

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La ajipa, de nombre científico, *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) Parodi, es una planta de la familia Leguminosas, nativa de las laderas orientales de los Andes; antiguamente era cultivada por los Incas desde la época precolombina particularmente en Valles Interandinos de Bolivia, Sur de Perú y Noroeste de Argentina (Fassola et al., 2006). [2]

En Bolivia, las plantaciones de esta especie se fueron concentrando en los departamentos de La Paz, Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, donde fue caracterizada por su consumo directo, adicionando al cuerpo fibras y vitaminas, acumulación de hidratos de carbono, principalmente azúcares y almidón. También era utilizado en remedios caseros como diurético, afecciones de la piel, curaciones, dolor de cabeza, etc.; su forraje servía de alimento para animales. (Amaya et al., 2006). [3]

En Tarija, las comunidades que mantienen el cultivo del tubérculo *Pachyrhizus Ahipa* (Wedd.) en mayor escala son Caraparí ubicada a orillas del Río Pilaya, seguido de Tariquía de la provincia Arce y Pampa Grande de Méndez, en donde casi todas las familias aun cultivan el tubérculo ya que es un cultivo importante para el comercio local, y así también por la tradición de Corpus Christi que perdura de generación en generación. (Terrazas F., 2000). [4]

Según Almazán J., 2017 [5], la siembra de la ajipa empieza en agosto hasta octubre con una poda productiva (remoción manual de flores) que abarca desde el mes de noviembre hasta fines de marzo, presentando cumbres maduras (cosecha) en el mes de abril hasta junio, donde los datos de producción de raíces de ajipa varían entre 10 y 50 toneladas por hectárea en ciclos de cultivo de la ajipa que es de 4 a 6 meses.

Esta gran variación de rendimiento se explica por la diferencia en el potencial productivo de raíces en las distintas variedades, así también se debe a la fecha de siembra, la densidad de plantación, entre otros.

A continuación se detallan los lugares de cultivo de la ajipa por provincia.

Cuadro I.1: Cultivo y Producción de la ajipa

Lugar	Provincia	Departamento	Producción promedio (t/ha)
Pampa Grande	MéndeZ	Tarija	30
Caraparí (Rio Pilaya)	MéndeZ	Tarija- Chuquisaca	50
Tariquía	Arce	Tarija	35

Fuente: Almazán J., 2017

Por sus propiedades mencionadas, el tubérculo puede considerarse como un cultivo integral, constituyéndose una alternativa interesante como materia prima de interés para la industria alimentaria del sector de harinas y almidón; en el caso de la ajipa *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.), su raíz tiene la propiedad de almacenar almidón de hasta más de 17 % según el estudio del Reporte Técnico Prometa del 2015.

Algunos trabajos sobre la ajipa producida en Tarija fueron realizados por diferentes instituciones académicas donde se determinaron las características fisicoquímicas y microbiológicas que presenta el tubérculo. Se menciona que en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho se realizaron proyectos sobre la ajipa, esto con la finalidad de diversificar el producto que se da en las regiones y así también poder caracterizarla.

Segovia Mirtha W., en 2004, sustentó la tesis nombrada “Obtención y conservación de zumo de Ajipa” en donde determina las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la ajipa, considerando el uso de la ajipa proveniente del Rio Pilaya por su buena composición nutrimental en cuanto al porcentaje de almidón de un 16,75 %, además de la disponibilidad en el mercado local.

Mendoza Janeth C., en 2008, realizó la tesis denominada “Deshidratación de Ajipa”, el trabajo de investigación tuvo la finalidad de incentivar la producción de ajipa, así también la alternativa de poder ser industrializada en la región. Se determinaron diferentes parámetros fisicoquímicos que caracterizan a la ajipa *Pachyrhizus ahipa* (Wedd.) producida en la región de Caraparí, tales como, humedad 80,48 %, azúcares totales 20,08 %, almidón 18,07 %. Dicha deshidratación se realizó usando el proceso de secado, obteniendo resultados positivos en cuanto al contenido de azúcares y almidón. Así también en la misma Universidad, el tesista Almazán Julio R., en 2017 propuso el trabajo de investigación denominado “Extracción de almidón a partir de Ajipa”, en donde aplica la técnica de extracción solido-liquido, resaltando que la ajipa y específicamente su almidón contenido en su estructura celular posee propiedades fisicoquímicas importantes, y que por ende el producto a ser obtenido en la investigación puede utilizarse para elaborar otros productos alimenticios como ser almidón modificado, jarabe de glucosa, jarabe de fructosa, y así también cumpliría la función de ser materia prima para obtener bioetanol.

Hoy en día, la glucosa viene a ser el insumo básico de las industrias alimenticias, por ello se empiezan a desarrollar investigaciones a diferentes almidones compuestos en tubérculos y algunos granos, tal es el caso de la Lic. Huanca L. Susana, de la Universidad Mayor de San Andrés, en el año 2017; realiza su trabajo de investigación denominado “Determinación de la relación entre estructura y rendimiento de jarabe de glucosa a partir de almidón extraído de diferentes tubérculos del departamento de La Paz”, dicho trabajo consistió en emplear el método de extracción con sulfito de sodio en cantidad de 0,005 M para 100 g. de peso total de materia seca y posteriormente el método de hidrólisis enzimática para la obtención del jarabe de glucosa usando las enzimas comerciales (alfa-amilasa y glucoamilasa), encontrando las condiciones óptimas de operación en el proceso de hidrólisis con las enzimas comerciales de Novo Nordisk. (Huanca S., 20

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Obtener jarabe glucosado de almidón de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)) a escala laboratorio bajo los parámetros de calidad requeridos para consumo humano.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar los planteamientos de los autores más relevantes en el campo de la investigación, que permitan dar el sustento teorice respectivo al presente trabajo.
- Caracterizar la materia prima a través de la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas requeridas para la verificación de su contenido de almidón.
- Aplicar el diseño factorial para establecer condiciones óptimas de variables del proceso para la obtención de jarabe de glucosa por el método de hidrolisis enzimática.
- Elaborar el balance de materia y energía para la obtención del jarabe glucosado a partir de almidón de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)).
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto obtenido.
- Realizar un estudio estadístico de pruebas sensoriales del producto obtenido para su valoración y aceptabilidad.
- Comparar los parámetros de calidad de acuerdo a norma nacional o internacional correspondiente al producto final.

1.3. Justificación del Proyecto

En las regiones tarijeñas, donde se cultiva la ajipa solo es para consumo directo, al no darle más importancia, se desperdician todas las propiedades que presenta, perdiendo la alternativa de poder servir como insumo en la elaboración de productos alimenticios.

Según estudios enfocados en el análisis de almidón, se resalta que los tubérculos presentan una estructura cristalina de tipo B, con un bajo grado de digestión de carbohidratos, debido a apreciables cantidades de amilosa que lo convierte lento en digestión de carbohidratos (Cummings, J.H., et al. 1996). [6]

El almidón es muy utilizado en las industrias, donde uno de los mayores usos industriales es la elaboración de jarabes de glucosa, requeridos por cervecerías, heladerías, confiterías, y demás, brindando mejores rendimientos y potencialidades al producto terminado (Huanca S., 2017).

Con la información obtenida sobre la ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)) en la comunidad de Caraparí del Rio Pilaya, se caracteriza al almidón en un contenido de 18 %, posicionándolo competente con otros tubérculos en cuanto a porcentaje de almidón para elaborar jarabes de glucosa. (Almazán J., 2017). Por esta razón, el presente trabajo da interés en la búsqueda de una fuente alternativa para la obtención de jarabe de glucosa aplicando una nueva metodología, incentivando de esta manera dar curso a investigaciones que desarrollen estudios sobre la ajipa y así lograr un mayor aprovechamiento integral de este tubérculo que se produce en el departamento.

1.3.1. Justificación Social

Mediante el proyecto se logra elaborar jarabe de glucosa, un producto muy aplicable, utilizado como espesante, gelificante, endulzante, etc. en las industrias alimenticias.

Beneficia a la salud en cuanto a la digestión, aportando un nivel estable de hidratos de carbono, por el tipo de glucosa ingerido proporcionando bajo índice glucémico, es decir no presenta cambios bruscos en el nivel de glucosa en la sangre, beneficiando también a personas con diabetes (Hoover, R., 2000 y Sajilata, M.G., et al. 2006). [7]

1.3.2. Justificación Técnica

Con el estudio del presente proyecto se espera dar un aporte al sector industrial, y además permitir la implementación de estudios de nuevos productos con el desarrollo de la investigación aplicada en donde se utilizarán nuevas metodologías como la hidrólisis del almidón de ajipa por acción enzimática de las enzimas alfa-amilasa y glucoamilasa para la obtención de azúcares que contienen los tubérculos. Generando así una alternativa oportuna de poder ser aprovechados en el estudio de esta raíz, obteniendo derivados como almidón, fibra, harina y demás, que permitan desarrollar las aplicaciones industriales más adecuadas, conduciéndolas a un aprovechamiento integral de la misma.

1.3.3. Justificación Económica

Con este proyecto se pretende impulsar la cadena productiva de la ajipa a fin de generar ayuda a los agricultores y al no abandono del cultivo de la ajipa en las zonas del departamento de Tarija, colaborando al sector campesino a mejorar su calidad de vida, generando ingresos económicos que contribuyan en su canasta alimenticia, evitando así, en un futuro el riesgo de extinción biológico y/o debilitamiento genético de la ajipa.

También se busca iniciar el proceso investigativo a que pueda dar curso a nuevos proyectos de trabajo dirigido al rubro alimenticio, generando nuevas fuentes de empleo para los futuros profesionales pertenecientes a esta área de conocimientos.

1.3.4. Justificación Ambiental

Las propiedades fisicoquímicas de esta materia prima son muy favorables al medio ambiente, ya que puede obtener nitrógeno atmosférico, esto debido a su elevado contenido de proteínas, el cual es realizado por una asociación simbiótica con rizobios que lo hace particularmente atractiva en cuanto a ser cultivada sin la necesidad de aporte de fertilizantes nitrogenados, así los restos de cosecha pueden representar un importante retorno del nitrógeno fijado y mejorar el balance para este nutriente en el suelo. Por estas propiedades, la ajipa puede constituirse en una especie alternativa de

interés para un sistema productivo sostenible a futuro, donde la inversión en fertilizantes y tratamientos de plaguicidas podrían llegar a reducirse o evitarse, y al mismo tiempo producir materias primas de interés para la industria y la alimentación humana. (Almazán J., 2017)

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades de la Ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.))

2.1.1. Definición y caracterización de la Ajipa

Según Amaya et al., (2006), la palabra *Pachyrhizus* deriva del vocablo pachy que significa grueso y rhizus que significa raíz; es decir planta de raíz gruesa.

La ajipa de la especie (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.)), también conocida como asipa, achipa, ahipa, es un tubérculo que se caracteriza como una planta herbácea semierecta anual, crece en el límite entre tierras templadas y tierras frías, con un clima semiárido y temperaturas promedio de 16 a 18 °C, es una planta baja que tiene un crecimiento de hasta medio metro de altura (ver Fig. II.1), en sus hojas y semillas presenta compuestos insecticidas rotenonas ($C_{23}H_{22}O_6$) que lo hace resistente al ataque de ciertas plagas. Tolera periodos de sequía y suelos pobres en materia orgánica, se cultiva con frecuencia en terrazas de ríos, sobre los suelos con buen drenaje y textura arenosa.

Figura II.1: Planta de ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.))



Fuente: Ríos W., 2019 [8]

2.1.2. Taxonomía de la Ajipa

La ajipa pertenece a la familia leguminosas y al género neotropical *Pachirhizus* (Fabaceae). A continuación, se muestra su clasificación taxonómica (ver Cuadro II.2)

Cuadro II.2: Descripción Taxonómica de la Ajipa

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Traechophytae
Subdivisión	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Subclase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichalamydeae
Grupo de Ordenes	Corolinos
Orden	Rosales
Familia	Leguminosae
Subfamilia	Papilionoideae
Genero	Pachyrhizus
Especie	Ahipa L.
Nombre Común	ajipa

Fuente: Herbario Universitario T.B. 2021 [9]

2.1.3. Descripción botánica de la Ajipa

Las características distintivas de esta especie son sus hábitos de crecimiento erecto bajo tierra en donde acumulan gran cantidad de sustancias de reserva, sus foliolos son enteros sub acorazonados o truncados y son más anchos que largos, las inflorescencias axilares cortas y las semillas negras, reniformes y con punta roma, presenta una envoltura característica que los protege en gran medida de las contaminaciones microbianas. (Segovia M., 2004). [10]

Varios autores presentan descripciones botánicas de la especie, mencionamos a Almazán J., R., quien lo resume de la siguiente manera.

2.1.3.1. Inflorescencia

Las inflorescencias axilares son cortas y poseen de 2 a 6 flores por cada eje lateral. La flor presenta un cáliz con 5 pétalos de color morado pálido, la corola llega a medir desde 1,5 a 2 cm. de largo. (Almazán J., 2017) (ver fig. II.2)

Figura II.2: Presentación de Ajipa



Fuente: MAyR, 2014 [11]

2.1.3.2. Fruto

El fruto es una vaina que mide entre 8 a 17 cm. de largo y de 11 a 16 mm. de ancho, las semillas son redondas reniformes, negras o moteadas negro con blanco, fáciles de cosechar por ser una legumbre indehiscente lo cual hace que no se abra

espontáneamente al llegar a la madurez para liberar las semillas. (ver fig. II.3). (Almazán J., 2017)

Figura II.3: Vainas de ajipa Pachyrhizus



Fuente: Ríos W., 2019

2.1.3.3. Raíz tuberosa

Las raíces son tubérculos y presentan disminuciones graduales a ambos lados, pueden ser de 8 a 15 cm o más de longitud y usualmente pesan de 0,2 a 8 kg, normalmente son elongadas o irregulares en forma, pero también pueden ser casi esféricas; la cáscara varia del color canela a amarillo pálido y la pulpa es de tono blancuzco y entretejida con una fibra suave de color púrpura. (Almazán J., 2017) (ver fig. II.4).

Figura II.4: Representación de raíz de Ajipa



Fuente: GRRNGA, 2006 [12]

2.1.4. Composición química y contenido nutricional

Entre las propiedades de la ajipa debe destacarse el almidón que es fácil de digerir y el contenido de azúcares que contiene bastante glucosa y es bajo en sacarosa. Es baja en sodio, además contiene potasio y vitamina C. (Segovia M., 2004).

A continuación, se muestra la composición de las raíces de ajipa en 100 g. de pulpa fresca.

Tabla II.1: Composición principal de Ajipa (*P. ahipa* (Wedd.))

Descripción	Cantidad	Unidad
Humedad	80,03	%
Azúcares	18,61	%
Proteínas	0,63	%
Carbohidratos	17,89	%
Valor energético	74,75	Kcal/100g.
Almidón	16,75	%

Fuente: Segovia M., 2004

2.1.5. Utilidades de la Ajipa

El tubérculo presenta varias funciones, tal es el caso de la raíz que se lo utiliza en la comercialización en mercados de abasto, este se lo puede ingerir crudo, como una fruta o también en zumos, también se corta en trozos para acompañar ensaladas saladas o de frutas, la pulpa blanca se caracteriza por ser de textura crocante, dulce y refrescante, estas pueden cocinarse o fritarse y aun así mantendría su textura crocante, es muy consumida por sus propiedades medicinales que ayudan a combatir y prevenir enfermedades, como ser la gastritis, acidez estomacal, úlceras, y problemas de los

riñones, por lo cual, es recomendada para el consumo. Según Profomet, se indica que la raíz de ajipa actúa como antiácido, ayudando a combatir a la gastritis crónica, ya que protege la mucosa gástrica. (PROFOMET, 2014). [13]

El cultivo de la ajipa conlleva a abrir puertas en el mercado industrial ya que tiene múltiples utilidades, tales como, extracción de almidones, azúcares y aceites, aplicados como materia prima en la síntesis de solventes orgánicos, plásticos, biocomposites, lubricantes y aditivos. También se puede extraer los rotenoides que presentan las hojas y semillas de la ajipa, que son compuestos químicos de baja toxicidad que atacan a los insectos, actuando como plaguicidas naturales biodegradables, además al removerse los rotenoides y las saponinas de la semilla, es posible obtener aceite vegetal de calidad y utilizarlo en la industria de alimentos. (Robles J., 2006). [14]

El uso de esta planta está ligado a acontecimientos de connotaciones culturales, tal es el caso del departamento de Tarija, donde en la época de Corpus Christi se demanda la raíz de ajipa para consumo de vino, esto se explica así: Se perfora el interior de la ajipa dándole una forma de cáliz en donde se introduce el vino o también la chicha de uva o de maíz para luego ser ingerida por el consumidor/a haciendo la ofrenda de Semana Santa. (PROFOMET, 2014). Otro departamento que también consume la ajipa es Cochabamba donde los agricultores lo preparan como un raspadillo en una ralladora para extraer el jugo, que luego lo sirven como desayuno para los niños/as. (INIAF, 2015). [15]

2.2. Almidón

2.2.1. Aspectos generales

El almidón es un polímero que está constituido de cadenas de glucosa. Es un tipo de hidrato de carbono que se representa por la fórmula química $(C_6H_{10}O_5)_n$, se encuentra principalmente como reserva energética en la mayoría de los productos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz), leguminosas (fríjol, chícharo, haba) y tubérculos (papa, yuca, camote, ajipa, oca). Su forma depende principalmente de la fuente botánica,

presentando diversas partículas en formas redondas, ovales, lenticulares y angulares (Raigond, P., et al. 2015). [16].

Estas partículas son conocidas como gránulos cuya morfología, composición química y estructura súper molecular (o arreglo relativo de las macromoléculas en el estado sólido) son característicos de cada especie. El tamaño de gránulo, incluyendo la distribución del tamaño, son características que afectan propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Estos cuando se extraen y se secan tienen la apariencia de un polvo blanco y son insolubles en agua fría. (Guzmán B., 2014). [17]

2.2.2. Composición química

El almidón está constituido por unidades de D-glucosa ($C_6H_{12}O_6$), las cuales forman principalmente dos tipos de polímeros que son la amilosa de estructura lineal y la amilopectina de estructura ramificada, ambas partes están conectadas por uniones glicosídicas. (Anaya F., 2004). [18].

También se encuentran constituidos en menor cantidad, contaminantes como las proteínas 0,06 – 0,45 %, lípidos 0,05 – 0,8 y cenizas 0,08 – 0,5 %. Todos estos constituyentes juegan, en menor o mayor medida, un papel importante en las propiedades funcionales del almidón. (Aguilar C., 2007). [19]

En cuanto a la proporción de los dos polímeros, estos se rigen por la genética de la fuente utilizada para su extracción, por lo que la funcionalidad del almidón se debe a la proporción de estas dos macromoléculas, así como a la organización física dentro de la estructura granular. (Lehmann U., & Robin F., 2007). [20]

2.2.3. Estructura

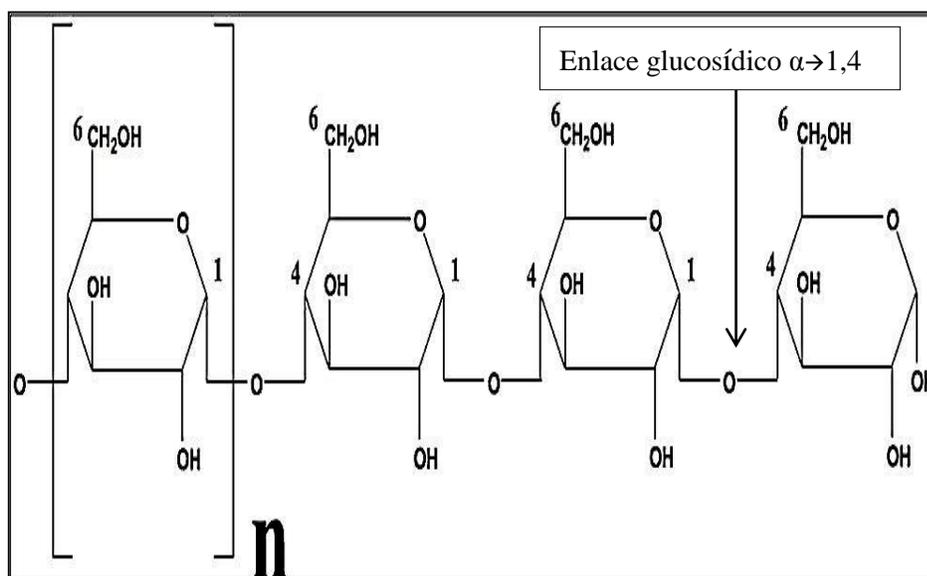
2.2.3.1. Amilosa

Es un polímero que representa entre el 15 al 25 % de la composición del almidón, está formada de cadenas lineales de α -glucosa (OH del carbono anomérico en posición axial) enlazadas entre el carbono 1 y carbono 4 por enlaces $\alpha \rightarrow 1,4$ -glucosídicos. Al definirse como lineales se refiere a que su estructura se enrolla formando una hélice con seis unidades de D-glucopiranosas por giro; también se ha comprobado la presencia

de ciertas ramificaciones unidas por enlaces $\alpha\rightarrow 1,6$ que se encuentran de manera espaciada, lo que permite observar su comportamiento esencialmente lineal. (Tovar T., 2008). [21]

Esta molécula es soluble solo en líquidos calientes, donde se asocian las moléculas al enfriarse, formando una red tridimensional que es la responsable de la gelificación. La amilosa en variedades de almidones cerosos se encuentra aproximadamente en un 2 %, los granos de cereal como el maíz reportan entre 26 a 28 %, y las raíces y tubérculos presentan entre 17 y 23 %. (Fernández J., 2005). [22]

Figura II.5: Estructura química de la Amilosa



Fuente: Martínez J., 2008 [23]

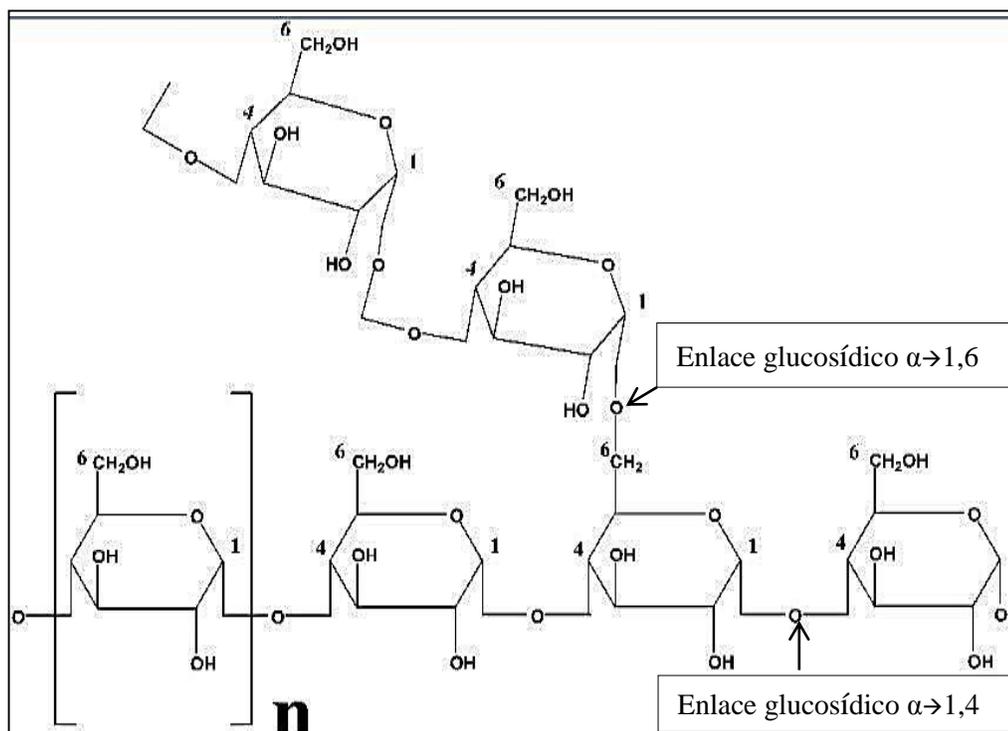
2.2.3.2. Amilopectina

Es un polímero semicristalino que representa entre el 75 a 85 % del gránulo del almidón, es altamente ramificado con unidades de α -glucosa unidas mediante enlaces $\alpha\rightarrow 1,4$ -glucosídicos pero ramificadas con uniones $\alpha\rightarrow 1,6$ - glucosídicos. (Tovar T., 2008)

La amilopectina es responsable de la estructura cristalina que en su conjunto presenta el almidón, debido a que en ella se forman puentes de hidrógeno entre las ramificaciones dando lugar a una estructura que se puede considerar como cristalina

que se rompe con facilidad. Gracias a este polímero se da la pegajosidad y viscosidad del almidón, debido a que durante la cocción absorbe una importante cantidad de agua, siendo la responsable del hinchamiento del gránulo de almidón, sin embargo, no interviene en la formación del gel, por lo tanto, no retrograda. Los gránulos ricos en amilopectina son más fáciles de disolver en agua a 95 °C, que los que contienen mucha amilosa. (Fernández, J., 2005).

