



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ciencias Químicas
Carrera de Ingeniería Química

Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batatas L*), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio.

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Químico.

Autores:

José Ricardo Altamirano Samaniego

CI:030249202-0

joshesin95@gmail.com

Jenny Lorena Portilla Farez

CI:120631234-8

lorenpor3@hotmail.com

Director:

Jorge Washington Delgado Noboa

CI:010359941-1

Cuenca, Ecuador

22-marzo-2022



RESUMEN.

El agotamiento constante de combustibles no renovables ha dado lugar a la investigación de nuevos procesos para la producción de etanol a fin de compensar la demanda mundial del bioetanol, por lo tanto, el presente estudio tuvo como principal objetivo la obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida a partir de almidón de camote.

Los resultados obtenidos fueron: El rendimiento de almidón y el tiempo de hidrólisis con los ácidos clorhídrico y cítrico además el tiempo de hidrólisis enzimática; fue seleccionada esta dos variables debido a que afecta directamente la cantidad de azúcares formados, los cuales serán usados por las levaduras para posteriormente convertirse en alcohol etílico. Los parámetros de control fueron los grados °Brix y pH. La obtención de alcohol fue realizada en tres etapas. La primera fue la obtención de almidón de camote (*Ipomea batata*), consiguiendo un rendimiento de 74,27 %. En la segunda etapa se usó el almidón obtenido y se llevó a una etapa de gelatinización; una vez enfriado se sometió a hidrólisis ácida y enzimática por separado, para convertir el almidón en glucosa. Dentro de la tercera etapa se desarrolló la fermentación, cuyas experiencias permanecieron en fermentación durante un tiempo pre-establecido (72 horas), para determinar las variaciones que se producen tanto en grados °Brix y pH. Dentro de la inversión de azúcares, se obtuvo un mejor resultado con la hidrólisis enzimática, siendo de 231,15 g/L en contenido de glucosa. Mediante un análisis estadístico de los resultados se determinó que el mejor grado de aceptación fue con la experiencia con ácido cítrico. De las experiencias dadas se pudo constatar que el mayor grado alcohólico obtenido fue con hidrólisis enzimática obteniéndose 32 °GL. Finalmente es posible la obtención de etanol a partir de la hidrólisis ácida y enzimática del almidón de camote (*Ipomoea batata*).

Palabras Claves: Hidrólisis enzimática y ácida. Fermentación anaeróbica. Rendimiento, *Ipomoea batatas*. Alcohol etílico.



ABSTRACT

The constant exhausting of non-renewable fuels has been placed to the investigation of new processes for the production of ethanol in order to compensate the world demand for bioethanol, therefore, in the present study, the main objective was to obtain bioethanol by enzymatic and acid hydrolysis from sweet potato starch, being the independent variables such as: starch concentration and alpha amylase enzyme. The variables studied were: starch yield and hydrolysis time with hydrochloric and citric acids, as well as enzymatic hydrolysis time; These two were selected because they directly affect the amount of sugars formed, which will be used by yeasts to later obtained ethyl alcohol. The parameters to considered are: ° Brix and pH. Obtaining alcohol was carried out in three stages. The first one was to obtained sweet potato starch (*Ipomoea batata*), achieving a production of 74, 27 %. In the second stage, the starch obtained was subjected to gelatinization, after cooling, we submit it to hydrolysis with hydrochloric and citric acids, and also make the same thing for the enzymatic hydrolysis, to convert the starch into glucose and compare between them. The third stage was fermentation which lasted 72 hours straight, all the experiences remained in fermentation for the same time, to be able to appreciate the variations that occur both in ° Brix and pH. Through a statistical analysis of the results, it determinate that the best treatment is to use the acid route. From the experience given, it can be seen that we obtained a higher alcoholic degree by using enzymatic hydrolysis, which result is 32°GL. Finally, it can be told that is possible to obtain ethanol from the acidic and enzymatic hydrolysis of sweet potato starch.

Keywords: Acid and enzymatic hydrolysis. Anaerobic fermentation. Yield, *Ipomoea batata*. Ethyl alcohol.



CONTENIDO

INTRODUCCION.....	15
OBJETIVOS.....	18
OBJETIVOS GENERALES	18
OBJETIVOS ESPECIFICOS	18
CAPITULO 1.....	19
1. CONTENIDO TEORICO	19
1.1. El camote.....	19
1.1.1. Estudio de la planta: Desde la raíz, hasta el fruto como tal	20
1.1.2. Variedades de camote	21
1.2. Taxonomía del camote.....	23
1.3. Composición del camote.....	23
1.4. Propiedades organolépticas de la materia prima	24
1.5. Cosecha y post cosecha del camote.....	26
1.6. Producción de camote en Ecuador	28
1.7. Usos del camote	29
1.8. Almidón	29
1.8.1. Generalidades	29
1.8.2. Composición química.....	30
1.9. Hidrólisis enzimática	30
1.9.1. Fuentes y tipos de enzimas utilizadas.....	31
1.9.2. Condiciones del sustrato (almidón).....	31
1.9.3. Proceso de hidrólisis.....	31
1.9.4. Licuefacción.....	31
1.9.5. Sacarificación	32
1.9.6. Amilasas.....	32
1.10. Hidrólisis ácida.....	32
1.10.1. Fuentes y tipos de reactivos usados.....	33
1.10.2. Proceso de la hidrólisis	33
1.10.3. Ácidos para hidrolizar.....	34
1.11. Fermentación alcohólica	34
1.11.1. Parámetros que influyen en la fermentación	34



1.11.2.	Microorganismos utilizados en la fermentación	35
1.12.	Levadura	36
1.12.1.	Tipos de levadura.....	36
1.13.	Destilación	36
1.13.1.	Tipos de destilación	37
1.14.	Productos de bioetanol.....	38
CAPITULO 2.....		40
2.	METODOLOGIA DE ESTUDIO	40
2.1.	Localización del estudio.....	40
2.2.	Tipo de estudio	40
2.3.	Materiales, equipos y reactivos.....	40
2.4.	Descripción del proceso de obtención de almidón de camote	41
2.4.1.	Recepción de materia prima	41
2.4.2.	Lavado y pesado	41
2.4.3.	Troceado	41
2.4.4.	Molienda o desintegración	42
2.4.5.	Filtración.....	42
2.4.6.	Sedimentación.....	42
2.4.7.	Secado	42
2.4.8.	Molienda y Tamizado.....	43
2.4.9.	Empaque y almacenamiento	43
2.5.	Procedimiento para la elaboración de almidón de camote	43
2.6.	Proceso de inversión de azúcares	44
2.6.1.	Mezclado	44
2.6.2.	Gelatinización	44
2.6.3.	Reposo	44
	Hidrólisis ácida	45
2.6.5.	Filtrado	45
2.6.6.	Almacenamiento.....	45
2.7.	Procedimiento de inversión de azúcares.....	45
2.8.	Hidrólisis enzimática	46
2.9.	Método de Neubauer	46
2.9.1.	Procedimiento para la preparación del método de Neubauer.....	46
2.10.	Fermentación	46
2.10.1.	Procedimiento para la fermentación en un biorreactor.....	47



2.11.	Método fenol - ácido sulfúrico.....	48
2.11.1.	Procedimiento para el método fenol - ácido sulfúrico.....	49
2.12.	Método de Winnick.....	49
2.12.1.	Procedimiento para el método de Winnick.....	50
2.13.	Método picnómetro para densidad aparente de alcohol.....	50
2.13.1.	Procedimiento para el método del picnómetro.....	50
2.14.	Destilación	51
2.14.1.	Procedimiento de destilación.....	51
2.15.	Evaluación estadística del etanol en base de almidón de camote.....	51
CAPITULO 3.....		53
3.	Resultados y discusiones.....	53
3.1.	Resultado de la obtención de almidón	53
3.2.	Resultados para la hidrolisis acida y enzimática	54
3.2.1.	Resultados por hidrólisis ácida con HCl.....	54
3.2.2.	Resultados por hidrólisis ácida con ácido cítrico	55
3.2.3.	Resultados por hidrólisis enzimática con Alpha amilasa.....	55
3.3.	Resultado del análisis de grados °Brix frente al tiempo.....	56
3.4.	Resultado del análisis de cuantificación de azúcares.....	57
3.5.	Resultado de método Neubauer	61
3.6.	Resultados de método de Winnick.....	61
3.7.	Análisis del método de picnómetro.....	65
3.8.	Análisis de costos para la elaboración de alcohol etílico a partir del almidón de camote	68
3.9.	Evaluación de las encuestas sensoriales	71
CAPITULO 4.....		72
4.	CONCLUSIONES	72
5.	RECOMENDACIONES.....	74
6.	BIBLIOGRAFIA.....	75
7.	ANEXOS.....	78
	Anexo 1.....	78
	Anexo 2.....	79
	Anexo 3.....	80
	Anexo 4.....	80
	Anexo 5.....	81
	Anexo 6.....	81



Anexo 7.....	82
Anexo 8.....	82
Anexo 9.....	83
Anexo 10.....	84
Anexo 11.....	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Países y regiones productoras de camote (Ipomoea Batata).....	19
Tabla 2. Características taxonómicas del camote	23
Tabla 3. Composición del camote general	23
Tabla 4. Composición del camote global.....	24
Tabla 5. Producción de camote en Ecuador.....	28
Tabla 6. Composición química promedio de Camote	30
Tabla 7 Clasificación en generación de biocombustibles.....	38
Tabla 8. Materiales, equipos y reactivos utilizados.....	40
Tabla 9. Parámetros de control fermentación.....	47
Tabla 10. Nivel de confianza según su porcentaje	52
Tabla 11. Datos para determinar el tamaño de muestra.....	52
Tabla 12. Resultados de obtención de almidón en gramos	53
Tabla 13. Resultados de obtención de almidón en % rendimiento.....	54
Tabla 14. Resultados para hidrolisis acida con HCl.....	54
Tabla 15. Resultados para hidrolisis acida con Ac. Cítrico	55
Tabla 16. Resultados para hidrolisis enzimática con alpha amilasa.....	55
Tabla 17. Tiempo de fermentación vs grados Brix de los tres ensayos	56
Tabla 18. Glucosa en concentración vs absorbancia.....	57
Tabla 19. Resultados obtenidos de concentración de glucosa a partir de la ecuación despejada de la recta de los tres ensayos en ppm.....	58
Tabla 20. Resultados obtenidos de concentración de glucosa a partir de la ecuación despejada de la recta por diferentes mecanismos de hidrolisis en ppm.....	59
Tabla 21. Resultados obtenidos del promedio de la tabla 17 de concentración de glucosa de los tres ensayos en ppm	59
Tabla 22. Cantidad de azúcar invertida en g/L	60
Tabla 23. Conteo de células de Alpha amilasa con Neu Bauer	61
Tabla 24. Na ₂ S ₂ O ₃ consumidos en el viraje.....	61
Tabla 25. Na ₂ S ₂ O ₃ consumidos en el blanco.....	62
Tabla 26. Resultados obtenidos de etanol en (g/L) de la destilación en los 3 ensayos	63
Tabla 27. Peso del picnómetro más muestra cada ensayo.....	64
Tabla 28. Densidad de alcohol en diferentes tiempos del destilado.....	65
Tabla 29. Concentración de alcohol en cada ensayo en diferentes tiempos del destilado	66
Tabla 30. Costos en la obtención de etanol con ácido clorhídrico	67
Tabla 30 Costos en la obtención de etanol con ácido cítrico	67



Tabla 31 Costos en la obtención de etanol con la enzima Alpha amilasa 68
Tabla 33. Relación entre Concentración de Etanol y Gravedad Especifica Fuente:
(León, 2010) 78

INDICE DE GRAFICAS

Ilustración 1. Comparación de los tres ensayos 57
Ilustración 2. Curva de calibración de glucosa mg/L..... 58
Ilustración 3. Tiempo vs cantidad de etanol de los tres ensayos 63
Ilustración 4. Porcentaje de etanol vs tiempo en cada ensayo 65
Ilustración 5. Resultado de encuesta de la pregunta uno 70
Ilustración 6. Resultado de encuesta de la pregunta dos 70
Ilustración 7. Resultado de encuestas de la pregunta tres 71
Ilustración 8. Resultado de la encuesta de la pregunta cuatro 71

INDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Proceso de la elaboración de almidón de camote..... 79
Diagrama 2. Proceso para la inversión de azucares con ácido cítrico 80
Diagrama 3. Proceso para la inversión de azucares con ácido clorhídrico 80
Diagrama 4. Proceso para la inversión de azucares con enzima alpha amilasa..... 81
Diagrama 5. Proceso para el método fenol-sulfúrico 81
Diagrama 6. Proceso para el método de Winnick..... 82
Diagrama 7. Proceso para el método de picnómetro para densidad de alcohol 82



Cláusula de Propiedad Intelectual

José Ricardo Altamirano Samaniego, autor del trabajo de titulación "Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batata* L), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en el presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 22 de Marzo del 2022.

José Ricardo Altamirano Samaniego
0302492020



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

José Ricardo Altamirano Samaniego, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batata* L), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio" de conformidad con el Art. 114 del CODIGO ORGANICO DE LA ECONOMIA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de Marzo del 2022.


José Ricardo Altamirano Samaniego
0302492020



Cláusula de Propiedad Intelectual

Jenny Lorena Portilla Farez, autor del trabajo de titulación "Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batata* L), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en el presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 22 de Marzo del 2022.

Jenny Lorena Portilla Farez
1206312348



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Jenny Lorena Portilla Farez, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Evaluación del proceso de obtención de etanol a partir de almidón de camote (*Ipomoea batata* L), mediante métodos de hidrólisis ácida y enzimática, a escala de laboratorio" de conformidad con el Art. 114 del CODIGO ORGANICO DE LA ECONOMIA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de Marzo del 2022.


Jenny Lorena Portilla Farez
1206312348



AGRADECIMIENTO

A la Universidad de Cuenca pilar fundamental para nuestro desarrollo intelectual, nuestro cariño quien nos ayudó en los laboratorios para la elaboración de la parte práctica de la tesis nuestra querida Ing. Verónica Saetama ya que con su conocimiento en el uso de los equipos fue de gran ayuda, ya que compartió y brindo conocimientos y técnicas para culminar exitosamente el trabajo de titulación.

A nuestro asesor Ing. Jorge Delgado por no perder las esperanzas y ganas de terminar este trabajo de titulación para poder concluir con esta etapa de nuestras vidas, por brindarnos su apoyo incondicional.



DEDICATORIA

Quiero dedicarle este trabajo:

A Jehová en primer lugar que me ha otorgado vida y fortaleza para culminar mi tesis.

A mis padres por apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria, en especial mi madre por su ayuda y cooperación constante a lo largo de mi carrera profesional.

A mis hermanos por ayudarme en los momentos más difíciles.



Introducción

La batata (*Ipomoea batata L.*), camote o llamado también batata dulce es considerado uno de los cultivos alimentarios más importantes del mundo e importante en términos de consumo humano. A pesar de su nombre, la batata no está relacionada con la patata pues es una raíz no un tubérculo (Blanca, 2019).

El camote es un cultivo no convencional que ha perdido importancia en Ecuador en la actualidad, ya que se lo siembra en algunas partes de la sierra ecuatoriana y forma parte de los sistemas de explotación agrícola de los pequeños y medianos agricultores.

Debido a un marcado desconocimiento sobre las utilidades de esta raíz; es frecuente su utilización en las zonas rurales, como alimentación para animales tales como cerdos y ganado. El camote es uno de los cultivos prometedores para la obtención de alcohol en el país, debido a que en su composición posee almidón, el cual al ser hidrolizado, puede ser fácilmente fermentable (Martínez, 2016).

El proceso de producir alcohol a partir del almidón de camote consta de una variedad de subprocesos en comparación con la producción de etanol con caña de azúcar, que solo a partir de la molienda se pasa al proceso de fermentación (Mendoza, 2018).

La producción y el consumo de bebidas alcohólicas es una de las actividades más antiguas desarrolladas por el hombre. La elaboración de bebidas alcohólicas presenta la mayor producción para las empresas biotecnológicas, hoy la elaboración de cerveza, vino y destilados son las principales actividades comerciales en muchos países y una importante fuente de ingresos para el gobierno a través de impuestos (Totoy, 2017).

En esencia las bebidas alcohólicas son soluciones aromatizadas de etanol derivadas de numerosas materias primas: cereales (como cebada de la cerveza), uvas y otras frutas (como el caso del vino), o ciertos carbohidratos (como licores destilados). Ciertamente la fermentación alcohólica es un proceso biotecnológico más antiguo realizado por el hombre.

Al inicio la fermentación se utilizó como método de conservación de jugos de frutas, pero después se adoptó para elaborar bioetanol a partir de la fermentación del almidón para posteriormente realizar la destilación del mismo (Martínez, 2016).

Por tal razón este estudio pretende ofrecer a los agricultores una alternativa para aumentar la producción de camote, y comercializar este producto obtenido de sus cosechas ya que en



Algunos casos por la abundancia del cultivo tienden a sufrir un decremento en los precios en los mercados, y al estar en escasos aumenta su valor, y por tanto se pretende generar empleos a los agricultores, favoreciendo el desarrollo sustentable en su beneficio directo.

El sabor dulce que posee el camote se debe a gran parte a la degradación del almidón durante su cocción, que se convierte en azúcar (maltosa). También se encuentra presente otros azúcares como: sacarosa, glucosa y fructosa. En cuanto a proteínas, su contenido es bajo y pese a esto tiene un elevado contenido del aminoácido lisina haciéndole que la harina del camote pueda usarse como complemento de las harinas de cereales. Posee un bajo contenido de grasas y naturalmente libre de colesterol. Entre los minerales se destacan el potasio, fósforo, calcio y hierro (Hernández-Medina et al., 2017).

El procesamiento de almidón es una tecnología que utiliza enzimas de licuefacción y sacarificación, donde se obtiene glucosa que fermenta en etanol mediante levaduras *Saccharomyces* (Mendoza, 2018).

En el proceso de hidrólisis la Glucoamilasa (enzima desramificante), hidroliza los enlaces 1,6 en la cadena para obtener glucosa del gelatinizado de almidón, ya que ambas enzimas tienen el mismo rango de pH óptimo. La glucosa del almidón se utiliza como sustrato en la industria de fermentación y para la producción de jarabe de alta fructosa (Blanca, 2019).

El etanol ha ganado importancia como un aditivo de combustible renovable, el sustrato es el principal componente de costo para la producción industrial de etanol, y es esencial que la producción.

La mayor parte de procesos que realizan hidrólisis de almidón usan la hidrólisis enzimática, esto se debe a las ventajas que ofrece este en comparación con la hidrólisis ácida. Para ello las Alpha-amilasa son las enzimas que realizarían la degradación del almidón que contiene el camote, para así facilitar el accionar de las levaduras que intervendrán en el proceso de fermentación (Totoy, 2017).

Todas las levaduras no presentan la misma sensibilidad al etanol, *S. cerevisiae* es la especie de levadura utilizada por tener mejores resultados para la obtención de etanol a nivel industrial debido a que es un microorganismo de fácil manipulación, no es exigente en cuanto a su cultivo, no presenta alto costo, tolera altas concentraciones de etanol, además en la fermentación produce bajos niveles de subproductos, es osmotolerante y capaz de utilizar altas concentraciones de azúcares.



En este trabajo de titulación se buscó/propuso obtener alcohol a partir de camote, generando así un valor agregado y un uso industrial a esta raíz. Se utilizó técnicas de hidrólisis y fermentación, donde la enzima Alpha-amilasa ayudó a obtener azúcares reductores para facilitar el proceso de fermentación (Hernández-Medina et al., 2017).



OBJETIVOS.

OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar la acción hidrolítica de la enzima y el ácido sobre el sustrato en base al tiempo y contenido de azúcar a escala de laboratorio.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Obtener etanol a partir del almidón del camote (*Ipomoea Batata*) a nivel de laboratorio.
- Cuantificar el contenido de azúcares obtenida en los procesos de hidrólisis.
- Realizar un análisis sensorial del producto obtenido.
- Analizar los costos de producción según la hidrólisis utilizada.



CAPITULO 1

1. CONTENIDO TEORICO.

1.1. El camote

El producto agrícola conocido como batata, boniato o papa dulce, es un tubérculo originario de la zona tropical de Sudamérica, se considera que tuvo sus hallazgos en Perú aproximadamente hace 10000 años desde entonces se ha distribuido a diferentes continentes (Arana, 2016).

Es una planta anual, su periodo de crecimiento corto puede durar entre noventa y ciento veinte días, la parte útil de su raíz tuberosa constituyéndose en el objetivo comercial y así ser cultivado, presenta variedades que se diferencian en base a la coloración de la pulpa presentándose de color blanca, roja, rosa, morada y amarillo pálido o naranja, diferenciándola cada una por su sabor dulce o salado (López, 2017).

A nivel mundial la producción de camote alcanza los 133 millones de toneladas, ubicándolo en séptimo cultivo de productos alimenticios, producido en Asia, África y América latina (Cusumano & Zamudio, 2013).

Tabla 1 Países y regiones productoras de camote (*Ipomoea Batata*)

País	Producción (millones de toneladas por año)
China	120
Sureste asiático	13
África	6
Oceanía	6
América	2.9
Estados Unidos	0.7
Japón	1.5
Nueva Zelandia	0.6
México	0.05

Fuente: (Mendoza, 2020)

El ministerio de Agricultura y Pesca (MAGAP), indica que el Ecuador posee las condiciones climáticas adecuadas para su siembra, siendo así en el año 2009 donde tuvo un cultivo de 1147



Hectáreas, una producción estimada de 3613 toneladas. Su mayor aporte radica en la región costa con un porcentaje de 47 % seguido de la región sierra que tiene un 42 % y finalmente la amazonia con un 11 %, principalmente en las provincias de: Azuay, Bolívar, Cañar, Carchi, Chimborazo, Cotopaxi, Esmeraldas, El Oro, Guayas, Imbabura, Loja, Los Ríos, Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas, Santa Elena y Tungurahua (Naranjo et al., 2016).

El camote es un producto muy competitivo frente a otros cultivos respecto a la calidad nutricional debido al ser importante fuente de calorías, proteínas, vitaminas, empleando principalmente en la alimentación de población rural y urbana, sobre todo en sectores menos favorecidos económicamente. (Navarro, 2019). El camote se adapta a suelos pobres con pocos insumos y aprovechando la poca agua que se encuentra en el suelo (Montero, 2017).

La batata o camote (*Ipomoea batatas*) pertenece a la familia de los convolvuláceas y es originaria de América, esta se siembra de zonas tropicales y subtropicales, su raíz comestible la cual presenta gran contenido de azúcares, carotenos y vitaminas, en la actualidad el cultivo del camote es en más de 100 países y se ha ubicado Ecuador en el quinto lugar en orden de importancia después del arroz, trigo, maíz y yuca. (López, 2017). El centro internacional de la papa y la organización las naciones unidas para la alimentación y la agricultura ha señalado que el camote es una planta rústica y muy versátil, es muy tolerante a diferentes condiciones climáticas que muy pocos cultivos podrían tolerar, lo cual hace importante desde el punto de vista agrícola, industrial y alimenticio. También señala su utilización como alimento sano (Padilla, 2015).

1.1.1. Estudio de la planta: Desde la raíz, hasta el fruto como tal.

Las raíces tuberosas por los contenidos nutricionales son recomendados para la alimentación de bebés a través del uso de papillas. Otra forma de utilización es la elaboración de chifles, preparación de coladas, dulces y conservas (Paredes, 2018).

Descripción botánica del camote

Es una planta perenne, esta presenta una raíz tuberosa redondeada en la parte central o esférica en el extremo distal que mide alrededor de 30 cm de largo y 20 cm de diámetro, con tallo rastrero de color verde, púrpura o en ocasiones rojizo, es cilíndrico de hasta 40 cm de longitud, sus hojas son verdes de forma acorazada, en otros casos hendida con peciolo de hasta 20 cm, sus flores tienen una forma acampanada de coloración blanca o violeta y su fruto es una capsula redondeada pequeña con diámetro de 3 a 7 mm (Padilla, 2015).



- **La raíz** del camote contiene grandes cantidades de almidón, vitaminas, fibras y minerales, entre las cuales se destacan las vitaminas A, B1 y E. Cuanto más amarillas es su raíz, más contenido de beta caroteno posee y, por lo tanto, las batatas de este color son más usadas de Asia y África donde existe la deficiencia de vitamina A entre su población. El sabor dulce se debe a la sacarosa, glucosa y fructosa (Cusumano & Zamudio, 2013).
- **Los tallos** son cilíndricos, la longitud del tallo y de sus entrenudos depende del hábito de crecimiento de cada variedad de camote y de la disponibilidad de agua. Las variedades de crecimiento alcanzan hasta 1 m de largo, el color de los tallos varía totalmente desde verde a totalmente morado (López, 2017).
- **Las hojas** son simples y se disponen en un patrón en el que existen 5 hojas arregladas en espiral, en 2 círculos alrededor del tallo. El perfil de la hoja puede variar desde redondeado, acorazado, hasta triangular y en forma de lanza. Las hojas poseen lóbulos profundos o superficiales tienen un color de verde a morado, su tamaño dependerá de la variedad del camote (Naranjo et al., 2016).
- **La flor** varía según su cultivar, algunos no florecen y en otras ocasiones no producen muchas flores, la flor del camote es bisexual, contiene 5 estambres (órgano masculino) y el pistilo (órgano femenino) (Berrones, 2012).
- **Fruto y semilla:** el fruto es una capsula esférica con una punta terminal, una vez madura se vuelve de color marrón oscuro, y cada semilla es aproximadamente de 3 mm de largo (Naranjo et al., 2016).

1.1.2. Variedades de camote

En la actualidad el Ecuador no dispone de variedades mejoradas de camote. Actualmente el INIAP está en proceso para mejorar este tipo de producto, mientras tanto recomienda la utilización de variedades criollas que mejor se adapten en la zona, que posea demanda en el mercado. Sus variedades se agrupan por el color de su pulpa: naranjada, amarilla, blanca y morada (Navarro, 2019).

Una variedad se distingue de la otra en función de las siguientes características fenológicas: (Paredes, 2018)

- Forma y color de hojas y tallos
- Forma, tamaño y color de los tubérculos
- Según la duración del ciclo del cultivo
- Según su tipo de pulpa y consistencia de la misma



Camote Morado

La forma de su raíz es ovada, con ciertos defectos superficiales, el grosor de la corteza es intermedia (2 mm). Follaje denso semirrecta, con tallos principales de 122 cm de longitud, sus entrenudos son cortos de 3 a 5 cm, hojas medianas de 8 a 15 cm, el color de la hoja es verde con los bordes de color morado, el grosor de la corteza es gruesa. El color predominante de la piel es anaranjado pálido, el color predominante de la pulpa es de color crema (Montero, 2017).

Camote Anaranjado

Producida mayormente en la provincia de Manabí, de follaje poco denso y disperso, con longitud de tallos principalmente de 177 cm, con abertura de suelo medio, sus entrenudos varían entre 3 a 5 cm, y su diámetro intermedio 7 a 9 cm, sus hojas medianas de 8 a 15 cm de longitud, el color de la hoja madura es verde con borde morado. (Berrones, 2012) La forma de la raíz es ovada con defectos de hendidura longitudinales. El color predominante de la piel es de color anaranjado, el color predominante de la pulpa es anaranjado intermedio.

Camote amarillo

De follaje denso y disperso, con tallo de hasta 58 cm de longitud, sus entrenudos son cortos de 3 a 5 cm y su diámetro de 5 a 7 cm, sus hojas medianas de 8 a 15 cm, el color de su hoja madura es de color verde, la forma de su raíz es elíptica con defectos de constricciones horizontales superficiales; el grosor de la corteza es intermedia 2 a 3 mm. El color predominante de la piel es anaranjado con intensidad, el color de la pulpa es de color amarillo o anaranjado con intensidad intermedia. (Paredes, 2018)

Camote blanco

Este fue introducido desde Perú, bajo la denominación de Mohc, con tallos de 207 cm de longitud, sus entrenudos de 3 a 5 cm con un diámetro grueso de 10 a 12 cm, sus hojas medianas de 8 a 15 cm, el color de la hoja es verde, inmadura amarillo-verde (López, 2017). La forma de la raíz es oblonga con defectos de pequeñas constricciones horizontales superficiales, la corteza gruesa 3 a 4 cm. En la piel predomina el color crema pálido, el color predominante de la pulpa es amarillo pálido. (Padilla, 2015).



1.2. Taxonomía del camote:

El camote pertenece a la familia *Convolvulaceae* que agrupa aproximadamente 50 géneros con 100 especies, de las cuales unas 600 corresponden al género *Ipomoea*, incluida 13 especies silvestres. (Naranjo et al., 2016)

El camote posee las siguientes características taxonómicas:

Tabla 2. Características taxonómicas del camote

Reino	<i>Plantae</i>
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Subdivisión	<i>Angiosperma</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Convolvulaceae</i>
Género	<i>Ipomoea</i>
Sección	<i>Batatas</i>
Especie	<i>Ipomoea batata</i>

Fuente: (Mendoza, 2018)

1.3. Composición del camote

La fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER) mediante su base de datos la composición por cada 100 g de camote amarillo:

Tabla 3. Composición del camote general

Nutriente	Cantidad
Energía	114
Proteína	1.10
Grasa total (mg)	0.10
Colesterol (mg)	-
Glúcidos	28.8
Fibra (g)	1.10



Calcio (mg)	19
Hierro (mg)	2.10
Yodo (µg)	-
Vitaminas A (mg)	10
Vitamina C (mg)	48
Vitamina D (µg)	-
Vitamina E (mg)	0
Vitamina B12 (mg)	-
Folato (µg)	0

Tabla 4. Composición del camote global

Vitaminas	Mg	Minerales	Mg	Energéticos	Gr
Carotenos	4	Sodio	19	Proteína	1.8
Triptófano	0.4	Potasio	320	Grasa	0.6
Niacina	0.8	Calcio	28	Carbohidratos	21.5
Tiamina	0.1	Magnesio	13	Fibra	2.5
Riboflavina	0.06	Fosforo	47	Azúcar	9.7
B2					
Vitamina B3	0.94	Hierro	0.7	Almidones y Dextrinas	11.8
Vitamina B5	0.22	Cobre	0.1	Agua	70
Ácido fólico	52	Zinc	0.2		
Biotina	-	Cloro	64		
Vitamina C	25				

Fuente: (Totoy, 2017)

1.4. Propiedades organolépticas de la materia prima:

Sabor: La principal característica que posee la batata o camote es dulzura, esto se debe a la presencia de algunos azúcares en estado crudo como la sacarosa, glucosa y fructosa, en algunos casos se ha encontrado maltosa, la cantidad de estos azúcares varían según los tipos de camotes, por ejemplo, el camote de pulpa morada es más dulce que el camote de pulpa



anaranjado (Cusumano & Zamudio, 2013). En el camote cocido la concentración de maltosa aumenta debido que la cocción provoca la degradación del almidón, que es convertida en maltosa y dextrina.

La maltosa está formada por la unión de dos unidades de glucosa, este aumento de concentración de maltosa es la causa que el camote cocido sea más dulce que la cruda (Montero, 2017).

Textura interna: En promedio la batata tiene un 30 % de materia seca y el restante es agua, es decir, un 70%. La materia seca dependerá del clima, tipo de suelo. La incidencia de plagas y enfermedades, la mayoría de esta materia seca constituye los hidratos de carbono, siendo el principal componente del almidón. (Padilla, 2015). La sensación de sequedad o humedad no es sino un reflejo de las características organolépticas, depende del contenido final del almidón y fibra que quedará en el camote después de cocinarlo (Berrones, 2012).

El color: Se debe por pigmentos antocianinas (colores morados) y carotenoides (colores crema, amarillos y anaranjados). El color que tiene la pulpa que muestran distintas variedades de camote puede ser morado, blanco, crema y naranja, con conclusiones o pigmentaciones rojas o moradas, que se disponen en varias formas en uno o varios círculos, una mancha central, o pequeñas manchas distribuidas irregularmente (Naranjo et al., 2016).

Propiedades químicas del camote

El camote se puede utilizar para consumo directo, se puede llevar a la materia prima a un proceso industrial y a su vez, dentro de la naturaleza sirve de alimento para ciertos animales. Es excelente productor de energía debido a que sus raíces están compuestas principalmente de almidón, cuyo contenido varía de 50-70 % de materia seca, lo que representa aproximadamente el 30 % del peso fresco según los diferentes cultivos. Se lo aplica en el uso medicinal, ya que posee propiedades anticancerígenas, antidiabéticas y antiinflamatorias. Este tubérculo contiene antioxidantes vitamina B6, vitamina C, calcio, hierro, magnesio, fósforo, potasio y zinc; por sus altos índices de vitaminas y minerales es recomendable para todo tipo de consumidor desde los niños hasta personas de la tercera edad (Paredes, 2018).



1.5. Cosecha y post cosecha del camote

El proceso de cosecha y post cosecha fue rescatado del Manual técnico de camote, propuesto por INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuarias).

a) Selección y preparación del terreno

Se debe seleccionar un terreno que tenga acceso a fuentes de agua o con humedad remanente. Usualmente el camote se lo cultiva en suelos con francos arcillosos y el terreno a utilizar se la prepara ocho días antes.

b) Selección de la semilla

Las zonas productoras de camote en Ecuador utilizan mayormente la selección y corte de guías en plantaciones establecidas, ya que provee una semilla vegetativa de entre dos a tres meses de edad, vigorosa, sana y libre de plagas.

c) Época de siembra

En la costa se establece como buena época de cultivo una vez terminada la fase lluviosa que reside entre Abril - Mayo, o de igual manera, se puede realizar el cultivo en época de verano, pero mediante controles de riego, entre Junio - Agosto. Sin embargo, para la sierra y amazonia toda época es apta para el cultivo.

d) Siembra

En terrenos preparados con labranza mínima, se inicia rompiendo y ablandando el suelo con un pico o pala, a una profundidad de 10 cm, siguiendo la dirección de la cinta de riego por goteo. Luego, se ingresa la semilla de aproximadamente 30-40 cm, para posteriormente cubrir con tierras las tres cuartas partes de la guía dejando la última sin enterrar. Es muy importante realizar la siembra en un suelo húmedo en capacidad de campo.

e) Resiembra

Se debe realizar a los 15 días de la siembra, en casos cuando el prendimiento es menor al 85 %. En esta parte del cultivo se observa daños de la planta, tales como marchitamiento. Sin



embargo, es una parte del método que no genera inversión y a su vez, pone una desventaja al momento de comercializar.

f) Requerimiento hídrico

Para el cultivo de camote se necesita una precipitación de entre 500-600 mm durante todo su tiempo en suelo. Para ella, existen métodos alternos, como mantener una humedad remanente mediante diferentes sistemas de riego, tales como la gravedad, goteo y aspersión. Es muy importante considerar el clima en esta etapa, ya que, dependiendo de la radiación, viento y humedad, se calculará el tiempo que dure el agua en el suelo.

g) Densidad poblacional

Es recomendable sembrar las guías de camote a una distancia de un metro entre surcos por cincuenta centímetros entre plantas. Este arreglo poblacional permite una buena distribución de plantas, y a su vez permite que cada planta tenga capacidades iguales de competir.

h) Aporque

Esta labor se efectúa con la finalidad de romper la costra y remover el suelo, posteriormente levantar la tierra hacia la base de la planta para dar forma al camellón y así no causar daños a las guías.

i) Cosecha

Se puede definir a la madurez del camote entre los 120-150 días después de la siembra, esto considerando también todos los parámetros a controlar a lo largo de su ciclo. Cuando se llega al proceso productivo, se corta el riego treinta días antes de la cosecha.

j) Curado y almacenamiento

Se ubican las raíces tuberosas a humedad relativa de 80-85 % y a una temperatura de 25-35 °C por cinco a siete días, luego se procede a almacenar hasta el consumo. Se ha determinado que durante el acondicionamiento y almacenaje se puede perder entre un cinco y diez por ciento por efecto de deshidratación y procesos de respiración. Parte de los almidones se transforma en azúcares lentamente durante el almacenamiento. Por esta razón, las raíces de las variedades



tipos blandas, quedan mucho más dulces y muestran una consistencia más suave después de su acondicionamiento y almacenaje, comparándolo con las recién cosechadas.

1.6. Producción de camote en Ecuador

Ecuador ha sido como centro secundario de diversidad genética de *Ipomoea batata*.

La producción de camote por regiones y provincias del Ecuador se muestran en la tabla adjunta, y en ella se encuentra los siguientes:

Por orden porcentual, se observa que la amazonia representa el 54.9 %, la sierra un 27.3 % y la costa 17.8 %. El rendimiento promedio nacional es de 1883 kg/ha; la costa sobrepasa a esta cifra en 108,2 % y la sierra en 28,4 %; mientras que el rendimiento de la Amazonía es inferior en 49 %.

Tabla 5. Producción de camote en Ecuador

Región	Producción
Provincia	Toneladas
Sierra	1032
Azuay	79
Bolívar	87
Cañar	37
Carchi	25
Chimborazo	49
Cotopaxi	96
Imbabura	112
Loja	180
Pichincha	350
Tungurahua	17
Costa	1094
El Oro	N/A
Guayas	252
Manabí	842
Amazonía	823
Morona Santiago	585
Napo	18
Pastaza	213
Sucumbíos	7



Orellana	N/A
TOTAL NACIONAL	2949

Fuente: (Naranjo et al., 2016)

1.7. Usos del camote

El camote se destina a la alimentación humana y animal como consumo fresco, y en productos elaborados con harina, almidón, alcohol, jarabes, glucosa y como colorante.

1.8. Almidón

El almidón es la reserva de carbohidratos más abundante en las plantas y se encuentra en las hojas, flores, frutos, semillas, diferentes tipos de tallos y raíces. El almidón es usado por las plantas como fuente de carbono y energía. El almidón se almacena y moviliza durante la germinación de las semillas, maduración en los frutos y en el brote de los tubérculos. Las principales fuentes de almidón son los cereales con un (40 % a 90 %), las raíces (30 % a 70 %), los tubérculos (65 % a 85 %), las legumbres (25 % a 50 %) y algunas frutas inmaduras tales como plátano o los mangos, el cual contiene aproximadamente el 70 % de almidón por peso seco.

1.8.1. Generalidades

El almidón o fécula, es la fuente de almacenamiento más importante en las plantas desde el punto de vista nutricional debido a su volumen de consumo, disponibilidad y precio. Se denomina almidón al producto extraído de semillas como: trigo, maíz, arroz, entre otros. Existen otros procedentes de órganos subterráneos como: yuca, papa, camote, entre otros y son conocidos como fécula.

Los almidones presentan picos de viscosidad bajos, al hinchamiento de los gránulos es moderado y alcanzan temperaturas altas de gelatinización, por el contrario, las féculas se hinchan rápidamente a temperaturas bajas y presentan picos altos de viscosidad.

El almidón es la segunda biomasa más grande producida en la tierra. El almidón se compone de amilosa y amilopectina. El almidón con alto contenido de amilosa produce películas fuertes y es adecuado para la fabricación de plásticos biodegradables, y el almidón de gránulos pequeños es un relleno de película de polietileno.



