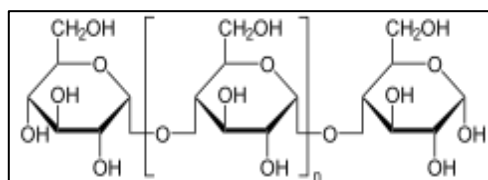


CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.- Antecedentes

Según EFSA (2004), “las dextrinas se encuentran en el almidón, estas son un grupo de oligosacáridos de bajo peso molecular que se pueden obtener por la hidrólisis del almidón” (p.1).

El almidón está compuesto aproximadamente entre (15-20) % de amilosa y el resto es amilopectina, y muestra propiedades especiales que pueden ser usadas para diferentes propósitos (Moorthy, 1994). Las dextrinas son productos de la degradación parcial del almidón, obtenidas por medio de temperaturas elevadas y/o catalizadores, en un mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización. La dextrina tiene la misma fórmula empírica del almidón original $(C_6H_{10}O_5)_n$ (Aristizábal, 2007). En figura 1-1 se muestra la estructura molecular de las dextrinas.



Fuente: Aristizábal, 2007

Figura 1-1. Estructura molecular dextrinas

Según las diferentes nomenclaturas las dextrinas se nombran de la siguiente manera:

IUPAC: Poli-(1-4)-alfa-D-Glucosa

Clásica: alfa-1,4-D-glucano

1.1 El almidón

El almidón de maíz o fécula es un polisacárido que se obtiene al moler diferentes variedades del maíz, suele formar parte de los carbohidratos que se ingieren de manera habitual a través de los alimentos. Es un ingrediente sumamente versátil, se presenta como un polvo blanco muy fino que tiene un sabor característico y proporciona entre el 70 y el 80% de las calorías que consumimos. (Proquimes S.A., 2011).

Actualmente se utiliza gomas o colas acuosas, casi exclusivamente a base de almidón, que vienen a reemplazar las antiguas gomas o colas a base de silicato de sosa. En la actualidad, se están utilizando almidones modificados y sus derivados, entre ellos las dextrinas, mismas que se constituyen en opciones tecnológicas atractivas para el sector industrial dada su facilidad de obtención y su precio en el mercado (Proquimes S.A., 2011). En la Tabla I-1, se muestra el contenido de almidón en diferentes alimentos.

Tabla I-1
Porcentaje de almidón en el maíz

Almidón	Rendimiento (%)	Tamaño del grano (μ)
Maíz	64	15
Trigo	--	20-22
Papa	17.50	33
Yuca	16,7	20
Camote	18	20-50
Oca	14,20	34

Fuente: Brumovsky, 2010

μ = micrones ($1\mu = 0.001$ mm)

1.2 Colas y adhesivos

Según Garde (2008), “los adhesivos son mezclas de polímeros o monómeros, que polimerizan durante el proceso de adhesión, con otros aditivos como antioxidantes, estabilizantes, plastificantes, retardantes entre otros, con la participación o no de disolventes” (p. 1)

La adhesión se puede definir como la fuerza capaz de mantener unidas las moléculas de materiales de distinta naturaleza. Por el contrario, el término cohesión se emplea para designar a la fuerza de atracción entre las moléculas de un mismo material. La adhesión es un fenómeno abordable desde diferentes disciplinas, aunque todas ellas caen dentro del ámbito de la fisicoquímica (Garde, 2008).

Son numerosas las teorías postuladas para interpretar el fenómeno de la adhesión:

- 1) La teoría mecánica considera que la adhesión ocurre por el anclaje del material adhesivo en los poros y puntos de rugosidad del sustrato.
- 2) La teoría de la difusión, indica que la adhesión se produce debido a la interdifusión de moléculas entre las superficies de los materiales en contacto.
- 3) La teoría de la adsorción termodinámica o de la humectación, indica que la adhesión es el resultado de la interacción física de las superficies en contacto, por el efecto del mojado, dependiente de la tensión superficial.
- 4) La teoría de la adhesión química, considera que se producen enlaces covalentes entre las superficies, situación en la que la unión es más resistente, dificultando la separación de los sustratos. (Garde, 2008)

La combinación de estas teorías permite resaltar los aspectos de la adhesión que se pueden comprobar experimentalmente (Garde, 2008):

- a) La proximidad entre las superficies es decisiva, ya que se obtienen mejores uniones cuanto más flexibles son los materiales que se unen.
- b) La presencia de grupos con carga electrostática permite obtener uniones más sólidas.
- c) La similitud en los parámetros de solubilidad del adhesivo y del sustrato favorece la adhesión.
- d) El espesor de la capa de adhesivo influye en su capacidad de adhesión.

1.2.1 Adhesivos solubles en agua

Estos adhesivos están basados en polímeros naturales como almidones y dextrinas o sintéticos como las emulsiones de poliacetato de vinilo (PVAc). La película de adhesivo se origina por evaporación del agua, utilizada como solvente. La aplicación más extendida para este tipo de adhesivos es la obtención de cartón ondulado y el pegado de papel y cartón para la obtención de cajas y bolsas. Las principales ventajas que aporta son facilidad de manejo en fábrica, facilidad de limpieza y coste razonables. Como inconvenientes, se pueden enumerar: 1) el lento desarrollo de la

capacidad de unión, 2) adhesión muy limitada sobre materiales plásticos, 3) recubrimientos poliméricos y 4) la pobre resistencia a la humedad. (Garde, 2015)

El PVAc (Acetato de polivinilo) es el adhesivo en base agua de uso más extendido. Se prepara por polimerización del acetato de vinilo ($C_4H_6O_2$) en emulsión con alcohol polivinílico (PVA) o 2-hidroxietilcelulosa éter como estabilizadores. Además puede incorporar plastificantes, cargas, solventes, antiespumantes y conservantes. Las emulsiones se pueden presentar en un amplio intervalo de consistencia, desde líquidos lechosos a pastas espesas. Las aplicaciones son numerosas: Pegado para la formación de cajas de cartón y cartoncillo, formación de tubos o ejes espirales de cartón y formación de bolsas de papel. Se trata de adhesivos que desarrollan rápidamente la capacidad de adhesión, por lo que permiten alcanzar mayores productividades. Aportan buena dureza, siendo resistentes tanto al frío como al calor. El PVAc se puede copolimerizar con etileno o ésteres acrílicos, para mejorar la adhesión, especialmente si se van a aplicar sobre sustratos plásticos. (Garde, 2015).

1.2.2 Adhesivos vehiculizados en disolventes orgánicos

El disolvente facilita la distribución uniforme del adhesivo en las superficies a unir y al evaporarse permite obtener la película fijada a las mismas. Los polímeros que participan mayoritariamente en este tipo de adhesivos son elastómeros que pueden ser derivados del caucho natural o sintético (Garde, 2015):

1. Copolímeros de estireno-butadieno (SBR). Estos adhesivos suelen ser sensibles a la presión, por esta razón intervienen en cintas adhesivas y etiquetas.
 - a. Dentro de este mismo grupo están los adhesivos derivados del poliuretano que se emplean para la obtención de películas laminadas plásticas destinadas a las más diversas aplicaciones: bolsas y tapas de envases termoformados. Aportan excelentes propiedades como son dureza y rigidez, flexibilidad, claridad y resistencia a la temperatura (Garde, 2015).
2. Copolímeros de etileno y vinil-acetato que se utilizan en aplicaciones de sellado por calor mediante la aplicación de bandas laterales para el sellado, que permite la

formación de las costuras verticales en bolsas obtenidas en máquinas de formado, llenado y sellado. También pueden encontrarse en tapas de productos lácteos y de porciones individuales de mermeladas. (Garde, 2015).

