo suficiente como para que su reproducción sea considerable y para el que el tiempo de fermentación no sea en lapsos tan largos para poder evidenciar su reproducción, por lo que el tiempo de fermentación asignado es de 22 a 26 h.

En la tabla VIII se puede observar la formulación del sustrato fermentable. Ya que este sustrato requiere ser de forma acuosa, la mejor forma de aprovechar los nutrientes de la cáscara de zanahoria es licuar la cáscara con agua y luego filtrarla para evitar solidos que pueden afectar en la recuperación de la levadura. Para que el sustrato contenga la cantidad suficiente de azúcares para alimentar a la levadura se utilizaron 150 g de cáscara de zanahoria por cada 250 mL de agua desmineralizada. La cáscara se licuo utilizando una licuadora convencional

marca Black Decker mezclando la cáscara con el agua desmineralizada y licuando a máxima potencia durante un minuto. Una vez se obtuvo este licuado de cáscara de zanahoria se procedió a filtrar utilizando un equipo de filtrado al vacío y papel filtro con poro de 11 micrómetros. De esta forma se obtuvo el sustrato acuoso listo para su inoculación.

Una vez completado el proceso de fermentación aeróbica se procedió a recuperar la levadura para su pesaje. Para poder medir la cantidad de levadura recuperada, como primer paso se separó la levadura de medio acuoso. Esto se realizó dejando reposar el sistema permitiendo que toda la levadura se acentuará en el fondo del recipiente permitiendo retirar el sustrato acuoso agotado mediante una pipeta. Este procedimiento se realizó varias veces para el mismo sistema cambiando el contenedor por uno más pequeño hasta llegar a un beaker de 50 mL en donde el remanente es únicamente la levadura y poca agua. Para poder eliminar esta agua remanente y llevar a la levadura al mismo estado inicial se utilizó un horno al vacío que permitió retirar toda el agua sin dañar la levadura por calor.

Una vez se obtuvo la levadura totalmente sin humedad, así como el estado inicial a la inoculación, se procedió a pesar y obtener la nueva masa de levadura total. Se obtuvieron los respectivos rendimientos máxicos para cada uno de los tratamientos y repeticiones. La imagen 3 muestra el promedio de los rendimientos obtenidos en función de su tiempo de fermentación. Estos rendimientos van desde el 103,1 % hasta el 115,45 % para su tiempo de fermentación de 22 a 26 h reactivamente. Estos rendimientos obtenidos indican que si es posible producir levadura utilizando un sustrato acuoso hecho a base de la cáscara de la zanahoria únicamente. Sin embargo, la cantidad de levadura producida es considerablemente baja en comparación a otros métodos de producción de levadura como lo que es la utilización de la melaza, ya que esta contiene un

porcentaje de azúcares mucho mayor que la que aporta la cáscara de zanahoria. Además, otro método de producción de levadura requiere que se agreguen suplementos nutritivos que la levadura requiere, pero la materia prima utilizada no aporta, suplementos como nitrógeno, fósforo, entre otros, lo que ayuda a favorecer en gran medida el rendimiento.

En la figura 4 se puede observar que los rendimientos de la levadura aumentan conforme el tiempo, sin embargo, aparece una asíntota por encima de las 25 y 26 h de fermentación, lo que indica el agotamiento del sustrato fermentable.

Un análisis de varianza para los tratamientos nos indica que el valor crítico de f es de 2,86 y el valor calculado es de 18,63, al ser f calculado mayor al f de crítico podemos deducir que si existe diferencia significativa entre el rendimiento máximo y el tiempo de fermentación por lo que se rechaza la hipótesis nula.

CONCLUSIONES

1. Mediante el examen proximal realizado a la cáscara de la zanahoria se obtuvo un 57,4 % de peso en seco de extracto libre de nitrógeno y un 8,4 % de peso en seco de proteína, por lo que si contiene suficientes nutrientes para sustentar el crecimiento de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.
2. El pretratamiento que requiere la cáscara de zanahoria consiste en un lavado con agua del grifo para retirar la tierra, un lavado con solución de hipoclorito de sodio a 200 ppm durante 15 minutos y por último enjuagar bien con agua desmineralizada y dejar destilar para evitar exceso de humedad.
3. Las condiciones establecidas para la fermentación acuosa consisten en temperatura entre 24 y 25 °C la cual fue la temperatura ambiente, 3 g de levadura para la inoculación, el volumen del sustrato es de 250 mL, tiempo de fermentación de 22 a 26 h y la fermentación es aeróbica.
4. La formulación del medio de cultivo acuoso consiste en licuar 150 g de cáscara de zanahoria con 250 mL de agua desmineralizada, dicha mezcla se filtra por un colador y por último se filtra al vacío con papel filtro de 11 micrómetros de poro.
5. Los rendimientos máxicos varían desde los 103,4 % hasta los 115,45 % con horas de fermentación de 22 a 26 h respectivamente, lo que demuestra que es posible producir levadura utilizando la cáscara de zanahoria como sustrato fermentable de forma acuosa.