1.8.2. Composición química

El almidón consiste de dos polisacáridos químicamente distinguibles: la amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces α (1-4), en la cual algunos enlaces α (1-6) pudiendo estar presentes. Estas moléculas no son solubles en agua, pero pueden formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas por puentes de hidrogeno y formar una estructura helicoidal que es capaz de desarrollar una coloración azul por la formación de un complejo con el yodo. Mientras que la amilopectina es un polímero ramificado de unidades glucosa unidas en un 94% a 96% por enlaces α (1-4) y en un 4% a 6% con uniones α (1-6). Dichas ramificaciones se localizan aproximadamente a cada 15-25 unidades de glucosa. La amilopectina es parcialmente soluble en agua caliente y en presencia de yodo produce un color rojo violeta (Gallo, 2016).

Tabla 6. Composición química promedio de Camote

Fuente	Humedad	líquidos	Proteínas	Fósforos	Cenizas
Maíz	13	0.60	0.35	0.015	0.10
Papa	19	0.05	0.06	0.10	0.40
Trigo	14	0.80	0.40	0.060	0.15
Maíz	13	0.2	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.70	0.30	----	0.08
Sagú	----	0.10	0.10	0.020	0.20
Camote	13	0.05	----	----	0.10

Fuente: (Cusumano & Zamudio, 2013)

1.9. Hidrólisis enzimática

La hidrólisis es una reacción en la que se rompe un enlace covalente en dos subunidades por medio de la adición del equivalente a una molécula de agua; se agrega un átomo de hidrógeno a subunidad y un grupo hidroxilo a la otra.

La hidrólisis enzimática es el proceso en el cual tiene por objetivo la transformación del almidón de las materias primas amiláceas en azúcares. Dicha transformación es catalizada por enzimas cuya función es romper las moléculas de almidón (Berrones, 2012).



1.9.1. Fuentes y tipos de enzimas utilizadas

La hidrólisis enzimática es el proceso que tiene por objetivo la transformación del almidón de las materias primas amiláceas en azúcares. Esta transformación es catalizada por enzimas, cuya función es romper las moléculas de almidón. Las enzimas a utilizar serán de dos tipos (α -amilasa y Glucoamilasa).

La alfa-amilasa es una enzima hidrolítica, es decir que rompe los enlaces de hidrógeno, se caracteriza por atacar los enlaces 1,4- α -glucosídicos en el centro de la cadena de los polisacáridos, por lo que se le conoce como Endo amilasa, produciendo glucosa, maltosa y oligosacáridos. Su nombre sistemático es α -1,4-glucan-4 glucanohidrolasa.

1.9.2. Condiciones del sustrato (almidón)

La α -amilasa es una enzima termoestable, el promedio de temperatura es alrededor de 70 y 90 ° C, trabaja con un pH óptimo de acción dentro del rango de 5-7, siendo de 6,5 la α -amilasa bacteriana y pancreática; su mejor rendimiento se obtiene con una concentración de calcio de entre 50 ppm y 100 ppm para.

1.9.3. Proceso de hidrólisis

La enzima α -amilasa es su accionar degrada la amilasa en maltosa y pequeños compuestos de glucosa, transformando así una sustancia inicialmente viscosa como es el almidón en una sustancia dulce y menos viscosa debido a los productos formados. Sin embargo, esta enzima solo es capaz de degradar parcialmente la amilopectina y el glucógeno debido a que no es capaz de desdoblar los enlaces glucosídicos 1.6 encontrados en los puntos de ramificación de la cadena del polisacárido.

1.9.4. Licuefacción

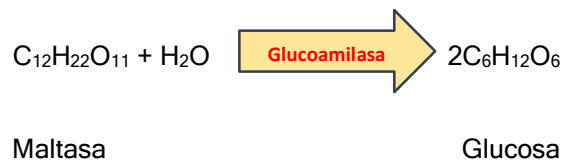
Es el primer paso en la producción de glucosa, la concentración del almidón debe ser del 45 % y este es calentado para gelatinizarlo. En la actualidad existen α -amilasas termo resistente producido por *Bacillus licheniformis* que permiten efectuar la gelatinización y la licuefacción simultánea (Gallo, 2016).





1.9.5. Sacarificación

Los procesos enzimáticos para la producción de glucosa requieren de una segunda etapa después de la licuefacción del almidón. Esta etapa se efectúa con la enzima conocida como amiloglicosidasa o Glucoamilasa. Esta enzima es solo de origen bacteriano (Machado, 2016).



1.9.6. Amilasas

Usaremos la Glucoamilasa, esta enzima también llamada exohidrolasa ya que actúa sobre el terminal de la molécula; su nombre sistemático es 1,4- α -D-glucano glucohidrolasa. Se obtiene del hongo *Aspergillus Níger* y actúa sobre las dextrinas produciendo glucosa en lo que se traduce en una aceleración de la fermentación. (Florez, 2018) La enzima Glucoamilasa tiene la capacidad de hidrolizar tanto los enlaces α (1,4) como α (1,6) glucosídicos de moléculas de almidón; su acción prolongada puede causar ruptura total del polisacárido, el principal producto final de la acción de la Glucoamilasa sobre el almidón es la glucosa, lo que diferencia claramente de la alfa y beta amilasa. Su actividad máxima entre pH 4 y 5.5 y temperatura de 55-65° C (Miranda, 2015).

La velocidad de reacción cae rápidamente a medida que disminuye el tamaño de la molécula de sustrato sobre almidones previamente sometidos a licuefacción (Gallo, 2016).

1.10. Hidrólisis ácida

Para la hidrólisis del almidón se utilizan ácidos como el clorhídrico, sulfúrico, fosfórico, carbónico, fórmico, láctico, tartárico o cítrico. La hidrólisis se lleva a cabo a temperatura de ebullición, para lo cual se usa el baño María. El ácido cataliza los enlaces glucosídicos del almidón, por lo que ese formará una gran variedad de oligosacáridos, los cuales se convierten en glucosa. El tiempo es un factor determinante, a mayor tiempo transcurrido se presenta una mayor hidrólisis del almidón, por tanto, mayor número de grupos reductores (Florez, 2018).



Esto se determina con la utilización de ácido 3.5. Dinitrosalicílico, que reacciona con los grupos reductores y se convierte en ácido 3-amino-5-dinitrosalicílico, compuesto anaranjado, cuyo color se detecta en un espectrofotómetro, mediante su absorbancia a 540 nm.

1.10.1. Fuentes y tipos de reactivos usados

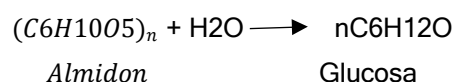
El almidón ya sea sometido con ácido clorhídrico o ácido sulfúrico, sufre una serie de modificaciones, donde las regiones amorfas asociadas con moléculas de amilopectina, son más susceptibles a la degradación que las regiones cristalinas (Machado, 2016).

Los enlaces α -D-1,4 tanto de la amilosa como de la amilopectina son menos estables al ataque del ácido que los enlaces α -D-1,6. (Scheineder, 2017). El rompimiento de los enlaces no ocurre al azar, ya que, al realizar la hidrólisis ácida, el primer producto en aparecer es la D-glucosa, seguida de disacáridos y trisacáridos, esto es debido a que los enlaces terminales de las moléculas son rápidamente hidrolizados, y por tanto aparece inicialmente la glucosa. El porcentaje de degradación dependerá de la concentración del ácido, la temperatura el tiempo de hidrólisis. Los ácidos más usados para la producción de dextrinas son el ácido clorhídrico, el ácido nítrico y el ácido sulfúrico (Miranda, 2015).

1.10.2. Proceso de la hidrólisis

La hidrólisis ácida consiste en un tratamiento con ácidos añadidos al almidón, el cual se encarga de romper en cadenas cortas de dextrina el almidón; es conocido como grado de degradación y el mismo dependerá de la concentración del ácido, la temperatura y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y la viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta; las temperaturas menores a 160 °C proveen una adecuada hidrólisis con poca descomposición de azúcares; los ácidos más utilizados son el clorhídrico y el sulfúrico (Machado, 2016).

Mediante la hidrólisis ácida obtendremos la siguiente reacción:



El mecanismo de la hidrólisis ácida incluye:

- a) Difusión de los protones de la matriz del sustrato
- b) Protonación del oxígeno en los enlaces monoméricas de los azúcares



c) Ruptura del enlace

La hidrólisis usualmente se refiere a la acción de ácidos sobre almidones, y pueden subdividirse en la acción de ácido sulfúrico que produce la llamada amilo dextrina y ácido clorhídrico que conducirá a los almidones (Scheineder, 2017).

1.10.3. Ácidos para hidrolizar

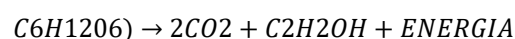
Actualmente no se usa ácido sulfúrico debido a que el producto terminado se forma sulfatos de calcio insoluble. Este fue reemplazado por ácido clorhídrico ya que el producto obtenido finalmente obtendrá una buena apariencia y por tanto el ácido clorhídrico presenta menos complicaciones durante el procesamiento (Florez, 2018).

1.11. Fermentación alcohólica.

La fermentación alcohólica es la degradación de azúcares en alcohol y dióxido de carbono, que actúa en un medio anaerobio (Miranda, 2017). Por lo tanto, es un proceso biológico por la actividad de microorganismos (Cobos, 2019).

Cuando se refiere a la acción de fermentación, una idea de la etapa más crítica en la fabricación de bebidas alcohólicas, ya que está sujeta a un número de variables o parámetros a considerar que generaran el medio adecuado para el proceso fermentativo (Lopez, Zumalacarregui, & Perez, 2019).

Se puede obtener varios tipos de productos fermentados, tomando en cuenta el tipo de sustrato, el microorganismo utilizado y los parámetros de control en el proceso. Usualmente es la familia de levaduras de genero *Saccharomyces cerevisiae*, la cual tiene las características adecuadas para convertir glucosa en etanol y dióxido de carbono (Miranda, 2017). Viene dada por la siguiente ecuación:



1.11.1. Parámetros que influyen en la fermentación

Temperatura.



La temperatura óptima de fermentación, yace en un rango de 30-40 ° Celsius, esto debido a que el desarrollo de levaduras se activa bajo estos rangos y si la temperatura aumentara, descompondría al microorganismo y a su vez se generarían compuestos secundarios, fuera de también tener un menor rendimiento en cantidad alcohólica (Mendez, 2020).

Aireación.

El medio se mantiene en un proceso anaeróbico, es decir, que no exista la entrada de aire en la fermentación. Para ello existen equipos especializados encargados de generar un vacío, ya sea en el proceso o una vez comenzada la etapa de reposo. (Mendez, 2020).

Nutrientes.

Una de las características principales y fundamentales de las levaduras, es que se alimentan de los azúcares, los cuales son fuentes de carbono y energía para la misma. Por lo tanto, dichos azúcares deben encontrarse en concentraciones superiores a los 20 g/L, para que el proceso de fermentación sea mucho más eficaz. Sin embargo, además de alimentarse de glucosa, también existen sustancias nitrogenadas, sales y vitaminas que pueden estar contenidas en el medio o que pueden ser añadidas para el mismo desarrollo de las levaduras (Miranda, 2017).

Compuestos químicos de acción negativa.

Pueden existir compuestos que juntos con la acumulación de los propios productos de la fermentación pueden actuar como inhibidores del crecimiento de las levaduras. Estas se pueden hallar de forma natural (taninos) o artificial (pesticidas, SO₂, etc.) (Miranda, 2017).

pH

El pH es el encargado de determinar el tipo de sustrato que van a metabolizar las bacterias, por lo tanto, a pH bajos utilizarán ácido málico, aunque exista la presencia de azúcares, mientras que a pH más altos suelen utilizar preferencialmente los azúcares. Por ello es importante determinar el rango óptimo del proceso, el cual se recomienda en un rango de entre 2,8 a 3,8 (Miranda, 2017).

1.11.2. Microorganismos utilizados en la fermentación

Para un mejor resultado en el proceso de fermentación, se debe elegir correctamente el microorganismo a utilizar, el cual debe tener ciertos criterios a considerar (Mendez, 2020), tales como:

- La velocidad de crecimiento debe ser alta.



- La cepa utilizada debe ser estable y libre de contaminantes.
- Debe ser de fácil conservación por largos periodos de tiempo.
- Tiempos de proceso corto y completo.
- Costo reducido

Dentro del más utilizado, se encuentra la familia del género *Saccharomyces*, quien contiene a la levadura y el microorganismo eucariota más estudiado. Las levaduras son los microorganismos más importantes y más ampliamente utilizados en la industria (Mendez, 2020).

1.12. Levadura

Las levaduras son microorganismos eucariotas unicelulares pertenecientes a la división *Ascomycota*. La mayoría de ellos son anaerobios facultativos lo que implica que en condiciones anaerobias obtienen la energía mediante fermentación. Además, tiene un amplio uso en la industria alimentaria y biotecnología. El 96 % de la producción industrial de etanol la realizan diferentes especies de levaduras por su alta productividad al momento de convertir azúcares y por su fácil separación después de la etapa de fermentación (Cuví, 2020).

1.12.1. Tipos de levadura.

Levadura prensada: Conocida también como levadura fresca. Se conserva en medios fríos y viene prensada en bloques de pasta, se diluye antes de usarla.

Levadura seca: Sellada al vacío, deshidratadas y granuladas. Pueden añadirse directamente al medio de fermento y posee un tiempo de vida más elevado.

Levadura química: Mediante la acción de sustancias químicas, se logra el mismo efecto que con las levaduras biológicas, usualmente con un emulsionante artificial contenido en algunas harinas leudantes, por lo tanto, no se usa una levadura (Raffino, 2018).

1.13. Destilación

La destilación simple es aplicable en los sistemas que contengan líquidos orgánicos de puntos de ebullición bastante diferenciados, por ejemplo, sistemas agua-metanol. La destilación es una operación utilizada con el fin de purificar y aislar líquidos orgánicos generalmente. Se aprovecha las volatilidades y puntos de ebullición de los componentes líquidos a separar (Romero, 2008).

El líquido se destila desde la matriz de destilación, ocurriendo en primer lugar la vaporización, estableciéndose el equilibrio líquido vapor. Parte del vapor se condensa en la parte del matraz,



pero la gran parte pasa por la salida lateral condensándose debido a la circulación del agua fría por el tubo refrigerante, a este producto se le conoce como, destilado y a la porción que queda en el balón de destilación, manteniendo continuamente una gota de condensado en el bulbo del termómetro. Para evitar el sobrecalentamiento de los líquidos es necesario introducir en el balón, núcleos de ebullición y mantener constante el ritmo de destilación (Chang, 2010).

Ya que la destilación simple consiste en la separación de uno o varios componentes de una mezcla líquida cuyos puntos de ebullición difieren entre sí en un rango suficientemente marcado de al menos 25 °C y deben ser inferiores a 150 °C (Gualán & María, 2014).

El líquido a destilar se coloca en un matraz, para después, mediante la adición de calor impulsar la vaporización. Una vez establecido el equilibrio líquido-vapor, parte del vapor se condensa en las partes del matraz, y el resto pasa por la salida lateral, para después condensarse por efecto del enfriamiento ocasionado por el agua fría que circula por un tubo refrigerante que forma parte del equipo en esta operación (Chang, 2010).

1.13.1. Tipos de destilación

En la destilación existen muchas formas de separación de mezcla, cada una de ellas depende mucho de las sustancias que se separaran, de los equipos que se utilizan los más importantes son: (Marcilla Gomis et al., 2013)

- **Destilación fraccionada:** Este procedimiento para separar mezclas de distintos líquidos en virtud de sus diferentes puntos de ebullición (Torres, 2015).
- **Destilación al vacío:** Este se realiza a baja presión, en estas condiciones los puntos de ebullición disminuyen algunos productos de punto de ebullición alto que se descomponen si se destilan a presión normal pueden en cambio ser destilados al vacío a baja temperatura sin sufrir descomposición.
- **Destilación por arrastre de vapor:** Se refiere a paso directo de agua a través del líquido a destilar, se utiliza para los productos que no son miscibles con agua y para aquellos cuyo punto de ebullición es mayor de 100 °C (Villaverde, 2016).
- **Destilación molecular:** Se emplea en productos particularmente sensibles y valiosos, mediante un aparato especial el líquido solo se calienta muy brevemente y el vapor se condensa con gran rapidez (Marcilla Gomis et al., 2013).



- **Destilación lenta:** Proceso de gasificación de hulla, lignito, turba y madera por calefacción lenta a 500-600 °C en ausencia de aire, por tanto, es posible el desprendimiento de los componentes de alquitrán.
- **Destilación vínica:** La realizada a partir del mosto para obtener alcohol etílico. Los vapores procedentes de la caldera pasan a una columna de destilación fraccionada, más tarde los vapores etílicos pasan a un condensador y a un refrigerador, obteniéndose finalmente alcohol etílico (Villaverde, 2016).
- **Destilación por lotes:** También llamada destilación por cargas, es el proceso de separación de una cantidad específica de una mezcla líquido en productos. Este proceso se utiliza ampliamente en laboratorios y en las unidades pequeñas de producción, donde la misma unidad puede tener que servir para muchas mezclas. Cuando existen n componentes en el material de alimentación, será suficiente una columna por lotes, donde se requiere n-1 columnas de destilación continua simples (Torres, 2015).
- **Destilación continua:** Es una separación en curso en la cual una mezcla se alimenta continuamente (sin interrupción) al proceso y las fracciones separadas se eliminan continuamente como flujos de salida (Villaverde, 2016).

1.14. Productos de bioetanol.

Conforme a la ley de promoción y desarrollo de las bioenergéticas, los biocombustibles se definen como combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de actividades agrícolas, silvícola, residuos de pesca, mico organismos de enzimas, y sus derivados producidos por procesos tecnológicos sustentables (Perales, 2018).

En la siguiente tabla se presenta la clasificación por generación dependiendo de la materia prima empleada en su elaboración (Ruiz & Maite, 2016).

Tabla 7 Clasificación en generación de biocombustibles

Generación	Materia prima	Producto	Ventajas	Desventajas
Primera	Insumos alimenticios (caña de azúcar,	Etanol, metanol, diésel y biogás	Facilidad de procesamiento, baja emisión de Gel	Desvió de recursos alimenticios hacia la



	remolacha, maíz)			producción de bioenergéticas
Segunda	Residuos agrícolas y forestales (Bagazos de caña, sorgo)	Etanol, metanol, diésel e hidrogeno	No existe desviación de alimentos hacia bioenergéticas	Poca disminución de los Gel con respecto a la primera generación.
Tercera	Insumos vegetales no alimenticios (algas verdes, arboles)	Diésel y etanol	Utilización de CO2 para la producción de insumos.	Utilización de tierras de cultivo destinadas para sembrar insumos.

Fuente: (Elizabeth, 2012)



CAPITULO 2

2. METODOLOGIA DE ESTUDIO

2.1. Localización del estudio.

La experimentación fue llevada a cabo en los laboratorios de reactores, operaciones unitarias y el laboratorio de cárnicos de la Universidad de Cuenca. En las mismas se efectuaron los análisis físicos y químicos requeridos.

2.2. Tipo de estudio.

El diseño de investigación fue del tipo experimental ya que este consistió en la manipulación y control de una diversidad de variables con la finalidad de observar los efectos producidos al conseguir etanol a base del camote.

Los análisis físico-químicos consistieron en los siguientes parámetros: pH, °Brix, acidez titulable, contenido de azúcares, contenido de alcohol y demás propiedades para la obtención de etanol.