Figura II.6: Estructura química de la Amilopectina



Fuente: Martínez J., 2008

2.2.4. Propiedades del Almidón

Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las siguientes.

2.2.4.1. Propiedades Funcionales

Estas propiedades se determinan fisicoquímicamente haciendo uso de instrumentos y/o dispositivos que ayuden a caracterizar al almidón.

2.2.4.1.1. Tamaño del gránulo

El tamaño de la partícula, es una característica que mayormente influye en las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. Se reportan que los gránulos de almidón más pequeños tienen un mayor poder de hinchamiento, menor solubilidad, mayor absorción de agua. (cf. Gonzáles A., et al. 2014). [24]

2.2.4.1.2. Temperatura y pH

La temperatura es un factor que influye en la viscosidad del almidón, ya que la desintegración del gránulo de almidón hinchado es más grande a mayor tiempo de cocción por acción de la temperatura y agitación. En cuanto a los valores de pH que se encuentren menores a 5 y mayores a 7 tienden a reducir la temperatura de gelificación. (Almazán J., 2017)

2.2.4.2. Propiedades Fisicoquímicas

2.2.4.2.1. Gelatinización

Es un proceso que consiste en el calentamiento de los gránulos de almidón en exceso de agua a una determinada temperatura entre 60 - 80° C provocando una transición irreversible. En un inicio del proceso se observa una lenta absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas del gránulo ya que estas son menos organizadas, y a medida que incrementa la temperatura se va produciendo un colapso de la estructura molecular del almidón y cambios irreversibles en sus propiedades, como la pérdida de cristalinidad, absorción de agua, hinchamiento y lixiviación de algunos componentes, principalmente la amilosa, cuando los gránulos comienzan a hincharse se observa microscópicamente un aumentando de volumen del mismo.

El incremento de temperatura depende de la variedad particular del almidón que se está investigando. (Wang S., et al. 2015). [25]

Los estudios de gelatinización a diferentes proporciones de la superficie del gránulo, en almidones de papa y de maíz, usando soluciones saturadas de cloruro de litio o cloruro de calcio, demuestran que las moléculas de amilosa están más concentradas hacia la periferia del gránulo que en la parte central; es por ello que el gránulo llega a

romperse parcialmente y su estructura se dispersa generando un gel donde se observan cadenas de amilosa altamente hidratadas. (Espinoza V., 2009). [26]

Los almidones naturales indican que estos pueden modificarse químicamente para producir cambios físicos que contribuyen a la estabilidad, apariencia, comodidad y funcionamiento en la preparación de los alimentos. Estas modificaciones tienen por objetivo generar reacciones con los grupos hidroxilos del polímero de almidón, cambiando su estructura y por consiguiente sus propiedades funcionales, donde dichas modificaciones se producen en presencia de un reactivo químico bajo condiciones controladas de agitación, temperatura y pH. (cf. González A., et al. 2014)

2.2.5. Usos industriales del Almidón

Hoy en día el almidón y los derivados de almidón tienen muchas aplicaciones dentro de la industria alimenticia e industria no alimenticia, donde se menciona que el consumo de almidón se destina aproximadamente 75 % al sector industrial y el 25 % al sector de alimentos. (Martínez M., 2014). [27]

En industrias alimenticias se lo utiliza como aditivo, formador de películas, espesante, estabilizante, conservante y gelificante para dar potencialidad a los productos de confiterías, heladerías y pastelerías. (cf. Garnica A., 2010). [28]

En las industrias no alimenticias son aplicadas como materia prima básica o producto auxiliar para la elaboración de una amplia gama de productos, tal es el caso de la fábrica de embalajes donde se lo utiliza para la preparación de embalajes de espuma, lo cual es una alternativa biodegradable a los envases de poliestireno. En la fábrica de pegamentos es requerido como materia prima ya que produce alta adhesividad en el proceso de elaboración de los diferentes pegamentos. En la preparación de jabones y detergentes actúa como absorbente para aumentar su efectividad y poder de limpieza. En la industria de colorantes es requerido como diluyente para estandarizar las tinturas con respecto a los rangos de colores. En la industria de fundición y en la elaboración de explosivos su funcionalidad se rige en la aglutinación para formar moldes de arena. (cf. Garnica A., 2010).

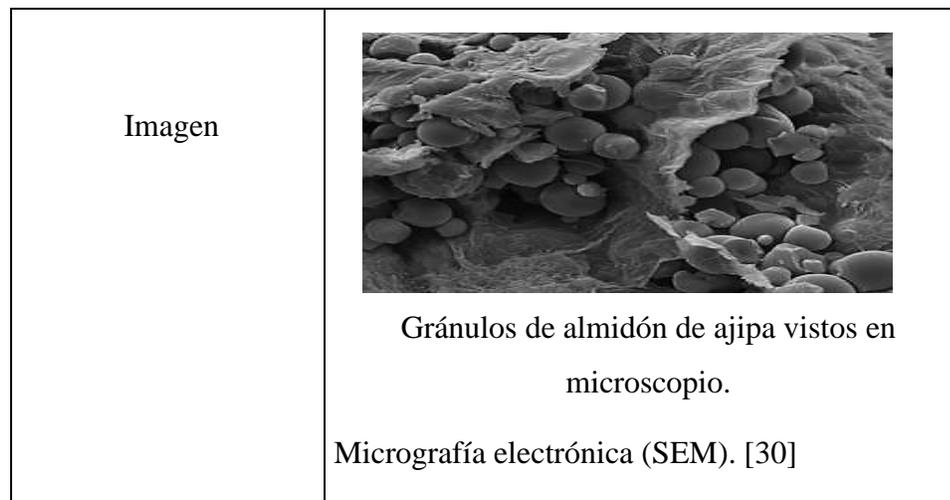
2.3. Almidón en la Ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.))

El almidón producido en la raíz equivale a más del 15 %; por ello, varios autores estiman que su estable contenido es capaz de brindar beneficios según los usos que se le dé, además que presenta en su estructura celular una importante relación de sus polímeros amilosa y amilopectina, lo cual les otorga a sus geles características reológicas superiores a los geles formados con otro tipo de almidón de otros cultivos tradicionales. (Forsyth L., et al., 2002). [29]

El almidón está constituido en su mayoría por amilopectina y en menor cantidad por la amilasa. A continuación, se describen las propiedades sensoriales que presenta el almidón de ajipa (ver tabla II.2)

Tabla II.2: Propiedades organolépticas del Almidón de Ajipa

Parámetros	Descripción
Aspecto	Mayormente se presenta en polvo fino, también en granos de tamaños reducidos, insoluble en agua y alcohol.
Color	Presenta un tono blanco claro.
Olor	Suele sentirse neutro y libre de malos olores.
Sabor	Es neutro.



Fuente: Elaboración propia, 2021.

El almidón natural necesita de la aplicación de calor para que se hidrate, el grado de hidratación depende del pH, temperatura y tiempo. Cuando se hidrata y se dispersa en agua caliente se forma un compuesto de color claro que tiene un sabor suave; cuando se enfría puede formar un gel débil. (Forsyth L., et al., 2002)

2.4. Hidrólisis

Es un proceso químico utilizado generalmente para la elaboración de productos que requieran ser transformados estructuralmente. Se conoce como hidrólisis a la reacción química del agua con alguna sustancia, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química. En el caso del almidón, la hidrólisis se lleva a cabo con la transformación del mismo en compuestos más livianos como los monosacáridos o disacáridos. (Vásquez E., 2003). [31]

La destrucción controlada de las cadenas poliméricas o hidrólisis del almidón, a través de soluciones ácidas o catalizadas por enzimas dan lugar a la formación progresiva de moléculas de maltosa, glucosa, dextrinas y otros azúcares. (Morales Y. y Sánchez I., 2004). [32]

La hidrólisis del almidón puede resumirse por la siguiente reacción:



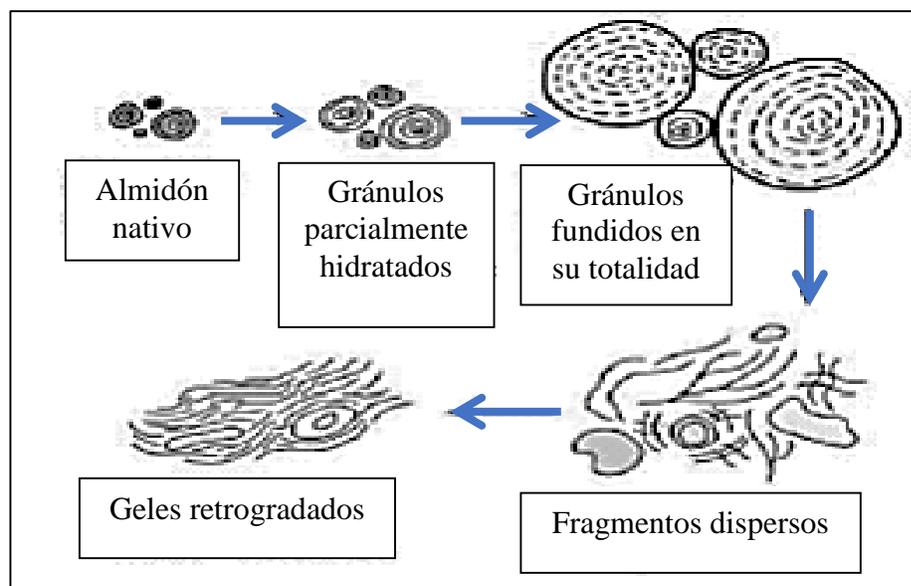
Almidón

Glucosa

Este proceso de reacción incluye tres fases diferentes, primero: la difusión de la enzima hacia el sustrato con el impacto de la porosidad del sustrato, segundo la adsorción de la enzima al material almidonado y la última fase corresponde al evento hidrolítico. La difusión de la α -amilasa en el sustrato se considera como un paso importante de la hidrólisis ya que las interacciones de almidón con fibras, proteínas y otros componentes alimenticios pueden impedir la difusión efectiva y la adsorción de la enzima. (Morales Y. y Sánchez I., 2004)

Por otro lado el tamaño de partícula del almidón juega un papel importante para la hidrólisis. (ver figura II.7).

Figura II.7. Representación esquemática de los cambios en el almidón durante la Hidrólisis



Fuente: Lehmann U., & Robin F., 2007

La figura anterior muestra como la partícula de almidón va desarrollándose en un medio acuoso, donde se puede ver que el tamaño de los gránulos más pequeños muestra

una mayor susceptibilidad enzimática independientemente del origen botánico, una superficie grande y lisa, junto con propiedades supramoleculares específicas que explican la resistencia de los gránulos del almidón frente a la digestión enzimática. (Lehmann U., & Robin F., 2007)

Industrialmente la hidrólisis se realiza por métodos enzimáticos o con soluciones de ácidos, tales como ácido clorhídrico o sulfúrico; y se aplica calor para facilitar el rompimiento de los enlaces glucosídicos. La acción enzimática también es influenciada por la estructura cristalina y el empaquetamiento de la fase amorfa.

En general, se puede afirmar que los almidones de los tubérculos son más resistentes a la hidrólisis enzimática que los almidones de cereales, debido a una mayor superficie de los gránulos, a sus propiedades superficiales, a la canalización en los almidones de cereales y la disposición supramolecular. (Rooney & Huang, 2001). [33]

2.5. Enzimas

Son biomoléculas de naturaleza protéica que aceleran la velocidad de reacción hasta alcanzar un equilibrio, actúan como catalizadores en las reacciones químicas específicas en sistemas biológicos, estas pueden funcionar en condiciones de reacción más leves, sin requerir altas temperaturas y el uso de productos químicos peligrosos, y son totalmente ecológicas en su naturaleza. (Lehninger N., 2006) [34]

Por el año 1986, Klivanov inicia este novedoso enfoque y una excelente estrategia sintética que hoy en día se utiliza en un gran número de aplicaciones de síntesis orgánica, donde las enzimas se emplean en disolventes orgánicos para la síntesis de ésteres, compuestos, surfactantes, productos farmacéuticos intermedios, biotransformaciones de aceites y grasas y polímeros a base de azúcar. Por lo tanto, el uso de enzimas como biocatalizadores en la biotecnología ha encontrado aplicaciones potenciales en las industrias farmacéutica, alimentaria, cosmética, de sabores, fragancias y de bebidas. (Divakar, 2013) [35]

2.5.1. Enzimas Carbohidrasas

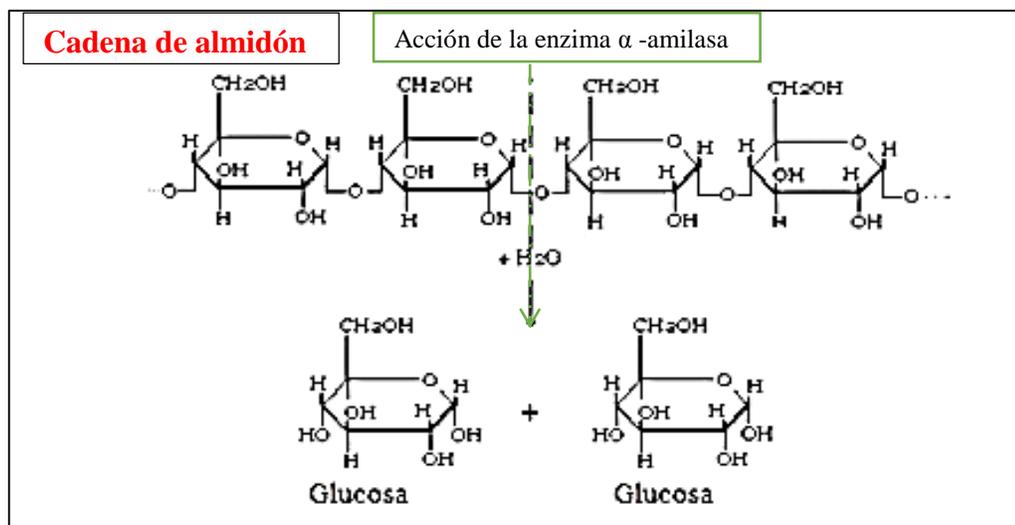
Se definen como amilasas que se encuentran ampliamente distribuidas en la naturaleza, son responsables de la degradación del almidón, hidrolizan los enlaces glucosídicos $\alpha\rightarrow 1,4$. Estas enzimas pueden dividirse en tres grupos: $\alpha\rightarrow$ amilasas, $\beta\rightarrow$ amilasas y glucoamilasas o amiloglucosidasas. (Carrera J., 2003). [36]

2.5.1.1. Alfa-amilasa ($\alpha\rightarrow$ amilasa)

Es la amilasa más conocida. Estas, catalizan la reacción de hidrólisis de la cadena lineal y la ramificada del almidón, rompiendo interiormente los enlaces 1,4 llamados endoamilasas para luego formar una mezcla de dextrinas lineales y ramificadas como oligosacáridos, disacáridos y/o monosacáridos como productos, los cuales son más solubles en medios acuosos. (Carmona y Paternina, 2007). [37]

La enzima $\alpha\rightarrow$ amilasa actúa sobre almidones crudos y gelatinizados y requiere de un activador como por ejemplo el cloruro de calcio, ya que es sensible a una acidez elevada y se vuelve inactiva a pH 3,3. El pH óptimo de acción se encuentra en un rango de 5 a 7, la enzima es resistente al calor, pues a 70 °C conserva un 70 % de su actividad. (Carrera J., 2003). (ver fig. II.8)

Figura II.8: Hidrólisis del almidón con la enzima $\alpha\rightarrow$ amilasa



Fuente: Benjamín Franklin, 2011 [38]

En la figura anterior se observa cómo actúa la enzima α -amilasa sobre las cadenas de amilosa y amilopectina conformadas en el almidón, esta enzima ataca las ramificaciones de enlaces glucosídicos $\alpha \rightarrow 1,4$, rompiéndolos parcialmente y formando una mezcla de glucosas sueltas y cadenas dispersas en el medio acuoso. Para desarrollar la síntesis de esta enzima es necesario establecer condiciones óptimas para que la reacción sea apropiada, en la tabla II.3 se aprecian las especificaciones para la aplicabilidad de la enzima $\alpha \rightarrow$ amilasa comercial.

Tabla II.3: Especificaciones de la enzima $\alpha \rightarrow$ amilasa BAN 480L

α-amilasa BAN 480L	
Temperatura	70° C
pH	5,5 – 6,0
Concentración de calcio Ca ²⁺	100 -150 ppm.
Densidad	1,25 g/cc
Tiempo de reacción	90 min.
Concentración del almidón	30 %

Fuente: Universidad del Cauca, 2003 [39]

2.5.1.2. $\beta \rightarrow$ amilasas

Esta enzima está presente ampliamente en las plantas y microorganismos como bacterias y levaduras, actúa sobre los extremos no reductores de la amilosa y amilopectina del almidón, hidrolizando los enlaces glucosídicos alternantes. La $\beta \rightarrow$ amilasa es incapaz de pasar los enlaces $\alpha \rightarrow 1,6$ glucosídicos de la amilopectina.

La acción de la β -amilasa sobre la amilopectina resulta en la conversión de 50 a 60 % de maltosa y formación de β -dextrina límite.

Puesto que la enzima hidroliza enlaces glucosídicos alternados, el producto de esta reacción es maltosa cuando la enzima actúa en una cadena molecular lineal con un igual número de residuos de glucosa. Cuando la enzima actúa en una cadena consistente en un desigual número de residuos, parte de la glucosa y maltotriosa son también encontrados en los productos finales. (García & López, 2004). [40]

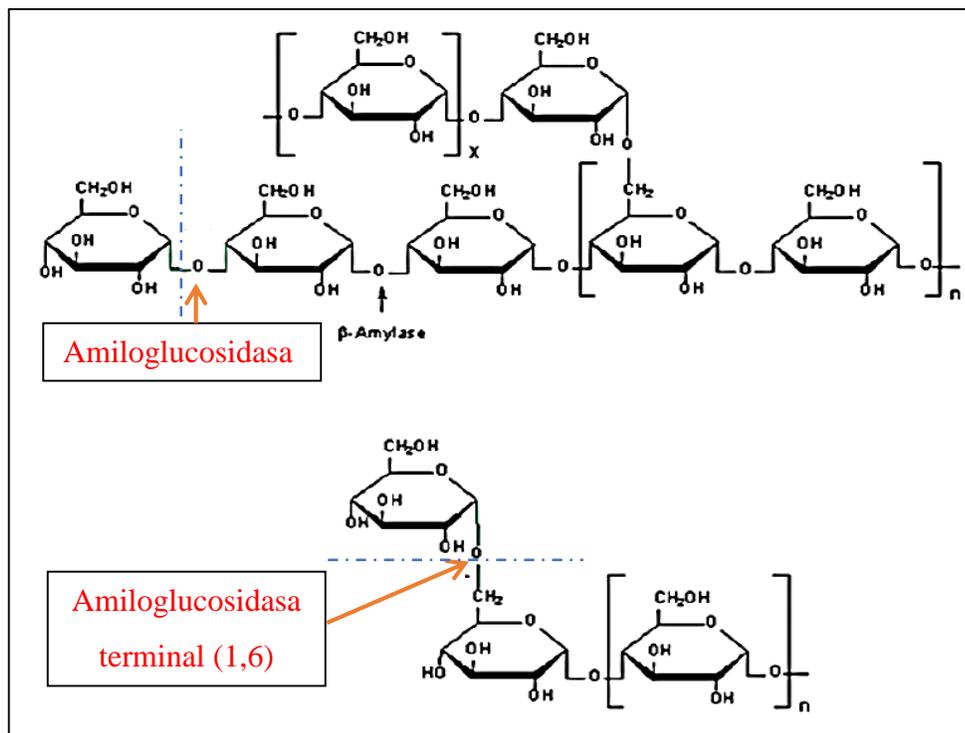
2.5.1.3. Glucoamilasa o Amiloglucosidasa

Descubierta en 1950, esta amilasa producida por un hongo fue la tercera enzima amilasa descubierta después de la α y β -amilasa. Esta fue nombrada GA (glucoamilasa) y es conocida como γ -amilasa o amiloglucosidasa.