1.2.3 Adhesivos sin solventes

Este tipo de adhesivos surge como respuesta al aporte de energía que requieren los adhesivos que utilizan un solvente (orgánico o acuoso), para la evaporación de estos y por los problemas medioambientales que conllevan. Estos adhesivos, también pueden incluirse dentro del concepto de adhesivos reactivos. (Ainia S.A., 2015).

Otro tipo a considerar son las resinas epoxi bicomponentes formadas por una resina epoxi fluida y un reactivo como una poliamida que contenga grupos amino libres. Ambos componentes se mezclan previamente a temperatura ambiente y reaccionan para generar la adhesión. (Ainia S.A., 2015).

Finalmente incluir los adhesivos cuya polimerización es inducida por radiación U.V. La base química de los mismos son acrilatos o epoxi. Ambos requieren la inclusión, en su formulación, de foto-iniciadores o sustancias activas a dicha radiación que desencadenan el proceso de polimerización. La ventaja que aportan es que la acción de la radiación sustituye la necesidad de utilizar los adhesivos bicomponentes. (Ainia S.A., 2015).

1.2.4 Factores que influyen en la adhesión

a) Sustrato. Material sobre el cual se efectúa la adhesión, hay diferentes aspectos del sustrato que deben tenerse en consideración:

- **Rugosidad o suavidad.** Afecta al área de contacto de un adhesivo. Si el sustrato es muy rugoso, el contacto sólo puede ocurrir en las “crestas” o “colinas” de la superficie, pero los “valles” no estarán en contacto con el adhesivo. El área de contacto real será muy inferior a la visual e inicialmente prevista, resultando en una adhesión pobre. Por tanto, un adhesivo para una aplicación de estas

características se requiere que posea la fluidez y humectabilidad adecuadas para alcanzar todos los “valles”. También será preciso utilizar un gramaje de adhesivo mayor (Ainia S.A., 2015).

- **Humedad.** La humedad presente en las superficies a unir puede interferir con el proceso. Por ejemplo, hay determinados adhesivos que requieren de la humedad ambiental y/o del sustrato para desarrollar la adhesión. Por otra parte, hay situaciones muy frecuentes en la industria alimentaria en las que la aplicación del adhesivo se realiza sobre superficies que pueden contener agua de condensación. Hay determinados adhesivos como los que son en base agua, que pueden tolerar una cierta cantidad de humedad, pero si ésta es excesiva, el adhesivo puede llegar a no cumplir su función. Ante situaciones así, la alternativa sería utilizar adhesivos tipo hot-melt o en base disolvente (Garde, 2015).
- **Tensión superficial.** La tensión superficial representa la fuerza con la que las moléculas superficiales de un fluido son atraídas hacia la masa de dicho fluido. Cuando este fluido entra en contacto con una superficie sólida u otro líquido, dichas moléculas superficiales se ven sometidas a un sistema de fuerzas con una resultante. Según sea dicha fuerza resultante podrá hablarse de que el fluido moja o no moja la superficie. Para que el adhesivo humedezca el sustrato, la tensión superficial del adhesivo debe ser inferior, o a lo sumo igual, a la tensión superficial del sustrato. De esta forma, el adhesivo fluye sobre la superficie fácilmente y resulta más fácil para el adhesivo unirse al sustrato. Un caso particular lo constituyen los adhesivos removibles. No es fácil combinar una excelente removibilidad a largo plazo con una elevada tensión superficial inicial. Los problemas surgen a medida que el tiempo aumenta porque la adhesión progresa (Garde, 2015).
- **Forma.** La forma de las superficies a unir puede suponer una limitación a la elección del adhesivo. Por ejemplo superficies convexas de radio muy pequeño o

esquinas de cajas. Para ello el adhesivo debe aportar una elevada cohesión interna y, si el mismo, está sobre una cinta, el material de dicha cinta deber ser lo suficientemente flexible, como para que no tire del adhesivo. (Ainia S.A., 2015).

b) Temperatura. Las propiedades físico-químicas y, entre ellas, las reológicas dependen directamente de la temperatura. A temperaturas inferiores a las recomendadas en sus especificaciones técnicas, los adhesivos se endurecen, reduciendo la adhesión, especialmente la adhesión inmediata. A temperaturas altas se ablandan, como consecuencia de la reducción de la cohesión interna. El aumento de temperatura conlleva la progresión del reblandecimiento y el aumento de adhesión porque se favorece que el adhesivo fluya y el área de contacto con el sustrato aumenta. Sin embargo, un excesivo calentamiento, conduce a que el adhesivo pierda sus propiedades adhesivas e, incluso, puede provocar la degradación de los componentes responsables de la adhesión, por lo que el resultado es la pérdida de adhesión (Ainia S.A., 2015).

c) Resistencia a la oxidación y a la radiación U.V. La oxidación implica el envejecimiento del adhesivo. Las temperaturas elevadas aumentan el índice de oxidación. En la formulación del adhesivo se incluyen estabilizantes para reducir el índice de oxidación y prolongar su vida de almacenamiento. Cuando ocurre la oxidación, en primer lugar, el adhesivo empieza a ponerse amarillo, pierde gradualmente sus propiedades de adhesión y finalmente se endurece, hasta impedir su manipulación. El efecto de la radiación U.V. es significativo cuando el adhesivo se emplea para unir soportes transparentes (Garde, 2015).

2.- Objetivos

El planteamiento del objetivo general y de los objetivos específicos para este proyecto se presenta a continuación.

2.1 Objetivo general

Obtener dextrinas a partir del almidón de maíz a escala de laboratorio para la fabricación de pegamentos.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el almidón de maíz mediante análisis fisicoquímicos para determinar su pureza.
- Seleccionar el proceso adecuado para la obtención de dextrinas amarillas para la producción de pegamento a partir de almidón de maíz.
- Determinar las variables que influyen en la hidrólisis para la obtención de las dextrinas amarillas.
- Efectuar pruebas de uso del producto obtenido.
- Realizar pruebas de adhesividad con el pegamento elaborado a partir de las dextrinas obtenidas.
- Realizar los análisis fisicoquímicos de las dextrinas obtenidas.

2.3.- Justificación

La dextrina obtenida a partir de almidón de maíz, es una fuente sostenible y económicamente viable, debido a su alto rendimiento en la producción de dextrinas de diferentes tipos. Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en 2015 indica que en el país se cultivan 441.545 hectáreas de maíz, produciendo 1.056.557 toneladas de maíz al año, de lo cual un 15 % es destinado para la producción de almidones, harinas y sémolas.

La importancia de este proyecto es dar a conocer alguno de los usos de dextrinas en la industria, ya que no sólo son utilizadas para la fabricación de pegamentos sino también como, agentes espesantes en la transformación de alimentos y como agentes aglutinantes en la industria farmacéutica.

También son utilizados en la industria de pirotecnia. Las ciclodextrinas encuentran uso adicional en química analítica como matriz para la separación de sustancias hidrofóbicas, y como excipientes en formulaciones farmacéuticas. No todas las formas de dextrina son digeribles, y la dextrina indigerible se utiliza a veces en suplementos de fibra dietética.

En la industria existen varios tipos de dextrinas, entre ellas las dextrinas blancas, amarillas y las gomas británicas. Las más utilizadas para la fabricación de pegamentos, son las dextrinas amarillas por ser las más adecuadas para la producción de adhesivos por su alta solubilidad en agua. Por eso es muy importante que se puedan definir las propiedades y los usos de estos derivados del almidón.