2.3. Materiales, equipos y reactivos.

Los materiales, equipos y reactivos requeridos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 8. Materiales, equipos y reactivos utilizados

Materiales							
Materiales comunes	Materiales de laboratorio	Material de envase	Equipos	Insumos	Reactivos		
Cocina Industrial	Vasos de precipitación	de Botellas de vidrio	Equipo de destilación	de Levadura (<i>Saccharomyces Cerevisiae</i>)	Enzima Alpha amilasa	-	
Ollas de acero	Varilla de vidrio	de Botellas de plástico	Balanza digital	Camote (<i>Ipomoea Batatas</i>)	Meta bisulfite de sodio		



Colador	Bureta	Recipiente s plásticos	pH-metro	Alcohol etílico	Ácido cítrico Monohidrata do (97%)
Lienzo de tela	Brixómetro		Espectrofotómet ro	Azúcar	Agua destilada
Cuchara de madera	Probetas		Cámara de Neubauer		Solución de Lugol
Balde plástico	Alcoholímet ro				Fenoltaleína
	Termómetr o a escala 10-100°C				Hidróxido de sodio 0.1N
	Pipetas				Ácido sulfúrico concentrado
	Tubos de ensayo				Solución de fenol al 5%
	Balones de aforo de (250,100,1 000) ml				Ácido Clorhídrico
					Winnick
					Fenol (20%)

2.4. Descripción del proceso de obtención de almidón de camote

2.4.1. Recepción de materia prima

Para la de extracción del almidón se realizó la recepción el camote en óptimas condiciones, (ningún tipo de cuerpos extraños libre de tierra y material vegetal), realizada la limpieza de sus raíces. Se debe observar que este tubérculo se encuentre entero y lo más fresco posible.

2.4.2. Lavado y pesado

Mediante el proceso de lavado se eliminó la tierra y las impurezas que pudieron estar adheridas a las, por lo cual se empleó agua potable para esta operación. La cascarilla será desprendida por fricción de unas raíces con otras durante el proceso de lavado.

2.4.3. Troceado



Se realizó pelado y troceado utilizando cuchillos de corte u otros utensilios

2.4.4. Molienda o desintegración

Se realizó la molienda en una licuadora industrial con el objetivo de desmenuzar las raíces y romper las paredes celulares liberando el gránulo de almidón contenido dentro del tubérculo de camote, obteniendo de esta manera una pasta homogénea compuesta de fibras, jugo de camote y almidón, donde la piel y a las fibras se les conoce como pulpa mientras que al jugo del almidón de las raíces de camote se le conoce como lechada. La eficiencia de esta operación determinara en gran parte el rendimiento total de almidón en el proceso de extracción; ya que, si el molido no es suficiente, no se logrará separar totalmente los gránulos del almidón de las fibras y demás componentes presentes en la raíz y por lo tanto el rendimiento del almidón será bajo ya que existirá una pérdida alta de almidón en el desecho. Pero si la molienda es demasiada fina los gránulos del almidón sufrirán daños físicos y más tarde un deterioro enzimático.

2.4.5. Filtración.

Una vez obtenida esta masa pastosa se dejó reposar 30 minutos, se filtró para separar la pulpa o material fibroso de la lechada de almidón, extrayendo de esta manera la lechada de la cual el almidón saldrá más adelante.

2.4.6. Sedimentación

Una vez filtrado se lo dejó en reposo por 24 horas. Cuando el camote es lavado y colado se obtiene almidón y fibra fina. Se utilizaron recipientes para separar los gránulos de almidón de la lechada. El cual se irá sedimentando, separándose así el almidón del líquido sobrenadante, por lo cual se dejará reposar durante un día, tiempo en el cual se obtendrá el almidón sedimentado en la parte inferior del recipiente.

2.4.7. Secado

Se deshidrató el almidón húmedo obtenido durante las etapas anteriores por medio de la exposición de calor una vez que se haya recolectado todo el almidón obtenido durante la etapa de sedimentación de los tanques de una manera higiénica y saludable. Para lo cual se utilizó un secador de bandejas metálicas en el que la eliminación de la humedad presente se realizará por medio de la exposición del material húmedo al aire caliente a una temperatura de secado de 60 °C y si su peso es constante este proceso será finalizado.



2.4.8. Molienda y Tamizado

Una vez secado el almidón obtenido se recogió y se introdujo a un mortero cuyo objetivo es disminuir su tamaño debido a que durante la etapa de secado se obtiene una fracción gruesa y luego de esto procederá la etapa de cernido o tamizado con el fin de obtener un grano más fino y una muestra homogénea.

2.4.9. Empaque y almacenamiento

Una vez extraído, pulverizado el almidón será almacenado en fundas de polietileno y se deberá guardar en un lugar seco y fresco para su posterior control y verificar que la calidad del producto este dentro de los parámetros y cumpla con las necesidades para poder realizar las siguientes etapas para la obtención de etanol.

Para identificar al almidón obtenido se sometió a la normalización de la solución con Yodo como indicador.

2.5. Procedimiento para la elaboración de almidón de camote.

Para esta experimentación se partió con 30 libras de camote, debido a que el mismo tiene un bajo contenido en almidón.

- Recepción de materia prima: Se pesó 30 libras de camote amarillo sin ningún proceso previo.
- El camote pasó por un proceso de selección, donde se retiraron todos aquellos que presentaban daño en la superficie o que hayan estado cercanos al proceso de pudrimiento, esto con la finalidad de obtener mejores resultados
- Una vez hecha la selección, se procedió a realizar un pelado manual de todo el camote, primero retirando la cascara y luego cortando en cubos de 4-5 cm aproximadamente.
- Los cubos cortados pasaron por un proceso de lavado, para remover cualquier tipo de interferencia.
- Una vez lavados, se procedió a licuar los cubos de camote junto con el doble de cantidad en agua.
- Retiramos el resultado previo de la licuadora para pasarlo por un proceso de filtrado, para obtener un producto netamente líquido.
- El líquido resultante se colocó en bandejas y se dejó reposar durante 24 horas, esto permitió la precipitación del almidón.



- Una vez pasada las 24 horas, se retiró todo el líquido sobrenadante y se observó una capa superficial blanca, que viene a ser el almidón húmedo.
- Se realizó un lavado del almidón y posteriormente se lo dejó en reposo durante una hora, con el fin de remover cualquier partícula de suciedad o del propio camote sólido.
- Una vez pasada la hora, se retiró el adicional de agua del lavado, y se procedió a retirar el almidón de las bandejas, para colocarlas en otras de tipo metálico.
- Ya encontrando el almidón húmedo en las bandejas metálicas, se le pasó al mismo por un proceso de secado a 65 grados Celsius durante 6 horas.
- Acabado el tiempo se procede a triturar el almidón vía manual para tener partículas más pequeñas y que sea más práctico la etapa de tamización. Es importante recordar que se usó guantes, para no propiciar humedad en la muestra previamente secada.
- Una vez triturado se pasa por tamices de 106, 75, 69 y 54 nm respectivamente, esto con el fin de separar la parte granular, del polvo fino del almidón.
- La parte final tamizada en el tamiz de 54 nm se guardó en fundas Ziploc, para evitar la entrada de humedad.
- Se aplicó el método de determinación de yodo, usando el almidón obtenido como indicador y al momento de adicionarlo, existió un cambio de coloración, demostrando así que se obtuvo almidón puro.

2.6. Proceso de inversión de azúcares

2.6.1. Mezclado

El proceso consiste en la acción de diluir el polvo fino de almidón en agua destilada. Previamente se realizan ensayos para conocer qué cantidad de almidón es el óptimo para ser pesado y de esta forma conocer su concentración en dilución.

2.6.2. Gelatinización

Consiste en que los gránulos son insolubles en agua fría, pero pueden contener agua al aumentar la temperatura, es decir los gránulos de almidón sufren el proceso dominado por la gelatinización. Durante este proceso se produce la lixiviación de la amilosa, la gelatinización total se produce normalmente dentro de un intervalo de temperatura. En los ensayos realizados se produjo la gelatinización a los 60°C.

2.6.3. Reposo

Se deja enfriar a la muestra, hasta que llegue a temperatura ambiente, esto con el fin de evitar cualquier interferencia con la vía de hidrólisis usada.



2.6.4. Hidrólisis ácida

Para que se produzca esta la celulosa es transformada con las soluciones de ácido cítrico y ácido clorhídrico concentrado.

Para poder realizar la fermentación se trabajó en medio líquido y para que eso suceda se sometió a la solución a presiones altas para que exista ese cambio de estado.

2.6.5. Filtrado.

Una vez culminado el proceso de hidrolisis, quedó una parte del resultante como gel y el resto como un líquido que predomina al mismo, por lo cual, se procede a realizar una separación, para quedarnos con la parte líquida e inmediatamente pasar al proceso de fermentación.

2.6.6. Almacenamiento.

Se procedió a guardar el líquido en frascos de vidrio transparentes y refrigerarlos hasta 3 ° Celsius.

2.7. Procedimiento de inversión de azúcares

- Se agregó 400 gramos de almidón de camote en 2 litros de agua destilada y se agito la muestra hasta mezclar los dos componentes. Se leyó grados °Brix y pH iniciales.
- A la muestra se le colocó en una hornilla y se controló que la temperatura no sobrepase los 60 ° Celsius. Durante 5 minutos se mantiene dicha temperatura de forma constante.
- Se dejó en reposo durante 20 minutos para tener una temperatura cercana a la del medio.
- La muestra previamente enfriada se le adiciona 3 ml de HCl concentrado por cada 500 ml de solución, Por lo tanto, se diluyo 12 ml de concentrado en 2 litros de solución de almidón gelificado.
- En caso de la hidrolisis con el ácido cítrico se diluye 50 gramos de ácido cítrico en 1000 ml de agua destilada.
- Se dejó reaccionar al acido con la solución de almidón durante 10 minutos y posteriormente trasvasamos el líquido a unos envases metálicos y sellarlos.
- Se colocaron dichos envases en una autoclave eléctrica a presión de 20 PSI, temperatura 130 °C, durante 40 minutos. Una vez acabado dicho tiempo, se someten a los envases a baño María para enfriar el resultante.



- Se filtró a la muestra con un papel WATTMAN tipo estándar.
- Se almacenó al líquido resultante en balones de aforo de 1 litro a una temperatura de 5 Celsius. Se leyó grados °Brix y pH finales obtenidos.

2.8. Hidrólisis enzimática

Para este procedimiento se utilizó la enzima Alpha amilasa, cuyo procedimiento fue:

Se mezcló 20 gramos de almidón en 100 ml de agua, esta mezcla se somete a calor a fuego indirecto una vez que se produce la gelatinización se retira de la fuente de calor y esperamos que se enfríe y colocamos la enzima, no se debe colocar cuando este caliente ya que esto puede desactivar la enzima.

Se dejó en reposo hasta aproximadamente 1 hora en la cual crece la mayor cantidad de enzimas, esto se puede observar mediante el método de Neubauer.

2.9. Método de Neubauer

La cámara de recuento, Neubauer, es un dispositivo de precisión hecho de vidrio óptico especial. Usado para el conteo de células y otras partículas en suspensión bajo el microscopio. Esta es usada principalmente para el conteo de bacterias, este consta de un grueso portaobjeto de cristal, dividido en tres secciones, la sección media cuenta con un rayado fino formando cuadrículas de 3mmx3mm que se identifica fácilmente en el microscopio. (Cruz, 2017)

Los ensayos realizados mediante este método para tener el mejor crecimiento de la enzima fueron los siguientes:

2.9.1. Procedimiento para la preparación del método de Neubauer

Se procedió con el conteo de las levaduras por lo cual:

- Se utilizó 10 µl de cada disolución, se utilizará una micro pipeta
- Se colocó una gota de azul de metileno
- Se utilizó este indicador para identificar las células de la enzima
- Antes de usar el microscopio se colocó en el portaobjeto
- Se procedió a contar las células según el rango de tiempo propuesto

2.10. Fermentación



Para este proceso se colocó 2 litros de muestra en un biorreactor y se tomó en consideración los siguientes parámetros:

Tabla 9. Parámetros de control fermentación

Factores	Características	Observaciones
Levadura	Saccharomyces cerevisiae	Si es seca debe activarse en agua a 30°C y dejar en reposo por 20 minutos
Grados Brix	16-20	Si el brix es muy bajo el grado alcohólico obtenido será bajo, por el contrario, si el brix es muy alto la fermentación no se efectúa, pues la presión osmótica que se ejerce sobre las levaduras es grande y no permite que actúe sobre los azúcares.
pH	3,5-4,5	La levadura trabaja mejor en medio ácido; por lo que deberá ajustarse al mosto a este requerimiento.
Temperatura	35-40	La descomposición de los azúcares produce una reacción exotérmica es decir con desprendimiento de calor. Si la temperatura es muy baja la fermentación es lenta, si la temperatura excede de los 35°C disminuye la acción de las levaduras y si esta aumenta por encima de los 40°C esta se puede detener.
Nutrientes	Nitrógeno	La levadura necesita la presencia de nutrientes para que la fermentación sea correcta, ya que como ser vivo necesita alimentarse para poder trabajar.

2.10.1. Procedimiento para la fermentación en un biorreactor



- Se ingresó la muestra a una temperatura de 30 °C para agilitar el proceso del aumento de temperatura dentro del biorreactor.
- El biorreactor se diseñó para evitar la entrada de organismos que contaminen la muestra.
- El volumen del material a fermentar se mantuvo constante a una temperatura de 40 °C.
- Los niveles de oxígeno disuelto se mantuvieron por encima de los niveles críticos para evitar el crecimiento de organismos aerobios.
- Los parámetros ambientales como la temperatura o pH se controlaron y estar en constante mezclado.
- Se evitó la sedimentación por lo que las paletas deben estar en constante movimiento mientras este en uso el biorreactor.
- Una vez se mantenga constante el Brix se consideró ya fermentado la muestra.
- Retiramos la muestra y dejamos en reposo hasta temperatura ambiente.
- Se mantuvo en refrigeración a la muestra para posterior destilación.

2.11. Método fenol - ácido sulfúrico.

El ensayo colorimétrico más confiable y conocido para carbohidratos es posiblemente el ideado por Du Bois, el cual consiste en realizar una mezcla entre hidratos de carbono y fenol en agua, para su vez adicionar ácido sulfúrico. El calor de la reacción permite que se impulse la deshidratación y por consiguiente los derivados de furfural y de hexosas. Estos productos derivados de la catálisis ácida de los azúcares se condensan con fenoles para dar paso a la formación de complejos de color amarillo anaranjado. (Causil, 2020)

La intensidad de la coloración es proporcional a la cantidad total de carbohidratos presentes en la muestra, lo cual puede ser medido por espectrofotometría a una longitud de 492 nm. (Causil, 2020))



Hexosas a → hidroximetil furfural

Pentosas a → furfural

Para realizar la cuantificación de carbohidratos dentro del espectrofotómetro, hay que considerar que la concentración de las especies absorbentes es proporcional a la absorbancia, por lo que



es necesario elaborar una curva patrón con glucosa como estándar, (Romero & Naranjo, 2019), donde:

$$A = Bx + C$$

A: absorbancia de las diluciones de la curva patrón.

B: pendiente a partir de la ecuación de la linealidad patrón.

X: concentración de carbohidratos.

C: intersección basada en la ecuación de linealidad de la curva patrón. (Romero & Naranjo, 2019)

2.11.1. Procedimiento para el método fenol - ácido sulfúrico

- Se realizaron las diluciones necesarias de las muestras para que puedan ser leídas por el espectrofotómetro.
- Adicionamos 2 ml de la solución de azúcares a cada tubo de ensayo.
- Medimos y agregamos 1 ml de fenol al 5% a la solución de azúcares.
- Medimos 5 ml de H₂SO₄ concentrado y se introdujo en el tubo de ensayo.
- Dejamos en reposo durante 10 minutos.
- Se agitó los tubos de ensayo durante 30 segundos, se presenta una reacción exotérmica.
- Se dejó los tubos de ensayo durante 20 minutos en baño María de agua fría.
- Medimos la absorbancia en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 490 nm.
- Se realizó el ensayo por triplicado para verificar resultados.

Finalmente se realiza los cálculos para determinar el porcentaje de eficiencia de cada hidrólisis aplicada, dado por:

$$\text{Hidrólisis (\%)} = \frac{\text{Azúcares reductores (glucosa)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} (1)$$

De donde:

Azúcares reductoras: Azúcares resultantes posterior al proceso de hidrólisis.

Peso de la muestra: Peso total diluido de almidón.

2.12. Método de Winnick.

Para el desarrollo de este proceso se usan cajas bipetri. Este proceso permite conocer la concentración de etanol que se produce con células inmovilizadas y con células libres en función del tiempo.



2.12.1. Procedimiento para el método de Winnick

- Se colocó 2 ml de la muestra previamente diluida en el compartimiento A de la caja bipetri.
- Se midió 2 ml de carbonato de potasio para posteriormente colocarlo en el compartimiento A de la cada bipetri, con agitación suave mezclar los reactivos.
- Adicionamos 1 ml de dicromato de potasio 0,4 N preparado en ácido sulfúrico y se colocó en el compartimiento B de la caja bipetri.
- Cerramos la caja bipetri herméticamente, utilizando cinta aislante.
- Colocamos las cajas bipetri en el secador de bandejas a una temperatura de 50° Celsius, durante 2 horas.
- Transcurrido dicho tiempo se retiró del secador y posteriormente se removieron los cierres herméticos de las cajas bipetri para destaparlas.
- Colocamos 1 ml de yoduro de potasio 3 N Y 3 gotas de indicador de almidón en la cámara b de la caja bipetri.
- Mezclamos bien los reactivos contenidos en la cámara b
- Valoramos la solución con tiosulfato de sodio 0,1 N con agitación constante hasta que se dé el viraje de color a azul.
- Se registró el volumen de tiosulfato de sodio consumido para posterior uso en cálculos.
- Se realizó el ensayo por triplicado para verificar resultados.

2.13. Método picnómetro para densidad aparente de alcohol.

No se recomienda el uso del picnómetro con una capacidad menor de 25 ml. (Moret-Fernández & López, 2018)

2.13.1. Procedimiento para el método del picnómetro.

- Se limpió el picnómetro con agua destilada o alcohol
- Se aplicó una fina película de vaselina al borde superior de picnómetro para asegurar la hermeticidad de la tapa.
- Se colocó el picnómetro y su tapa en el instrumento de pesaje y anotar.
- Se llenó el picnómetro y tener mucho cuidado, evitar la introducción de burbujas de aire.
- Se colocó el tapón en el picnómetro.
- Pesamos el picnómetro con el líquido dentro de este y anotar.



- Retiramos el líquido y secar el picnómetro y limpiar el exceso con un pañuelo o papel apropiado.
- Se realizó los cálculos.

2.14. Destilación.

2.14.1. Procedimiento de destilación

- Colocamos 100 ml de la solución fermentada en el matraz de destilación.
- Se armó el equipo para destilación simple
- Se abrió la válvula para el paso de agua de enfriamiento que va al condensador.
- Encendimos el sistema de calentamiento hasta una temperatura máxima de 80 °C.
- Observamos el incremento de temperatura a medida que transcurre el tiempo, empleado para ello un termómetro.
- Cuando la medida del termómetro llegó a 80 °C se tomó las medidas pertinentes para realizar la recolección del destilado.
- Una vez estabilizada la temperatura a alcanzar recolectamos todo el destilado hasta un tiempo de 90 minutos.
- Detuvimos la recolección del destilado cuando el termómetro indique una temperatura mayor a 95°C.
- Se apagó el sistema de calentamiento.
- Se determinó la concentración de las distintas fracciones recolectadas.
- Se detuvo el paso del agua de enfriamiento.
- Vaciamos el destilador una vez enfriada la solución residual.