Esta enzima hidroliza principalmente los enlaces α -1,4 y después los α -1,6 del almidón dando como producto final glucosa, lo que la diferencia claramente de la α y β -amilasas. (Vásquez M. & Vásquez L., 2009). [41].

Este tipo de enzima contiene una estructura (α/α), donde el protón donador y el nucleófilo del sitio activo de la enzima está determinado por el ácido glutámico. La enzima también produce pequeñas cantidades de oligosacáridos. Es más, eficaz cuando actúa sobre almidones previamente sometidos a licuefacción. (Carrera J., 2003).

Figura II.9: Hidrólisis del almidón con la enzima glucoamilasa



Fuente: Benjamín Franklin, 2011

La figura anterior muestra cómo actúa la enzima glucoamilasa sobre las cadenas del almidón de un tubérculo o un cereal, en primera instancia la enzima actúa sobre el enlace glucosídico 1,4 de la cadena para la rotura y posteriormente a un aumento de calor va atacando el enlace 1,6 de la ramificación de la cadena llegando a romperse la cadena y obteniendo azúcares como ser las glucosas. Para una buena aplicabilidad de la enzima es necesario establecer condiciones adecuadas para su uso. (ver tabla II.4)

Tabla II.4: Especificaciones de la enzima glucoamilasa Dextrozyme

Glucoamilasa Dextrozyme	
Temperatura	60 - 72° C
pH	4,02 – 4,05

Concentración de enzimas	0,1 % (g. enzima/g. sustrato)
Densidad	1,17 g/cc
Tiempo de incubación	72 hrs.
Temperatura de incubación	60 °C

Fuente: Universidad del Cauca, 2003

2.6. Jarabe de Glucosa

2.6.1. Definición

La norma para azúcares CODEX, define al jarabe de glucosa como una solución acuosa concentrada y purificada de sacáridos nutritivos obtenidos del almidón o la inulina con un contenido equivalente de dextrosa de no menos del 20 % m/m (expresado como D-glucosa sobre peso seco), y un contenido total de sólidos de no menos del 70 % m/m. (Codex Alimentarius CXS, 1999). [42]

Sus propiedades son de consistencia viscosa y tienen la ventaja de presentar sabor agradable, que encubre otros sabores indeseables, y su alta estabilidad física y química frente a posibles alteraciones microbiológicas. (Quispe T., 2012). [43]

Las industrias y en gran parte de la literatura especializada, llaman jarabes glucosados a hidrolizados a partir de un DE (Equivalente de dextrosa) que es un indicativo del contenido de azúcares reductores de un edulcorante, calculado como dextrosa y expresado como porcentaje de sólidos totales. Las características de los jarabes se obtienen según las condiciones de hidrólisis y el medio utilizado para dicha hidrólisis. (García & López., 1993).

2.6.2. Caracterización fisicoquímica y sensorial

El jarabe de glucosa presenta múltiples funcionalidades, depende de sus propiedades fisicoquímicas o características organolépticas para condicionar la naturaleza del producto a emplearse. En rubros alimenticios es usado como endulzante ya que

proporciona una dulzura relativa de 40 (el azúcar de mesa tiene un valor de 100, igual que el jarabe de maíz rico en fructosa). Este puede ser almacenado en botellas de vidrio, de plástico y/o en bidones cuando se trata de cantidades grandes, donde deben estar en un lugar seco, fresco y oscuro, para evitar cualquier tipo de ataque microbiano. La vida útil del producto es de 12 meses. Cimpa S.A.S, 2015 [44]

El jarabe puede presentarse como un compuesto de sacarosas como la glucosa, fructosa, maltosa, donde se caracteriza organolépticamente según las siguientes especificaciones físicas. (ver cuadro II.3)

Cuadro II.3: Características Sensoriales del Jarabe de Glucosa

Características Sensoriales	
Apariencia	Líquido almibarado
Color	Incoloro o amarillento
Olor	Neutro
Sabor	Dulce
Imagen	

Fuente: Cimpa S.A.S, 2015

En el cuadro anterior se pueden apreciar las características más resaltantes para tomar

en cuenta en la clasificación de un jarabe de glucosa.

En cuanto a propiedades fisicoquímicas, el jarabe de glucosa presenta las siguientes especificaciones. (ver cuadro II.4)

Cuadro II.4: Características Fisicoquímicas del Jarabe de Glucosa

Especificaciones Fisicoquímicas		
Compuesto	Unidad	Cantidad
Solidos secos	%	81 - 84
Humedad	%	16 - 19
DE (dextrosas equivalentes) m/m	%	20 %
pH		4,0 – 6,0

Fuente: Cimpa S.A.S, 2015

El cuadro anterior muestra los parámetros más necesarios para la caracterización de un jarabe donde se pueden estimar dentro de un rango de valores de aceptabilidad en cuanto a sólidos secos y humedad presente en el jarabe a elaborar, estos parámetros serían los más indispensables para una buena caracterización, ya que de la humedad depende cuanto es el grado de concentración de azúcares en un jarabe y los sólidos indican el punto de cristalinidad del mismo. Otro parámetro también importante a considerar sería los equivalentes de dextrosa, los cuales ayudan a cuantificar las glucosas presentes en el producto.

2.6.3. Industrialización de jarabes de glucosa

El jarabe de glucosa es un producto alimenticio requerido por las industrias, donde actúa como endulzante en el alimento procesado, también le proporciona varias

potencialidades al alimento, dándole textura y un sabor dulce y agradable. (Estrada M., 2017)

En los jarabes industriales el proceso de hidrolisis es el principal proceso aplicado en la conversión del almidón en jarabe azucarado el cual consiste en extraer el almidón de la materia prima y una vez obtenido el almidón, este se hidroliza mediante la acción de enzimas amilasas hasta formar cadenas de glucosa más pequeñas que el almidón (dextrinas), y posteriormente se hidroliza de nuevo hasta formar glucosa por medio de la enzima glucoamilasa. Esta transformación se debe a que ocurre una reacción química de sustitución muy común que consiste en que el agua actúa como disolvente y rompe los enlaces químicos y forman otras uniones moleculares con el almidón ya que este tiene la capacidad de atrapar agua. (Armenta, 2004). [45]

Este producto se encuentra importante para la industria por su poder edulcorante que le confiere múltiples ventajas que permiten su aplicación en los diferentes procesos de producción. (Revista I alimentos, 2010) [46], tales como:

2.6.3.1. Industrias Alimenticias

- **Confitería:**

En esta industria, el jarabe de glucosa es utilizado como un agente que evita la cristalización y ayuda a homogenizar productos como gomas de mascar y chocolates. Suministra una textura lisa, goza de cualidades de buen preservante para una larga vida en estantería. (Rodríguez C., 2011). [47]

- **Mermeladas, Gelatinas y Frutas Enlatadas:**

En este tipo de alimentos procesados, el jarabe de glucosa es usado para prevenir la cristalización del azúcar. Actúa como preservativo y previene la descomposición del producto sin incrementar su dulzura. (Revista I alimentos, 2010)

- **Panadería:**

El jarabe de glucosa añade cuerpo, volumen y una óptima edulcoración a los productos de panadería. Por esta razón es usado en rellenos de cremas, pasteles,

cobertor de panqueques o waffles, También previene la cristalización, aumenta el tiempo que el producto tarda en estanterías y sus propiedades organolépticas mantienen el producto fresco por más tiempo. (Aristizábal J., Y Sánchez T., 2007) [48]

- **Heladería:**

Los jarabes de glucosa proporcionan una textura suave y cremosa en los helados, asegurando que no se derritan pronto, previniendo la cristalización de la sacarosa y permitiendo una edulcoración homogénea. (Rodríguez R., 2011)

2.6.3.2. Industrias no Alimenticias

- **Farmacéuticas:**

La aplicación de los jarabes de glucosa en los fármacos destaca su uso en elaboraciones de jarabes, pastillas para la tos, tónicos basados en vitaminas y agentes granulares para recubrimientos de tabletas. Provee al cuerpo resistencia, sabor en la boca y edulcoración balanceada cuando son usados otros carbohidratos edulcorantes tales como la sacarosa y el sorbitol. (Aristizábal J., Y Sánchez T., 2007)

- **Productos de cuero:**

Al finalizar el cubrimiento de cuero, el jarabe de glucosa es aplicado para dar lustre, fineza, justo peso y flexibilidad al cuero terminado. (Gerena F., 2013) [49]

- **Aceites:**

En las industrias aceiteras, el jarabe de glucosa es requerido como adhesivo en gomas en el proceso de extracción del aceite. (Armenta, 2004)

- **Cervecerías:**

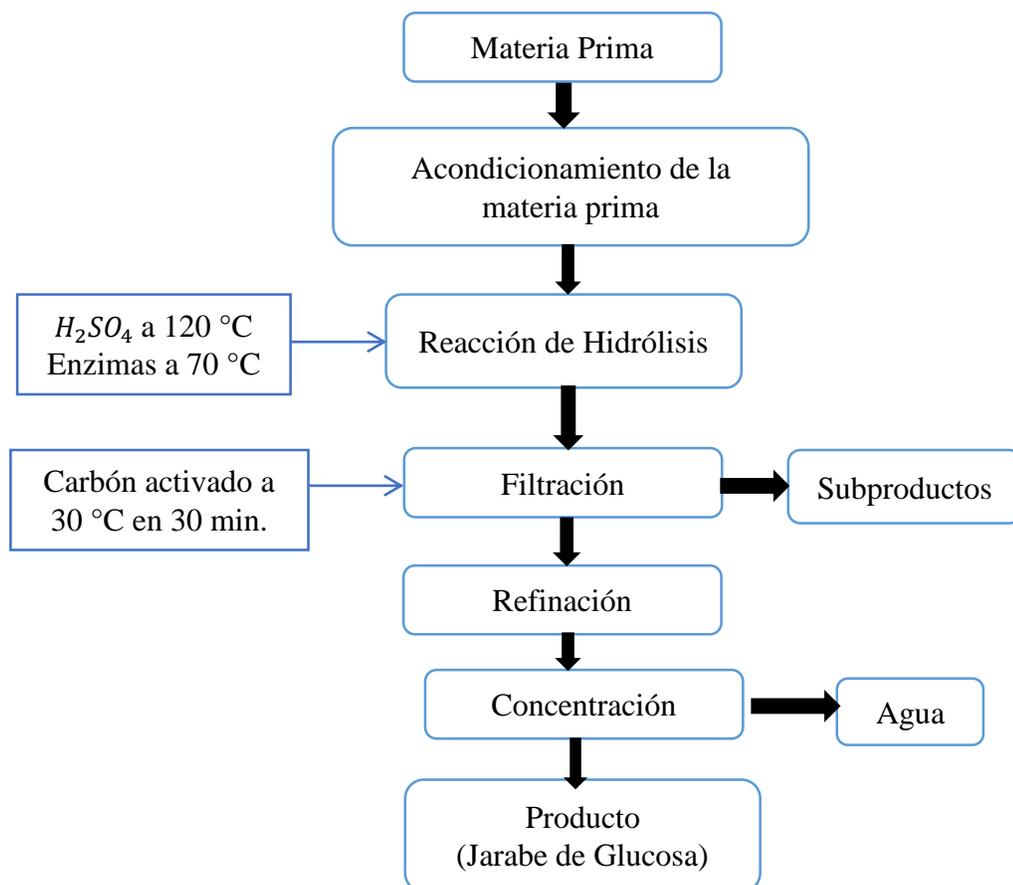
El jarabe de glucosa es utilizado en el proceso de preservación de la fermentación y fabricación de la cerveza y los procesos de producción de etanol. (Armenta, 2004)

En cuanto a costos, los jarabes de glucosa son relativamente bajos con cotizaciones hasta un 20 % inferior comparado con los precios del azúcar de caña. (Estrada M., 2017)

2.7. Procesos de obtención de jarabe de glucosa a partir de Almidón

El jarabe de glucosa, en su mayoría, se obtiene por hidrólisis química o hidrólisis enzimática dependiendo de los objetivos que se desee cumplir, estos jarabes se pueden obtener de diferentes materias vegetales que son tratadas y llevadas a análisis fisicoquímicos para obtener formaciones de moléculas de glucosa y otros azúcares. (Gerena F., 2013) (ver diagrama II.1)

**Diagrama II.1: Hidrólisis ácida y enzimática
para la producción de glucosa a partir de almidón**



Fuente: Suárez et al, 2004 [50]

El diagrama anterior muestra en general las etapas a llevar a cabo para el proceso de elaboración de jarabes por medio ácido y /o enzimático.

Se trata de un diseño conceptual donde se puede hacer una comparación técnica de los procesos de hidrólisis ácida y enzimática utilizados y/o aplicados en la producción de glucosa u otros azúcares partiendo del almidón de origen orgánico (tubérculo, cereal). (Suárez et al, 2004)

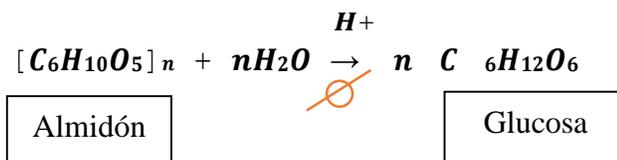
2.7.1. Hidrólisis ácida del Almidón

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

Cuando los gránulos son expuestos a la acción de ácidos minerales muy diluidos y luego calentados estos reaccionan, llegando a obtenerse la hidrólisis de los enlaces glucosídicos y retornando las moléculas a su forma original, es decir, a sus monómeros principales de D-glucosa, permitiendo obtener jarabes de glucosa con ED (equivalente de dextrosa) igual o mayores a un porcentaje de 20. (Tejada et al., 2010). [51]

En el año 2007, Mejía llevó a cabo la hidrólisis ácida, adicionando un volumen de 50 ml. de ácido sulfúrico al 5 % por cada 100 gramos de materia prima a una temperatura de 125 °C y 15 psi de presión, regulada por medio de una autoclave, durante 15 minutos, luego los jarabes obtenidos fueron sometidos a centrifugación para ser separados de los componentes que precipitaron. Finalmente se determinó el contenido de azúcares presentes en los jarabes para ver si la concentración de los mismos se mantiene o reduce. (Mejía, et al, 2007). [52]

La química de este proceso se representa por la siguiente reacción:



Se muestra la síntesis de la reacción del almidón que pasa a una solución con un agente líquido como diluyente y posteriormente pasa a acción de calor para dar como producto cadenas de glucosa.

2.7.2. Hidrólisis enzimática del Almidón

Se considera como una de las técnicas para modificar el almidón por reducción de su peso molecular promedio, llegando a obtener productos que van desde glucosa hasta dextrinas de alto peso molecular. (Peña A., 2009). [53]

En el proceso de hidrólisis enzimática con enzimas amilasas (alfa-amilasa y glucoamilasa), el almidón es previamente separado y purificado de la materia de origen. Luego se somete a una serie de etapas: gelatinización, licuefacción y sacarificación en donde se usan las enzimas para la descomposición hidrolítica de las moléculas de almidón. La cantidad de enzimas a utilizar para obtener glucosa de almidones es especificada por los fabricantes de estas enzimas. Los gránulos de almidón de distintas materias primas definitivamente tienen diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales. (Morales S., & Sánchez P., 2004).

Las etapas de hidrólisis enzimática son las siguientes:

2.7.2.1. Gelatinización

La gelatinización del almidón es la ruptura del orden molecular, manifestado por cambios irreversibles del gránulo de almidón en sus propiedades. Estos cambios se observan luego de que el gránulo de almidón al entrar en contacto con agua se hidrata; y al aplicarle calor, el gránulo empieza a hincharse, hasta que en cierta temperatura la estructura del gránulo se altera, perdiendo birrefringencia y es ahí donde se empieza a observar cierta viscosidad, dando como resultado una pasta. (Almazán J., 2017)

Esta etapa está influenciada por diversos factores como:

- ✓ Tiempo de tratamiento.
- ✓ Temperatura.
- ✓ Humedad.

- ✓ Presión.
- ✓ Concentración de almidón.

Por ello se utilizan diferentes técnicas para su investigación como: punto final de birrefringencia, viscosidad, difracción de rayos X, valoración azul complejo amilosa/yodo, digestibilidad enzimática, resonancia magnética nuclear, entre otras como la calorimetría diferencial de barrido, que es una de las técnicas más empleadas. (cf. González A., et al. 2014)

2.7.2.2. Licuefacción

Es la siguiente etapa para la producción de glucosa, en donde el almidón previamente gelatinizado se somete a una licuefacción utilizando como catalizador la enzima alfa amilasa. El objetivo del proceso de licuefacción es convertir los gránulos de almidón de la suspensión concentrada a dextrina solubles de baja viscosidad con un adecuado manejo y equipo para la fácil conversión de glucosa por la glucoamilasa. La alfa amilasa actúa como catalizador, en donde a través de esta enzima se hidrolizan los enlaces $\alpha \rightarrow 1,4$ glucosídicos al azar, es decir actúa sobre cualquier punto interno de la molécula liberando dextrinas y oligosacáridos. Las condiciones de pH oscilan entre 4 a 6 y la temperatura en que esta enzima tiene su mayor actividad se encuentran alrededor de 60 a 100 °C, así como la composición específica y el peso molecular, estas variaciones dependen del tipo de almidón y la fuente de donde se haya extraído dicha enzima. (Morales S., & Sánchez P., 2004).

2.7.2.3. Sacarificación

En términos generales la sacarificación es el proceso de rotura o desdoblamiento del carbohidrato en sus componentes monosacáridos o disacáridos. En el caso del almidón, este proceso de hidrolizado es sacarificado con la enzima glucoamilasa, pululanasa o también se puede utilizar una mezcla de enzimas, las cuales son comercializadas por industrias NOVO Nordisk a nivel mundial. A diferencia de la $\alpha \rightarrow$ amilasa que se encuentra en microorganismos, vegetales y animales superiores, esta enzima es sólo de origen microbiano. (Lic. Huanca S., 2017)

El objetivo de la sacarificación es convertir la solución licuada de la etapa anterior a D-glucosa en rendimientos tan altos como sea posible. Usando la glucoamilasa es posible una conversión prácticamente total del almidón a D-glucosa. La glucoamilasa es la enzima que actúa como catalizador en la hidrólisis de enlaces $\alpha \rightarrow 1,6$ glucosídicos de las cadenas poliméricas del almidón. Esta enzima libera de forma secuencial unidades sencillas de D-glucosa. La velocidad de hidrólisis del almidón catalizada por esta enzima se incrementa en proporción directa con el peso molecular del sustrato. Las condiciones de pH y temperatura en que esta enzima tiene su mayor actividad, así como la composición específica y el peso molecular tienen ciertas variaciones que dependen de la fuente de donde se haya extraído la enzima. Esta enzima requiere la acción anticipada de $\alpha \rightarrow$ amilasa para poder catalizar con mayor eficiencia, cuando se hidroliza el almidón con glucoamilasa como catalizador, los polímeros que contienen enlaces $\alpha \rightarrow 1,4$ glucosídicos se hidrolizan más rápido que los polímeros que contienen enlaces $\alpha \rightarrow 1,6$ glucosídicos. (Morales Y. y Sánchez P., 2004).

2.8. Diferencia de los métodos aplicados en almidón

Según estudios realizados se dice que la hidrólisis ácida del almidón a glucosa es una técnica que tiene muchas desventajas como ser la formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre. En los últimos 30 años la hidrólisis enzimática toma lugar en relación a la hidrólisis ácida, la mayor parte de la hidrólisis de almidón se realiza usando enzimas, ya que esta técnica presenta ventajas como: control de la formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto. Este método es mucho mejor en cuanto a obtención de jarabes azucarados, porque obtienen mayor rendimiento de glucosa (Mera & Carrera, 2005). [54]

2.9. Análisis fisicoquímico en los jarabes de glucosa

Para la caracterización de un jarabe líquido de glucosa o fructosa se considera que éste debe disponer de azúcares reductores presentes en forma de DE (equivalentes de dextrosa), los cuales ayudan a clasificar a los jarabes dentro de un rango y así direccionar su aplicabilidad en el rubro industrial alimenticio y no alimenticio.