RECOMENDACIONES

1. Determinar cuál es el máximo rendimiento experimental en producción de levadura *Saccharomyces cerevisiae* que se puede obtener por medio del sustrato formulado a base de cáscara de zanahoria.
2. Realizar un estudio económico a detalle acerca de la producción de levadura para panificación y verificar si es rentable este método de utilización de la cáscara de zanahoria.
3. Evaluar la utilización de cáscara de zanahoria, como sustrato fermentable para la producción de etanol y el rendimiento que se puede llegar a obtener por medio de una fermentación anaeróbica.
4. Realizar una comparativa entre la utilización de la cáscara de zanahoria como sustrato fermentable para la producción de levadura y la utilización de la cáscara de zanahoria como alimento para ganadería, evaluando con cual opción se obtienen más beneficios económicos.

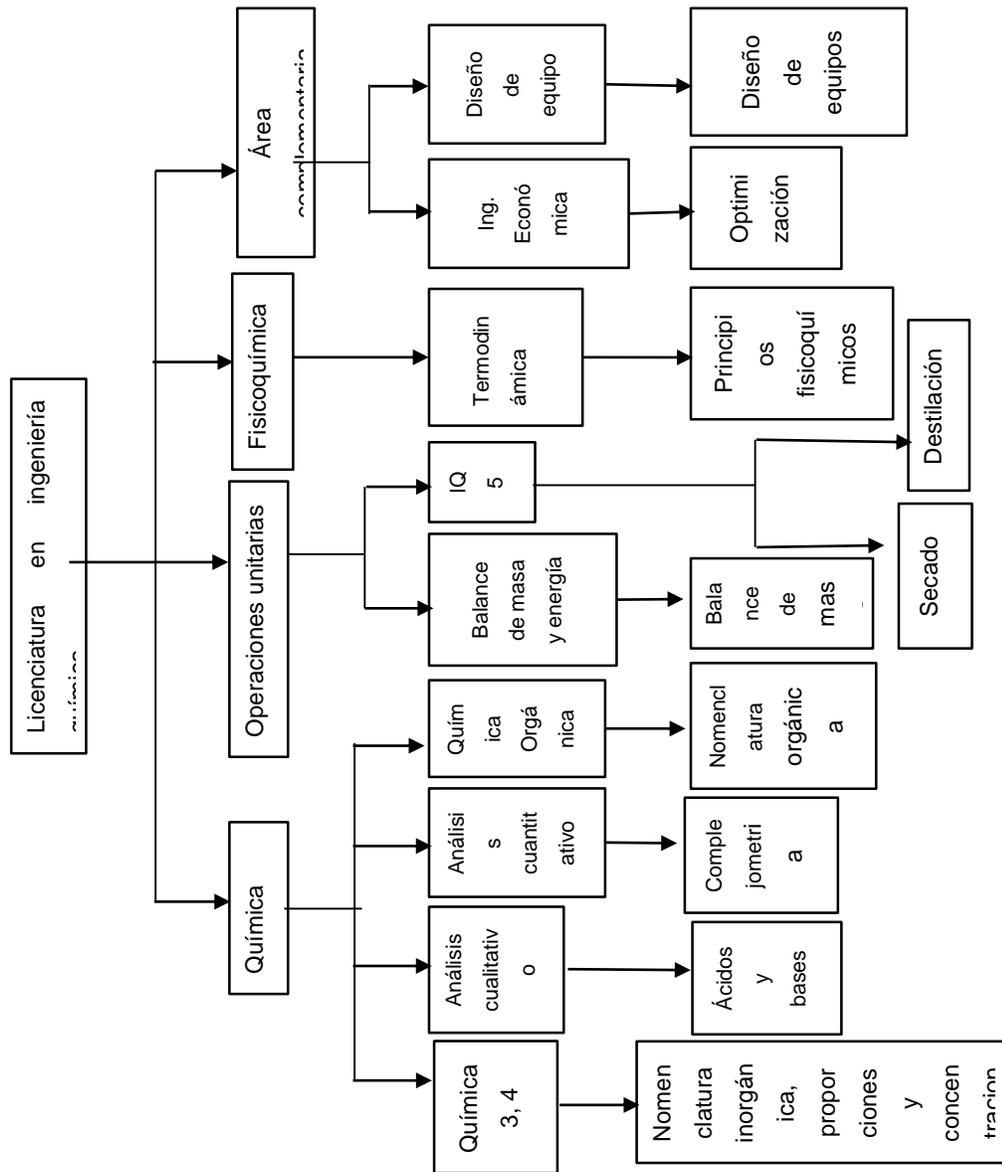
BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADE, B. E. *Elaboración de vino de zanahoria mediante fermentación alcohólica* . San José, 2010.
2. BEJO. *BEJOGT*. Obtenido de BEJOGT: http://www.bejogt.com/zanahoria?f%5B0%5D=field_organic%3A0, 2005
3. Bioquímica de la producción de levadura. *Baking update*, 2013.
4. CARBALLO, F. *Microbiología industrial: microorganismos de interés industrial* . España: Acribia, 2000.
5. CARIDAD SUÁREZ, A. G. *Levadura saccharomyces cerevisiae y la producción de alcohol*. ICIDCA, 2016. 8 p.
6. Conabio. *Catálogo taxonómico de especies México* . México DF: Capital Nat, 2009.
7. CUELLAR, L. *Cómo prevenir sabores indeseados (off flavors) de la cerveza*. *Cerveza Artesanal*, 2018.12-13 p.
8. FUREY W, A. P. *Structure-function relationships and flexible tetramer assembly in pyruvate decarboxylase revealed by analysis of crystal structures*. Springer, Berlin: Pubmed, 1998.
9. LILITH BACYNSKI, D. B. España Patente nº 2542858, 2007.