2.15. Evaluación estadística del etanol en base de almidón de camote.

Para la determinación del tamaño de muestra que se le aplicara a la evaluación se procede a aplicar la siguiente ecuación estadística:

$$n = \frac{N\sigma^2 Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2 e^2} \quad (1)$$

Siendo:

n= Tamaño de muestra

N= Tamaño de población total

σ = Desviación estándar

En situaciones donde el valor de la desviación estándar se desconozca, generalmente se toma el valor equivalente a 0.5.



Z= Valor obtenido del nivel de confianza considerado.

El nivel de confianza se fija en función del interés del investigador. Los valores más comunes son 99%, 95% y 90%.

Tabla 10. Nivel de confianza según su porcentaje.

Porcentaje del nivel de confianza	Z
90%	1.64
95%	1.96
99%	2.57

e = Limite aceptable de error muestral.

Estos valores generalmente van desde el 1% (0,001) hasta 10% (0,1) (Aguilar-Barojas, 2016)

Según los datos obtenidos en bibliografía se procede a utilizar los siguientes datos.

Tabla 11. Datos para determinar el tamaño de muestra

N	Nivel de confianza	Z	%error	σ
150	90%	1,64	10	0,5

Fuente: (Autor).



CAPITULO 3

3. Resultados y discusiones.

3.1. Resultado de la obtención de almidón

Desarrollo experimental:**Rendimiento del proceso de obtención de almidón a partir de camote amarillo (Ipomea batata).**

Para el proceso de obtención de almidón, se realizaron varias experiencias, partiendo siempre de la misma cantidad de camote, la cual fue de 30 libras por ensayo, por lo tanto, todos estos cálculos están sometidos a ese peso inicial. Sin embargo, para los cálculos se realiza el análisis solo por triplicado para mejores resultados. (Schneider, 2017)

Tabla 12. Resultados de obtención de almidón en gramos

Peso/ensayo	Ensayo 1(gramos)	Ensayo 2(gramos)	Ensayo 3(gramos)
Inicial de camote		13920	
Posterior a la selección de materia prima y lavado	12712	13370,3	11804
Posterior al pelado	8989,2	11350	8035,8
Previo a la etapa de secado	634,33	1140,32	550,48
Posterior a la etapa de secado	357,79	741,14	291,10
Posterior al tamizado	237,31	550,45	185,31
Almidón granulado	120,48	190,55	105,79

Utilizamos los valores correspondientes del almidón posterior al tamizado y el posterior a la etapa de secado de los 3 ensayos para calcular el % rendimiento, dado por:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{PesoTamiz} \times 100}{\text{PesoPosS}} (2)$$



Donde:

Peso Tamiz: Peso posterior al tamizado

PesoposS: Peso posterior a la etapa de secado

Aplicando la formula, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 13. Resultados de obtención de almidón en % rendimiento

Rendimiento/Ensayo	Ensayo 1(%)	Ensayo 2(%)	Ensayo 3(%)
% Rendimiento	66,32	74,27	63,65

Con los resultados obtenidos podemos darnos cuenta que el mejor rendimiento ha sido con la segunda experiencia obteniendo un % rendimiento del 74,27. Todos los valores fueron obtenidos en base del contenido de almidón una vez pasada el proceso de secado.

3.2. Resultados para la hidrolisis acida y enzimática.

3.2.1. Resultados por hidrólisis ácida con HCl.

Para conocer la cantidad de ácido a utilizar, se realizaron ensayos manteniendo constante la dilución de la muestra de almidón en agua destilada y variando el uso de ácido desde 1 ml hasta 3 ml, con aumentos de 0,5 ml respectivamente. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 14. Resultados para hidrolisis acida con HCl

Muestra	Cantidad de ácido utilizado	° Brix inicial	° Brix final	pH inicial	pH Final
20 gramos de almidón + 100 ml H2O destilada	1 ml HCl concentrado	0	10,0	2,34	2,35
	1,5 ml	1	11,2	2,29	2,31
	2,0 ml	1	12,5	2,20	2,24
	2,5 ml	1	15,4	2,09	2,11
	3,0 ml	1	17,0	2,00	2,04

Según los ensayos realizados la cantidad de ácido clorhídrico a utilizar son de 3 ml, ya que nos proporciona un número optimo en ° Brix para el proceso de fermentación.



3.2.2. Resultados por hidrólisis ácida con ácido cítrico.

Para la segunda experiencia con ácido cítrico, se mantuvo constante la dilución de la muestra de almidón en agua destilada y se varió el uso de ácido desde 10 gramo hasta 50 gramos, con aumentos de 10 gramos respectivamente. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 15. Resultados para hidrolisis acida con Ac. Cítrico

Muestra	Cantidad de ácido cítrico utilizado	° Brix inicial	° Brix final	pH inicial	pH Final
20 gramos de almidón + 100 ml H2O destilada	10 gramos	2,0	7,4	1,71	1,72
	20 gramos	2,4	8,2	1,45	1,47
	30 gramos	3,1	9,0	1,40	1,42
	40 gramos	3,6	12,8	1,31	1,34
	50 gramos	4,0	16,0	1,16	1,15

Según los ensayos realizados la cantidad de ácido clorhídrico a utilizar son de 50 gramos, ya que proporcionó un número optimo en grados Brix para el proceso de fermentación.

3.2.3. Resultados por hidrólisis enzimática con Alpha amilasa

Se realizó 6 ensayos con variaciones en peso de la enzima desde 0,2 g, 0,4 g, 0,6 g, 0,8 g, 1 g y 1,2 g cada 10 minutos. Se observó mediante microscopio el conteo del crecimiento de las enzimas dándonos cuenta que el crecimiento máximo se da a los 60 minutos, sin embargo, a los 40 minutos de la etapa de hidrólisis enzimática podemos observar que el crecimiento se mantiene constante hasta el rango de 60 minutos. (Alajo Sarzosa, 2019).

Tabla 16. Resultados para hidrolisis enzimática con alpha amilasa

Muestra	Cantidad de enzima utilizado	° Brix inicial	° Brix final	pH inicial	pH Final
20 gramos de almidón + 100 ml H2O destilada	0,2 gramos	2	14	5,4	5,4
	0,4 gramos	3,5	16	5,0	5,0
	0,6 gramos	4,1	17	4,9	4,9
	0,8 gramos	4,5	18	4,7	4,7
	1,0 gramos	5,0	20	4,5	4,5
	1,2 gramos	6,0	22	4,3	4,3



Según los ensayos realizados la cantidad de Alpha amilasa a utilizar son de 1,0 gramos, ya que proporciona un número óptimo en grados °Brix para el proceso de fermentación.

3.3. Resultado del análisis de grados °Brix frente al tiempo

Mediante el uso del biorreactor, generando un medio adecuado, tomando parámetros de control, tales como: tiempo de fermentación, temperatura, pH y agitación, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 17. Tiempo de fermentación vs grados Brix de los tres ensayos

Tiempo de fermentación(horas)	°Brix vía acida (Ácido Clorhídrico)	°Brix Vía acida (Ácido cítrico)	°Brix Vía enzimática (Alpha amilasa)
0	17	16	20,0
2	15,2	15,3	18,0
4	14,8	15,0	15,0
6	14,3	14,2	14,0
8	14,0	13,6	13,2
10	13,7	12,5	13,0
24	10,5	12	9,5
26	9,5	11,5	9,5
28	9,1	11,4	9,5
30	8,2	11,2	9,2
32	8,0	11,0	9,2
34	7,9	10,8	9,0
48	7,0	10,0	9,0
50	7,0	9,8	9,0
52	6,8	9,6	8,9
54	6,5	9,0	8,9
56	6,0	9,0	8,7
58	6,0	9,0	8,7
72	6,0	9,0	8,7

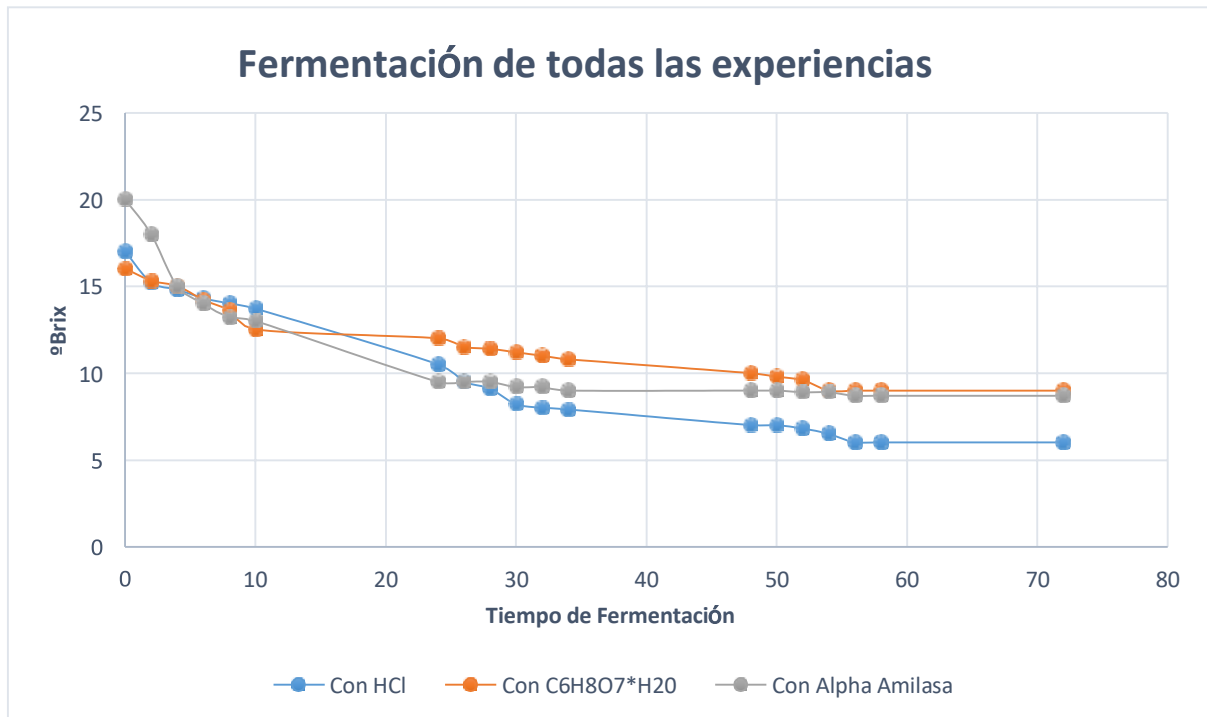


Ilustración 1. Comparación de los tres ensayos

Por la gráfica presentada de los tres ensayos podemos apreciar que obtuvimos un ° Brix mayor en la hidrólisis con HCl y la enzima Alpha amilasa y manteniéndose constante en un intervalo de tiempo de entre 0 a 8 horas aproximadamente. Además, observamos que la etapa de fermentación en los tres ensayos culminó, ya que, pasado cierto periodo de tiempo, uno de los parámetros controlados, el cual fue el ° Brix, se mantuvo constante. Finalmente, podemos decir que el proceso se llevó a cabo de manera eficaz, ya que la gráfica demuestra caídas de ° Brix a lo largo del tiempo, indicativo de que las levaduras están alimentándose por las azúcares obtenidas posterior al proceso de hidrolisis (Hoyos, Urbano, & Villada, 2010).

3.4. Resultado del análisis de cuantificación de azúcares.

El patrón utilizado fue de glucosa, se realizaron ensayos previos para delimitar que concentraciones utilizar, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18. Glucosa en concentración vs absorbancia

Solución de Glucosa	
Concentración (ppm)	Absorbancia (lambda)
0	0,05
300	0,143



350	0,169
400	0,216
450	0,298
500	0,36

Para la gráfica de concentración vs absorbancia se excluyó el blanco, ya que las concentraciones elegidas estaban muy fuera del rango, generando así una desviación estándar poco confiable. Por ello, se obtiene la siguiente curva de calibración, y con ella la ecuación de la recta.

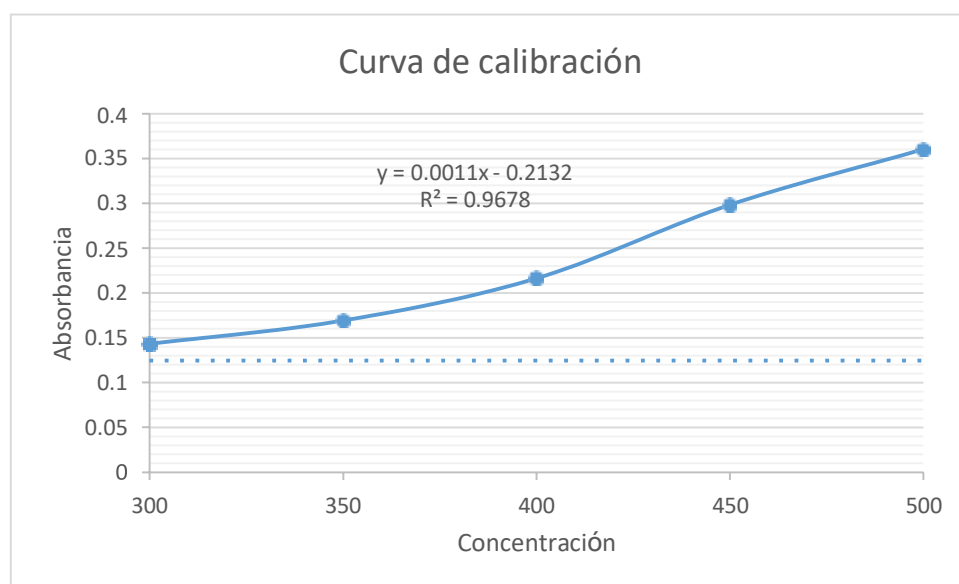


Ilustración 2. Curva de calibración de glucosa mg/L

Para las experiencias con HCl, ácido cítrico y la enzima Alpha amilasa, se realizaron ensayos para elegir la concentración de lectura. Por lo tanto, se decidió trabajar en diluciones de 500 y 1000 ppm, por triplicado, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 19. Resultados obtenidos de concentración de glucosa a partir de la ecuación despejada de la recta de los tres ensayos en ppm

Concentración ppm	HCl (Absorbancia) lambda	C6H8O7(Absorbancia)	Alpha Amilasa (Absorbancia)
500	0,255	0,207	0,236
	0,231	0,198	0,240
	0,249	0,211	0,220
1000	0,251	0,257	0,266
	0,262	0,301	0,332



0,255

0,276

0,288

Luego, mediante la curva de calibración del patrón de glucosa se calcula la concentración, por la ecuación de la recta:

$$y = 0,0011x - 0,2132 \quad (3)$$

Donde:

X: Concentración

Y: Absorbancia

Por lo tanto, se procede a despejar x de la ecuación:

$$x = \frac{y+0,2132}{0,0011} \quad (4)$$

Con los datos de la tabla anterior, se reemplaza “y” por todos los valores de absorbancia obtenidos, teniendo así los siguientes resultados:

Tabla 20. Resultados obtenidos de concentración de glucosa a partir de la ecuación despejada de la recta por diferentes mecanismos de hidrólisis en ppm.

HCl		C6H8O7		Alpha amilasa	
Absorbancia	Concentración (ppm)	Absorbancia	Concentración (ppm)	Absorbancia	Concentración (ppm)
0,255	425,63	0,207	382	0,236	408,36
0,231	403,81	0,198	373,81	0,240	412
0,249	420,18	0,211	385,63	0,220	393,81
0,251	422	0,257	427,45	0,266	435,63
0,262	432	0,301	467,45	0,332	495,63
0,255	425,63	0,276	444,72	0,288	455,63

El promedio de las concentraciones en 500 y 1000 ppm, obteniendo estos resultados:

Tabla 21. Resultados obtenidos del promedio de la tabla 17 de concentración de glucosa de los tres ensayos en ppm.

Concentración en dilución(ppm)	Hidrolisis acida con HCl	Hidrolisis acida con C6H8O7(Concentración calculada ppm)	Hidrolisis enzimática con Alpha amilasa
--------------------------------	--------------------------	--	---



	(Concentración calculada ppm)		(Concentración calculada ppm)
500	416,54	380,48	404,72
1000	426,54	446,54	462,30

Se realiza la contra dilución por cálculos de las tres experiencias, ya que se debe conocer el valor general de glucosa de las muestras, sin estar en dilución. Se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 22. Cantidad de azúcar invertida en g/L

Concentración en dilución(ppm)	Hidrolisis acida con HCl (Concentración g/L)	Hidrolisis acida con C ₆ H ₈ O ₇ (Concentración g/L)	Hidrolisis enzimática con Alpha amilasa (Concentración g/L)
500	213,27	190,24	202,36
1000	218,27	223,27	231,15

Finalmente, aplicamos la formula (1) para conocer el % de hidrolisis, obteniendo los siguientes resultados:

Ensayo 1: 0,545 ≈ 54,5 %

Ensayo 2: 0,558 ≈ 55,8 %

Ensayo 3: 0,577 ≈ 57,7 %

Por lo tanto, podemos afirmar que la mejor inversión de azúcares, ocurrió en vía enzimática, donde se obtuvo un valor de 231 g/L de glucosa. Este resultado positivo se debe a, que existe una mayor actividad enzimática, puesto que la misma, se inoculó directamente en nuestra muestra (agua + almidón) y empezó a transformar la mayor parte de carbohidratos en azúcares fermentables. Además, de que este viene dado con valores menores de absorbancia, los cuales tienen una relación directamente proporcional a la concentración remanente de almidón sin hidrolizar (Yañiquez, 2019).



3.5. Resultado de método Neubauer.

Tabla 23. Conteo de células de Alpha amilasa con Neu Bauer

Tiempo(minutos)	0,2 gramos	0,4 gramos	0,6 gramos	0,8 gramos	1,0 gramos	1.2 gramos
0	2	4	6	8	10	12
10	5	9	16	25	32	41
20	10	19	27	41	52	92
30	17	32	44	56	67	154
40	35	55	92	101	125	201
50	35	56	92	103	130	201
60	36	56	92	103	130	202

El procedimiento de recuento en superficies o profunda requiere mucha inversión de tiempo y materiales que puede verse afectados por la destreza de la persona que realice dicho conteo de enzimas. Podemos observar que el crecimiento de la enzima Alpha amilasa se dará a partir de los 50 minutos manteniéndose casi constante su crecimiento y por tanto el tiempo de espera es en sesenta minutos.

3.6. Resultados de método de Winnick

Para la determinación por el método de Winnick se utilizaron los resultantes del proceso de destilación, donde se obtuvo 12 muestras destiladas entre cabeza, cuerpo y colas en diferentes tiempos, por lo tanto, se decidió realizar el método para cada uno de ellos, teniendo los siguientes resultados en viraje:

Tabla 24. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumidos en el viraje.

Tiempo de destilado(minutos)	Análisis con experiencia HCl	Análisis con experiencia $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$	Análisis con experiencia Alpha amilasa
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ consumidos(ml)			
5	2,2	2	1,3
10	2,9	2,2	1,9
15	2,8	2,9	1,8
20	3,4	3,1	2
25	3,4	3,4	2



30	3,8	3,5	2,6
35	3,6	3,5	2,5
45	3,9	3,5	3,2
55	3,7	3,6	3
65	4,1	3,8	3,8
75	4,6	3,6	3,1
90	4,8	4	3,4

También se realizó el viraje del blanco de las tres experiencias para posterior cálculo, obteniendo lo siguiente:

Tabla 25. Na₂ S₂O₃ consumidos en el blanco

Blanco	Na ₂ S ₂ O ₃ consumido(ml)
HCl	5,4
C6H8O7	4,6
Alpha amilasa	5,6

Luego, se aplica la fórmula de Winnick, dada de la siguiente forma:

$$Etanol \left(\frac{g}{L} \right) = \frac{N \cdot (V_B - V_m)}{V_M} * 11,51$$

De donde:

N: Normalidad del tiosulfato de sodio (0,1 N)

V_b: Volumen de Na₂S₂O₃ consumido en la titulación del blanco (ml)

V_m: Volumen de Na₂S₂O₃ consumido en la titulación de la muestra problema (ml)

V_M: Volumen de muestra utilizada en la experimentación (2 ml)

11,51: Se basa en la reacción Redox, el valor viene del resultado de dividir el peso molecular de etanol para 4.