Por qué se utiliza almidón de maíz

Se elige el almidón de maíz por tener un alto porcentaje de pureza respecto a otros cereales o tubérculos, lo cual es muy favorable para obtención de dextrinas ya que estas se encuentran en su gran mayoría en el almidón. Otra razón por la cual se utiliza el almidón de maíz, es porque este cereal tiene una abundante producción en el país y en el departamento de Tarija, es la base alimentaria de la población y el ganado de la región, debido a que se produce en abundancia es importante encontrarle otros usos a este valioso cereal.

Aspecto Económico

Actualmente el gobierno está incentivando a la mayor producción de maíz y sus derivados en el país, lo que hace favorable encontrarle otro uso a sus subproductos como el almidón, el que se puede convertir en dextrinas las cuales sirven para diferentes usos en la industria ya sea para la fabricación de pegamentos, en alimentos, en la industria farmacéutica, etc. Lo cual causará un efecto favorable en la economía del país y de los productores de maíz y sus derivados.

Aspecto Social.

Los adhesivos en general desempeñan un papel básico en la vida diaria, su empleo se extiende desde actividades escolares, oficinas y en los hogares. Es un sector que se

encuentra en pleno crecimiento y su desarrollo será muy importante en los próximos años, dado que ofrece rendimientos similares y en ocasiones superiores a los de otras soluciones para el ensamblaje y el sellado, con ventajas en cuanto a ahorro de costes.

Aspecto ambiental

La producción de dextrinas a partir de almidón de maíz podría convertirse en una opción muy favorable a muchos productores de maíz en la región ya que es la principal materia prima para la producción de almidón. La actividad agropecuaria crecería de forma favorable al haber encontrado un subproducto al almidón de maíz el cual es usado de diversas maneras en la industria. Según estudios realizados por Agrofyt Argentina, asegura que el cultivo de maíz contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 El almidón

El almidón es un polisacárido de reserva alimenticia predominante en las plantas, constituido por amilosa y amilopectina. Proporciona el 70-80% de las calorías consumidas por el ser humano a nivel mundial. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual. (Smith, 2003).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa, batata y mandioca. Tanto los almidones, como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones, que incluyen las siguientes: ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente anti-envejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante. (Smith, 2003).

2.1.1 Usos del almidón.

El almidón de maíz es utilizado en diversos sectores, como la industria de alimentos, la industria de papel y cartón, la industria textil, la industria de adhesivos, la industria farmacéutica, entre otros muchos usos que se le da en la vida cotidiana. (Balagopalan, 1988).

- a) **Industria de alimentos.** El almidón nativo se usa solo o mezclado, en la elaboración de macarrones y de diversas harinas; con estas se preparan pudines, pasteles, galletas, obleas, bizcochos, almojábanas, cremas, helados, sopas, ensaladas, embutidos y otros productos alimenticios. Con el almidón agrio se elaboran también productos alimenticios tradicionales como el pan de maíz. El almidón pre-gelatinizado es usado como aditivo para espesar, estabilizar o recubrir tortas de frutas, mezclas secas, pudines, crema de leche. Los almidones modificados, por diferentes medios; se usan como espesantes de salsas blancas, y para estabilizar y emulsificar aderezos para ensaladas, gelatinas nutritivas,

postres instantáneos, helados, pudines y alimentos para bebé. (Balagopalan, 1988).

- b) La dextrina, derivada del almidón, es ampliamente utilizada en la industria alimentaria como un espesante en sopas envasadas, salsas, dulces, comida para bebés y como un reemplazo de las grasas en los alimentos reducidos en calorías. Es también una buena fuente de fibra dietética. Es una de las varias dextrinas utilizadas en la industria textil para la impresión de tejidos de algodón. También se utiliza como un adhesivo para las sustancias porosas, en el pegamento que va en los sobres, estampillas, sellos, cinta engomada y una gran variedad de otros adhesivos (Acosta, 2004).
- c) **Industria de papel y cartón.** La elaboración de papel y de cartón consta de varias etapas, en las cuales se adiciona almidón nativo y almidones modificados al producto final para darle ciertas propiedades y diferente calidad. La industria del papel exige tres características básicas en el almidón de maíz: blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas. Puede tener el almidón otras características físicas o químicas, las cuales afectan el proceso de elaboración del papel o la formación de la pasta que le da origen. El almidón ayuda a unir las fibras de celulosa del papel y forma una capa superficial que reduce la pelusa y aumenta la consistencia, la solidez y la durabilidad de las hojas de papel. Esta capa delgada da también mayor resistencia mecánica al cartón. Además como adhesivo en el laminado de ciertos papeles, de cajas corrugadas, de papel de colgadura (para empapelar), de tubos de cartón y de otros artículos. También se emplea en el reciclaje del papel y del cartón. (Alarcón & Dufour, 1998).
- d) **Industria textil.** El almidón es usado en esta industria, para engomar los hilos de la urdimbre y de la trama en la elaboración de telas, y también es usado como engomante para almidonar tejidos blancos en la industria de lavandería. (Alarcón & Dufour, 1998).
- e) **Industria de adhesivos.** El almidón se usa para la elaboración de adhesivos o colas baratas. Estos pegantes se utilizan para fabricar materiales de embalaje, etiquetas, papel de envoltura y cinta pegante de humedecer, productos cuyo uso

los hace desechables. Los pegantes son muy útiles para las empacadoras y etiquetadoras de alta velocidad, por dos razones: costo relativamente bajo y gran velocidad de adhesión. (Alarcón & Dufour, 1998).

- f) Industria farmacéutica.** El almidón pre-gelatinizado se emplea en farmacia para diluir, aglutinar, lubricar o desintegrar diversos productos sólidos. Este almidón actúa también como absorbente, da viscosidad y sirve de vehículo a sustancias pastosas, líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico. Se emplea además para fabricar polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos y como soporte en la fabricación de obleas. (Balagopalan, 1988).
- g) Otros usos.** El almidón nativo de maíz se usa en la industria química para obtener alcoholes, glucosa y acetona; para fabricar explosivos, colorantes, pilas secas e impresiones dentales; y en la coagulación del caucho, en minería como floculante y como componente de las soluciones empleadas en la perforación de pozos de petróleo (Alarcón Cada uno de ellos permite obtener distintos productos. (Alarcón & Dufour, 1998).
- h)** Recientes estudios realizados sobre la modificación de almidón de maíz por vía seca permitieron comprobar que es posible la producción de pirodextrinas, utilizando secado con aire a través de un lecho de pellets, siendo una tecnología que permite agregar valor al método tradicional de extracción de almidón de maíz, empleado por pequeños agricultores y procesadores, y presenta ventajas frente a las tecnologías actuales de producción de dextrinas en forma de polvo. (Aristizábal, 2004).

El método elegido fue determinado como la más aplicable en términos técnicos, económicos, sociales y ambientales a una agroindustria rural. El incremento del área superficial del producto aumenta la transferencia de calor y, en consecuencia, disminuye los tiempos de proceso. La tecnología reduce los costos de inversión y permite la producción de la dextrina enseguida del proceso de extracción de almidón de maíz utilizado en pequeñas agroindustrias, eliminando una etapa de proceso (secado del almidón), no partiendo de almidón seco del

que parten las tecnologías actuales de modificación por vía seca, sino de los bloques de almidón que sedimentan en los canales. La dextrina así obtenida es de fácil manejo, empaque y elimina la contaminación por polvos (Acosta, 2004).