10. MIBAYRA. *Clasificación de los tallos*. Obtenida de Wordpress:
<https://mibayra.wordpress.com/unidad-iv-organografia-de-la-raiz/>.
2012
11. PALMER, J. J. *How to Brew*. United States : Brewers Publications, 2006.
12. RIVERA, W. Z. *Selección de una levadura para la producción de biomasa: crecimiento en suero de leche*. *Agronomía mesoamericana*, 2006. 2-5 p.
13. SEDANO, R. G. *Porcicultura*. Obtenido de Porcicultura:
<https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/levaduras-alimentacion-cerdos-saccharomyces-cerevisiae-t25894.htm>. 15 de octubre de 2015.
14. TOMKINSON, S. *Cerveza Artesana*. Obtenido de Cerveza Artesana:
<https://www.cervezartesana.es/blog/post/la-guia-definitiva-de-la-levadura.html>. 26 de septiembre de 2014.
15. TUIE, M. O. *saccharomyces*. En M. Tuite, *Saccharomyces*. New York: Plenum New York, 1991. 250 – 255 p.

APÉNDICES

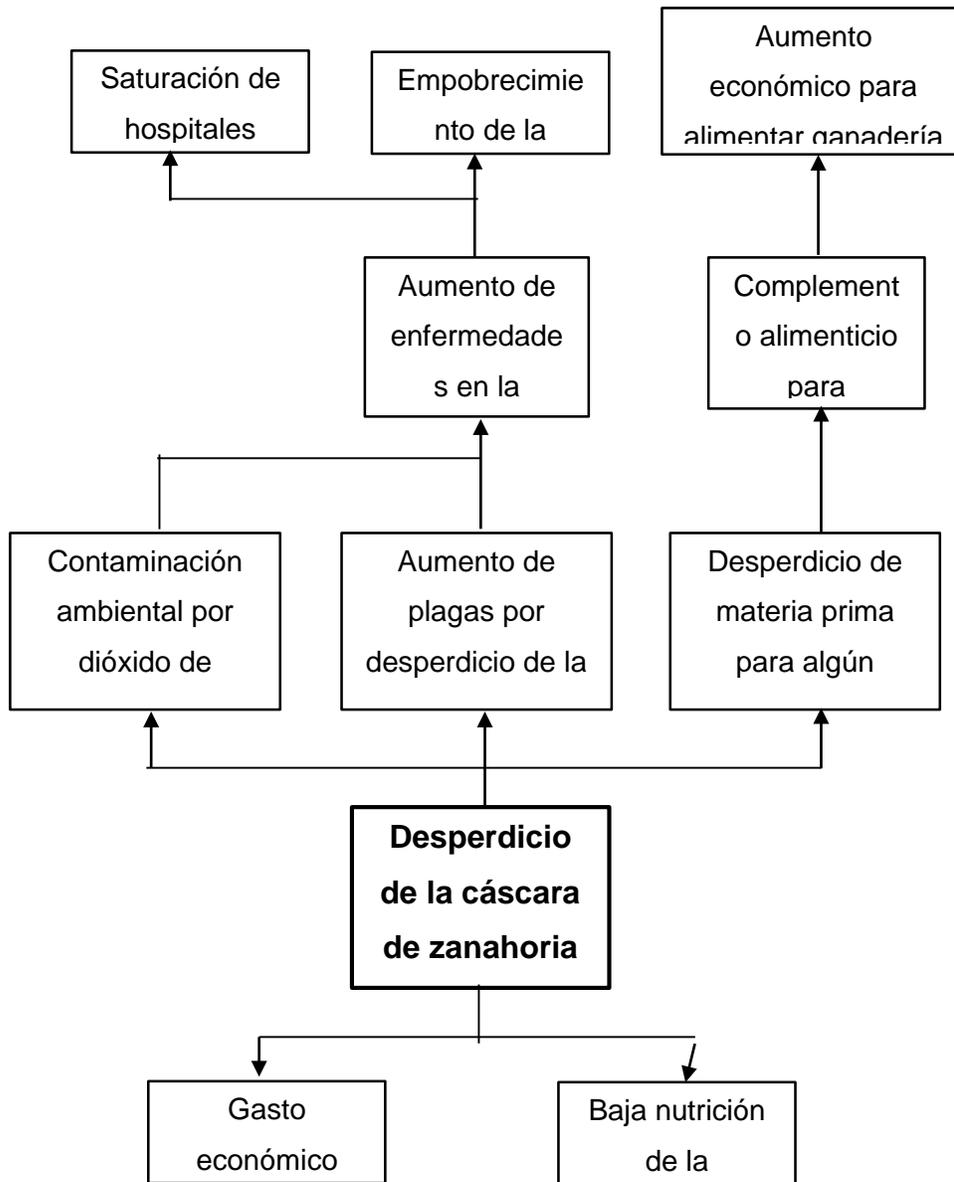
Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia, realizado en Word 2016.

Apéndice 2.

Diagrama de árbol de problemas



Fuente: elaboración propia, realizado en Word 2016.

Apéndice 3. **Masa de levadura recuperada en función del tiempo de fermentación para cada repetición y tratamiento**