Aplicando la formula se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 26. Resultados obtenidos de etanol en (g/L) de la destilación en los 3 ensayos

Método de Winnick			
Tiempo de destilado(minutos)	Ensayo 1 HCl	Ensayo 2 Ácido cítrico	Ensayo 3 Enzima Alpha Amilasa
	Etanol(g/L)		
5	36,832	29,926	49,493
10	28,775	27,624	42,587
15	29,926	19,567	43,738
20	23,02	17,265	41,436
25	23,02	13,812	41,436
30	18,416	12,661	34,53
35	20,718	12,661	35,681
45	17,265	12,661	27,624
55	19,567	11,51	29,926
65	14,963	9,208	20,718
75	9,208	11,51	28,775
90	6,906	6,906	25,322

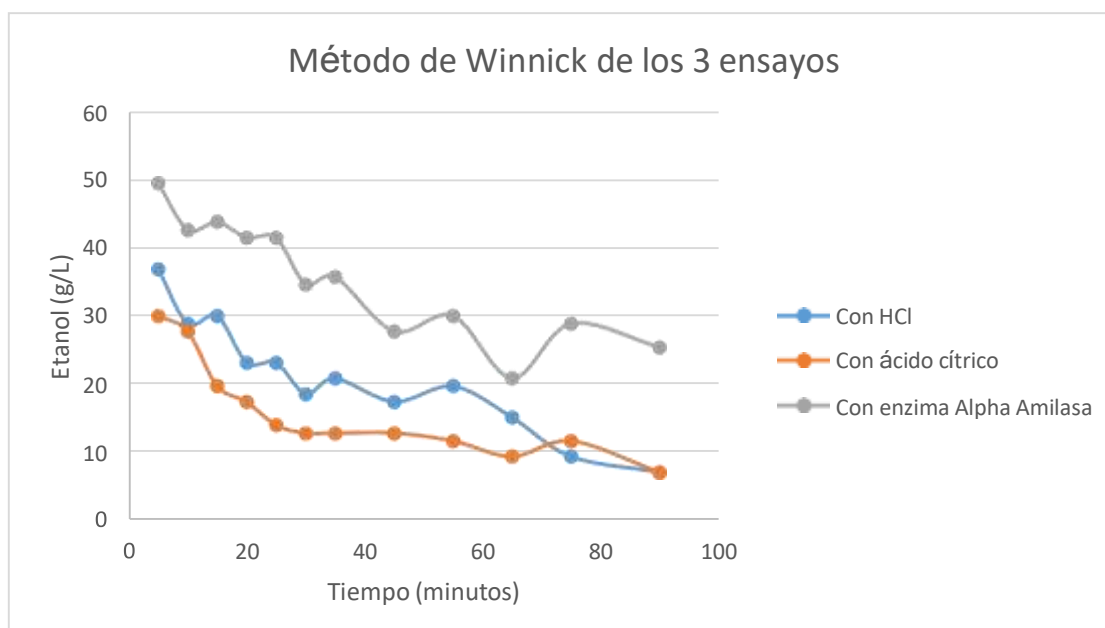


Ilustración 3. Tiempo vs cantidad de etanol de los tres ensayos



Se pudo observar el comportamiento de los tres métodos mediante graficas en función del tiempo de destilación y el contenido de etanol (g/L). De donde, los primeros datos de la cabeza del destilado comprendidos entre 5 a 20 minutos, tienen las mayores cantidades en etanol por gramos por litro. La segunda parte que viene a ser el cuerpo del destilado, tiene y abarca valores constantes en el intervalo de 25 a 55 minutos de etanol en gramos por litro. Finalmente, los valores referentes a la cola del destilado, comprendido en tiempos de entre 65 a 90 minutos, se observa una disminución del contenido de etanol en gramos por litro, ya que a medida que pasa el tiempo de destilación, parte del destilado se arrastra con los vapores de agua, haciéndolo menos puro, esto debido a que, a la misma temperatura de trabajo en la etapa de destilado se pueden evaporar tanto el etanol como el agua, creando así una mezcla azeotrópica, con menos contenido en grado alcohólico a lo largo del tiempo (Veiga, 2016). Esto último se demuestra con la gráfica resultante, donde, a medida que transcurre el tiempo, el contenido de etanol (g/L) es cada vez menor.

3.7. Análisis del método de picnómetro.

Para la determinación por el método de picnómetro se utilizaron los resultantes del proceso de destilación, donde se obtuvo 12 muestras entre cabeza, cuerpo y colas en diferentes tiempos, por lo tanto, se decidió realizar el método para cada uno de ellos, teniendo los siguientes resultados:

Peso picnómetro vacío: 16,9992 gramos

Peso picnómetro + agua destilada: 22,7141 gramos

Tabla 27. Peso del picnómetro más muestra cada ensayo

Tiempo(minutos)	Peso picnómetro + muestra(gramos)		
	HCl	C6H8O7	Alpha amilasa
5	22,5755	22,6545	22,512
10	22,5943	22,6618	22,4979
15	22,5845	22,6623	22,514
20	22,5836	22,6718	22,4991
25	22,5753	22,5773	22,5123
30	22,5791	22,6677	22,5423
35	22,5753	22,6707	22,5315
45	22,6291	22,6697	22,5226



55	22,6291	22,6832	22,5347
65	22,6564	22,6902	22,5126
75	22,6392	22,6824	22,5607
90	22,5873	22,6337	22,5683

Una vez pesadas todos los ensayos se procede a utilizar la fórmula para el cálculo de densidad alcohólica, dado por:

$$\delta_{ga} = \frac{P_{p+m} - P_{pv}}{P_{p+a} - P_{pv}} * \delta_{H20}$$

De donde:

P_{p+m} : Peso picnómetro + muestra

P_{pv} : Peso picnómetro vacío

P_{p+a} : Peso picnómetro + H₂O destilada

D_{H20} : Densidad agua destilada

Aplicada la formula se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 28. Densidad de alcohol en diferentes tiempos del destilado

Tiempo(minutos)	Densidad alcohol (kg/cm³)		
	En Hidrolisis acida con HCl	En hidrolisis acida con C₆H₈O₇	En hidrolisis enzimática con Alpha amilasa
5	0,9757	0,9895	0,9646
10	0,9790	0,9908	0,9621
15	0,9773	0,9909	0,9649
20	0,9771	0,9925	0,9623
25	0,9757	0,9915	0,9646
30	0,9763	0,9918	0,9699
35	0,9757	0,9924	0,9680
45	0,9851	0,9922	0,9664
55	0,9851	0,9945	0,9686
65	0,9899	0,9958	0,9647
75	0,9868	0,9944	0,9731



90	0,9902	0,9928	0,9744
----	--------	--------	--------

Con estos valores, se procede a tabular en una tabla correspondiente a densidad aparente de alcohol vs grados alcohólicos. (Ver anexos). Por lo tanto:

Tabla 29. Concentración de alcohol en cada ensayo en diferentes tiempos del destilado

Tiempo(minutos)	Concentración de etanol (Grado Gay Lussac)		
	HCl	C6H8O7	Alpha amilasa
5	20	8	30,5
10	17	7	32,5
15	18,5	6,8	30,5
20	19	5	32,0
25	20	6	31
30	19,5	6	26
35	20	5	27,5
45	11	5	29,0
55	11	4,5	27,0
65	8	3,5	30,5
75	10,5	4,0	22,5
90	7	5,0	21,5

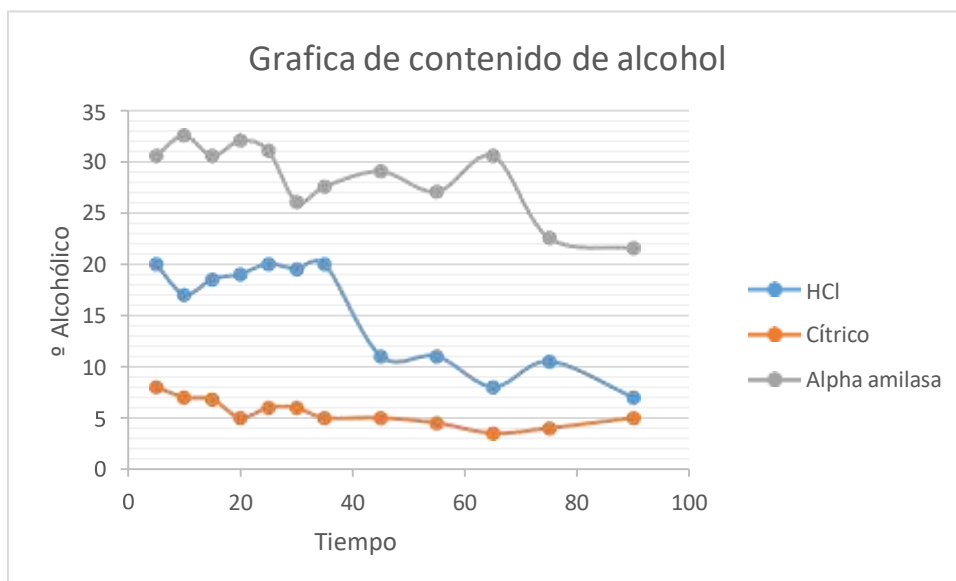


Ilustración 4. Porcentaje de etanol vs tiempo en cada ensayo



Se pudo observar que, los mayores valores en alcohol obtenidos, corresponden a la experiencia con Alpha amilasa, siendo en las primeras muestras de entre 5 a 20 minutos de la misma donde se obtienen grados alcohólicos comprendidos entre 30 y 32 ° respectivamente.

3.8. Análisis de costos para la elaboración de alcohol etílico a partir del almidón de camote

Para la evaluación de costos se consideró los gastos que se han generado por la compra de insumos, el número de unidades producidas, servicios básicos, no se considera los gastos de la mano de obra. Se considera un costo del alcohol etílico a 5.00\$ el litro.

Tabla 30. Costos en la obtención de etanol con ácido clorhídrico

Costos por Insumos Directos con HCl					
	Peso	Unidad	Precio (\$)	Peso utilizado	Costos
Camote	30	Libras	0,5	30	15
Papel filtro	1	Pliego	1,5	1	1,5
HCl concentrado	1	Litro	25	0.6	1,5
Nitrógeno	3	Litro	318,14	1	106,04
NaOH	1	Kg	17,5	0.2	0,35
Costo por material					
Latas metálicas	8	Unidades	0,5	8	4
Tubos de ensayo	12	Unidades	0,05	12	0,6
Costos indirectos de fabricación					
Agua	1	Metro cubico	0,83	0.2	0,16
Luz	1	kWh	0,04	20	1,00
Equipos	0,96	kWh	0,04	72 horas	4,68
COSTO TOTAL					
Unidades elaboradas aproximadamente 100 ml					134,79
Precio por ml					1,3479

Tabla 31 Costos en la obtención de etanol con ácido cítrico

Costos por Insumos directos con Ácido cítrico					
	Peso	Unidad	Precio (\$)	Peso utilizado	Costos
Camote	30	Libras	0,5	30	15



Papel filtro	1	Pliego	1,5	1	1,5
Ácido cítrico	100	gramos	12,32	100	12,32
Nitrógeno	3	Litro	318,14	1	106,04
NaOH	1	Kg	17,5	0,2	0,35
Costo por material					
Latas metálicas	8	Unidades	0,5	8	4
Tubos de ensayo	12	Unidades	0,05	12	0,6
Costos indirectos de fabricación					
Agua	1	Metro cubico	0,83	0,2	0,16
Luz	1	kWh	0,04	20	1,00
Equipos	0,96	kWh	0,04	72 horas	4,68
COSTO TOTAL					
Unidades elaboradas aproximadamente 100 ml					145,65
Precio por ml					1,4565

Tabla 32 Costos en la obtención de etanol con la enzima Alpha amilasa

Costos por Insumos Directos con la enzima Alpha Amilasa					
	Peso	Unidad	Precio (\$)	Peso utilizado	Costos
Camote	30	Libras	0,5	30	15
Papel filtro	1	Pliego	1,5	1	1,5
Enzima Alpha amilasa	100	Gramos	556	20	111,2
Nitrógeno	3	Litro	318,14	1	106,04
NaOH	1	Kg	15,5	0,2	0,35
Costo por material					
Latas metálicas	8	Unidades	0,5	8	4
Tubos	12	Unidades	0,05	12	0,6
Costos indirectos de fabricación					
Agua	1	Metro cubico	0,83	0,2	0,16
Luz	1	kWh	0,04	20	1,00
Equipos	0,96	kWh	0,04	72 horas	4,68
COSTO TOTAL					
Unidades elaboradas aproximadamente 100 ml					244,53
Precio por ml					2,4453



El costo de producción vía ácida con ácido clorhídrico fue de \$134,79 con un contenido de 100 ml y por 1 ml un costo de \$1,34, en la experiencia vía ácida con ácido cítrico obtuvimos un costo de \$145,65 y por 1ml un costo de \$1,45, mientras que con la última experiencia vía enzimática con la enzima Alpha amilasa tenemos un costo por 100 ml de alcohol etílico obtenido de \$244,53 y por 1ml \$2,44, se pudo determinar que existe un mayor costo de producción cuando se usa enzima Alpha amilasa, mientras que el de menor costo fue el obtenido mediante la experiencia con ácido clorhídrico, y el de mayor costo es la experiencia con la enzima.

Estos costos han sido debido al consumo de insumos que elevan este costo tal como es el caso del precio del nitrógeno que se usa en las tres experiencias, pero este es de vital importancia en el proceso de fermentación.

3.9. Evaluación de las encuestas sensoriales

En base a la información expuesta anteriormente se procedió a calcular el tamaño de muestra y aplicar la encuesta de aceptabilidad cuyo modelo se encuentra en el Anexo 10.

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2e^2}$$
$$n = \frac{150(0,5)^2(1,645)^2}{(150-1)(0,1)^2 + (0,5)^2(1,645)^2}$$
$$n = 41$$

Las gráficas presentadas demuestran el grado de conocimiento de los entrevistados acerca de bioetanol y métodos alternos de obtención. Además, muestra la aceptación visual y olfativa resultante de todos los procesos aplicados.

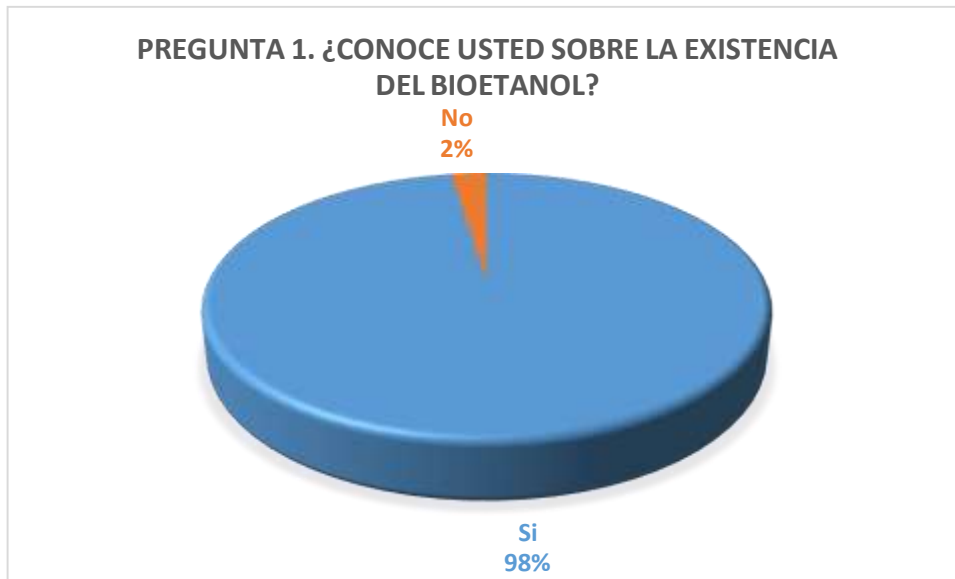


Ilustración 5. Resultado de encuesta de la pregunta uno



Ilustración 6. Resultado de encuesta de la pregunta dos



PREGUNTA 3. ¿HA ESCUCHADO SOBRE LA OBTENCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE ALMIDÓN DE CAMOTE?

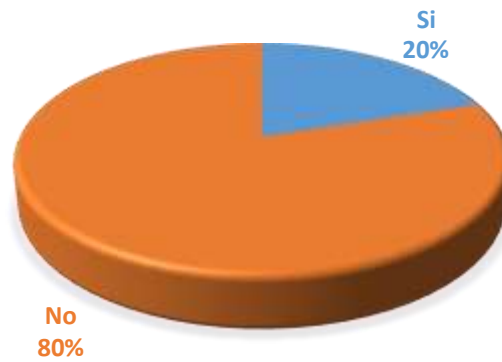


Ilustración 7. Resultado de encuestas de la pregunta tres

Pregunta 4. Grado de aceptación

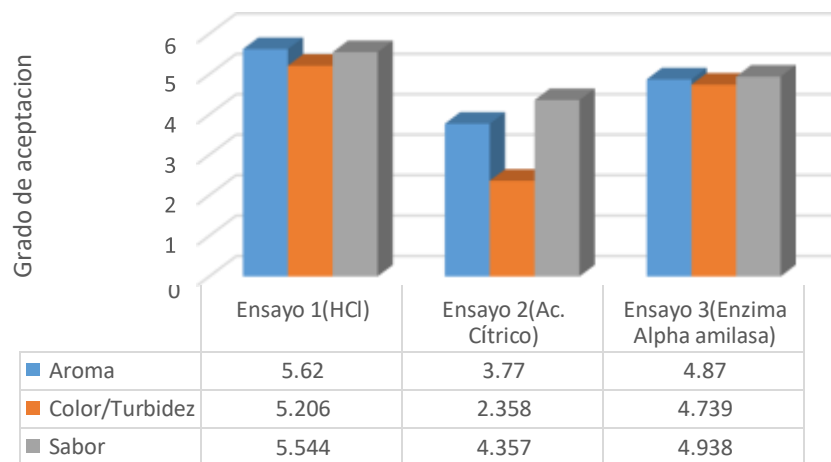


Ilustración 8. Resultado de la encuesta de la pregunta cuatro



CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES

La obtención de almidón fue un proceso extenso, pero a su vez de fácil acceso y preparación. Se realizaron 3 ensayos para determinar el % de rendimiento que tenían los mismos. Partiendo de la misma cantidad de materia prima, se obtuvo en el segundo ensayo el mayor rendimiento de obtención de almidón, siendo este de 74,27 %. La pérdida de porcentaje, se debe al pelado el cual pudo producir mayor pérdida de material; otro motivo es la maduración del tubérculo y el tiempo de licuefacción elevado. Además, se debe considerar, que el porcentaje obtenido es solo referente a la cantidad total de polvo fino de almidón de camote, considerando como el 100 % a la suma del polvo fino con la parte granular del almidón. El de menor rendimiento fue de la tercera experiencia siendo del 63,65 % en rendimiento.

La hidrólisis ácida aplicada, presentó en inversión de azúcares de hasta 213,2727 g/L con HCl y de 223,2727 g/L con ácido cítrico, mediante el método de ácido fenol sulfúrico, mientras que para el caso de la enzima Alpha amilasa, se obtuvo un valor máximo de 236,1515 g/L. Por lo tanto, se pudo afirmar que el mejor método para hidrolizar en función del contenido de azúcares finales, es la vía enzimática, además de considerarse un proceso más sencillo, donde la enzima solo necesitaba que la muestra haya pasado previamente por el proceso de gelificación para ponerla a prueba, a diferencia del método ácido, que se debe trabajar con ayuda de una autoclave, para que los ácidos rompan al gel. Estos valores también se demuestran con la toma inicial de datos en ° Brix, donde se partió con un valor de 20 Brix para el caso de la enzima.