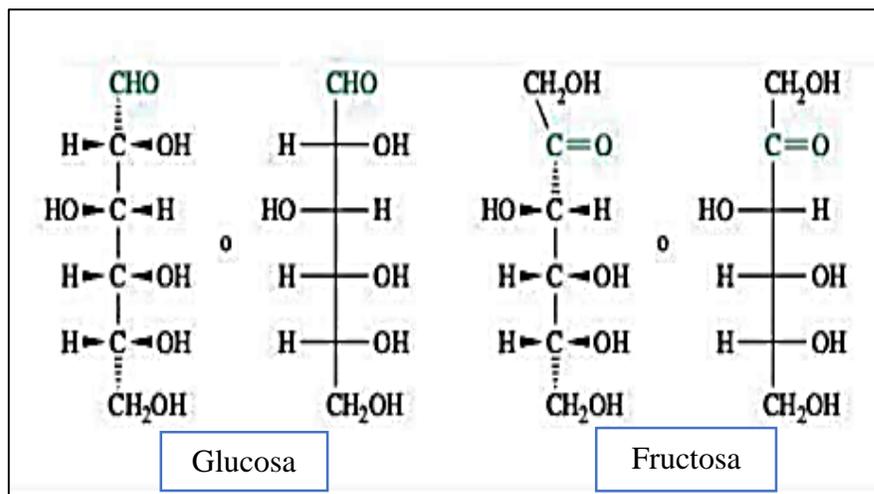
2.9.1. Azúcares Reductores

Se denominan azúcares reductores porque el azúcar reduce al agente oxidante ya que poseen un grupo carbonilo (grupo funcional) intacto en su estructura, tales como la glucosa y fructosa que presentan un carbono libre en su estructura donde este grupo hemiacetal (una interacción entre C-2 y C-5,) le confiere al azúcar reductor la característica de poder reaccionar con otros compuestos para que pueda reducir en determinadas condiciones. En solución acuosa, dicho grupo hemiacetal libre tiene la capacidad de reducir agentes oxidantes ya que la forma cíclica hemiacetales de los azúcares tiene la potencialidad de generar trazas de la forma abierta, es decir grupos aldehídos libres. (Gerena F., 2013)

La determinación de los azúcares reductores, se obtiene por medio de una curva de calibración, siguiendo el método de Miller o DNS (ácido dinitrosalicílico), el cual se trata de un reactivo que tiene la capacidad de oxidar a los azúcares reductores, dando resultados colorimétricos, este método emplea el reactivo 3,5-ácidodinitrosalicílico en la hidrólisis de los polisacáridos presentes en una muestra, seguido de la determinación espectrofotométrica a 540 nm. de los azúcares reductores. Esta técnica sirve para cuantificar los productos de una reacción enzimática. (Gerena F., 2013)

La razón por la cual son llamados grupos reductores se debe a que los monosacáridos como la glucosa y fructosa presentan en su estructura uniones de enlaces glucosídicos. (Jeréz L., 2008). [55] (ver fig. II.10)

Figura II.10. Proyección de Fischer de los azúcares reductores



Fuente: Química Orgánica Vol. II [56]

2.9.2. Equivalente de Dextrosa (ED)

Se define como un indicativo del contenido de azúcares reductores de un edulcorante, calculado como dextrosa y expresado como sólidos totales en un porcentaje de 20 % aunque estos presenten bajos contenidos de glucosa. Los jarabes obtenidos después de técnicas de purificación pueden ser considerados como jarabes de glucosa líquida ya que se encuentran en un rango superior de 20 ED (equivalente de dextrosa). (García et al., 1993)

El ED representa el porcentaje de hidrólisis en los enlaces glucosídicos reductores presentes en el jarabe con respecto al peso de sólidos totales de oligosacáridos, el cual indica que tanto el almidón es desdoblado durante el proceso de hidrólisis. (Morales, S. Y., & Sanchez, P., 2004).

Salcedo et al., (2009) [57] determina el ED presente en un jarabe de glucosa mediante la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{AR}{M} * 100$$

Dónde:

AR: Cantidad de azúcares reductores presentes en la muestra.

M: Peso de la muestra seca en gramos.

Las características de los jarabes de glucosa se obtienen según las condiciones de hidrólisis y el medio utilizado para dicha hidrólisis, para después clasificarlos según el rango correspondiente. (ver cuadro II.5)

Cuadro II.5 Clasificación de los jarabes de glucosa según el ED

Jarabes	Equivalente de Dextrosa ED (%)	Descripción
1	21 -50	Glucosas líquidas de baja conversión.
2	46 - 70	Glucosas líquidas de conversión media o estándar.
3	67 en adelante	Glucosas líquidas de alta conversión.

Fuente: Gerena F., 2013

En el cuadro anterior se observa los jarabes ubicados en un rango de ED entre 21 a 50 % los cuales son considerados para una mínima utilidad en el área. Los jarabes con ED entre 46 y 70 % pueden ser aplicados en las industrias de helados, pastelerías, alimentación dietética y farmacéuticas. Los jarabes con ED mayores a 67 % pueden emplearse en la industria de caramelos, chicles y confiterías. (Gerena F., 2013)

2.10. Influencia de las variables en la obtención de jarabes de glucosa

Las variables que intervienen y afectan en el proceso de elaboración del jarabe de glucosa son los siguientes:

2.10.1. Tiempo de reacción sustrato/enzimas

En el proceso de hidrólisis enzimática el tiempo que puede llegar a reaccionar el sustrato con las enzimas deben ser muy cuidadosas debido a que a medida que se aumenta el periodo de reacción las glucosas pueden volver a integrarse formando otros productos como HMF (Hidroxi Metil Furfural) y furfural, contribuyendo a una próxima fermentación. (Mejía et. al., 2007)

2.10.2. Efectos de la temperatura en la concentración del sustrato

La temperatura es un parámetro muy importante en el proceso de hidrólisis sobre todo en el momento de concentrar el sustrato de almidón, por ejemplo, si se trabaja a temperatura muy elevada se pueden llegar a producir aldehídos y furanos que se forman durante la descomposición térmica de los glúcidos, obteniendo un producto dañino para la salud del consumidor. (Quispe T., 2012)

2.10.3. Concentración de azúcares en el jarabe

Cuando se lleva a cabo el proceso de hidrólisis por medio ácido o enzimático, se ve afectada la concentración de azúcares en la etapa de sacarificación debido a un aumento de concentración del ácido o la enzima que provocan la reducción de los azúcares en el jarabe de glucosa, llegando a formar compuestos tóxicos como el crecimiento microbiano de levaduras que influyen en la calidad y el deterioro de la vida útil del jarabe. (Mejía et al, 2007)

2.10.4. Importancia de los ° Brix para evitar la fermentación

En la etapa de concentración de los jarabes es de mucha importancia llegar a los grados Brix adecuados, para evitar la contaminación con levaduras producidas por un porcentaje de agua muy elevado que hacen que las levaduras se desarrollen naturalmente, se activen y fermenten el jarabe de glucosa. Todos los jarabes tienen levaduras osmofílicas que son tolerantes a soluciones con una concentración relativamente alta de azúcares, esto beneficia al jarabe matando las bacterias por hidrólisis osmótica. (Quispe T., 2012)

2.11. Normas de calidad de jarabes alimenticios

Las normas de calidad para un jarabe son muy importantes porque aseguran que el producto tenga una buena calidad y sea apto para el consumo humano. Según investigaciones realizadas se puede evidenciar que hasta la fecha no se realizaron estudios de elaboración de jarabes de glucosa a partir de almidón de ajipa como tal, por ello no existe una tabla o cuadro donde se haga la comparación respectiva del mismo. Sin embargo, se aprecian normativas para alimentos relacionados a jarabes como el que se obtiene en el presente trabajo de investigación, se citan los siguientes:

2.11.1. Normativa Boliviana IBNORCA

En Bolivia existe la normativa NB 38023 establecida por IBNORCA, la cual esta institución está encargada de verificar y hacer cumplir las normas establecidas para productos alimenticios (jarabes) destinados a consumo humano. Tales requisitos se realizan en base a la miel comercial.

2.11.1.1. Requisitos organolépticos

Tabla II.5. Condiciones organolépticas para jarabes según IBNORCA

Parámetros	Requisitos en base a lo establecido por IBNORCA
Color	Serán variables, desde casi incoloras hasta pardo oscuro, pero debe ser uniforme en todo el volumen del envase que la contenga. Si fuera necesario, se puede determinar el color según la norma NB 38035.
Sabor y aroma	La miel debe tener sabor y aroma característicos y estar libre de sabores y aromas objetables, absorbidos de materias extrañas durante su

	elaboración, envasado o almacenamiento.
Consistencia	La miel debe presentarse como un líquido denso, viscoso y translucido o bien, cristalizado total o parcialmente.

Fuente: IBNORCA, 2017 [58]

2.11.1.2. Requisitos fisicoquímicos

Tabla II.6. Condiciones fisicoquímicas para jarabes según IBNORCA

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Azúcar reductor (calculados como azúcar invertido)	%	65,0	-	NB 38033
Contenido de humedad	%	-	20,0	NB 38027
Acidez libre	mEg/kg	-	40,0	NB 38026
Densidad relativa a 27 °C	-	1,37	-	NB 38034
pH	-	3,9	-	NB 38028

Fuente: IBNORCA, 2017

De la tabla II.6, los requisitos que más se consideran son el contenido de humedad, densidad relativa, azúcares reductores y pH para un jarabe de glucosa. (Quispe T., 2017)

2.11.1.3. Requisitos microbiológicos

Tabla II.7. Condiciones microbiológicas para jarabes según IBNORCA

Microorganismo	Unidad	Lotes mayores o iguales a 10 000 kg.	Lotes menores a 10 000 kg.
Coliformes totales	UFC/g	n=5 c=2 m=10	Máximo: 1×10^4
Hongos y levaduras	UFC/g	n=5 c=2 m=10	Máximo: 1×10^2

Fuente: IBNORCA, 2017

La miel, al no tratarse de un jarabe elaborado de un tubérculo o cereal, pero sí perteneciente al rubro de edulcorantes o jarabes de uso alimenticio, serán considerados algunos de los requisitos observados en las tablas II. (5, 6, 7) para hacer la comparación con los análisis obtenidos en este trabajo de investigación, para así poder ayudar a caracterizar y clasificar al jarabe de glucosa elaborado a partir de almidón de ajíja producido en el departamento de Tarija.

2.11.2. Normativa internacional Mexicana

La norma mexicana NMX-F169-1984 es aplicable para alimentos para consumo humano como ser los jarabes elaborados partir de almidones utilizados por las industrias alimenticias. Dicha norma internacional es publicada por la dirección general de normas en el estado de México. A continuación, se muestran los requisitos a ser considerados en la caracterización de un jarabe de glucosa.

2.11.2.1. Requisitos fisicoquímicos

Se muestra las especificaciones químicas y físicas de cualquier jarabe elaborado en industrias de México que debe de cumplir con la siguiente tabla, las cuales se deben estar sujetas en cualquier tipo de jarabe.

Tabla II.8. Condiciones fisicoquímicas para jarabes según NMX-F169-1984

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Cenizas	%	0	3	NMX-F
pH	-	3	7	NMX-F
Grados Brix	° Brix	50,1	-	NMX-F

Fuente: Dirección General de Normas Mexicanas, 2016 [59]

De la tabla II.8 se considerarán los requisitos para hacer la comparación con el producto obtenido en el presente trabajo investigativo, con la finalidad de ayudar a caracterizar la calidad del mismo.

2.11.3. Normativa internacional Peruana

Esta normativa hace referencia en específico al jarabe de Yacón, por ello, al tratarse de un tubérculo también se considerará en la caracterización del producto final.

Tabla II.9: Condiciones fisicoquímicas y organolépticas de los jarabes

Requisito	Mínimo	Máximo
° Brix	55,0	75,0
pH	4,2	6,0
Consistencia	Viscosa	-
Color	Característico, marrón	-

Sabor	Dulce	-
-------	-------	---

Fuente: Normas Peruanas, 2010 [60]

En síntesis, las dos normas internacionales de calidad alimentaria observadas son similares, por lo tanto serán consideradas como parámetros patrón para la caracterización del jarabe obtenido en el presente trabajo investigativo.

2.12. Teoría para una evaluación organoléptica y análisis estadístico para la caracterización de un jarabe alimenticio

El análisis sensorial puede utilizarse en el control de calidad de los alimentos para resolver problemas de distinta índole; en cada caso concreto, la naturaleza de los mismos determina el tipo de prueba a realizar, las características del grupo de jueces y las condiciones de análisis. (Lees, 1984). [61]

La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos físicos, químicos y microbiológicos. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que lleva sus propios instrumentos de análisis, es decir sus cinco sentidos. Es un instrumento importante cuando se trata de evaluar la textura de productos con bajo contenido de humedad. En este sentido, el análisis sensorial mide las respuestas de las personas hacia los productos alimenticios ya que el rubro de industrias de alimentos tiene como fin cumplir con los requerimientos de las personas, que son definidos por los gustos y preferencias del consumidor. La evaluación sensorial analiza y estudia cómo los productos, los gustos. (Castañeda C., 2013). [62]

Para poder cuantificar las percepciones y medir las respuestas de los consumidores se utilizan escalas que son sistemas que envuelven la asignación de valores numéricos y/o verbales a percepciones sensoriales, por tal, son fundamentales dentro del análisis sensorial. Estas respuestas sensoriales pueden ser evaluadas de manera discriminativa, descriptiva y afectiva, en donde las más utilizadas en la industria de alimentos e investigaciones son las pruebas hedónicas afectivas, las cuales prueban o miden las

respuestas de agrado y desagrado del consumidor. Dentro de las pruebas afectivas se aprecian tres tipos de escala que son las categóricas, las de proporción y las categóricas de proporción, donde la operación básica de una escala categórica es catalogar respuestas limitadas enumeradas junto a opciones verbales. La escala categórica más utilizada en la evaluación de alimentos es la escala hedónica de nueve puntos que fue desarrollada por el U.S Army Food Container Institute en 1950, donde los rangos de los números van desde uno a nueve, siendo uno “disgusta extremadamente”, cinco “ni gusta ni disgusta” y nueve “gusta extremadamente”. Esta escala fue rápidamente adaptada por la industria de alimentos e investigación por su simplicidad de uso. Es así entonces que el análisis sensorial a través de cada una de las pruebas permite conceptuar sobre un producto alimenticio para así poder llegar a tomar decisiones. (Castañeda C., 2013)

En el presente trabajo de investigación se considerará este fundamento para la ejecución de las pruebas organolépticas del producto terminado.

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

CAPÍTULO III

PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Caracterización de la materia prima Ajipa (*Pachyrhizus ahipa* (Wedd.))

Las raíces de ajipa que se utilizan en este trabajo son provenientes de la Comunidad de Caraparí perteneciente al Río Pilaya ubicado en la zona fronteriza entre los departamentos de Tarija-Chuquisaca, la cual presenta un tamaño mediano y textura firme, afirmando un grado de maduración adecuada. A continuación se observa los parámetros de la ajipa empleada en el proceso.

3.1.1. Propiedades físicas

Tabla III.1: Propiedades de la Ajipa

Propiedades	Unidad	Descripción
Ancho de pulpa	cm	6 - 8
Longitud de pulpa	cm	12-15
Grosor de cáscara	mm	0,5-1
Peso Neto	g	10 - 12
Peso Total	g	100 - 150
pH	-	6,3

Fuente: Elaboración propia, 2021

Las mediciones que muestran la Tabla III.1 son realizadas con la ayuda de instrumentos de laboratorio como un vernier y una balanza digital, el peso total se refiere a la raíz de ajipa con cáscara y el peso neto se refiere sin cáscara.

Dentro de estas características físicas realizadas a la raíz de ajipa se puede mencionar que el pH es un parámetro importante, ya que al saber el dato se puede tener conocimiento previo de como afectara o no en el proceso, en este caso, la ajipa al presentar un pH ligeramente ácido favorece la reacción de hidrólisis, contribuyendo que en la reacción de sustrato/enzimas dichas enzimas puedan activarse y trabajar mejor en torno al quiebre estructural del gránulo del almidón.

3.1.2. Propiedades organolépticas

Tabla III.2: Propiedades organolépticas de la Ajipa

Propiedades	Descripción
Color de raíz	Amarrillo mostaza claro
Color de pulpa	Blanquecino
Olor	Característico
Sabor	Dulce
Textura	Medio áspero
Forma	Raíz Romboidal

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Las descripciones realizadas en la Tabla III.2 son realizadas por parte del personal técnico y estudiantes en el L.O.U. de la facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Donde dentro de la tabla se considera las propiedades del olor y color de la pulpa porque estos ayudaran a obtener un jarabe aparentemente claro y libre de olores, evitando una filtración de clarificación con carbón activado.

3.1.3. Propiedades fisicoquímicas

Para la caracterización fisicoquímica de la raíz de ajipa empleada en este proyecto se lleva una muestra representativa al Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, ubicado dentro de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, donde se determinan los parámetros proximales de la materia prima que se muestran en la Tabla III.3.

Tabla III.3: Propiedades Fisicoquímicas de la raíz de Ajipa

Parámetros	Técnica y/o Método de ensayo	Unidad	Resultados
Ceniza	NB 39034:10	%	0,23
Fibra	Gravimétrico	%	6,58
Grasa	NB 313019:06	%	0,04
Humedad	Cálculo	%	78,28
Hidratos de Carbono	NB 313010:05	%	13,39
Proteína Total	NB/ISO 8968-1:08	%	1,51
Valor Energético	Cálculo	Kcal/100g	59,60

Fuente: CEANID, 2021

Para caracterizar a la ajipa se determinan parámetros proximales mostrados en la tabla anterior, es decir son los parámetros que más influyen en la aplicabilidad de la ajipa o de otro tubérculo en general. Tal es el caso que para la elaboración de jarabes se debe tomar en cuenta que la materia prima esté libre de grasas y con bajo valor protéico (Ríos L., 2018). [63]

3.2. Selección del Método de Investigación

La metodología que se emplea en este proyecto de obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa producido en el departamento de Tarija a escala laboratorio, se desarrollará de manera experimental haciendo uso de las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias L.O.U.

La serie de etapas que se consideran para este proceso son recabadas en base a referencias bibliográficas explicadas en el capítulo anterior en el punto 2.7. Donde se consideran dos métodos: H.A (Hidrólisis ácida) e H.E. (Hidrólisis enzimática), y que son aplicados por las industrias para la elaboración de jarabes alimenticios; es por ello que sobre esa base se adecua e implementa la metodología para la ejecución de este trabajo investigativo. Para ello, se hará una evaluación mediante una matriz de decisiones donde se asignen valores a cada factor que involucre los dos métodos mencionados, esto, con la finalidad de seleccionar el método más óptimo que conlleve a tener un rendimiento práctico, mejorando las condiciones de operación en el aspecto económico y la calidad del producto.

Se construye una tabla en la que se asigna valores de calificación que se dan a los factores evaluados en las etapas de proceso de ambos métodos de acuerdo a una escala de cero a diez.

Tabla III.4: Escala de Calificación por Puntuación del 0 al 10

Escala de Puntuación	Puntuación
No aplicable	0
Regular	3
Adecuado	5
Bueno	7

Muy Bueno	10
-----------	----

Fuente: Elaboración propia, 2021

La Tabla III.4 está sustentada de acuerdo a Escobar Pérez, 2008 [64], donde explica que “la evaluación mediante métodos de validación se trata de una técnica cuya realización adecuada desde un punto de vista metodológico constituye el único indicador de validez de contenido de datos o de información que resulten de gran utilidad en la valoración de aspectos de orden radicalmente cualitativos”. Para este caso, en el proyecto de investigación se consideró a la tesista del presente proyecto como juez evaluador debido a que no se pudo recabar información por parte de expertos con conocimientos en el área de procesos de hidrólisis.

A continuación se procede a la evaluación de los métodos considerando la escala de calificación de la Tabla III.4. Previamente se procedió a recabar información bibliográfica acerca del tema en diversas fuentes como tesis, revistas científicas, sitios web que tengan relación en proyectos similares (ver Citas Bibliográficas) con el fin de conocer criterios de diferentes autores para dar soporte científico a la evaluación de los métodos.

Cuadro III.1: Evaluación de los métodos para la obtención de jarabe de glucosa

Factor Evaluado	Comentario del evaluador		Calificación	
	Hidrólisis Acida (H.A.)	Hidrólisis Enzimática (H.E.)	(H.A.)	(H.E.)
Disponibilidad de información	Existe disponibilidad de información de este proceso, sin embargo se menciona por experiencia bibliográfica que no	Se encuentra información sobre este método y se menciona que los equipos son adecuados para este	5	10

	es favorable trabajar con sustancias ácidas por lo que puede ocasionar peligro a la persona y al ambiente y equipos de trabajo.	tipo de procedimientos.		
Aplicabilidad al proceso	En el proceso de sacarificación se tiene menor tiempo de concentración pero el rendimiento no es el mejor.	En todo el proceso se aplica más tiempo obteniendo un rendimiento más práctico.	5	7
Generación de pérdidas	Se evapora muy rápido en equipo de baño maría y no así en rota-vapor, pero puede haber obstrucción del mismo.	Se evapora muy rápido en ambos equipos baño maría y/o rota vapor.	5	3
Facilidad para tomar muestra y medir los °Brix del jarabe	Es fácil de medir.	Es fácil de medir.	7	7

Uso de insumos	Son reactivos ácidos, poco complicados de manipular.	Son enzimas no peligrosas, pero si escasas para su venta.	3	3
Tiempo de concentración	Menor tiempo de concentración.	Requiere más tiempo de concentración para el total desarrollo de glucosa	7	
Facilidad del conseguir el equipo en Laboratorio	Aplica un equipo de concentración con más soporte a corrosiones.	Existe el equipo en el laboratorio de procesos.	5	9
Costos	Se tiene disponibilidad del equipo, pero los materiales e insumos no se encuentran disponibles.	Se tiene disponibilidad de los equipos y además no consume energía elevada.	5	7

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Después de una evaluación de métodos, se puede decir que el mejor método para aplicar en el presente trabajo de investigación es la hidrólisis enzimática, ya que es más accesible a conseguir los insumos (enzimas) y la disponibilidad de materiales y equipos a emplear se encuentran en el Laboratorio donde se ejecutará el proceso de obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa.

Una vez determinado la evaluación de métodos se construye una tabla donde se realiza el cálculo correspondiente para la selección del método, para este caso se consideran los valores respectivos para cada método obtenidos del cuadro anterior y se procede a hacer la operación de cálculo de ponderación entre la unidad en base diez, esto se realiza con la finalidad de tener un total de costos que ayuden a identificar el mejor método.