Tiempo fermentación (h)	26	25	24	23	22
Masa de levadura (g)	3,50	3,44	3,14	3,16	3,09
	3,32	3,53	3,43	3,20	3,11
	3,40	3,38	3,38	3,24	3,17
	,52	3,43	3,33	3,14	3,16
	3,57	3,43	3,30	3,21	2,98

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

Apéndice 4. **Rendimientos máxicos en función del tiempo de fermentación para cada repetición y tratamiento**

Tiempo de fermentación (h)	22	23	24	25	26
Rendimiento (%)	102,84	105,28	104,53	114,53	116,82
	103,79	106,62	114,28	117,61	110,68
	105,79	107,85	112,80	112,80	113,39
	105,32	104,66	110,85	114,18	117,42
	99,28	107,00	109,95	114,40	118,96

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

Apéndice 5. **Promedio ponderado de los rendimientos másicos en función del tiempo de fermentación**

Tiempo de fermentación (h)	22	23	24	25	26
Rendimiento (%)	103,41	106,28	110,48	114,70	115,45

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

Apéndice 6. **Resumen de análisis de varianza**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Factor F	Valor crítico para F
Entre grupos	547	4	136,75	18,63	2,87
Dentro de los grupos	146,77	20	7,34		
Total	693,76	24			

Fuente: elaboración propia, realizado en Excel 2016.