2.2 El almidón de maíz

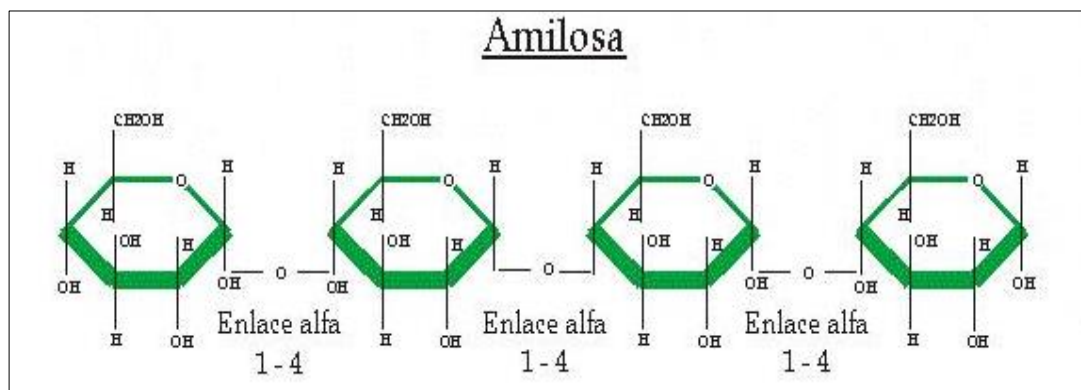
Según Tetlow & Morrel (2004), “el almidón de maíz es un polímero de glucosa que constituye el principal producto de almacenamiento en semillas y otros órganos” (p. 1). Representa el 80% de la ingesta calórica mundial, se utiliza como alimento animal y es una importante materia prima para la industria. La importancia económica y social que adquirieron durante el siglo pasado las bebidas alcohólicas producidas a partir de cereales, llevó a una mayor investigación científica dirigida a conocer la naturaleza y regulación del proceso de degradación de almidón en el endospermo, el cual actualmente se entiende con profundidad tanto a nivel bioquímico como molecular. Sin embargo, la degradación del almidón en endospermo de cereales puede ser muy diferente a la forma en que este proceso ocurre en otras especies y órganos vegetales. (Smith, 2003)

2.2.1 El gránulo de almidón de maíz

Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares, la amilosa y la amilopectina; contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas. Puesto que la cristalinidad es producida por el ordenamiento de las cadenas de amilopectina, los gránulos de almidón céreo tienen parecido grado de cristalinidad que los almidones normales. La disposición radial y ordenada de las moléculas de almidón en un gránulo resulta evidente al observar la cruz de polarización (cruz blanca sobre un fondo negro) en un microscopio de polarización cuando se colocan los polarizadores a 90° entre sí. El centro de la cruz corresponde con el hilum, el centro de crecimiento de gránulo (Gómez, 2006).

2.2.2 Amilosa

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos (1,4), que establece largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón; es decir, la amilosa es una α -D- (1,4)-glucana cuya unidad repetitiva es la α -maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa. Los almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del (70-75) %. (Gómez, 2006). En la figura 2-1 se muestra la estructura molecular de la amilosa.



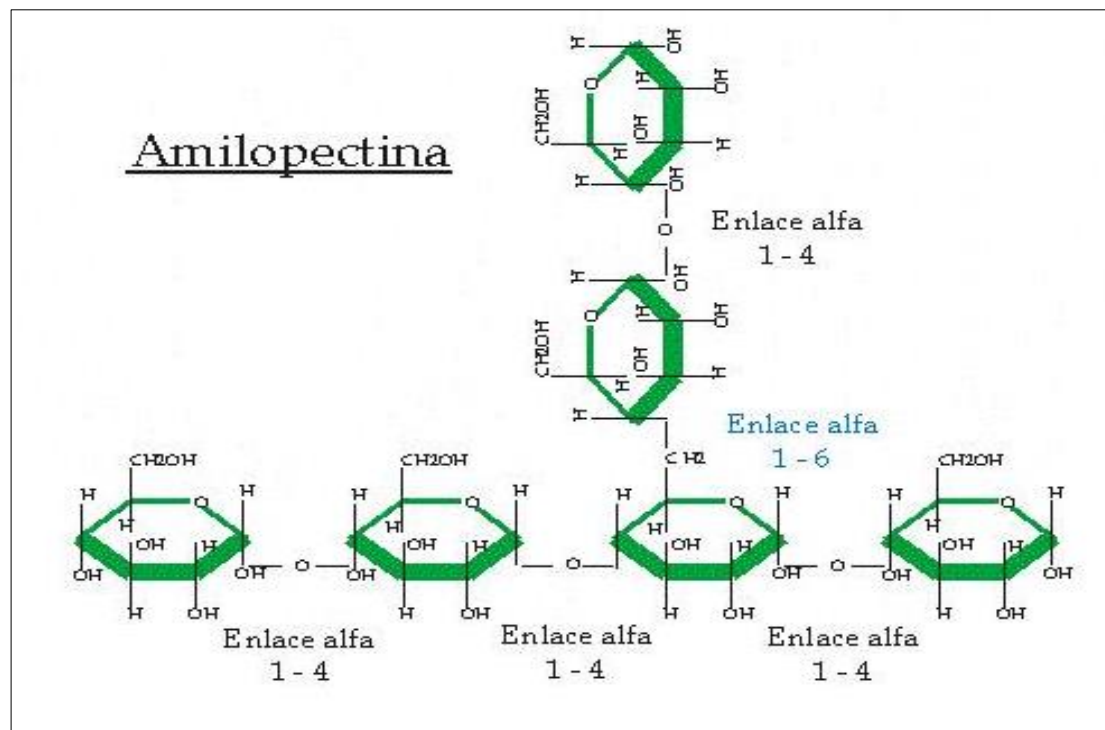
Fuente: Schaufler, 2010

Figura 2-1. Estructura molecular de la amilosa

2.2.3 Amilopectina

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos

exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos. La amilopectina de papa es la única que posee en su molécula grupos éster fosfato, unidos más frecuentemente en una posición O-6, mientras que el tercio restante lo hace en posición O-3. (Gómez, 2006). En la figura 2-2, se muestran los enlaces que forman las cadenas de amilopectina.



Fuente: Schaufler, 2010

Figura 2-2. Estructura molecular de la Amilopectina

2.2.4 Contenido de amilosa y amilopectina en almidón

En la Tabla II-1 se aprecia los contenidos de amilosa y amilopectina de distintos tipos de alimentos.

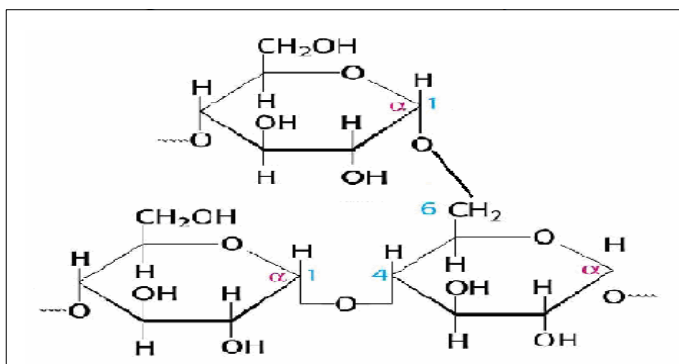
Tabla II-1
Contenido de amilosa y amilopectina en distintos productos

Tipo de almidón	Contenido de amilosa (%)	Contenido de amilopectina (%)
Maíz	25	75
Papa	20	80
Trigo	25	75
Arroz	19	81
Mandioca	17	83

Fuente: Brumovsky, 2010.