Para la fermentación, ya sea por vía ácida o enzimática, se logró obtener alcohol, previo al proceso de hidrólisis, demostrando que es posible el uso de almidón como método alternativo para obtención de bioetanol.

Además, se realizó un estudio de 72 horas en el tiempo de fermentación, se pudo observar que existe un comportamiento similar en los dos métodos, ya sea vía ácida o enzimática, cuando este alcanza sus 10 horas de tiempo de fermentación, donde los valores fluctúan entre 12-13 °Brix. De la misma manera, la toma de datos constante, indicó que las experiencias al pasar del tiempo, disminuían los °Brix, demostrando así, que existía un consumo de azúcares, mediante la acción de las levaduras contenidas en el medio, ilustrada en la tabla 12.

Dentro de la etapa de destilación, se realizaron dos métodos para demostrar la existencia de etanol en el producto final. Uno de ellos fue el método de Winnick, el cual, una vez realizada la experiencia nos dio como resultado que, en los primeros tiempos de destilación, comprendidos



entre 5 y 10 minutos, es donde se hallaba más contenido en etanol, siendo así de 36,832 g/L para vía acida con HCl, 29,926 g/L para vía acida con ácido cítrico y de 49,493 g/L para vía enzimática con Alpha amilasa. Lo cual indica que el método enzimático es más eficaz, además de encontrar una similitud en las tablas 23, 24 y 25 respectivamente, del contenido de etanol donde se mantiene constante sus cantidades en tiempos de entre 25 a 55 minutos. Es por esto, se aplicó el segundo método, referente a densidades relativas por picnómetro, para así demostrarde otra forma que experiencia tomar en consideración. Gracias a ello, se pudo observar cómo existe una variación de grado alcohólico en función del tiempo para los dos ensayos, donde la enzima comprende valores entre 20 hasta 31 grados Gay Lussac, mientras que, en el caso del HCl, sus valores entran en un rango de 7 hasta 20 grados Gay Lussac, datos demostrados en la tabla 28. Entonces, se confirma que el mejor método de estudio para obtención de etanol, es mediante la ayuda de la enzima Alpha amilasa. La experiencia con ácido cítrico se descarta, ya que a pesar de tener un valor máximo en Winnick de 29,926 g/L, con el segundo análisis, se observó que existe una poca cantidad de alcohol, una vez pasado el proceso de destilación, con valores comprendidos entre 3 hasta 8 grados Gay Lussac.

Con respecto al análisis económico se determinó que la vía acida con HCl es el método más barato, siendo de \$134,79 para 100 ml de producto final. Su costo se justifica por la cantidad del reactivo usado en la hidrólisis. El de mayor costo resulto ser el ensayo con la enzima Alpha amilasa, siendo de \$244,53 para 100 ml de producto final. El costo de producción es proporcional al precio de la enzima, ya que un gramo de esta, cuesta alrededor de \$5,56, aun así, las tres experiencias tienen costos excesivos ilustrados en la tabla 29.

Finalmente, con las evaluaciones de aceptabilidad, se obtuvo resultados positivos para el caso del ensayo 1 con HCl, ya sea en color, sabor y aroma, en diferencia con la de base enzimática. Los resultados en base ácida con Ac. Cítrico son resultados medianamente negativos, siendo su color, la variable menos aceptada por el encuestador.



5. RECOMENDACIONES

Incentivar al sector agrícola sobre el cultivo del camote, ya que este producto ha crecido en su utilización en las industrias, pero no ha sido utilizado en nuestro país.

El estudio del uso del almidón de camote como medio alternativo para la elaboración de etanol es bastante limitado por el cual se recomienda ampliar el estudio del mismo.

Investigar otros métodos para la obtención de almidón y no desperdiciarlo tal como la molienda en vía seca o pulverización.

Para un mejor rendimiento en la obtención del almidón es el pelado químico, para así no tener mayores pérdidas en el tubérculo.

Para lograr un buen rendimiento en los ensayos de hidrólisis ácida, así como enzimática es necesario que el almidón se encuentre en excelente estado y que este sea homogéneo, respetando las cantidades exactas de estos reactivos.

En el proceso de fermentación este debe estar completamente esterilizado con el fin de evitar la contaminación y el desarrollo de microorganismos que alteren el proceso de obtención de etanol.

En el proceso de fermentación e hidrólisis ácida y enzimática ya que se debe monitorear el pH mediante soluciones buffers o amortiguadoras para asegurar el correcto funcionamiento de la enzima y de la levadura de estos procesos.

Ensayar con otro tipo de enzima para tener una comparación con estas dos clases en el proceso enzimático.



6. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, O. O. (2015). *Respuesta del cultivo del camote (Ipomoea batata) a la aplicación de cuatro tipos de abonos orgánicos en la provincia del Carchi*. Universidad Técnica de Babahoyo, 15.
- Alajo Sarzosa, E. P. (2019). *Recuento plaquetario en pacientes con trombocitos mediante comparación de métodos*. 73.
- Arana, K. M. S. (2016). *ELABORACION DE MERMELADA*". 83.
- Arenas, C. A. (2020). *GUÍA OIML G – 14: MEDICIÓN DE DENSIDAD*. Edición 2011 (E). 34.
- Berrones, F. S. B. (2012). *HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DEL ALMIDÓN RESIDUAL EN EXTRACTOS LÍQUIDOS DE CAMOTE (Ipomoea batatas L.), PARA ELABORACIÓN DE MIEL Y ESTUDIO DE SUS PROPIEDADES FUNCIONALES*. 147.
- Blanca, Z. (2019). *"OBTENCIÓN DE BIOFILM A PARTIR DEL ALMIDÓN DE*. 96.
- Aguilar-Barojas, S. (2016). *Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud*. 7.
- Castillo, J. C., Togasi, A. M. G., Islas, T. H., Moreno, M., Alcaráz, A. M., Raya, R., & Murguía, V. R. (2018). *Métodos de Separación y Purificación de Sustancias Manual de Prácticas*. 75.
- Causil, Y. M. D. (2020). *DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AZUCARES, PROTEÍNAS Y NITRÓGENO PRESENTES EN MEDIOS DE CULTIVOS MODIFICADOS PARA EL CRECIMIENTO in vitro DEL HONGO Colletotrichum sp*. 57.
- Chang, I. V. K. (2010). *Br. VILMA ELVIRA CÓRDOVA VALDERRAMA Br. LUZ MARÍA RUÍZ JOAQUÍN*. 82.
- Cruz, J. J. M. (2017). *Evaluación de una bebida alcohólica destilada a partir de dos variedades de camote (Ipomoea batatas) utilizando dos tipos de enzimas*. 79.
- Cusumano, C., & Zamudio, N. (2013). *MANUAL TÉCNICO PARA EL CULTIVO DE BATATA (CAMOTE O BONIATO) EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN (ARGENTINA)*. 47.
- Elizabeth, M. R. (2012). *Obtención de bioetanol por hidrólisis enzimática y fermentación a partir de almidón de vituca (Colocasia esculenta) Lambayeque, 2015*. 105.
- Florez, L. C. (2018). *Obtención de almidón y glucosa a partir de Oca*. 98.
- Gallo, P. R. (2016). *UNIVERSIDAD NACIONAL*. 116.



- Gualán, A., & María, M. (2014). *Implementación de un destilador simple para la obtención de etanol a partir del penco azul (Agave americana) para la planta de alimentos del campus Juan Lunardi Paute*. 86.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2017). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3), 718-726. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300031>
- Lopez, M. (2017). *INIAPPEPM106.pdf*.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4789/3/INIAPPEPM106.pdf>
- Machado, A. (2016). *T-UCE-0017-35.pdf*.
http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1173/1/T-UCE-0017-35.pdf?fbclid=IwAR3ILBNFIL57LBI1_lugoO_nXJu032xmualJmBtBa1OxnUq9Jo9uOqmD_mc
- León, G. (2010). *Evaluación de propiedades físicas de mezclas etanol-agua (II)*. 13.
- Marcilla Gomis, A., Gómez Siurana, A., García Cortés, A. N., & Cayuela Martínez, P. (2013). *Introducción a las operaciones de separación: Cálculo por etapas de equilibrio*. Universidad de Alicante.
- Martínez, C. A. G. (2016). *A mis hermanos, tía y demás familiares que durante tantos años me han brindado su apoyo incondicional*. 69.
- Mendoza, I. S. G. (2018). *AUTOR: JORGE JAVIER LOOR DELGADO*. 58.
- Miranda, A. (2015). *Obtención y características físico y químicas del almidón de camote de cerro*.
https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/6144/OBTENCIONCARAC.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR1dB0yobtYvICcyDHP0OjRKEX9eM1devNhy0o6jwycj0At19PoKVkbHV_A4
- Montero, A. (2017). *Recolección y caracterización morfológica de la colección nacional de camote*. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8901/1/AC-B-ESPE-048130.pdf>
- Moret-Fernández, D., & López, M. V. (2018). *UN MÉTODO SENCILLO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA POROSIDAD DE UN AGREGADO DE SUELO*. 4.
- Naranjo, J., Tacuri, M., Zambrano, C., & Alvarez, F. (2016). *ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CCENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA*. 13.
- Navarro, A. F. B. (2019). *MGS. BETTY AGUILAR ECHEVERRÍA*. 85.
- Padilla, S. N. L. (2015). *RIOBAMBA-ECUADOR 2013*. 87.



- Paredes, M. (2018). *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las variedades del camote para aplicaciones alimentarias*. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/28375/1/AL%20680.pdf?fbclid=IwAR0n8I-bL4jnly3wplrAGgaEo7IK2FcBSn3XG4uDVi937_jMw7Gh1oY7VE
- Perales, C. A. (2018). *DIRECTOR: Dr. Eric Houbron*. 89.
- Pereira Ramos, C. E. (2016). *1.2 Destilación Simple*. 4.
- Romero, D. D. J. (2008). *Cuernavaca, Morelos, México*. 143.
- Romero, P. C., & Naranjo, M. C. (2019). *Ingeniería básica de una planta de producción de fenol a partir de cumeno*. 98.
- Ruiz, V., & Maite, S. (2016). *Obtención de bioetanol a partir de biomasa lignocelulosica presente en la cascarilla del arroz para ser utilizados en equipos motorizados*. 102.
- Scheineder, M. S. H. (2017). *M.Sc. Ivan Pedro Coronado Zuloeta SECRETARIO*. 101.
- Torres, K. A. (2015). *Modelado del rectificadores de Batch. Recuperación Fraccional y avance de Rectificación*. 85.
- Totoy, V. J. T. (2017). *BIOQUÍMICA FARMACÉUTICA*. 97.
- Villaverde, I. C. (2016). *OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES POR DESTILACIÓN EN CORRIENTE DE VAPOR*. 85.
- Hoyos, J., Urbano, F., & Villada, H. (2010). *Determinación de parametros fermentativos para la formulacion y obtencion de vino de naranja*. Popayan. Recuperado el 08 de Febrero de 2022, de <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v8n1/v8n1a04.pdf>
- Veiga, S. (2016). *Actividad experimental para introducir el concepto de azeotropia*. Montevideo. Recuperado el 08 de Febrero de 2022, de <http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/v15n3/E0041.html>
- Yañiquez, J. e. (25 de Abril de 2019). *Determinación de los parametros de temperatura, pH y concetracion para la nueva enzima alpha amilasa*. *Revista Boliviana de Quimica*, 7. Recuperado el 08 de Febrero de 2022, de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000100005&lng=pt&nrm=iso



7. ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 33. Relación entre Concentración de Etanol y Gravedad Especifica Fuente: (León, 2010)

Porcentaje de alcohol	Gravedad específica	Porcentaje de alcohol	Gravedad específica	Porcentaje de alcohol	Gravedad específica	Porcentaje de alcohol	Gravedad específica
0	1.0000	26	0.9698	52	0.9303	78	0.8693
1	0.9985	27	0.9687	53	0.9283	79	0.8666
2	0.9970	28	0.9676	54	0.9263	80	0.8638
3	0.9956	29	0.9665	55	0.9242	81	0.8610
4	0.9942	30	0.9653	56	0.9221	82	0.8528
5	0.9928	31	0.9642	57	0.9200	83	0.8553
6	0.9915	32	0.9630	58	0.9178	84	0.8524
7	0.9902	33	0.9617	59	0.9156	85	0.8494
8	0.9890	34	0.9604	60	0.9134	86	0.8464
9	0.9876	35	0.9591	61	0.9112	87	0.8436
10	0.9866	36	0.9577	62	0.9089	88	0.8402
11	0.9854	37	0.9563	63	0.9066	89	0.8371
12	0.9843	38	0.9548	64	0.9043	90	0.8338
13	0.9832	39	0.9533	65	0.9020	91	0.8305
14	0.9821	40	0.9518	66	0.8997	92	0.8270
15	0.9810	41	0.9502	67	0.8973	93	0.8235
16	0.9800	42	0.9486	68	0.8949	94	0.8198
17	0.9789	43	0.9469	69	0.8924	95	0.8160
18	0.9779	44	0.9452	70	0.8900	96	0.8121
19	0.9769	45	0.9435	71	0.8875	97	0.8079



20	0.9760	46	0.9417	72	0.8850	98	0.8036
21	0.9750	47	0.9399	73	0.8824	99	0.7989
22	0.9740	48	0.9381	74	0.8799	100	0.79389
23	0.9729	49	0.9362	75	0.8773		
24	0.9719	50	0.9343	76	0.8746		
25	0.9708	51	0.9323	77	0.8720		

Anexo 2.

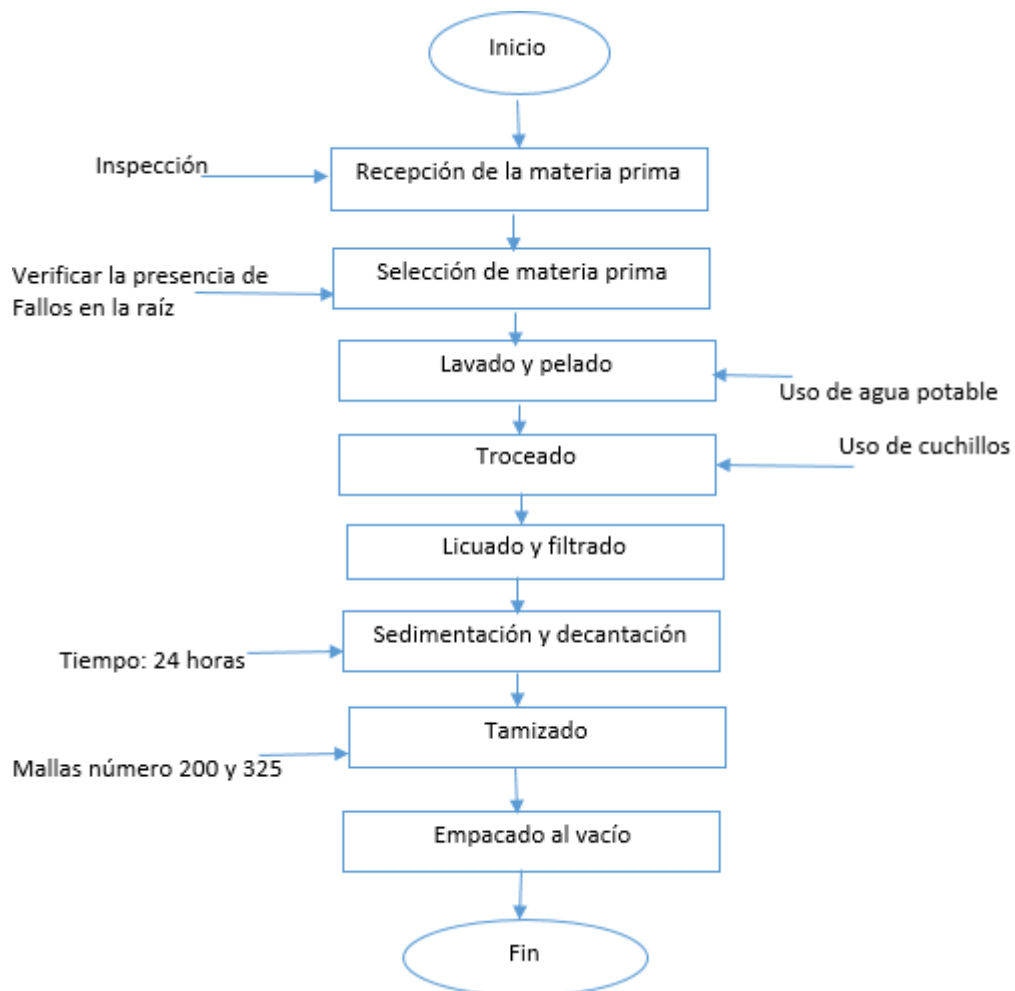


Diagrama 1. Proceso de la elaboración de almidón de camote



Anexo 3.

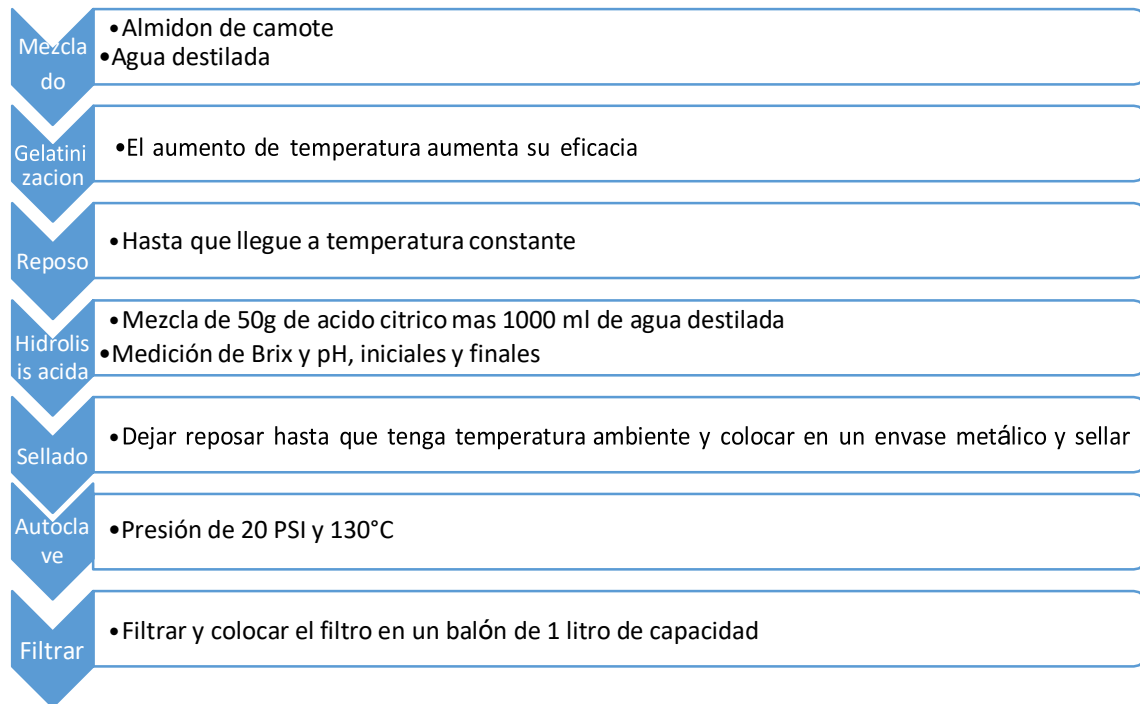


Diagrama 2. Proceso para la inversión de azúcares con ácido cítrico.