Apéndice 7. **Cáscara de zanahoria inocua**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).

Colección particular. Guatemala.

Apéndice 8. **Pesaje de cáscara de zanahoria**

En la imagen se muestra una cantidad de 700 g de cáscara de zanahoria, esta cantidad es para realizar 4 repeticiones y un sobrante por margen de errores.



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 9. **Cáscara de zanahoria licuada con agua Desmineralizada**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 10. **Separación de sólidos gruesos por medio de Colador**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 11. **Materia prima agotada**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 12. **Sustrato acuso sin filtrar al vacío**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

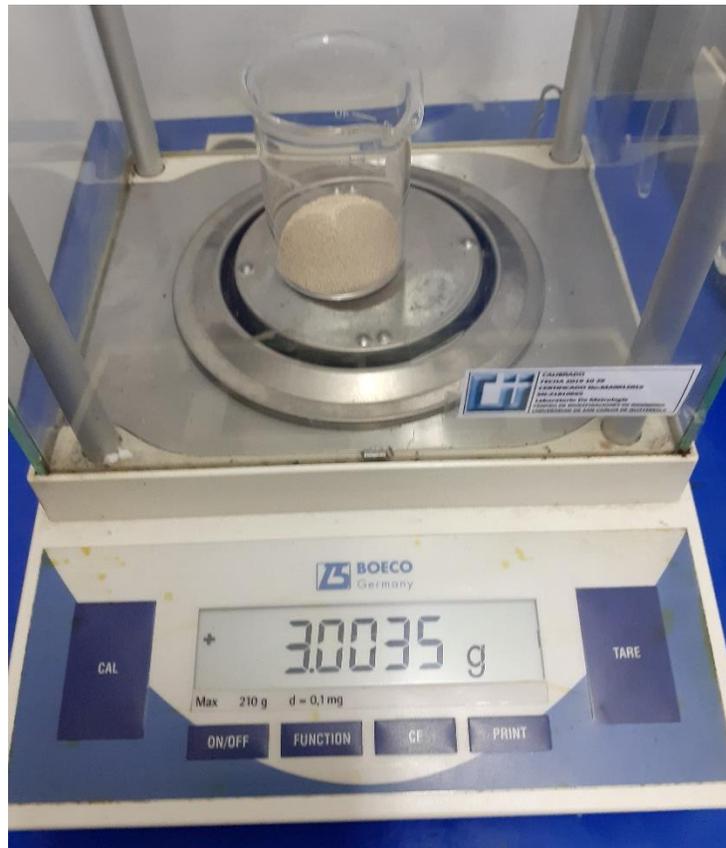
Apéndice 13. **Sistema de filtrado al vacío**

En la imagen se puede observar el sistema de filtración al vacío en donde se utiliza papel filtro de 11 μm el tamaño del poro para poder retirar solidos finos.



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 14. Preparación de la levadura para inoculación



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 15. Inoculación de 3 repeticiones

En la imagen se muestra que se utilizaron Kitasato como contenedor de la fermentación debido a que este permite la salida de aire inyectado y sellando la parte de arriba con papel parafina se evita la contaminación por sólidos e insectos.



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 16. Bombas de aire



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 17. Sistema de inyección de aire en funcionamiento



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 18. Sistema en fermentación para 3 repeticiones



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 19. **Finalización de fermentación y trasvasado a beacker**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