2.3 Propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón

El análisis de estas propiedades es fundamental para lograr un total aprovechamiento de los almidones que se pueden obtener de diferentes productos ya sean de maíz, papa, yuca, etc. Para que se pueda obtener un rendimiento óptimo para la producción de dextrinas (UAM, 2005). En la figura 2-3 se muestra la estructura molecular del almidón.



Fuente: UAM, 2005

Figura 2-3. Estructura molecular del almidón

Las características típicas del almidón de maíz son diferentes a las obtenidas a partir de yuca o de papa, lo que crea un nicho en el que ciertos procesos industriales pueden preferir la utilización de un almidón con respecto a otro. Las principales propiedades fisicoquímicas de un almidón son: composición proximal, características

del gran (tamaño y forma), naturaleza cristalina, peso molecular, poder de hinchamiento, solubilidad, contenido relativo de amilosa y características de la pasta que produce. (Ceballos & De la Cruz, 2002).

El contenido de proteína del almidón de maíz es de (0,35) % comparado con el de los almidones de arroz (0,45) % y de yuca (0,1) %. La proteína residual de estos almidones puede dar un sabor harinoso y una tendencia a producir espuma. (Ceballos & De la Cruz, 2002).

Los gránulos de almidón de papa y yuca contienen un pequeño porcentaje de sustancias grasas, comparado con los almidones de los cereales (maíz y arroz), los cuales contienen respectivamente (0,6-0,8)%. Esta composición favorece el almidón de yuca, ya que estos lípidos forman un complejo con la amilosa, la cual tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón, y por esta razón se necesitan temperaturas altas ($> 125\text{ }^{\circ}\text{C}$) para romper así la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa. La presencia de sustancias grasas puede crear problemas por la tendencia a ranciarse en el almacenamiento. (Ceballos & De la Cruz, 2002).

En la tabla II-2 demuestra las características presentes de la amilosa y la amilopectina que están presentes en el almidón de maíz.

Tabla II-2
Características de la amilosa y amilopectina

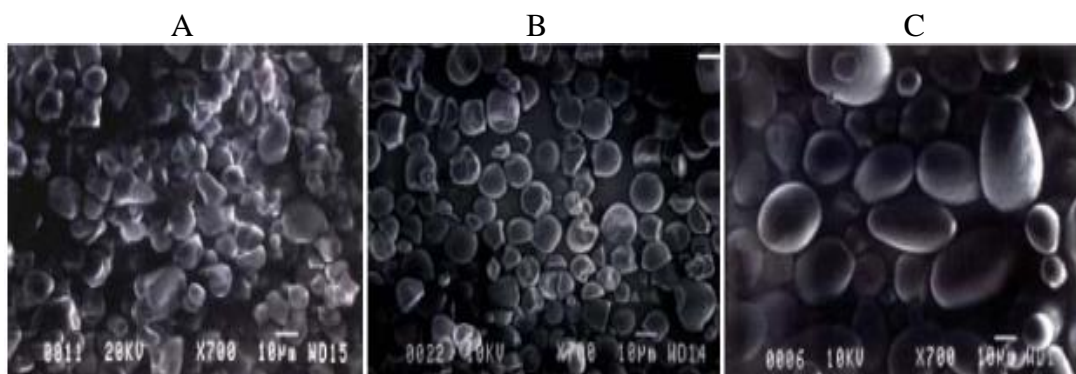
Propiedades	Amilosa	Amilopectina
Peso molecular	$1-2 \times 10^5$	$>2 \times 10^7$
Grado de polimerización	990	7200
Ligamientos glucosídicos	$\alpha - D (1-4)$	$\alpha - D (1-6)$
Estructura molecular	básicamente lineal	muy ramificada
Susceptible a retrogradación	Alta	Baja
Afinidad con el yodo	20,1g/100g	1,1g/100g

Fuente: Hallauer, 1994.

Los gránulos de los almidones de arroz y maíz ceroso tienen forma poliédrica, mientras que los gránulos de almidón de papa son ovoides y presentan los gránulos de mayor tamaño entre 5-100 nm, con promedio de 33 nm. El tamaño de los gránulos de maíz y maíz ceroso es intermedio entre 3-26 nm, con un promedio de 15 nm, similar al de los gránulos de almidón de yuca. (Ceballos, 2002).

Los gránulos más pequeños corresponden a los de arroz, que varían de 3-8 nm y son considerados como los más resistentes a procesos con altas temperaturas, como la esterilización; además, poseen mayor digestibilidad (ver figura 2-4). El nivel de cristalización del almidón de yuca está por el orden de 38%. (Rickard, 1991).

La cristalinidad del gránulo se debe esencialmente a la amilopectina en la figura 2-4 se muestra la forma de los gránulos de distintos almidones.



Fuente: Hurtado, 1997

Figura 2-4. Forma de los gránulos de almidón de maíz (a), yuca (b), papa(c)

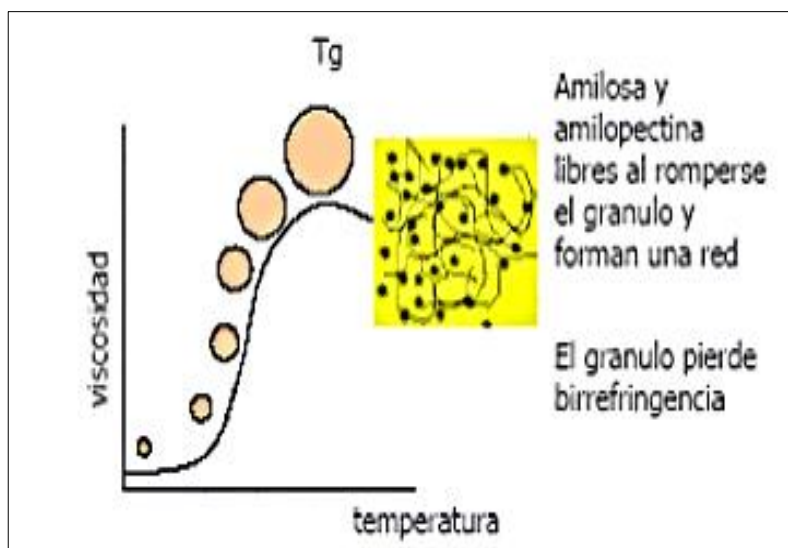
Cuando una suspensión en agua de almidón es sometida a calentamiento, los gránulos lentamente absorben agua y aumentan de tamaño. Inicialmente, los gránulos retienen sus propiedades ópticas, incluyendo la habilidad para refractar la luz polarizada (birrefringencia), lo cual se debe a la alineación de las moléculas en los gránulos de almidón. Se ha observado que los gránulos de almidón de yuca tienen baja birrefringencia a temperatura entre (58-64)°C, comparados con los gránulos de maíz a temperaturas entre (62-68)°C. (Ceballos & De la Cruz, 2002).

El almidón de maíz gelatiniza como el almidón de arroz y yuca cerosos que gelatinizan a temperaturas relativamente bajas (60-67)°C, el punto máximo se alcanza rápidamente, lo que indica que es un almidón fácil de cocinar y requiere bajo consumo de energía durante su cocción. Además, tiene una tendencia baja a la retrogradación y produce un gel muy claro y estable (ver figuras 2-5 y 2-6) (Ceballos & De la Cruz, 2002).

Las propiedades de claridad y baja retrogradación del almidón de maíz pueden ser utilizadas en muchos productos alimenticios; sus características reológicas se asemejan bastante a las del almidón de yuca. Las propiedades de calidad de las pastas de almidón son modificadas durante el proceso de congelación, aumentando, la exudación de agua o “sinéresis”, lo que deteriora la estructura de la pasta, algunos almidones nativos, como el almidón de yuca y oca, han sido considerados resistentes a este proceso (Ruales, 1995).