Tabla III.5: Evaluación del método para la obtención de jarabe de glucosa

Factores evaluados	Valores ponderados %	Calificación(H.A)			Calificación(H.E)		
		Unid.	Unid/10	Pond.	Unid.	Unid/10	Pond.
Disponibilidad de información	15	5	0,5	7,5	10	1	15
Aplicabilidad al proceso	20	5	0,5	10	7	0,7	14
Generación de perdidas	10	5	0,5	5	3	0,3	3
Facilidad para Tomar muestra y medir los °Brix del jarabe	10	7	0,7	7	7	0,7	7
Uso de insumos	15	3	0,3	4,5	3	0,3	4,5
Tiempo de concentración	10	7	0,7	7	7	0,7	7
Facilidad del conseguir el equipo en laboratorio	10	5	0,5	5	9	0,9	9
Costos	10	5	0,5	5	7	0,7	7
Total	100			51			67,5

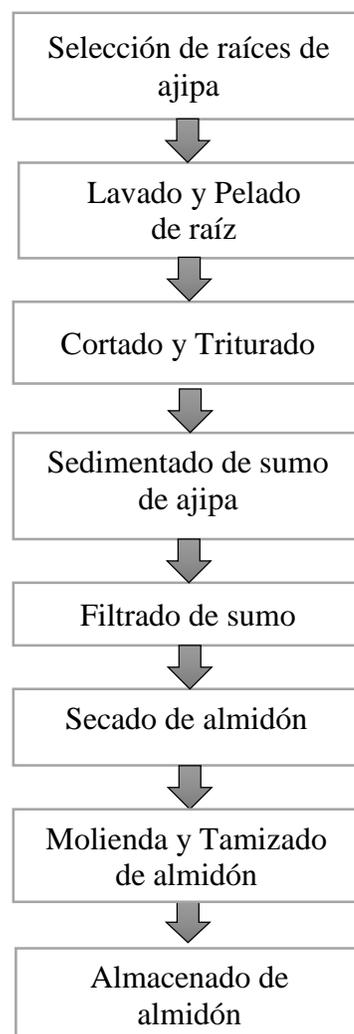
Fuente: Elaboración propia, 2021

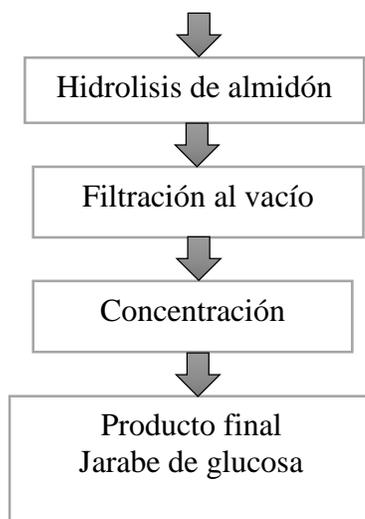
Se ve por conveniente escoger el método de hidrólisis enzimática, porque el consumo de energías es bajo en costo. La eficiencia del método de concentración es mucho mejor ya que se obtiene una cantidad elevada de rendimiento y además el tiempo y la temperatura de concentración en el equipo pueden identificarse de manera más rápida y no presentan muchos riesgos.

3.3. Descripción del Método de Investigación

En el diagrama III.1 se describe paso a paso las etapas del proceso de la obtención de un jarabe de glucosa a partir del almidón.

Diagrama III.1: Proceso de obtención de jarabe de glucosa por método enzimático





Fuente: Elaboración Propia. 2021

3.4. Diseño Experimental del proceso de obtención de jarabe de glucosa a partir del almidón de ajipa

El diseño experimental consiste en plantear y realizar un conjunto de pruebas con el objetivo de analizar los efectos de dos o más factores de interés sobre una variable respuesta. Está conformado por Niveles (valores que se le asignan a cada variable estudiada de un diseño experimental) y Tratamientos (combinación de niveles de todas las variables estudiadas). Tiene la función de decidir cuantas y cuales pruebas o tratamientos se correrán en el proceso y cuantas repeticiones de cada uno.

Para este trabajo de investigación el tipo de diseño experimental a desarrollar es de carácter cuantitativo ya que permitirá manipular y controlar las condiciones operacionales en el proceso de hidrólisis. Se aplica un diseño experimental de análisis de varianza multifactorial con un arreglo factorial de 2^k ; que corresponden a la combinación de 3 variables con 2 niveles, obteniendo 8 tratamientos, y para corroborar los resultados se hará la repetición de los tratamientos lo que lleva a un número total de 16 pruebas. (Montgomery D., 2004) [65]

La selección cuantitativa de las variables es considerada debido a que son las más influyentes dentro del proceso de hidrólisis donde los 3 factores interactúan de mejor manera entre sí, dando interacciones dobles (1-2, 1-3, 2-3) que pueden ser significativas

en la variable respuesta. En cuanto a las réplicas del diseño se consideran 2 repeticiones para corroborar los resultados de las variables respuestas influenciadas. (Montgomery D., 2004), ya que por temas de costos no se pudieron implementar más replicas porque se plantean 2 variables respuestas.

3.4.1. Variables independientes o factores de estudio

Son aquellas variables que pueden ser manipuladas en el laboratorio. Para el desarrollo de este trabajo de investigación se determinan 3 factores principales a controlar en el proceso de obtención de jarabe de glucosa, las cuales son:

3.4.1.1. Cantidad de enzima glucoamilasa

La cantidad de enzima glucoamilasa a emplear es una variable que se controla ya que una adecuada cantidad contribuye en la rápida cinética de reacción del almidón.

3.4.1.2. Temperatura de Sacarificación

La temperatura es el factor de estudio a controlar porque delimita el calor óptimo agregado en la hidrólisis con la finalidad de obtener un buen desprendimiento del gránulo de almidón y desarrollo de glucosa, garantizando una buena lectura de ° Brix en la muestra.

3.3.1.3. Tiempo de concentración de jarabe de glucosa

El tiempo en la etapa de concentración del jarabe es una variable fundamental y es controlada porque según el tiempo óptimo de concentración se logra obtener una mayor separación del agua sobrante en el sustrato, obteniendo una mayor concentración de producto.

En la Tabla III.6 se observa la simbología de los factores de estudio que se determinan para el desarrollo de la fase experimental del presente proyecto.

Tabla III.6: Simbología de los factores de estudio

N °	Variable	Unidad	Simbología
1	Cantidad de enzima (glucoamilasa)	Gramos	gr.
2	Temperatura de sacarificación	Grados	°C
3	Tiempo de concentración de jarabe de glucosa	Minutos	min.

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.2. Variables dependientes o variables de control

Son aquellas que cambian al variar las variables independientes, permiten hacer un seguimiento antes y después del proceso. En la ejecución de este proyecto se establece como variable respuesta la concentración de azúcares reductores, el pH y los ° Brix del jarabe de glucosa.

La Tabla III.7 describe su simbología.

Tabla III.7: Simbología de las variables de control

N °	Variable	Unidad	Simbología
1	Azúcares Reductores	porcentaje	%
2	Grados Brix	-	° Brix

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.3. Diseño Factorial

En la siguiente Tabla se describe los niveles y tratamientos a desarrollar en este trabajo de investigación.

Tabla III.8: Factores de estudio

Factor en estudio	Nivel	Tratamientos	Nº de repeticiones	Nº de unidades experimentales	Variables respuestas
Parámetros	2	8	2	16	Azúcares reductores ° Brix
Nº de factores experimentales	3				

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.3.1. Desarrollo de las pruebas del diseño factorial 2^k

Se muestran cómo se realizan los tratamientos que se fijan en el diseño experimental, combinando la cantidad de la enzima glucoamilasa (es la que complementa a la formación de glucosa) con diferentes tiempos y temperaturas.

Tabla III.9: Niveles de variación de factores

Factores	Unidad	Símbolo	Niveles	
			Mínimo	Máximo
Cantidad de Enzimas	Gramos	gr.	0,6	0,75

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Temperatura de Sacarificación	Grados	° C	60	75
Tiempo de Concentración	Minutos	min.	120	180

En la tabla anterior se muestran los niveles aplicados al diseño experimental de este trabajo investigativo, estos datos fueron recabados según fuentes bibliográficas citadas en el capítulo anterior, las cuales tienen relación con la producción de jarabes a partir de tubérculos nativos, donde mencionan que los niveles son muy influyentes dentro del proceso de hidrólisis enzimática. Estos niveles son considerados en base a criterios de diferentes procesos de trabajos de investigaciones desarrolladas con una similar técnica a la que se utiliza en el presente trabajo, además se considera las fichas técnicas de los insumos a emplear como un apoyo para la selección de los niveles.

3.4.3.2. Matriz de Diseño

Una matriz de diseño es el arreglo factorial formado por las diferentes condiciones de proceso y tratamientos que son corridos incluyendo las repeticiones. En la Tabla III.10 se muestran los números de ensayo con las combinaciones de las codificaciones de factores de estudio.

Tabla III.10: Niveles de variación de factores de estudio

°N de Exp.	Cant. de enz. gluc.	Temp. de sacarif.	Tiempo de conc.	% Azucares Reductores	° Brix
1	-1	-1	-1	Y₁	Y₁
2	-1	-1	+1	Y₂	Y₂
3	-1	+1	-1	Y₃	Y₃
4	-1	+1	+1	Y₄	Y₄

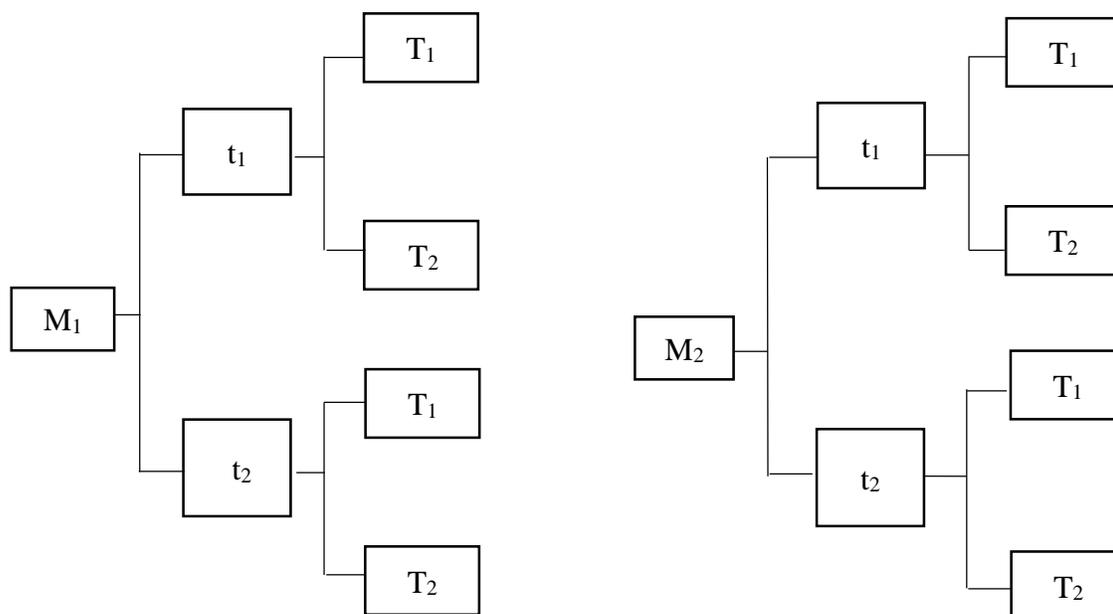
5	+1	-1	-1	Y_5	Y_5
6	+1	-1	+1	Y_6	Y_6
7	+1	+1	-1	Y_7	Y_7
8	+1	+1	+1	Y_8	Y_8
9	-1	-1	-1	Y_9	Y_9
10	-1	-1	+1	Y_{10}	Y_{10}
11	-1	+1	-1	Y_{11}	Y_{11}
12	-1	+1	+1	Y_{12}	Y_{12}
13	+1	-1	-1	Y_{13}	Y_{13}
14	+1	-1	+1	Y_{14}	Y_{14}
15	+1	+1	-1	Y_{15}	Y_{15}
16	+1	+1	+1	Y_{16}	Y_{16}

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.3.3. Rutas de Experimentación

A continuación se diseña las rutas de los factores experimentales, donde:

- M_1 y M_2 son las cantidades de enzima glucoamilasa a emplear.
- t_1 y t_2 son los tiempos de concentración para la obtención del producto final.
- T_1 y T_2 son las temperaturas establecidas en la etapa de sacarificación.

Diagrama III.2: Diagrama de las rutas de los factores experimentales

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.4.3.4. Combinaciones de las rutas de experimentación

Tabla III.11: Primera Ruta de la Experimentación

Cantidad de enzima glucoamilasa		
$M_1 = 0,6 \text{ gr.}$		
N° Muestras	Temperatura (° C)	Tiempo (min.)
1	$T_1 = 60$	$t_1 = 120$
2	$T_2 = 75$	$t_1 = 120$

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3	$T_1 = 60$	$t_2 = 180$
4	$T_2 = 75$	$t_2 = 180$

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Tabla III.12: Segunda Ruta de la Experimentación

Cantidad de Enzimas (glucoamilasa)		
$C_2 = 0,75 \text{ gr.}$		
N° Muestras	Temperatura (° C)	Tiempo (min.)
5	$T_1 = 60$	$t_1 = 120$
6	$T_2 = 75$	$t_1 = 120$
7	$T_1 = 60$	$t_2 = 180$
8	$T_2 = 75$	$t_2 = 180$

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Las Tablas III.11 y III.12 muestran los ensayos que se realizan en la etapa de sacarificación con las cantidades de enzima glucoamilasa y sus respectivos tiempos y temperaturas de trabajo para posteriormente realizar el análisis y obtener el resultado final de cada una de ellas.

3.4. Equipos, Materiales y Reactivos e Insumos empleados para el desarrollo del diseño experimental

El equipamiento, materiales y reactivos más relevantes que se utilizan en este proyecto son los siguientes.

3.4.1. Equipos de Laboratorio

Tabla III.13: Equipos empleados en la obtención de jarabe de glucosa

Equipo	Descripción	Especificación	Cantidad
Rota-vapor	Separa dos o más componentes de una mezcla líquida, aprovechando la diferencia de volatilidades.	Marca: Potencia de calefacción: 1300 W. Margen de Temperatura en el baño: 20-180 °C Velocidad: 20-270 rpm.	1
Estufa tipo incubadora	Equipo que produce calor para calentar una o varias muestras, disminuyendo la humedad del mismo.	Número de modelo: 100 A. Potencia: 120 W. Rango de temperatura: 30 - 65 °C Voltaje: 120 V.	1
Filtración a vacío	Separa partículas sólidas a partir de un fluido haciendo pasar a través de un		1

	medio filtrante.		
Baño María	Tiene la función de calentar la muestra a una temperatura manipulable.	Tipo: RWB 2 V: 220 V. Potencia: 105,0 W. Rango de temperatura: 0-100 ° C	1
Balanza Analítica	Diseñada para medir pequeñas cantidades de masas, en un principio de un rango menor del gramo.	Peso máximo: 510 gr. Peso mínimo: 1 gr. Precisión de la balanza: 0,001 gr. Error de la balanza: 0,01	1
Balanza Digital	Equipo en el cual se pueden pesar la muestra inicial, reactivos e insumos.	Peso mínimo: 1 gr. Peso máximo: 10.000 gr.	1
Brixómetro	Permite medir los ° Brix, es decir, la cantidad de sólidos disueltos en la solución.	Rango índice de refracción: 1.300-1.710 nd. Sólidos disueltos: 0-85 %. Rango de Temperatura: 0-80 ° C. Espesor de película:	1

		0,0001 mm. o mayor Voltaje de lámpara: 6,3 VAC.	
Secador Infrarrojo	Ayuda a medir la humedad que presenta una muestra.		1

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.5.2. Materiales

Tabla III.14: Materiales de Laboratorio

Material	Descripción	Especificación	Cantidad
Vaso de precipitado	Contiene muestras líquidas.	Capacidad: 600 ml.	2
Vidrio reloj	Recipiente para depositar sólidos.	Diámetro: 10 cm. Alto: 1 cm.	3
Termómetro	Mide la cantidad de calor de una muestra.	Rango de temperatura: 0-200 ° C	1
Mortero y su maso	Recipiente para triturar muestras secas de poca dureza.	Capacidad: 500 gr.	1
Varilla de vidrio	Sirve para remover	Longitud: 25 cm.	1

	soluciones.		
Frascos de vidrio	Utilizado para almacenar muestras.	Capacidad: 380 ml. Largo: 15 cm. Diámetro: 10 cm.	16
Papel filtro	Sirve como medio filtrante.	-	2
Espátula	Levantar muestras sólidas.	-	1
Bolsas Herméticas	Utilizadas para almacenar las muestras.	Base: 15 cm. Altura: 20 cm.	10
Probeta	Mide volúmenes.	Capacidad:100 ml.	1
pH metro	Mide el pH de la muestra.	Rango de medición: 0-14 pH. Error de medición: (+-) 0,2 pH. Resolución: 0,1 pH. Rango de Temperatura:0-50 ° C. Precisión: 0,1 pH.	1
Extractora	Útil para extraer jugos de la pulpa.	Potencia: 2.800 W.	1

Piseta	Sirve para contener líquidos.	Capacidad: 1 L.	1
Recipientes de plástico y vidrio	Útil para almacenar materia prima.	-	3
Cuchillo	Sirve para retirar la cáscara de la materia prima.	-	1
Papel aluminio	Sirve para cubrir la boca de los frascos de vidrio.	-	2
Colador	Utilizado como medio filtrante.	-	1

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.5.3. Reactivos e Insumos

Tabla III.15: Reactivos e Insumos de Laboratorio

Reactivo	Descripción	Especificación
Enzima alfa-amilasa	De apariencia clara, con olor agradable, perteneciente a la familia de enzimas amilasas	
Enzima glucoamilasa	De aspecto semi claro y olor agradable, perteneciente a la familia de enzimas amilasas	

Agua desionizada	Es de aspecto transparente, está libre de cationes y aniones, perteneciente a la familia de los óxidos.	Peso molecular: 18,02 pH: 5-7 Punto de Fusión: 0 ° C Punto de Ebullición: 100 ° C
Cloruro de Calcio	De apariencia clara blanquesina, libre de olores.	
Ácido Cítrico	Presenta un aspecto blanco y olor amargo.	
Insumo	Cantidad	
Ajipa (<i>Pachirhizus ahipa</i> (Wedd.))	16 Kg.	
Almidón de Ajipa	1 1/2 Kg.	

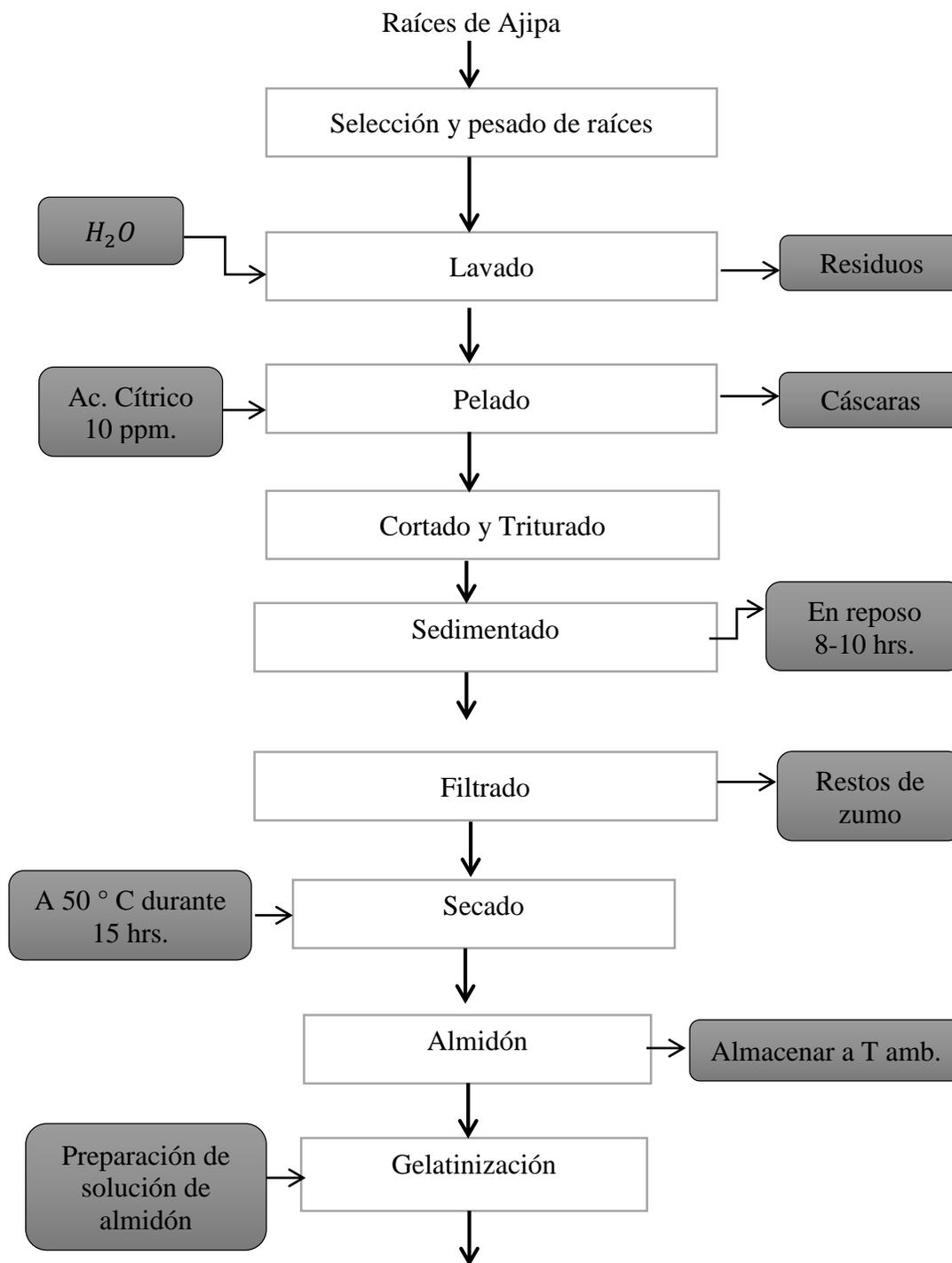
Fuente: Elaboración Propia, 2021

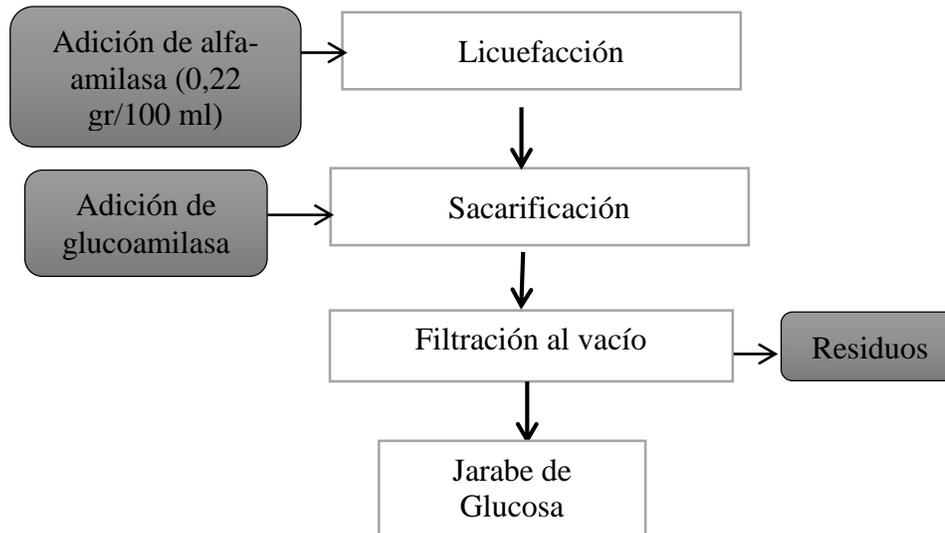
3.6. Elaboración de jarabe de glucosa por el Método de Hidrólisis Enzimática

3.6.1. Diagrama de Bloques

A continuación se presenta el diagrama de bloques utilizado para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de Ajipa (*Pachirhizus ahipa* (Wedd.)) (ver diagrama III.2)

Diagrama III.2: Diagrama de bloques para la obtención de jarabe de glucosa a partir de almidón de Ajipa





Fuente: Elaboración Propia., 2021

3.6.2. Descripción del diagrama de bloques para la obtención de jarabe de glucosa por método enzimática

3.6.2.1. Selección y pesado de raíces:

La ajipa es obtenida por medio de la compra en los centros de abastecimiento en la localidad de Cercado-Tarija. Se procede a la selección con el fin de evitar las raíces en mal estado. Esta técnica se lo realiza manualmente separando una por una las raíces buenas de las malas. Posterior a la selección se lleva a pesado de las raíces que se encuentran en buen estado con la ayuda de la balanza analítica y se lee el peso en unidades de kilogramos.