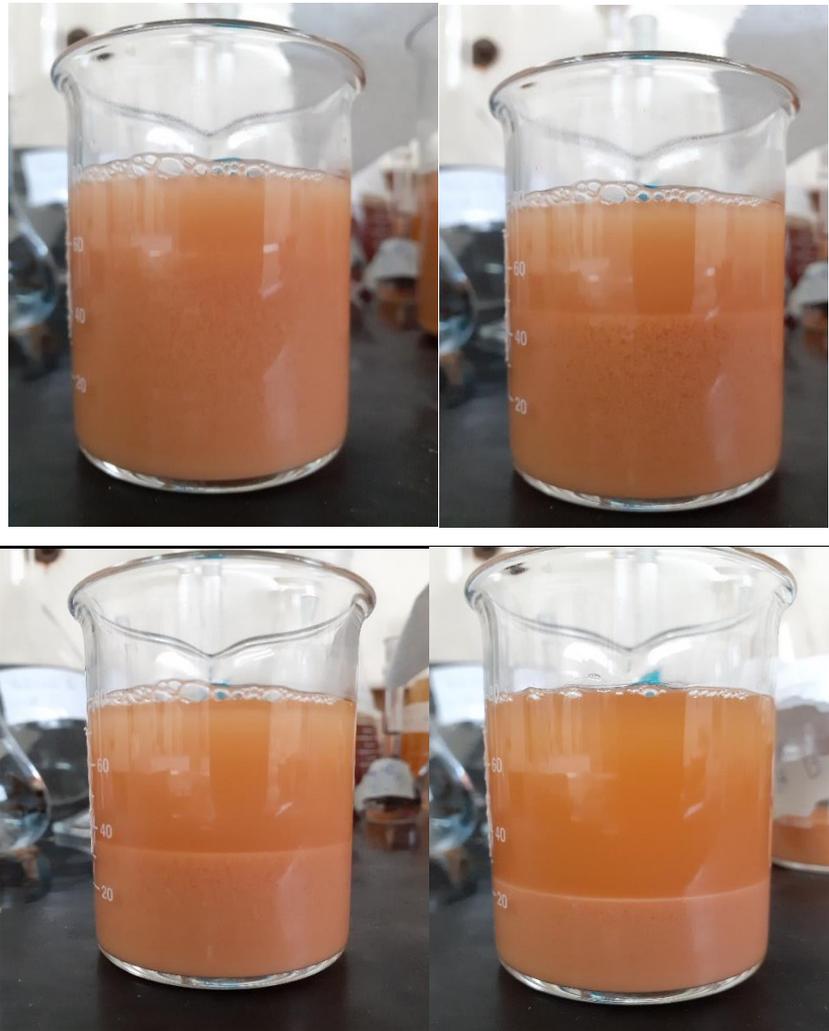
Apéndice 20. **Remoción del sobrenadante con pipeta**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 21. **Precipitación de la levadura**

Las cuatro imágenes son el mismo tratamiento en la etapa de recuperación de levadura. Se puede observar como de la primera imagen a la última, la levadura se va acentuando a través del tiempo. La fase de arriba es el sobrenadante o el sustrato acuoso agotado el cual se retira con una micro pipeta cuidando de no aspirar la levadura.



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).

Colección particular. Guatemala.

Apéndice 22. **Secado de la levadura por medio del horno al vacío**

El horno al vacío se manejó a una temperatura de 40 °C debido a la termolabilidad de la levadura.



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

Apéndice 23. **Recuperación de levadura**



Fuente: [Fotografía de Juan Velásquez]. (Laboratorio LIEXVE, Guatemala. 2021).
Colección particular. Guatemala.

ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico proximal de la cáscara de zanahoria

FORMULARIO BROMATO 7
INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Edificio M8, 2º Nivel, Cdad. Ciudad de Guatemala
Teléfono: 24118307, Telex: E-mail: bromato3006@unsaq.edu.gt

Solicitado por: **JUAN MANUEL VELÁSQUEZ**, Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA**, No.: **154**

Fecha de recepción de la muestra: **11-03-2020**, Fecha de realización: **DEL 01 AL 05-06-2020**

Reg.	Descripción de la muestra	Agua %	M.S.T. %	E.E. %	F.C. %	PROTEINA %	Centrose %	E.L.N. %	Calcio %	Fósforo %	F.A.D. %	F.N.D. %	Lipidina %	Dig. En PEP. %	A.G.L. %	TND %	E.B. kcal/Kg
204	CÁSCARA DE ZANAHORIA	96.09	1.91	0.60	15.14	8.40	18.46	57.40									
	COMO ALIMENTO			0.01	0.39	0.16	0.35										
	SECA																
	COMO ALIMENTO																
	SECA																
	COMO ALIMENTO																
	SECA																
	COMO ALIMENTO																

RESERVACIONES:
VALORES REQUERIDOS FUERON CALCULADOS EN BASE A MATERIA SECA TOTAL Y FRESCA. Se prohíbe la producción parcelar o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24118307

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
F.M.V.Z.
ANÁLISIS PARA EL SECTOR DE ALIMENTOS

T. L. José A. Hernández S. Laboratorista

Lic. Miguel Ángel Rodenas Jefe Laboratorio de Bromatología

Fuente: Laboratorio de Análisis de Alimentos. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad de San Carlos de Guatemala.