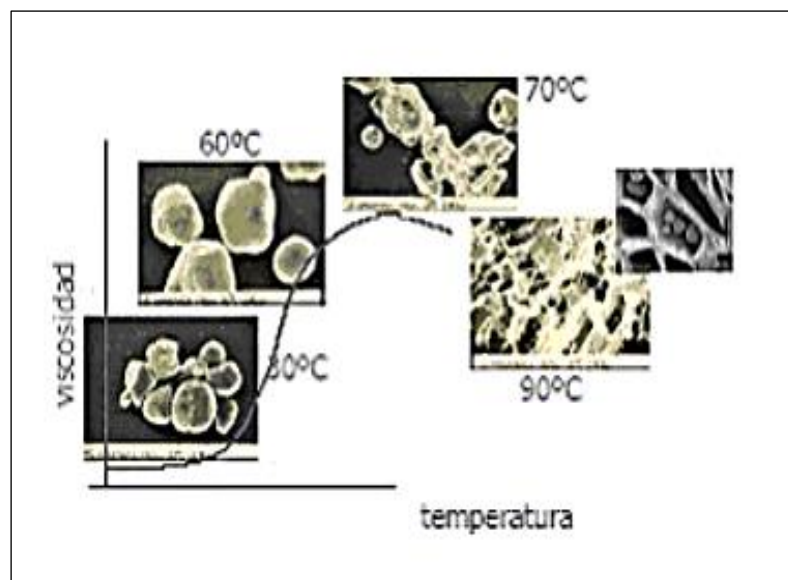
También se ha encontrado que las pastas de almidón de maíz son estables a medios ácidos por debajo de pH 2,4, medio en el cual hay destrucción del gránulo y del aspecto físico de la pasta, debido a una hidrólisis parcial o total de las pastas. (Ceballos & De la Cruz, 2002).

En la figura 2-5 y figura 2-6 se muestra el cambio de viscosidad en función al aumento de temperatura y la cinética de gelificación del almidón de maíz



Fuente: UAM, 2005

Figura 2-5. Gelificación de los gránulos de almidón



Fuente: UAM, 2005

Figura 2-6. Cinética de gelificación de los gránulos de almidón

2.3.1 Composición del almidón de maíz

En el almidón de maíz se encuentran componentes muy nutritivos.

En la tabla II-3 se muestra la composición del almidón de maíz por cada 100 g de muestra.

Tabla II-3
Nutrientes del almidón de maíz

Nutrientes	Cantidad
Grasa total (g)	0,05
Colesterol (mg)	0
Glúcidos	91,27
Fibra (g)	0,90
Calcio (mg)	2
Hierro (mg)	0,47
Yodo (μm)	0,50
Proteína	0,26
Energía (kcal/g)	344

Fuente: FUNIBER, 2005

2.3.2 Proteínas

Las proteínas del almidón de maíz están conformadas por aminoácidos como ácido aspártico y ácido glutámico, alanina, arginina, cistina, lisina y valina. Estos aminoácidos se combinan para formar las proteínas del almidón de maíz o fécula de maíz. (Proquimes S.A., 2011).

2.3.3 Carbohidratos

La fécula de maíz tiene una importante presencia de carbohidratos como ser azúcar, fructosa, galactosa, glucosa, lactosa, maltosa, sacarosa y oligosacáridos los porcentajes de cada uno de estos componentes que contiene el almidón puede variar de la variedad de maíz que se utilice. (Mestres, 1996).

2.3.4 Minerales

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1,3%, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. El contenido de minerales de

algunas muestras. El almidón de maíz tiene una importante cantidad de minerales los cuales encontramos en mayor cantidad son los siguientes zinc, fósforo, hierro, yodo, magnesio, sodio y calcio. (Proquimes S.A., 2011).

2.3.5 Fibra dietética

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio, aunque también en las paredes celulares del endospermo y en menor medida, en las del germen. El contenido total de fibra dietética soluble e insoluble de los granos de maíz. Las diferencias entre las muestras son pequeñas en lo que se refiere a la fibra soluble e insoluble. (Proquimes S.A., 2011).

2.3.6 Calorías

La cantidad de calorías presentes en el almidón de maíz es entre (344 – 356) kcal/100g. El aporte energético de 100 gramos de almidón de maíz, es aproximadamente un 13% de la cantidad diaria recomendada de calorías que necesita un adulto de mediana edad, y de estatura media que realice actividad física moderada. (Mestres, 1996).

2.3.7 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos constituyen con el pH característico de los alimentos: pH entre 5.2 – 6.2. Los más representativos son el málico, el cítrico y el clorogénico que reaccionan con iones de hierro. (Mestres, 1996).

2.4 Almidones modificados

El almidón muestra propiedades especiales que pueden ser usadas para diferentes propósitos. Muchas de estas no son apropiadas para algunas aplicaciones específicas y existen métodos disponibles para modificarlas. Las principales modificaciones pueden ser físicas, químicas y degradativas. **a)** Los tratamientos químicos están basados en la disponibilidad de un gran número de radicales hidroxilo en las moléculas de almidón, estos radicales pueden reaccionar en diferentes vías con

diferentes reactivos. **b)** La modificación degradativa incluye dextrinización, oxidación hidrolizada e hidrólisis en compuestos de bajo peso molecular. Existe una creciente demanda de los almidones modificados, los cuales son utilizados con fines muy específicos. **c)** Los cambios físicos se presentan en el aumento de temperatura provocando el hinchamiento de las partículas del almidón modificando su densidad si esta en solución. (Moorthy, 1994).

El almidón de maíz presenta alrededor del 18% de amilosa, mientras que el de los cereales, alrededor del 22 %. Cerca de los carbohidratos, el almidón puede presentar, bajos contenidos de sustancias acompañantes, que pueden modificar drásticamente sus propiedades, entre esos componentes, se encuentra el nitrógeno, lípidos, y minerales como el fósforo, este último se encuentra en forma de Ester, y relacionado con mayor frecuencia a la amilopectina. (Moorthy, 1994).

- **Modificaciones del almidón:** Las modificaciones del almidón pueden clasificarse en físicas, químicas, enzimáticas y combinadas. **a)** El almidón puede ser modificado físicamente por vía ácida para reducir la viscosidad y ser usado en textiles, papel e industria de alimentos; los almidones oxidados, obtenidos por reacción del almidón con hipoclorito de sodio en medio alcalino, se producen simultáneamente reacciones de oxidación e hidrólisis que rompen los enlaces glucosídicos del almidón, se utilizan en la preparación de salsas, mayonesas, etc. y tienen una pequeña participación en el mercado de encolado, no retrogradan ni melifican. **b)** El almidón entrecruzado se obtiene por reacción con moléculas bifuncionales como la epíclorhidrina, el oxícloruro de fósforo o anhídridos mixtos de ácidos orgánicos, por esta ruta pueden obtenerse productos con cadenas entrecruzadas, mucho más estables y de gran resistencia, con escasa tendencia al hinchamiento. (Wurzburg, 1986).

Son de especial interés para alimentos congelados, sobre todo si el tratamiento se combina con esterificación; el almidón acetilado presenta menor tendencia a la retrogradación; el almidón fosfatado es recomendado para alimentos refrigerados o congelados, es obtenido por tratamientos con ácido fosfórico, para introducir un

grupo iónico fosfato a la estructura del almidón, así pueden ser obtenidos almidones mono-éster-fosfato o poli-éster-fosfato, estos almidones son indicados para la elaboración de gelatinas y gomas coloidales y poseen estabilidad en el congelamiento. c) También hay procesos enzimáticos que dan origen a dextrina, maltosa y glucosa, azúcares con diferentes grados de endulzamiento y adherencia, la dextrina es la base para la elaboración de pegamentos, y la maltosa y la glucosa son de usos versátiles, como en alimentos y bebidas fermentadas. (Wurzburg, 1986).