3.6.2.2. Lavado:

Las raíces de ajipa son lavadas en abundante agua para lograr eliminar todo el residuo (tierras) que puede llegar a contener, esto se realiza con ayuda de un cepillo de lavar.

3.6.2.3. Desinfectado:

Se hace la desinfección dejando a las raíces de ajipa n remojo en solución con ácido ascórbico en cantidad de 50 ppm. con la finalidad de poder eliminar la carga microbiana

de las raíces de ajipa, luego de unos minutos se procede a retirar todo el ácido haciendo el lavado en abundante agua hasta que no quede nada del reactivo.

3.6.2.4. Pelado:

Con ayuda de cuchillos se procede al pelado de la raíz de ajipa. Y un posterior pesado. Se agrega 10 ppm. de ácido cítrico en 1 litro de agua, donde se deja lavar las raíces peladas para evitar la oxidación.

3.6.2.5. Cortado y Triturado:

Se realiza el cortado una vez pelada la raíz, y se lo tritura en una extractora o licuadora con el fin de desintegrar la raíz para liberar los gránulos de almidón contenidos en las células.

3.6.2.6. Sedimentado:

Se realiza el sedimentado almacenando el zumo en un recipiente de vidrio con forma vertical tapado para evitar cualquier contacto microbiano. Este proceso se demora entre 8 a 10 horas para la separación del almidón de las capas restantes.

3.6.2.7. Filtrado:

En esta etapa se realiza la separación del almidón evitando que queden las fibras del zumo u otros residuos. Primero se pasa por filtro de malla y para una filtración más precisa se pasa por papel filtro.

3.6.2.8. Secado:

Se procede a secar el sedimentado en un secador de bandejas durante un periodo de 15 horas a una temperatura constante de 50 °C.

3.6.2.9. Molienda y Tamizado de almidón:

Se hace la disminución del granulo de almidón y posteriormente se tamiza para ver uniformidad en el tamaño.

3.6.2.10. Almidón Obtenido:

Se toma el peso de almidón obtenido en una balanza analítica para determinar el

rendimiento del mismo.

3.6.2.11. Hidrolisis Enzimática: Baño María

3.6.2.11.1. Gelatinización:

Esta etapa consiste en la preparación de la solución de almidón al 30 %. La solución anterior se lleva a calentamiento, esto debido a que el gránulo de almidón es insoluble en agua fría ya que su estructura es altamente organizada.

3.6.2.11.2. Licuefacción:

El proceso se lo lleva a cabo en el calentador con agitación magnética, donde se empieza lentamente la absorción de agua de los extremos de las partículas del almidón desintegrándose poco a poco de afuera hacia adentro, se ajusta bajo condiciones de la enzima. Posteriormente se agrega la enzima alfa-amilasa, y se incrementa de la temperatura, el gránulo empieza a hincharse aumentando su volumen. Esto se puede observar mediante microscopio. Se mantiene la temperatura óptima durante 90 min. con agitación constante y luego se desactiva la enzima elevando más la temperatura hasta por una hora. (Huanca S., 2017)

3.6.2.11.3. Sacarificación:

En la sacarificación, una vez desactivada la enzima alfa-amilasa se ajusta el pH a 4-6 con ácido cítrico, luego se añade la enzima glucoamilasa y después se almacena la solución en frascos de vidrio.

3.6.2.12. Filtración:

Se hace una filtración a los residuos sobrantes del jarabe con ayuda de telas filtrantes.

3.6.2.13. Concentración:

Con la ayuda del rota-vapor se hace la separación del agua sobrante, para tener una óptima concentración, el jarabe se deja concentrar durante un periodo de 3 horas de tiempo.

3.6.2.14. Jarabe de glucosa:

Finalmente se obtiene el producto que es el jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa, y se lo lleva a control de calidad.

3.7. Evaluación Sensorial del producto obtenido

La evaluación sensorial se hace con la finalidad de ver la aceptabilidad del producto por parte de la sociedad. Para el mismo se realizan pruebas organolépticas en las cuales participan diferentes jueces que evalúan cuatro parámetros principales como ser: olor, color, sabor y aspecto. Dicha evaluación se realiza en el Laboratorio de Operaciones Unitarias L.O.U. de la Carrera de Ingeniería Química en presencia de los panelistas ubicados ahí.

Se toma en cuenta un valor de calificación que es conocido como escala hedónica, dicha escala tiene 9 puntos de valorización los cuales se distribuyen de la manera que se muestra en la Tabla III.16.

Tabla III.16: Escala de calificación de las propiedades organolépticas del producto final (Jarabe de glucosa)

Escala	Valor	Puntuación
Disgusta extremadamente	1	0
Disgusta	2	10
Disgusta moderadamente	3	30
Disgusta ligeramente	4	40
Ni gusta ni disgusta	5	50
Gusta ligeramente	6	60
Gusta moderadamente	7	70

Gusta	8	90
Gusta extremadamente	9	100

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Una vez definida la escala se añade una puntuación de 0 a 100 a los atributos que los 10 jueces califican al producto final para realizar una mejor interpretación estadística.

Tabla III.17: Valor porcentual de los atributos evaluados

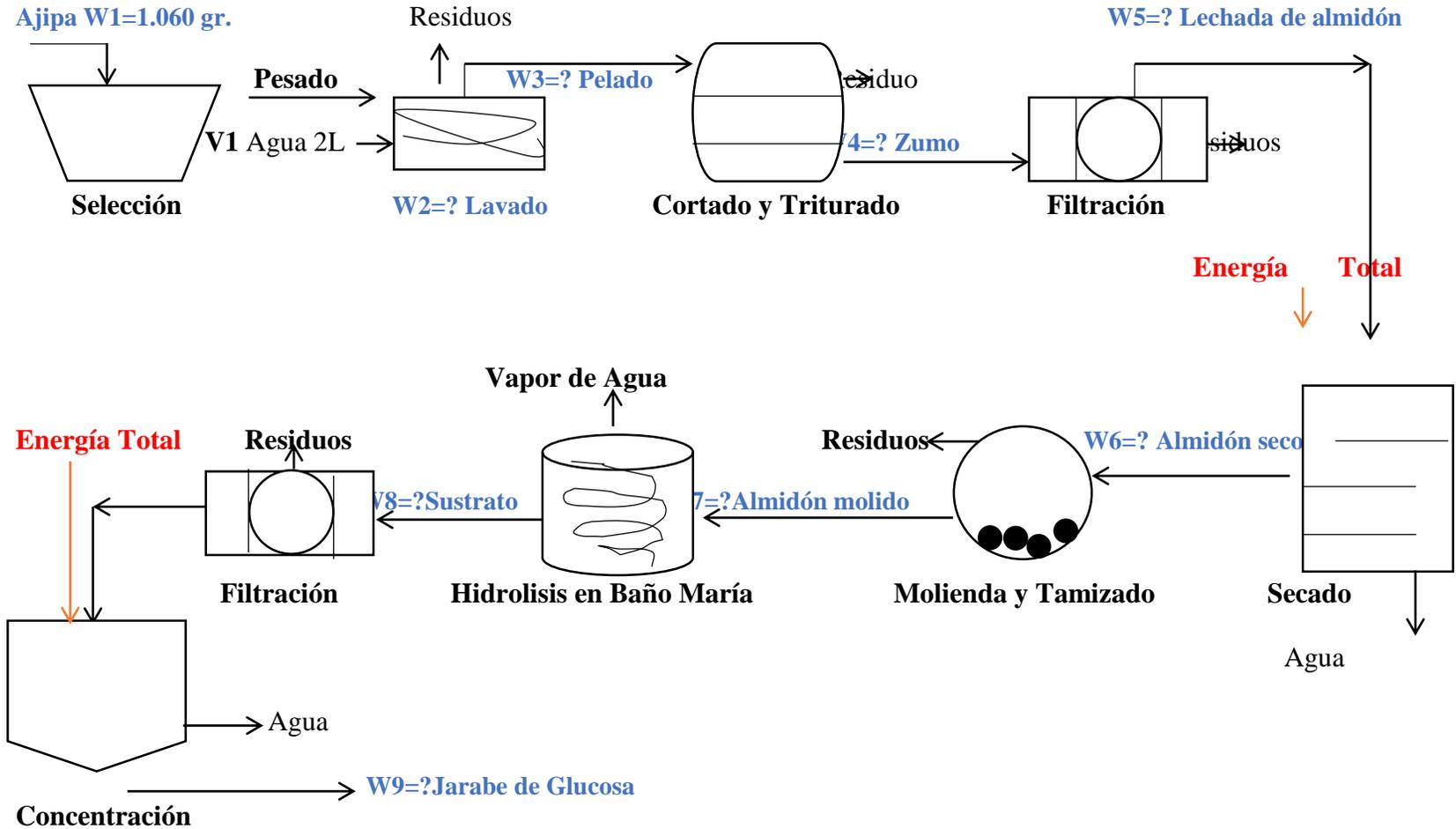
Atributos a considerar	Valor porcentual
	%
Color	20
Olor	20
Sabor	40
Aspecto	20
TOTAL	100

Fuente: Elaboración propia, 2021

En la Tabla III.17 se observan los cuatro atributos con su respectiva valoración porcentual dando un total del 100 %. Esto se realiza con el objetivo de obtener una gráfica representativa que refleje la importancia de cada atributo ante la sociedad consumidora de jarabes alimenticios y dar un valor porcentual de aceptabilidad.

3.8. Balance de Materia y Energía

Figura III.1 Balance Global de Materia y Energía



Fuente: Elaboración Propia, 2021

La Figura III.1 muestra el balance global o general de todo el proceso de elaboración del jarabe de glucosa a partir de almidón de ajipa. Este balance global es fundamental ya que nos ayuda a reconocer todas las corrientes que influyen dentro del proceso. Se trabaja con una base de dato de 1.060 gr. de ajipa que son procesadas en cada etapa obteniendo determinadas corrientes de salidas que son calculadas mediante un balance parcial.

3.8.1. Balance de Materia

Para el balance de materia se toma como base de cálculo 1.060 gr. de materia prima (raíz de ajipa). A continuación se presentan los datos o variables conocidas en este proceso según el balance global.

Tabla III.18: Datos experimentales del proceso de obtención de jarabe de glucosa

Nombre	Flujo másico	Unidad	Cantidad
Peso inicial (raíz de ajipa)	W1	gr.	1.060
Lavado	W2	gr.	-
Residuos lavado	R1	%	1
Pelado	W3	gr.	911,70
Residuos pelado	R2	gr.	-
Zumo de ajipa	W4	gr.	-
Lechada de almidón	W5	gr.	-
Agua para lavado	V1	gr.	150,28
Desecho de filtrado	R3	%	3

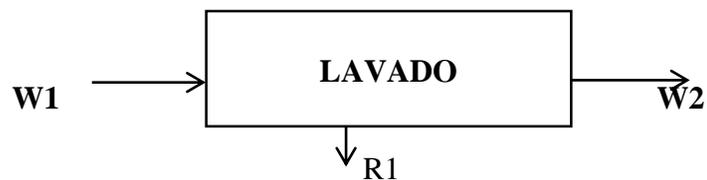
Agua decantada	V2	gr.	275,35
Almidón húmedo	W6	gr.	489,13
Almidón seco	W7	gr.	247,17
Almidón molido	W8	gr.	-
Residuos	R4	gr.	-
Sustrato	W9	gr.	-
Residuos solidos	R5	gr.	-
Agua de concentrado	R6	gr.	-
Jarabe de glucosa	W10	gr.	-

Fuente: Elaboración Propia, 2021

3.8.1.1. Balance de Materia en la etapa de lavado

En la Figura III.2 se muestra el bloque que representa la operación de lavado después de la selección, el cual se realiza con 1.000 gramos de ajipa.

Figura III.2 Bloque de lavado de Ajipa



Balance Global:

$$W1 = W2 + R1$$

Ec. 3.1

Balance Parcial:

Se considera como porcentaje de pérdidas el 1 %.

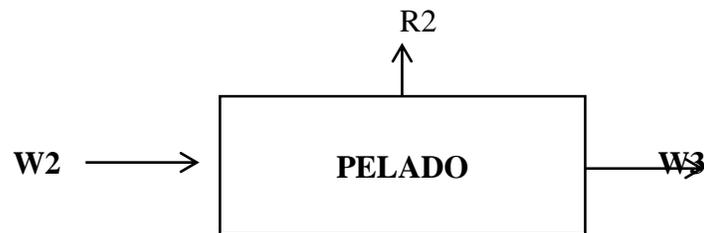
$$R1 = 0,01 * F1 = 0,01 * 1.060 \text{ gr.} = 10,60 \text{ gr.}$$

$$W2 = W1 - R1 \Rightarrow W2 = (1.060 - 10,60) \text{ gr.}$$

$$W2 = 1049,40 \text{ gr.}$$

3.8.1.2. Balance de Materia en la etapa de pelado

Figura III.3 Bloque de Pelado de Ajipa



Balance Global

$$W2 = W3 + R2$$

Ec. 3.2

Balance Parcial

$$R2 = W2 - W3 = (1049,4 - 911,70) \text{ gr.}$$

$$R2 = 137,70 \text{ gr.}$$

3.8.1.3. Balance de Materia en la Etapa de cortado y triturado

En la Figura III.4 se muestra el bloque que representa la operación de cortado y triturado el cual se realiza con 911,70 gr. de ajipa pelada y al triturarlos se pierde un porcentaje de 30 % que representa el bagazo de la raíz tuberosa.

Figura III.4 Bloque de cortado y triturado de Ajipa



Balance Global

$$W3 = W4 + R3 \quad \text{Ec. 3.3}$$

Balance Parcial

$$R3 = 30 \% * W3 = 0,30 * 911,70 \text{ gr.} = 278,51 \text{ gr.}$$

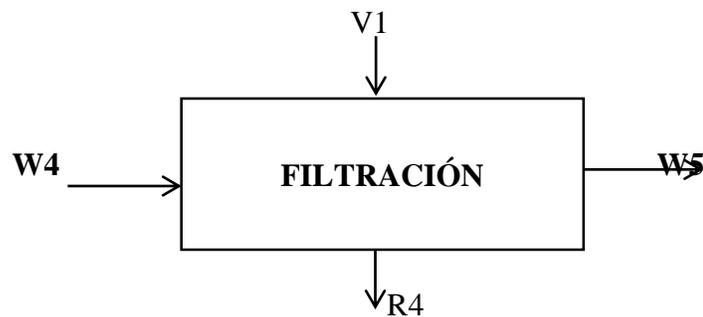
$$W4 = W3 - R3 = (911,70 - 278,51) \text{ gr.}$$

$$W4 = 633,19 \text{ gr.}$$

3.8.1.4. Balance de Materia en la etapa de filtrado

La Figura III.5 muestra el bloque que representa la operación de filtrado que se inicia con 633,19 gramos de zumo de ajipa, e introduce 150,28 gramos de agua para el lavado, y también se separa un porcentaje de 3 % de fibra húmeda en función al peso de la masa triturada.

Figura III.5 Bloque de filtrado de lechada

**Balance Global**

$$W4 + V1 = W5 + R5 \quad \text{Ec. 3.3}$$

Balance Parcial

$$R4 = W4 * 3 \% = 633,19 \text{ gr.} * 0,03$$

$$R4 = 18,99 \text{ gr.}$$

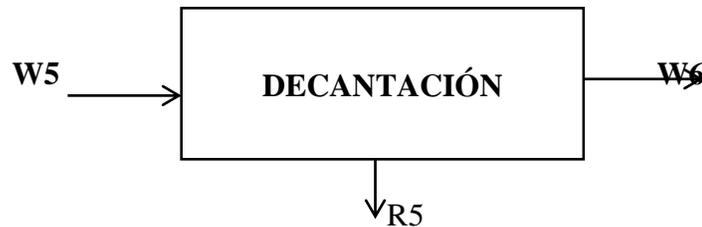
$$W5 = W4 + V1 - R4 = (633,19 + 150,28 - 18,99) \text{ gr.}$$

$$W5 = 764,48 \text{ gr.}$$

3.8.1.5. Balance de Materia en la etapa de decantado

En la Figura III.6 el bloque representa la operación realizada con 764,48 gramos de lechada de almidón que va a ser decantado, eliminando una cantidad de agua de 275,35 gramos.

Figura III.6 Decantación de lechada de almidón



Balance Global

$$W5 = W6 + R5 \quad \text{Ec 3.4}$$

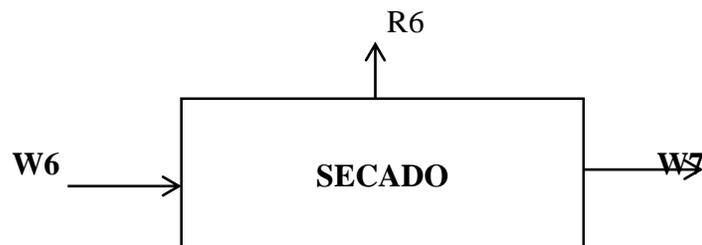
Balance Parcial

$$W6 = W5 - R5 = (764,48 - 275,35) \text{ gr.}$$

$$W6 = 489,13 \text{ gr.}$$

3.8.1.6. Balance de Materia en la etapa de secado

Figura III.7 Secado de almidón



Balance Global

$$W6 = W7 + R6 \quad \text{Ec. 3.5}$$

Balance Parcial

$$R6 = W6 - W7 = (489,13 - 247,17) \text{ gr.}$$

$$R6 = 241,96 \text{ gr.}$$

La humedad del almidón seco es 7,7 %, entonces: $X_2 = 0,077$, X_3 es el vapor de agua por lo tanto es $X_3 = 1$. Haciendo el balance por componente de agua se tiene:

$$W6 * X_1 = W7 * X_2 + R6 * X_3 \quad \text{Ec. 3.6}$$

Dónde:

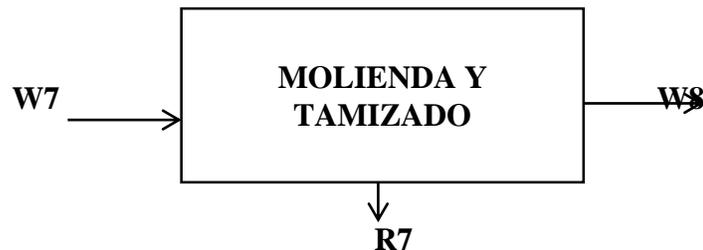
$$X_1 = \frac{W7 * X_2 + R6 * X_3}{W6} = \frac{(247,17 \text{ gr.} * 0,077) + (241,96 \text{ gr.} * 1)}{489,13 \text{ gr.}}$$

$$X_1 = 0,53$$

3.8.1.7. Balance de Materia en la etapa de molienda y tamizado

La molienda en esta etapa se desarrolla de forma manual haciendo uso de un mortero con su maso, debido a ello se considera un porcentaje de pérdidas del 0,5 %. El tamizado representa pérdidas del 1 %.