Anexo 4.

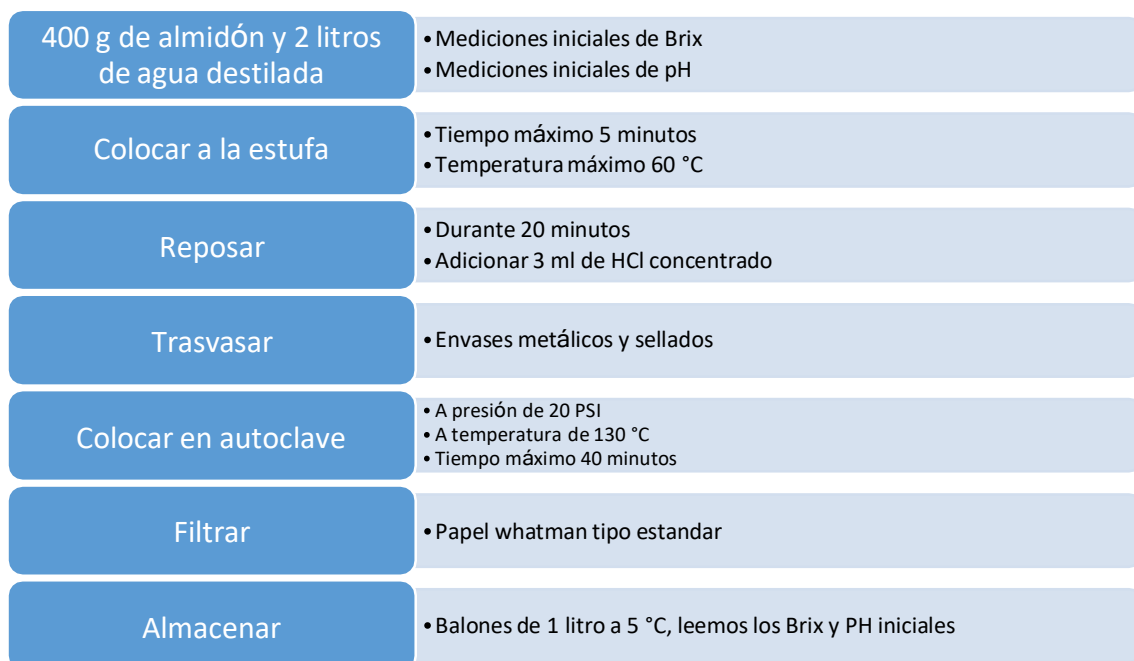


Diagrama 3. Proceso para la inversión de azúcares con ácido clorhídrico



Anexo 5.

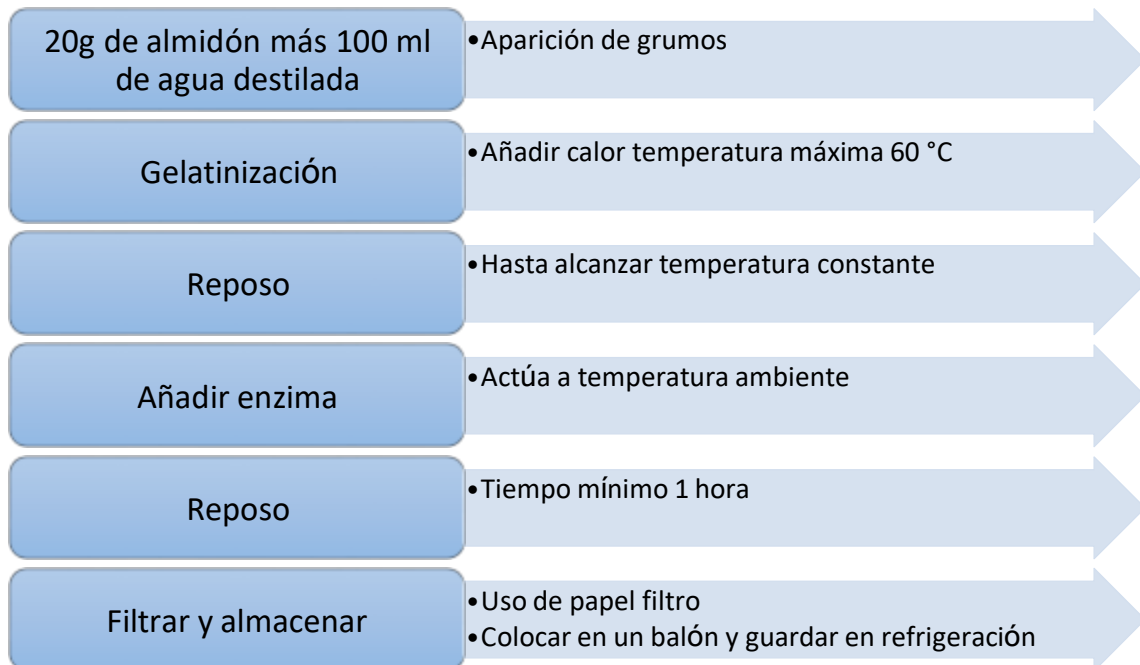


Diagrama 4. Proceso para la inversión de azúcares con enzima alpha amilasa

Anexo 6.

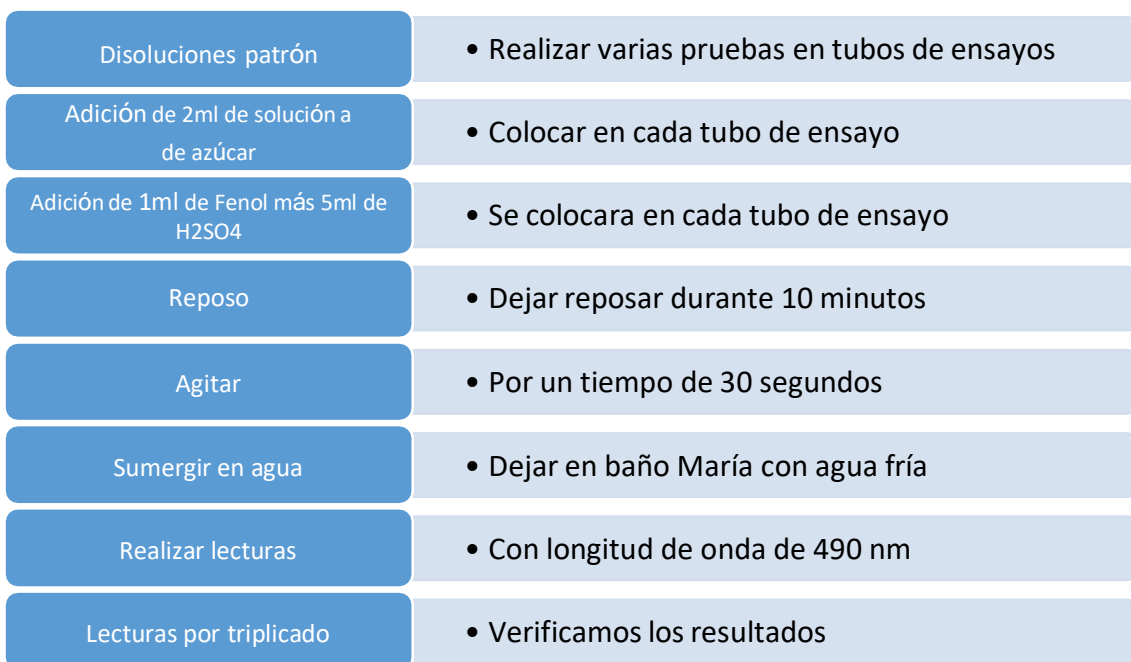


Diagrama 5. Proceso para el método fenol-sulfúrico



Anexo 7.

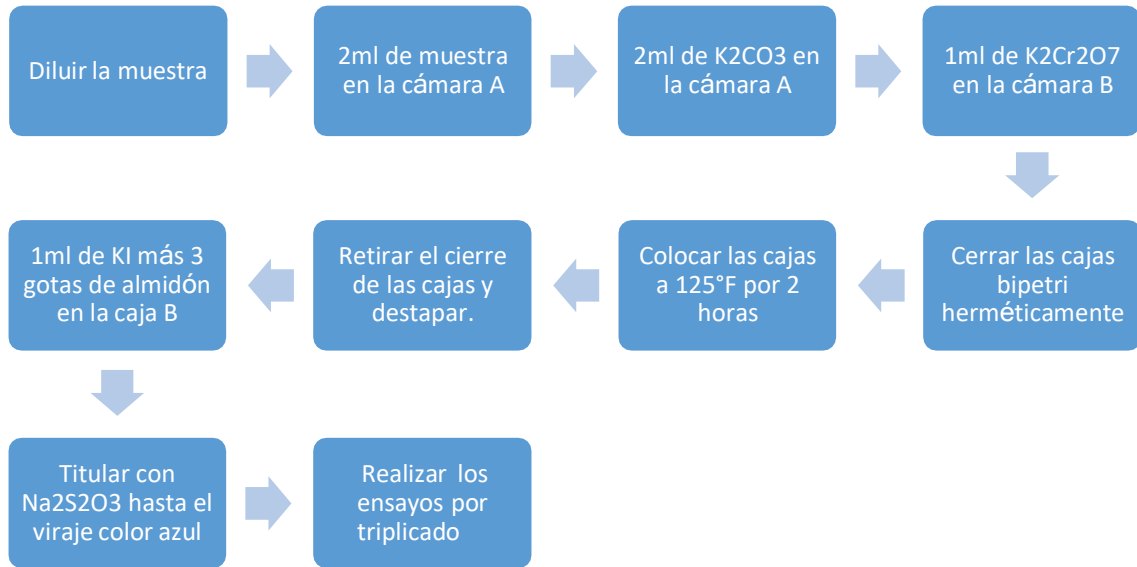


Diagrama 6. Proceso para el método de Winnick.

Anexo 8.

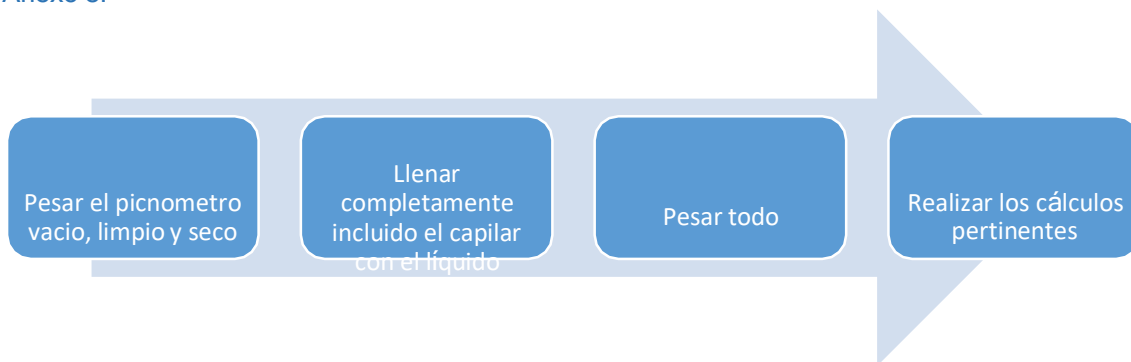


Diagrama 7. Proceso para el método de picnómetro para densidad de alcohol



Anexo 9.

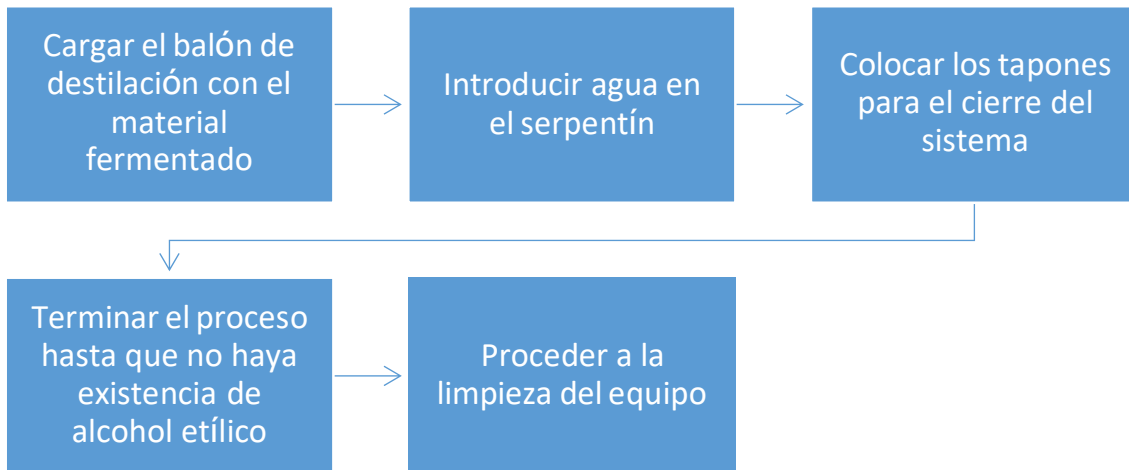


Diagrama 8. Proceso para la destilación simple



Anexo 10.

UNIVERSIDAD DE CUENCA

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

ENCUESTA DE ACEPTACION SENSORIAL DE BIOETANOL A PARTIR DE ALMIDON DE CAMOTE DIRIGIDA A PUBLICO EN GENERAL.

La presente encuesta tiene como objetivo determinar el grado de aceptabilidad sensorial de un método alternativo de obtención de bioetanol. El producto consiste en la obtención de etanol a partir de almidón de camote, mediante la acción de tres procesos diferentes, se pretende obtener un criterio del público, al analizar varias características del producto final, mayoritariamente visuales y en base a esto, reconocer que ensayo fue el más aceptado.

El tiempo estimado para realizar la encuesta es de 2 minutos. ¡GRACIAS POR SU COLABORACION!

Datos:

Género: Masculino: ____ Femenino: ____ No especifica: ____

Edad: ____

1. ¿Conoce usted sobre la existencia del bioetanol?

Si ____

No ____

En caso de ser negativa su respuesta, dar por terminada la encuesta.

2. ¿Qué tipos de fuentes de bioetanol conoce?

Insumos alimenticios (Caña de azúcar, remolacha, maíz) _____

Residuos agrícolas (Bagazo de caña, sorgo) _____

Insumos vegetales (Algas verdes, arboles) _____

3. ¿Ha escuchado sobre la obtención de bioetanol a partir de almidón de camote?

Si ____

No ____

4. Marque con una X para indicar su nivel de agrado correspondiente a las características estudiadas del bioetanol, de acuerdo a la siguiente escala:

6	5	4	3	2	1
Excelente	Aceptable	Moderadam ente aceptable	Poco aceptable	Regular	Inaceptable



Ensayo 1

Características	Evaluación					
	1	2	3	4	5	6
Aroma						
Color						
Sabor						

Ensayo 2

Características	Evaluación					
	1	2	3	4	5	6
Aroma						
Color						
Sabor						

Ensayo 3

Características	Evaluación					
	1	2	3	4	5	6
Aroma						
Color						
Sabor						

5. ¿Tendría en cuenta a este bioetanol como fuente alterna de combustible en porcentaje 5% en mezcla con combustibles comerciales, con el fin de reducir el impacto ambiental?

Sí _____

No _____

6. ¿Qué ensayo piensa usted que fue el más fácil y económico de obtener?

Ensayo 1 _____

Ensayo 2 _____

Ensayo 3 _____

FIN DE LA ENCUESTA



Anexo 11.



Imagen 1. Recepción de materia prima



Imagen 2. Licuado de materia prima



Imagen 3. Filtrado posterior al licuado



Imagen 4. Precipitado de almidón de camote



Imagen 5. Etapa de secado de almidón húmedo



Imagen 6. Almidón después de la etapa de secado.



Imagen 7. Análisis preliminar para hidrólisis ácida



Imagen 8. Autoclave usada en hidrólisis ácida.



Imagen 9. Resultado obtenido previo al uso de la



Imagen 10. Filtrado de muestra posterior a la hidrólisis.



Imagen 11. Centrifugado de muestras previo al filtrado.



Imagen 12. Diluciones en 500 y 1000 ppm de los 3 ensayos.



Imagen 13. Uso de microscopio para conteo de células de enzima Alpha amilasa.



Imagen 14. Azul de metileno usado en método de Neu Bauer.

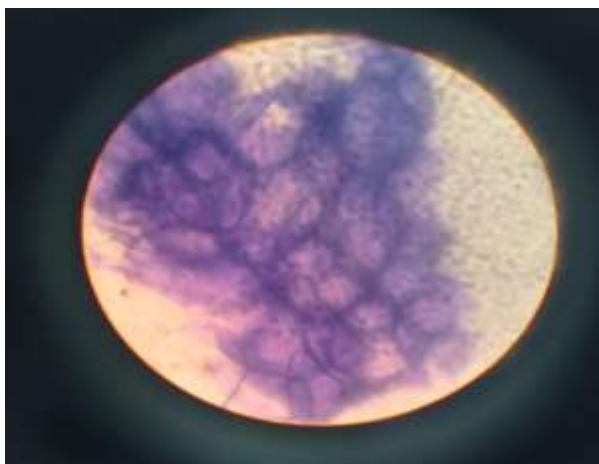


Imagen 15. Alpha amilasa vista desde el microscopio.



Imagen 16. Ensayos diluidos y agregados H₂SO₄ para lectura en cromatógrafo.



Imagen 17. Glucosa diluida en distintas concentraciones en celdas para lectura en cromatógrafo.

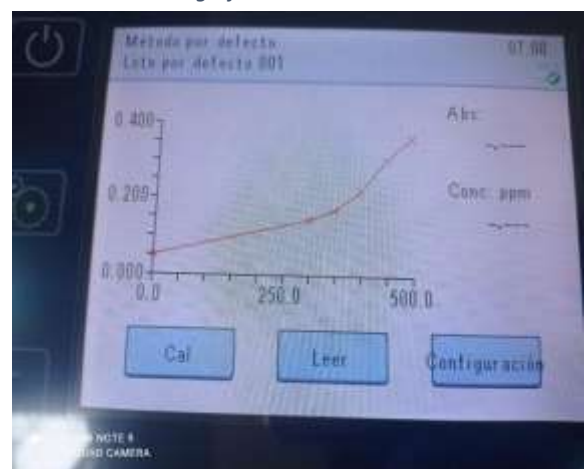


Imagen 18. Curva de calibración de glucosa obtenida.



Imagen 19. Fermentación en biorreactor con ensayo vía ácido cítrico.



Imagen 20. Fermentación en biorreactor con ensayo vía Alpha amilasa.



Imagen 21. Fermentación en biorreactor con ensayo vía ácido clorhídrico.

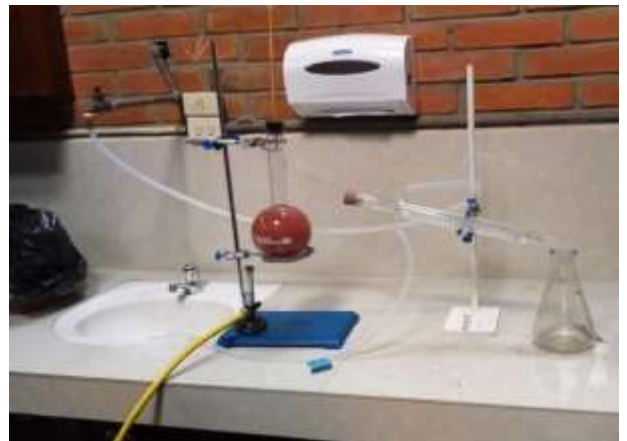


Imagen 22. Destilación simple para los tres métodos.



Imagen 23. Colocación de destilado en cajas bipetri para método de Winnick



Imagen 14. Etapa de secado en método de Winnick.



Imagen 25. Viraje de muestras en método de Winnick.