2.5 Hidrólisis

Se denomina hidrólisis a las reacciones de la química inorgánica, donde el agua efectúa una doble descomposición con otro compuesto, (el H^+ va en un componente y el OH^- va en otro) .Este término también puede aplicarse a reacciones en donde un ácido se añade al agua, en mayor o menor cantidad para acelerar la reacción; esta hidrólisis puede llevarse a cabo con ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos o por acción enzimática, la cual es la más utilizada actualmente (Fermema, 2000).

Con la finalidad de transformar las moléculas de almidón en dextrinas el almidón es sometido a un proceso de hidrolisis mediante el cual ocurre desdoblamiento ya sea por un exceso de agua o por la presencia de una pequeña cantidad de fermento o ácido. (Fermema, 2000).

2.5.1 Hidrólisis química del almidón

El almidón tratado con ácidos se rompe en cadenas cortas de dextrinas. El grado de degradación depende de la concentración del ácido, la temperatura, y el tiempo de hidrólisis. A medida que actúa el ácido, el peso molecular y a viscosidad de los productos decrecen y el poder reductor aumenta (Vásquez, 2012).

Los ácidos utilizados para la producción de dextrinas son el ácido clorhídrico y el ácido nítrico. Si hervimos el almidón con ácido clorhídrico 1N durante 1 hora, el almidón se rompe totalmente y se reduce a glucosa; esta reacción es conocida como hidrolisis intensa. (Vásquez, 2012).

Mediante este procedimiento se logra el desdoblamiento de las moléculas del almidón por acción de ácidos sulfúricos o clorhídricos diluidos. La clase de ácido, su concentración, la cantidad empleada referida a la cantidad de almidón, así como la presión y la temperatura ejercen influencia en la duración de la sacarificación. Por lo general, la cantidad de ácido empleado es tal que el valor del pH se ajuste a 1.5 en una solución al 33% de almidón (Vásquez, 2012).

El agua utilizada debe ser lo más pura posible y libre de hierro ya que el ácido fosfórico que existe en el almidón forma después de neutralizarse fosfatos de hierro insolubles, finamente dividido, quedando en suspensión en el jarabe y es muy difícil su separación por filtración (Vásquez, 2012).

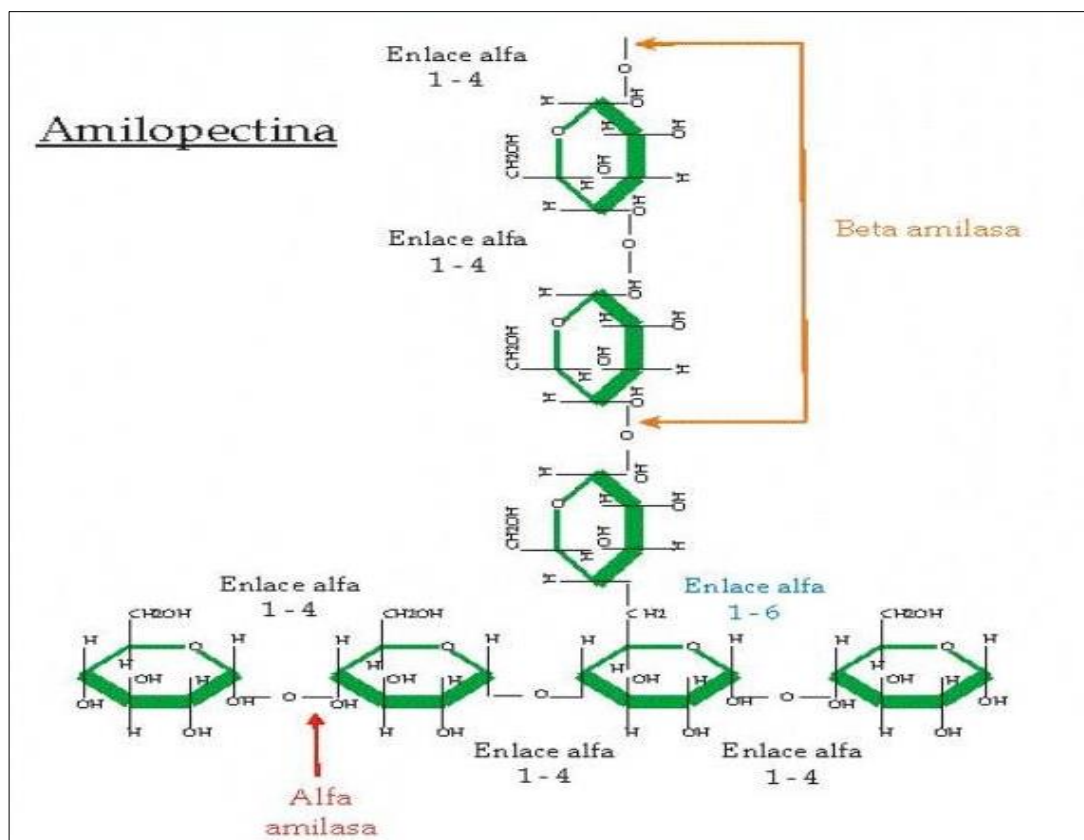
2.5.2 Hidrólisis enzimática del almidón

Para obtener dextrinas a partir del almidón de maíz es necesario romper las cadenas de este polisacárido, para poder obtener una solución la cual contenga azúcares simples y en mayor cantidad dextrinas, las cuales luego se pueden convertir en varios productos utilizados por la industria, como ya mencionamos se pueden usar para la fabricación de plásticos aglutinantes y en especial para la fabricación de pegamentos (Sánchez, 2005).

El almidón es tradicionalmente hidrolizado mediante ácido, pero la especialidad de las enzimas que se utilizan, sus condiciones suaves de reacción y la ausencia de reacciones secundarias han hecho que la α -amilasa sean las catalizadoras usadas para esta tarea (Sánchez, 2005).

Para la hidrólisis del almidón se usa la α -amilasa, lo que le hace ideal para la primera etapa de la hidrólisis de la suspensión del almidón que tiene que ser llevada a la temperatura de 70°C para el rompimiento de estos gránulos de almidón provenientes de un cereal como el maíz (Carrera, 2004).

La figura 2-7 muestra el ataque de la enzima α -amilasa como ataca a los enlaces alfa de la amilopectina.



Fuente: Schaufler, 2010

Figura 2-7. Ataque de la enzima α - amilasa

El producto de esta etapa de hidrólisis es una solución de almidón que contiene en su mayor cantidad dextrinas y pequeñas cantidades de glucosa. El almidón hidrolizado se somete a sacarificación a menor temperatura entre 50-55 °C (Sánchez, 2005).