Figura III.8 Molienda y tamizado de almidón seco



Balance Global

$$W7 = W8 + R8 \quad \text{Ec. 3.7}$$

Balance Parcial

$$R7 = (0,5 + 1) \% * W7 = (0,005 + 0,01) * 247,17 \text{ gr.}$$

$$R7 = 3,71 \text{ gr.}$$

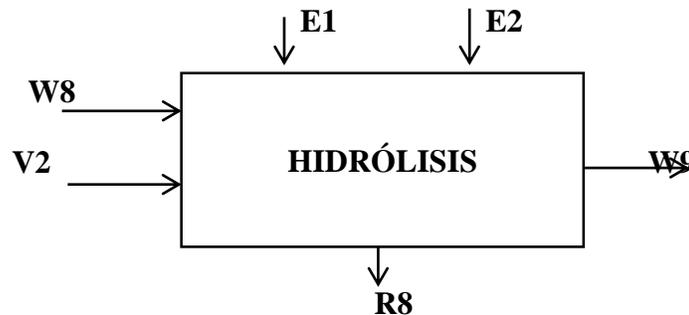
$$W8 = W7 - R7 = (247,17 - 3,71) \text{ gr.}$$

$$W8 = 243,46 \text{ gr.}$$

3.8.1.8. Balance de Materia en la etapa de Hidrolisis (Baño María)

En esta etapa se añaden las enzimas mencionadas en el marco teórico (alfa-amilasa y glucoamilasa), las cuales se encuentran en cantidades de 1,26 y 0,76 gramos.

Figura III.9 Hidrólisis



Balance Global

$$W8 + V2 + E1 + E2 = W9 + R8 \quad \text{Ec. 3.8}$$

Balance Parcial

$$V2 = 400 \text{ ml} * 1 \text{ g/ml} = 400 \text{ gr.}$$

$$R8 = 125 \text{ ml} * 1 \text{ g/ml} = 125 \text{ gr.}$$

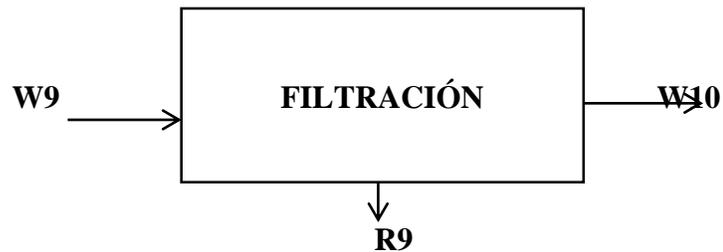
$$W9 = W8 + V2 + E1 + E2 - R8 = (243,46 + 400 + 1,26 + 0,76) \text{ gr.} - (125 \text{ gr.})$$

$$W9 = 520,02 \text{ gr.}$$

3.8.1.9. Balance de Materia en la etapa de filtración

En esta etapa del proceso se tiene un porcentaje de pérdidas del 0,5 % debido a que en una anterior etapa se realizaba la filtración de lechada de almidón y además las partículas añadidas en la hidrólisis se disuelven casi en su totalidad porque están en presencia de calor.

Figura III.10 Filtración de sustrato
(solución de lechada de almidón y enzimas)



Balance Global

$$W9 = W10 + R9 \quad \text{Ec. 3.9}$$

Balance Parcial

$$R9 = 0,5 \% * W9 = 0,005 * 520,02 \text{ gr.}$$

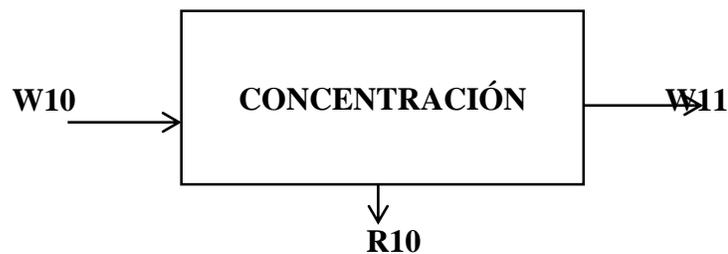
$$R9 = 2,60 \text{ gr.}$$

$$W10 = W9 - R9 = (520,02 - 2,60) \text{ gr.}$$

$$W10 = 517,42 \text{ gr.}$$

3.8.1.10. Balance de Materia en la etapa de concentración

Figura III.11 Concentración de sustrato



Balance Global

$$W10 = W11 + R10 \quad \text{Ec. 3.9}$$

Balance Parcial

$$R_{10} = W_{10} - W_{11} = (517,42 - 68,79) \text{ gr.}$$

$$R_{10} = 478,63 \text{ gr.}$$

El peso del jarabe de glucosa es de 38,79 gr, en un volumen de 600 ml de sustrato (solución de lechada de almidón y enzimas) concentrado a una temperatura de 40 ° C y 60 rpm en un tiempo de 1 hora. , por lo tanto se puede determinar el rendimiento del proceso de obtención de jarabe de glucosa por el método de hidrólisis enzimática. (Huanca S., 2017)

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso del Jarabe}}{\text{Peso inicial de almidon}} * 100$$

$$\text{Rendimiento} = \left(\frac{68,79 \text{ gr.}}{243,46 \text{ gr.}} \right) * 100$$

$$\text{Rendimiento} = 28,26 \%$$

3.8.2. Balance de Energía

En el proceso de obtención de jarabe de glucosa se realiza el balance de energía en las etapas de secado, hidrólisis en Baño María y concentración.

A continuación se desarrolla el cálculo para cada etapa.

3.8.2.1. Balance de Energía en secado

Tabla III.19: Datos de la etapa de secado de almidón

Corrientes	Definición	Unidad	Cantidad
W6	Almidón húmedo	gr.	489,13
W7	Almidón seco	gr.	247,17

Parámetros de trabajo		
Porcentaje de humedad final	7,7	%
Temperatura de Secado	50	° C
Periodo de Secado	15	Hrs.
Potencia del Equipo	120	W
Costo de Kwh. en la ciudad	0,60	Bs

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III.12 Consumo de Energía en secado de almidón



$$Potencia = \frac{Energía}{Tiempo} \Rightarrow P \frac{E}{t} \quad Ec. 3.10$$

Despejando energía se tiene:

$$E = P * t = 0,12 \text{ Kw} * 15 \text{ hrs.}$$

$$E = 1,8 \text{ Kwh.}$$

La energía consumida por el equipo de secado es de 1,8 Kw. por cada hora, entonces el costo en Bs será:

$$COSTO = 1,8 \text{ Kwh} * \frac{0,60 \text{ Bs}}{\text{Kwh}} \quad Ec. 3.11$$

$$COSTO = 1,08 \text{ Bs}$$

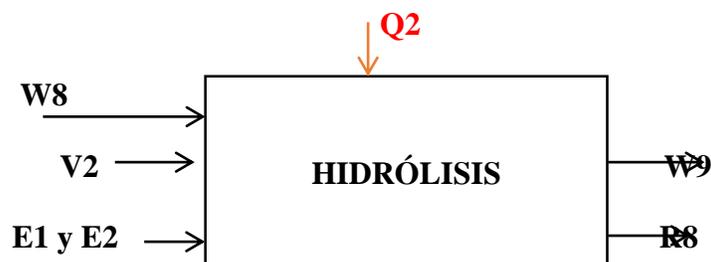
3.8.2.2. Balance de Energía para Hidrólisis

Tabla III.18 Datos de la etapa de Hidrólisis de almidón en Baño María

Corrientes	Definición	Unidad	Cantidad
W8	Almidón Molido	gr.	243,46
W9	Sustrato	gr.	247,17
V2	Capacidad de solvente	gr.	400
E1	Enzima alfaamilasa	gr.	1,26
E2	Enzima glucoamilasa	gr.	0,76
R8	Agua de evaporación	gr.	125
Parámetros de trabajo			
Temperatura de Hidrolisis	60-75	° C	
Periodo de Uso	4	Hrs.	
Potencia del Equipo	105,0	W	
Costo de Kwh en la ciudad	0,60	Bs	

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Figura III.13 Hidrólisis de almidón



$$\text{Potencia} = \frac{\text{Energía}}{\text{Tiempo}} \Rightarrow P \frac{E}{t} \quad \text{Ec. 3.12}$$

Despejando energía se tiene:

$$E = P * t = 0,105 \text{ Kw} * 4 \text{ hrs.}$$

$$E = 0,42 \text{ Kwh}$$

La energía consumida por el equipo de Baño María es de 0,42 Kw. por cada hora, entonces el costo en Bs será:

$$\text{COSTO} = 0,42 \text{ Kwh} * \frac{0,60 \text{ Bs}}{\text{Kwh}} \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$\text{COSTO} = 0,25 \text{ Bs}$$

3.8.2.3. Balance de Energía de concentración

Para realizar el balance de energía en esta etapa se considera que los componentes de la ajipa durante el proceso no pasan a un estado gaseoso, es decir se trabaja a temperaturas inferiores a la temperatura de evaporación y descomposición del mismo, por tal razón, lo único que pasa a estado gaseoso, es el agua. A continuación se describen los datos experimentales de esta etapa.

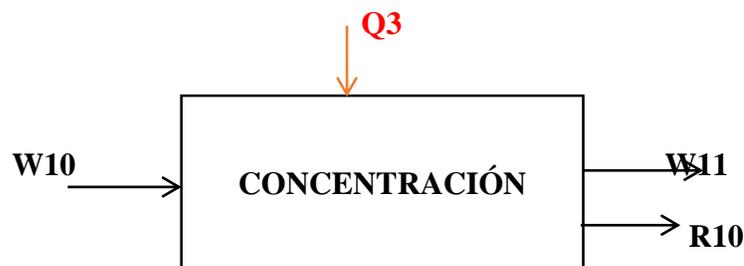
Tabla III.18 Datos de la etapa de concentración en Rota-vapor

Corrientes	Definición	Unidad	Cantidad
W10	Sustrato	gr.	517,42
W11	Jarabe de glucosa	gr.	68,79
R10	Agua de evaporación	gr.	478,63
Parámetros de trabajo			
Temperatura de Entrada	13	° C	

Temperatura del sistema	40	° C
Periodo de Uso	4	hrs.
Cp del agua	1	Kcal/Kg°C
Costo de Kwh en la ciudad	0,60	Bs

Inicialmente el proceso muestra una transferencia de energía en forma de calor sensible, esto porque incrementa la temperatura de entrada a temperatura del sistema. Con esta consideración se procede a hacer el cálculo de energía consumida.

Figura III.13.1. Concentración de Sustrato



Se tiene que:

$$Q = \Delta H \quad \text{Ec. 3.14}$$

La ecuación para calor sensible se define:

$$Q3 = W11 * Cp \text{ agua} * \Delta T \quad \text{Ec. 3.15}$$

Dónde:

$$Q3 = 0,069 \text{ Kg} * 1 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C} * (40 - 13)^\circ\text{C}$$

$$Q3 = 1,86 \text{ Kcal}$$

Seguidamente el proceso muestra una transformación de fase debido al incremento de temperatura, por lo que físicamente se lo conoce como calor latente, con esta consideración se procede a hacer el cálculo de energía consumida.

Figura III.13.2. Concentración de sustrato



Se tiene que:

$$Q = \Delta H \quad \text{Ec. 3.14}$$

La ecuación para calor latente se define:

$$Q3 = Wf * \lambda_{\text{agua}} \quad \text{Ec. 3.15}$$

Dónde:

$$Q4 = 0,069 \text{ Kg} * 574,7 \text{ Kcal/Kg}$$

$$Q4 = 39,65 \text{ Kcal}$$

Entonces el calor total gastado, es:

$$Q = \Delta H$$

$$Q \text{ Total} = Q3 + Q4$$

$$Q \text{ Total} = (1,86 + 39,65) \text{ Kcal}$$

$$Q \text{ Total} = 41,51 \text{ Kcal}$$

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIONES

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Caracterización de materia prima ajipa (*Pachiryzus ahipa* (Wedd.))

Los estudios que se realizaron para conocer los parámetros fisicoquímicos y organolépticos de la ajipa (*Pachiryzus ahipa* (Wedd.)) fueron analizados en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID de la U.A.J.M.S. (ver anexo C.1)

La Tabla IV.1 muestra los resultados obtenidos de la materia prima de estudio y se compara con una referencia bibliográfica de la misma variedad pero de años atrás y de la localidad de Tariquía de la provincia Avilés del Departamento de Tarija.

Tabla IV.1: Análisis fisicoquímico de la raíz de ajipa (*Pachiryzus ahipa* (Wedd.))

Parámetros	Unidad	Resultado de materia prima de estudio	Normativa
Ceniza	%	0,23	1,02
Fibra	%	6,58	1,82
Grasa	%	0,04	0,15
Humedad	%	78,28	85,81
Hidratos de Carbono	%	13,39	9,72
Proteína Total	%	1,51	1,45
Valor Energético	Kcal/100g	59,6	42,82

Fuente: Segovia M., 2004, CEANID, 2021.

Según la normativa boliviana para caracterización de tubérculos con valor agregado, el programa de alimentos de la UMSS-Cochabamba determinó por primera vez el valor

bromatológico de estas raíces nativas como se muestran en la tabla anterior, ahora, haciendo el análisis comparativo con los resultados obtenidos en el estudio se considera que la ajipa producida en la comunidad del Río Pilaya se encuentra dentro de esta normativa en cuanto a hidratos de carbono, proteínas y valor energético.

La Tabla IV.2 muestra las características físicas y organolépticas de la materia prima que son realizadas en el L.O.U. con ayuda de instrumentos de Laboratorio.

Tabla IV-2: Características de la Ajipa (*Pachiryzus ahipa* (Wedd.))

Propiedades	Descripción
Peso Total	100 - 150
pH	6,3
Color pulpa	Blanco
Olor	Característico
Sabor	Dulce
Textura	Medio áspero
Forma	Raíz Romboidal

Fuente: Elaboración propia, 2021

4.2. Resultados de las Rutas de la Experimentación

4.2.1. Primera ruta de la experimentación

La Tabla IV.3 muestra los resultados obtenidos de los tratamientos realizados como se menciona en el capítulo anterior en la ruta de la experimentación.

Tabla IV.3 Resultados de la primera ruta de la experimentación

Parámetros	Unidad	Tratamientos de la 1 ^{era} ruta de experimentación			
		1	2	3	4
Peso inicial	gr.	1.060	1.041	1.041	1.062
Peso lavado	gr.	1.045	1.035	1.032	1.055
Peso pelado	gr.	905	930	921	958
Peso cortado	gr.	904,58	929,5	920,5	957,55
Volumen de zumo de ajipa	ml.	450	420	460	369
Tiempo de decantación	Hrs.	10	9	9	8
Peso sedimento	gr.	109,001	186,001	144,001	101,001
Porcentaje de humedad inicial	%	78	85	81	76
Peso almidón húmedo	gr.	109	186	144	101
Peso almidón seco	gr.	44,97	76,74	59,41	41,67
Porcentaje de humedad final	%	4	10	6	6
Cantidad almidón para sustrato	gr.	30,04	30,2	30	30
Volumen de agua para sustrato	ml.	400	400	400	400
pH de sustrato		6,8	6,8	6,3	6,3
Iones de calcio	gr.	0,098	0,098	0,098	0,098
pH de licuefacción		5,5	5,8	5,9	5,8
Cantidad de enzima alfa amilasa	gr.	1,26	1,257	1,26	1,26
Tiempo de licuefacción	min.	90	90	90	90
Temperatura de licuefacción	° C	70	70	70	70
pH de sacarificación		4,5	4,5	4,4	4
Tiempo de sacarificación	min.	120	120	180	180
Temperatura de sacarificación	° C	60	75	60	75

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.2.2. Segunda ruta de la experimentación

La tabla IV.4 muestra los resultados obtenidos de los tratamientos realizados en la segunda ruta del diseño factorial con una cantidad de 0.75 g. de enzima glucoamilasa. Dichos resultados logran estar dentro de los rangos permitidos en cuanto a normas de calidad de un producto alimenticio. Por mencionar el pH del producto final es adecuado según las normativas Bolivianas citadas en el punto 2.11 del Capítulo II.

Los ° Brix se encuentran casi sobre el rango por lo que se estima que sea un producto aceptable.

Tabla IV.4 Resultados de la segunda ruta de la experimentación

Parámetros	Unidad	Tratamientos de la 2 ^{da} ruta de experimentación			
		5	6	7	8
Peso inicial	gr.	1.003	1.007	1.006	1.060
Peso lavado	gr.	871	955	982	1.050
Peso pelado	gr.	693	865	863	911
Peso cortado	gr.	692,55	864,58	862,58	910,58
Volumen de zumo de ajipa	ml.	420	440	320	390
Tiempo de decantación	Hrs.	9	9	8	8
Peso sedimento	gr.	97,001	91,001	84,001	99,001
Porcentaje de humedad inicial	%	69	66	60	72
Peso almidón húmedo	gr.	97	91	84	99
Peso almidón seco	gr.	40,02	37,54	34,66	40,85
Porcentaje de humedad final	%	5	3	3	6
Cantidad almidón para sustrato	gr.	30	30	31,02	30,01
Volumen de agua para sustrato	ml.	400	400	400	400
pH de sustrato		6,7	6,6	6,4	6,5
Iones de calcio	gr.	0,12	0,12	0,12	0,12
pH de licuefacción		5,3	5,5	6	5,6
Cantidad de enzima alfa amilasa	gr.	1,26	1,26	1,26	1,26
Tiempo de licuefacción	min.	90	90	90	90
Temperatura de licuefacción	° C	70	70	70	70
pH de sacarificación		4,4	4,6	4,6	4,3
Tiempo de sacarificación	min.	120	120	180	180
Temperatura de sacarificación	° C	60	75	60	75

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.3. Análisis Fisicoquímico de jarabes concentrados

Los análisis fisicoquímicos de los jarabes concentrados se efectúan en el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID) de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho U.A.J.M.S., en la ciudad de Tarija. (ver Anexo C.2)

Tabla IV.5 Análisis fisicoquímico de azúcares reductores de jarabe de glucosa

N° Experimento	Parámetros	Unidad	Técnica y/o método de ensayo	Resultado
1	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	3,3
2	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	7,41
3	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	6,57
4	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	6,03
5	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	5,99
6	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	5,68
7	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	19,88
8	Azúcares reductores	%	NB 38033:06	21,90

Fuente: CEANID, 2021

A continuación se muestran los resultados de las réplicas del mismo parámetro.

Tabla IV.6 Réplica de Análisis fisicoquímico de azúcares reductores de jarabe de glucosa

N° Experimento	Parámetros	Unidad	Resultado
9	Azúcares reductores	%	2,93
10	Azúcares reductores	%	7,60
11	Azúcares reductores	%	6,00
12	Azúcares reductores	%	6,10
13	Azúcares reductores	%	5,20
14	Azúcares reductores	%	5,70
15	Azúcares reductores	%	19,24
16	Azúcares reductores	%	22,06

Fuente: CEANID, 2021

4.4. Análisis Fisicoquímico de jarabes concentrados

Los análisis fisicoquímicos de los jarabes de glucosa concentrados son analizados en el Laboratorio de Operaciones Unitarias L.O.U., ubicado en las instalaciones de la casa académica U.A.J.M.S.

4.4.1. Cuantificación de pH a 18 ° C

En la Tabla IV-7 se muestran los resultados de pH a 18 °C obtenidos en la parte experimental del trabajo de investigación. Estos se rigen en base a las normas que se mencionan en el punto 2.11 del Capítulo II.

Tabla IV.7 Resultados Físicoquímicos del jarabe de glucosa obtenido a partir de almidón de ajipa

N° Experimento	Parámetro	Resultado obtenido en L.O.U.		Datos permitidos
		I	II	Norma Boliviana
1	pH	4,60	4,00	Mínimo: pH = 3,9 Máximo: pH = 7,0
2	pH	4,20	4,6	
3	pH	4,88	4,53	
4	pH	4,21	4,57	
5	pH	4,36	4,20	
6	pH	4,40	4,12	
7	pH	4,64	4,60	
8	pH	4,10	4,80	

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.4.2. Contenido de ° Brix

El grado de sólidos disueltos (° Brix), se rige en base a dos normas descritas en el capítulo II (normas internacionales). En la Tabla IV-8, se muestran los valores obtenidos, que son comparados según especificaciones técnicas.

**Tabla IV.8 Resultado del contenido de ° Brix de jarabe de glucosa
obtenido a partir de almidón de ajipa**

N° Experimento	Parámetro	Resultado obtenido en L.O.U.		Datos máximos permitidos	
		inicial	final	Norma Internacional	Norma Sanitaria
1	° Brix	3,5	24,00	59,10 ° Brix	62,0 ° Brix
2	° Brix	8,7	28,10		
3	° Brix	6,1	26,30		
4	° Brix	5,6	25,50		
5	° Brix	4,4	23,40		
6	° Brix	7,8	22,80		
7	° Brix	9,0	39,94		
8	° Brix	16,5	53,50		

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.5. Resultados Estadísticos del Diseño Factorial

El cálculo de los datos estadísticos descriptivos que se reflejan en los cuadros, se realizan con la ayuda del programa estadísticos minitab, que es una aplicación que permite integrar todas las fases en cuanto al análisis de datos, con la finalidad de obtener resultados confiables como respuesta.

Con este programa se puede corroborar si los datos de laboratorio coinciden con los

datos corregidos por el programa.

4.5.1. Análisis de Varianza Univariante

Tabla IV.9 Factores inter-sujetos

°N de Experimento	A	B	C	RI	RII
1	-1	-1	-1	3,3	2,93
2	-1	-1	+1	7,41	7,60
3	-1	+1	-1	6,57	6,00
4	-1	+1	+1	6,03	6,10
5	+1	-1	-1	5,99	5,20
6	+1	-1	+1	5,68	5,70
7	+1	+1	-1	19,88	19,24
8	+1	+1	+1	21,90	22,06

Fuente: Elaboración Propia, 2021

En la Tabla IV.9 se muestran los factores inter-sujetos de 8 experimentos, los que son insertados en el programa para que puedan corregir los datos y conocer cuáles son las variables y combinaciones significativas de las variables que se consideran en ésta investigación. También se conoce el grado de error de las mismas.

4.5.1.1. Pruebas de los efectos inter-sujetos

En la Tabla IV.10, se muestran los resultados de las pruebas inter-sujetos evaluados en el programa estadístico.

Tabla IV.10 Variable dependiente: Azúcar reductor

Pruebas de los efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Azúcar reductor					
Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	687,861	7	98,266	1.139,40	0,000
Intersección	487,820	1	162,607	1.885,43	0,000
Cantidad enzima	6,414	1	6,414	74,37	0,000
Temperatura	255,281	1	255,281	2.959,99	0,000
Tiempo	226,126	1	226,126	2.621,95	0,000
Cant*Temperatura	0,815	1	0,815	9,44	0,015
Cant*Tiempo	0,508	1	0,508	5,89	0,041
Temperatura*Tiempo	182,858	1	182,858	2.120,25	0,000
Cant*Temp*Tiempo	15,860	1	15,860	183,90	
Error	0,690	8			
Total	688,551	15			

a. R cuadrado = 0,998(R cuadrado corregida = 0,998)

Fuente: Elaboración Propia, 2021

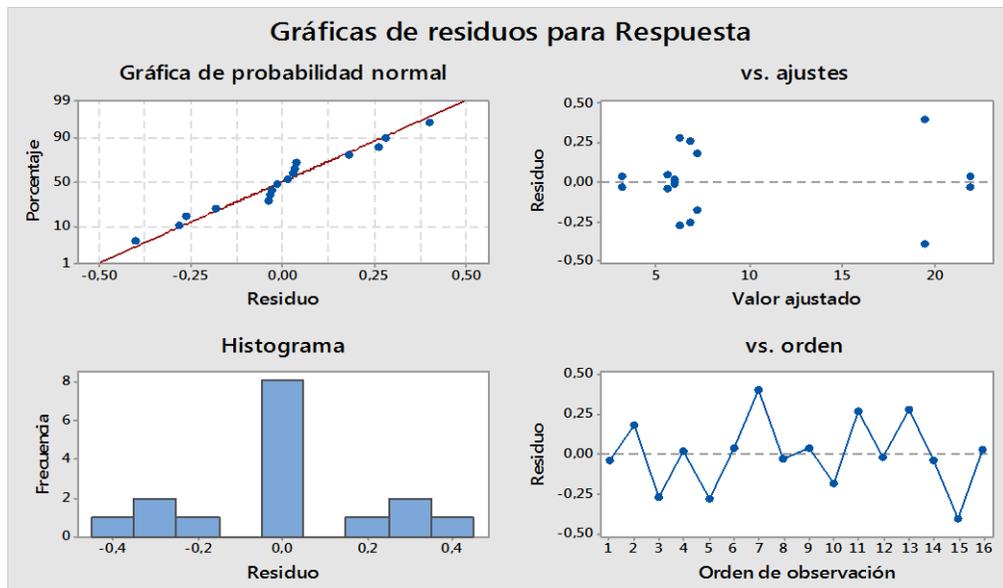
Tabla IV.11 ANOVA para la verificación de azúcar reductor

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	5.089.080,052	7	2.586.420,153	36,584	0,015
Residual	420.882,904	2	92.458,281		
Total	5.427.886,540	9			

Fuente: Elaboración Propia, 2021

A continuación se muestran las gráficas que son los resultados de los datos arrojados por el programa, esto con la finalidad de poder entender mejor cuales son las variables y combinaciones significativas en el diseño experimental. (Montgomery D.)

Gráfica IV.1 Residuo total para Respuesta



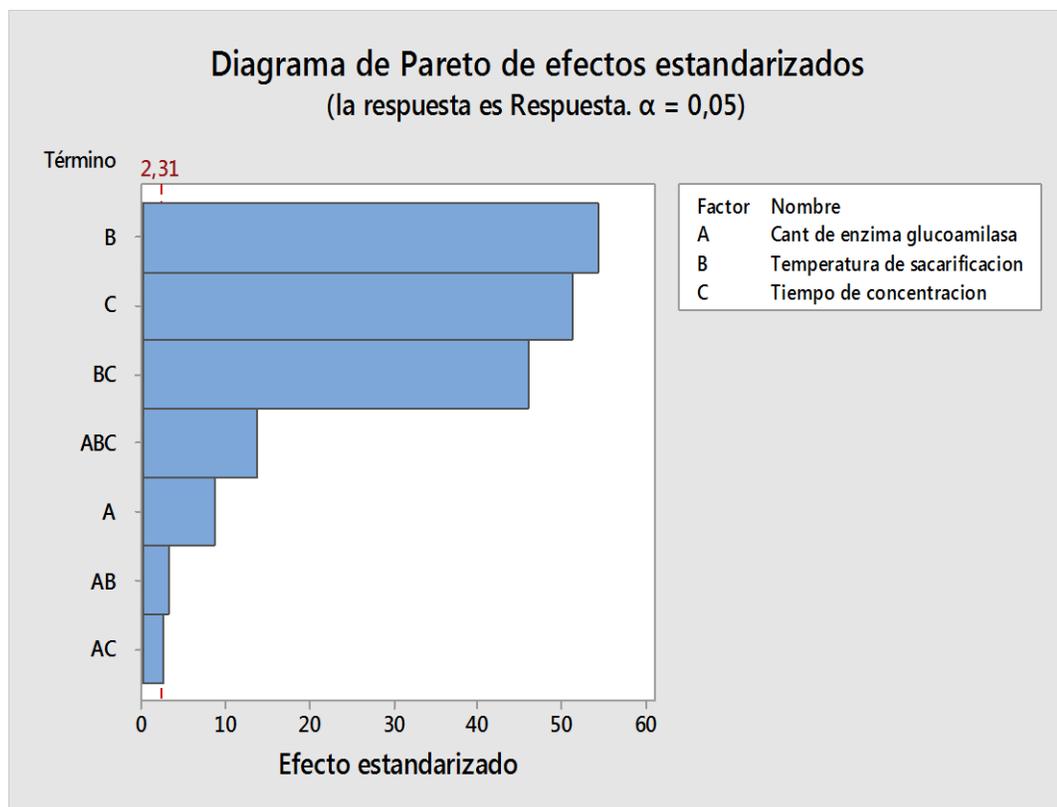
Fuente: Elaboración Propia, 2021

La Gráfica IV.1, muestra el primer diseño superior derecho muestra la variación de los puntos de intersección según los valores reales y corregidos y el error que presentan nuestros valores reales frente a los datos ajustados por el programa.

En los diseños inferiores se observan como varían los tratamientos a medida que se ajustan los datos seleccionados para el diseño.

La Gráfica IV.2 muestra el diagrama de Pareto de los efectos estandarizados. Lo que se puede ver en el diagrama nos indica que todas las variables dependientes seleccionadas para el diseño experimental son significativas para el mismo, ya que las combinaciones realizadas pasan la línea marcada en rojo, dando una significancia a dichas combinaciones con una probabilidad del 95 %.

Gráfica IV.2 Gráfica de Pareto



Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.6. Control de calidad de producto obtenido (jarabe de glucosa)

4.6.1. Análisis fisicoquímico del producto

A continuación se muestran los resultados del producto final, que son analizados en el CEANID. (ver Anexo C.3), donde se determinan el contenido de densidad relativa, humedad, cenizas, solidos solubles, valor energético y carbohidratos, que son los parámetros principales para caracterizar un jarabe según Norma Boliviana NB 38023, y Norma Mexicana NMX-F169-1984.

Tabla IV.12 Resultados de análisis fisicoquímico del jarabe de glucosa

Parámetros	Unidad	Resultado Obtenido en CEANID	Límites permisibles	
			Norma Boliviana	Norma Mexicana
Ceniza	%	0,20	-	Max: 6 %
Densidad Relativa (20 °C)	g/ml	1,608	Min.: 1,37 g/ml	-
Fibra	%	n.d	-	-
Grasa	%	0.02	-	-
Hidratos de Carbono	%	52,27	-	-
Humedad	%	19,33	-	Max.:25 %
Proteínas Totales (N*6,25)	%	1,18	-	-
Solidos Solubles	° Brix	54,20	-	-
Valor Energético	Kcal/100 g	161,98	-	-

Fuente: CEANID. 2021

La Tabla IV.12 muestra los resultados del producto final (Jarabe de Glucosa) el cual presenta un valor energético elevado lo que conlleva a decir que es un producto alimenticio que aporta energía al cuerpo humano al momento de consumirlo.

En cuanto al porcentaje de carbohidratos presentes en el jarabe de glucosa obtenido en este trabajo de investigación se puede analizar y decir que se encuentra dentro de la norma mencionada en el Cuadro I.11 del Capítulo II, normas de calidad para jarabes. Además que los sólidos solubles indican que el producto obtenido se caracteriza por presentar un sabor moderadamente dulce.

4.6.2. Análisis microbiológico del producto final

Verificando con el cumplimiento de la Norma Boliviana se determina el análisis microbiológico de mohos y levaduras contenidas en el jarabe. (ver Anexo C.3)

Tabla IV.13 Resultados de análisis microbiológico de jarabe de glucosa

Parámetro	Unidad	Resultado obtenido en CEANID	Límite permisible IBNORCA
Mohos	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)	Max.: $1,0 \times 10^2$
Levaduras	UFC/g	$<1,0 \times 10^1$ (*)	

Fuente: CEANID, 2021

En cuando a la presencia de bacterias que pueden deteriorar el producto (Jarabe de glucosa), los resultados del análisis muestran que no se observa desarrollo de colonias ya que el resultado es mínimo despreciable por lo que no llega a afectar en el consumo humano.

4.6.3. Análisis físico del producto final

Tabla IV.14 Resultados de análisis físicos de jarabe de glucosa

Parámetros	Unidad	Resultado obtenido en L.O.U.	Límites permisibles	
			Norma Boliviana	Norma Peruana
pH	-	4.10	Min.: 3,9	-
° Brix	° Brix	53.50	-	Max.:59,1 ° Brix
Consistencia	-	Moderadamente viscosa	-	-

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.7. Rendimiento porcentual del método de obtención

El método de obtención utilizado para este trabajo, tiene un porcentaje de rendimiento práctico, que se desarrolla en el capítulo anterior del presente texto y se muestra en la Tabla IV.15 la cantidad de jarabe obtenido en porcentaje, a partir de una cierta cantidad de hidrolizado de almidón de ajipa.

Tabla IV.15 Resultados del rendimiento porcentual

Parámetros	Unidad	Resultado
Rendimiento	%	28,26

Fuente: Elaboración Propia, 2021

4.8. Análisis de la Evaluación Estadística del producto final

La evaluación del producto final (jarabe de glucosa) se realiza con la finalidad de tener conocimiento sobre el grado de aceptabilidad ante la sociedad que consume jarabes azucarados.

Mediante una evaluación estadística organoléptica que involucra los parámetros de olor, color, sabor y aspecto o textura (ver anexo E), se procedió al desarrollo de una prueba organoléptica del jarabe obtenido en el trabajo de investigación, las cuales fueron acontecidas mediante calificaciones de panelistas considerados jueces en las instalaciones del L.O.U. Laboratorio de Operaciones Unitarias, en presencia del técnico encargado del ambiente y considerando las medidas de bioseguridad adecuadas al ambiente de las instalaciones.

4.8.1. Escala de calificación de los parámetros organolépticos

En la Tabla III.15 de capítulo anterior se muestra la escala de calificaciones de las propiedades organolépticas del producto final: Jarabe de glucosa, para las cuales se vuelven a observar los cuatro atributos con su respectiva valoración porcentual dando un total del 100 %. Esto se realiza con el objetivo de obtener una gráfica (representativa) que refleje la importancia de cada atributo ante la sociedad consumidora de jarabes.

Tabla IV.16 Valor porcentual de los atributos a ser evaluados

Atributo	Valor Porcentual %
Color	20
Olor	20
Sabor	40
Aspecto	20
TOTAL	100

Fuente: Elaboración propia, 2021

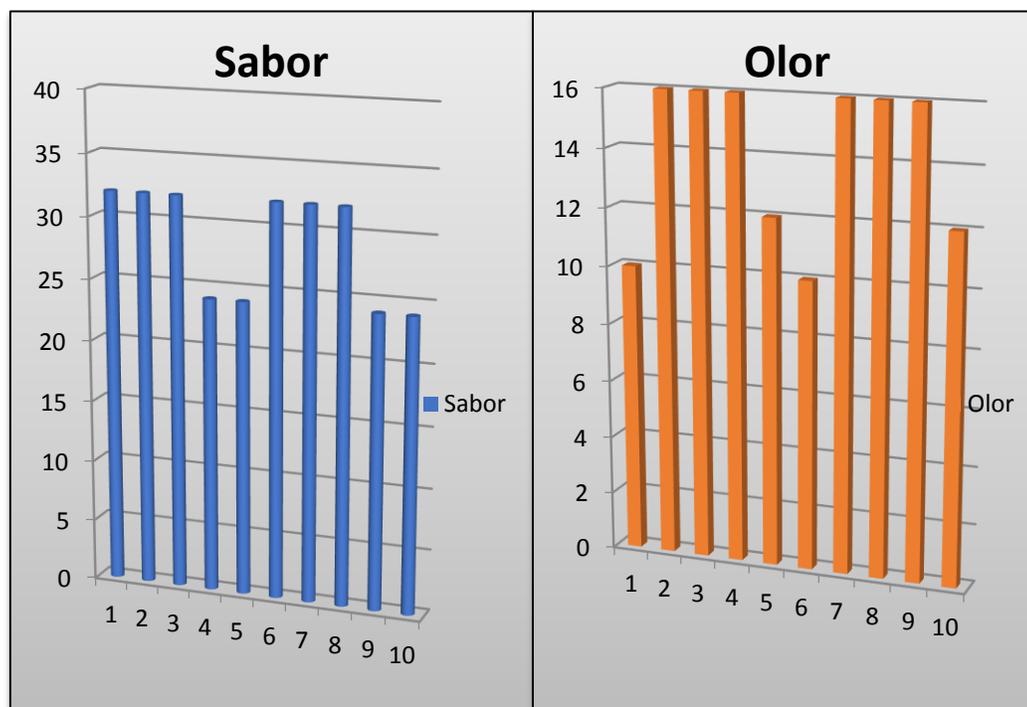
La Tabla IV.17 muestra el total de los resultados porcentuales que los panelistas atribuyeron a cada parámetro organoléptico.

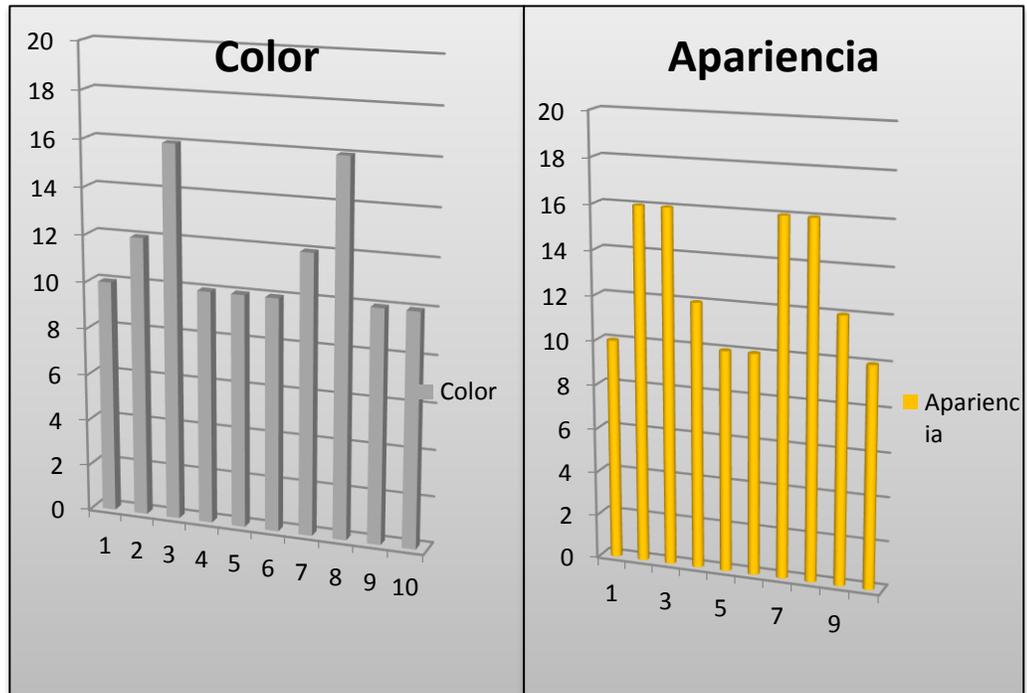
Tabla IV.17 Resultados de Escala para cada parámetro

Parámetro	Valor Porcentual de cada atributo	Unidad	Resultado Final
Color	20	%	11,6
Olor	20	%	14
Sabor	40	%	28,8
Apariencia	20	%	12,8
Total	100	%	67,20

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Gráfica IV.3 Escala de calificaciones de los parámetros organolépticos

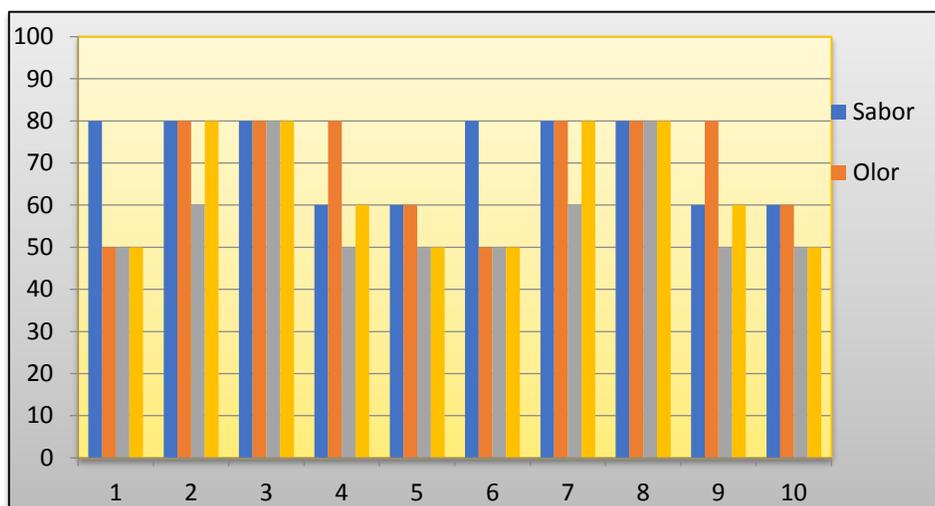




Fuente: Elaboración Propia, 2021

En las Gráficas IV.3 se muestran los valores porcentuales frente al número de jueces que dieron puntuaciones a cada parámetro organoléptico, en la gráfica se fija el valor porcentual en el eje (y) y el número de jueces en el eje x.

Gráfica IV.4 Resultados de la Evaluación Organoléptica



Analizando la Gráfica IV.14 de resultados de la evaluación organoléptica desarrollada por los panelistas, se considera que los atributos que más les agradan son el sabor y el olor del producto jarabe, dando por entendido que el sabor puede llegar a ser al gusto de la sociedad en general.

Por esto se considera que el análisis de aceptabilidad del jarabe de glucosa obtenido en este trabajo de investigación puede llegar a ser positiva y agradable para el consumo alimenticio en un 70 %.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Según el objetivo general se concluye que se logra llegar al punto final de este trabajo de investigación, logrando dar un aporte a la investigación aplicada. Se concluye que:

- El análisis e investigación de la información recabada logra dar sustento teórico al presente trabajo de investigación.
- Se logra caracterizar la materia prima a través de la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y organolépticas mediante un análisis fisicoquímico realizado por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo CEANID.
- Con el desarrollo del diseño factorial, se logra proceder a la elaboración del producto final, considerando los valores óptimos para el desarrollo del mismo como la cantidad de enzima glucoamilasa en diferentes tiempos y temperaturas ya que estos influyen significativamente en la concentración de azúcares donde estén dentro del rango de las Normativas alimentarias.
- Se desarrolla el balance de materia y energía para la obtención del jarabe glucosado con la finalidad de saber los costos involucrados para el presente trabajo de investigación.
- Se realiza el estudio estadístico de pruebas sensoriales del producto final obtenido al tratamiento número 8 del diseño factorial, conllevando a la elaboración del producto final que será llevado a análisis fisicoquímico y validar la calidad del mismo comparándolo con un producto comercial.
- Se determinaron las características fisicoquímicas y microbiológicas del producto obtenido llevándolo a análisis fisicoquímico en el CEANID, analizando los parámetros de humedad, ceniza, fibra, grasa, valor energético, para luego ser valorado en base a Normativa alimenticia.
- Se estableció que las condiciones adecuadas para obtener el producto son: trabajar con una concentración de enzima glucoamilasa de 0,75 gr por cada 400

ml agua en la etapa de sacarificación y a una temperatura de 75 °C durante un periodo de 3 horas de concentración del jarabe, con dichas condiciones se obtienen rendimientos del 28 %, este porcentaje es considerable ya que en la metodología implementada no se requiere de mucha energía al momento de desarrollarlo.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar propuestas que ayuden a promover el cultivo de la ajipa que se produce en la región de Caraparí y de otras regiones que se dedican al mismo rubro.
- Se recomienda realizar investigaciones respecto a la ajipa producida en el departamento de Tarija ya que durante la elaboración del presente proyecto se evidencia que la ajipa estructuralmente presenta muchas aplicabilidades que son requeridos en el área comercial y/o industrial.
- Para un estudio profundo sobre la estructura del gránulo de almidón es recomendable el uso de microscopios ópticos más específicos en técnicas de identificación.
- Se recomienda realiza el proceso de extracción del almidón por el método de secado húmedo, ya que el almidón debe tener una textura de polvo que ayuda en el hinchamiento del gránulo del almidón al momento de proceder a la gelatinización.
- Para el desarrollo de la hidrolisis del almidón se recomienda hacer uso del equipo de rota-vapor ya que no hay mucha pérdida de vapor, favoreciendo también las condiciones de trabajo.