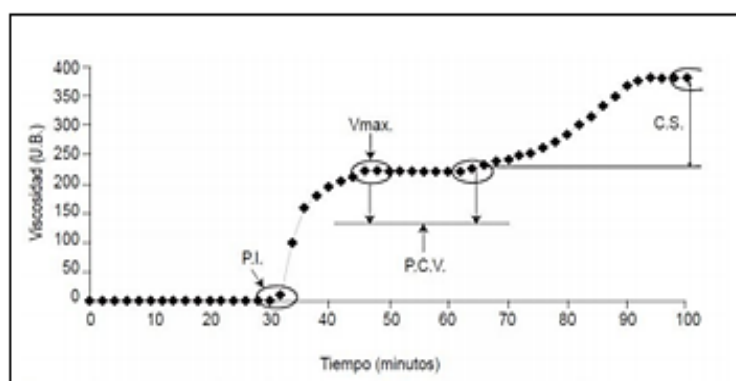
2.6 Gelatinización

Se conoce como gelatinización al proceso donde los gránulos de almidón que son insolubles en agua fría debido a que su estructura es altamente organizada, se calientan 75°C y empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas que son menos organizadas y las más accesibles. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse y aumentar de volumen. Este fenómeno puede ser observado al microscopio. Al llegar a cierta temperatura, los gránulos alcanzan un volumen

máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayos X como la birrefringencia. El rango de temperatura en el que tiene lugar el hinchamiento de todos los gránulos se conoce como rango de gelatinización y es característico de la variedad particular de almidón que se está investigando. Al producirse el hinchamiento de los gránulos, hay también una extracción de la Amilosa. Esta Amilosa liberada queda en dispersión coloidal donde los gránulos intactos están en suspensión. Si se continúa administrando calor a los gránulos hinchados, estos se romperán parcialmente y la Amilosa y amilopectina se dispersarán en el seno de la disolución. Al final de este proceso se genera una pasta o gel en la que existen cadenas de Amilosa altamente hidratadas que rodean a los agregados, también hidratados, de los restos de los gránulos. (UNAM, 2014).

La temperatura de gelatinización es la temperatura en la cual el almidón, se hidrata o sea absorbe el agua disponible. Cuando el almidón se lleva hasta esta temperatura se dice que el almidón esta cocinado o en proceso no reversible. A esa temperatura los almidones poseen propiedades verdaderas de adhesivo. (Shifeng, 2009).

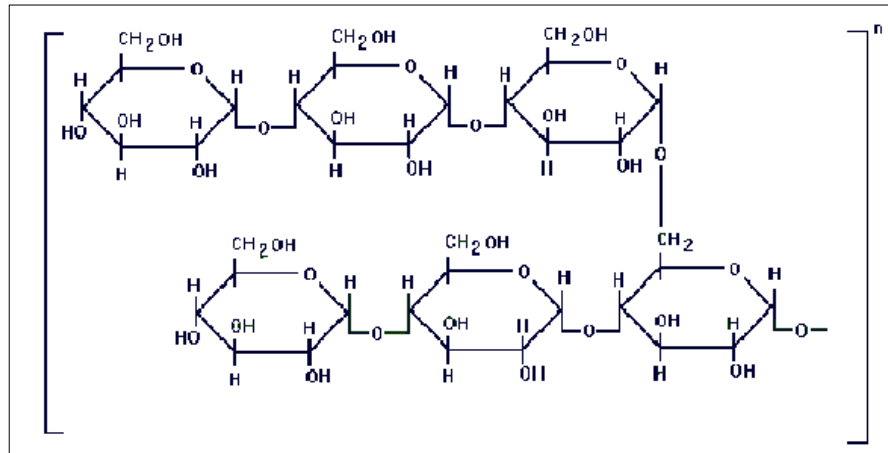
La temperatura de gelatinización es una propiedad de cada uno de los almidones. Para el almidón de maíz es de 68 °C a diferencia del almidón de yuca que es de 74 °C las temperaturas de gelatinización ideal es la mínima posible, que pueda formarse sin formar gránulos. (Jung & Quian, 2009). En la figura 2-8 se muestra la variación de viscosidad en función al tiempo de hidrólisis



Fuente: UNAM. 2014

Figura 2-8. Variación de la viscosidad del almidón de maíz respecto al tiempo de exposición a temperatura

La figura 2-9 presenta la estructura molecular de las moléculas de almidón después de la hidrólisis.



Fuente: Alonzo, 2012

Figura 2-9. Enlaces de las moléculas hidrolizadas del almidón

2.7 Retrogradación

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente por puentes de hidrogeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa. Hay dos rutas por las que se puede llevar a cabo la retrogradación que dependen de la concentración y temperatura del sistema: **a) Rápida:** Al calentar una solución concentrada de amilosa y enfriar rápidamente hasta temperatura ambiente, se forma un gel rígido y reversible. **b) Lenta:** Una solución diluida, se vuelve opaca y precipita cuando después de calentarse, se deja enfriar lentamente hasta temperatura ambiente. La retrogradación está directamente relacionada con el envejecimiento del pan, esto es porque durante el cocimiento del pan, parte de la amilosa se difunde fuera del granulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de tal manera que los restos de granulo (ahora ricos en amilopectina) se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe a la asociación de cadenas de

amilopectina dentro del granulo, después de haber perdido parte de amilosa. (UNAM, 2014).

2.8 Dextrinización

Se trata de un procedimiento para preparar dextrinas a partir de almidón de raíces o tubérculos o a partir de un derivado de dicho almidón, que comprende al menos 95% en peso, (en base a la sustancia seca del almidón), de amilopectina, en el que el almidón se somete a dextrinización mediante tratamiento con un ácido fuerte de Brönsted a una temperatura entre (75 y 250) °C. (UNAM, 2014).

2.9 Propiedades de gelatinización y retrogradación

La gelatinización es un fenómeno que involucra la disociación de las dobles hélices de la estructura cristalina de la amilopectina en presencia de agua (arriba del 70 % en base al peso seco de almidón) por efecto de la temperatura. Mayores temperaturas de pico o promedio (70 °C) y entalpías de gelatinización (ΔH_G ; 10,5 Jg⁻¹ y 8,2 Jg⁻¹ amarillo y morocho). Hubo una mayor disminución de los valores en estos parámetros de los 20 a 50 ddp (ddp = días después de la polimerización) en el almidón de maíz azul. Los resultados podrían estar influenciados por el aumento en el contenido de amilosa, lo cual causa la disminución de la proporción de amilopectina, ocasionando que se requiera menor temperatura y energía para gelatinizar el almidón; sin embargo, el almidón de maíz amarillo fue el que aumentó en mayor medida la proporción de amilosa, y se esperaría que su ΔH_G fueran menores que las del almidón del maíz morocho. Pero algunas cadenas de amilosa forman dobles hélices con cadenas de amilopectina individuales o están entretrejidas entre las moléculas de amilopectina, reforzando de esta manera la estructura granular. (Tako & Hizukuri, 2002).

El almidón de maíz amarillo no presentó diferencias en su temperatura de retrogradación (T_{PR}) de los 20 a los 50 ddp, pero si un aumento en la entalpia (ΔH_R), lo contrario ocurrió en el almidón de maíz azul. El proceso de retrogradación del almidón de maíz amarillo forma cristales con mayor perfección y en menor cantidad

que el almidón de maíz morocho. El porcentaje de retrogradación (%R) indica la cantidad de re-arreglo estructural del almidón en un tiempo determinado. Los %R fueron mayores a los 50 ddp independientemente del tipo de maíz, pero el almidón de maíz azul presentó altos porcentajes de rendimiento a los diferentes ddp analizados. (Tako & Hizukuri, 2002).

La amilosa es la principal responsable de la retrogradación, debido a que sus cadenas lineales se unen a través de puentes de hidrógeno formando una malla que empieza a crecer o engrosarse conforme transcurre en tiempo de almacenamiento, por lo que a mayor contenido de amilosa mayor retrogradación. (Jung et al., 2009).

2.10 Enzimas

Existen enzimas naturales que se encuentran en el organismo humano, en animales y vegetales como por ejemplo en la boca (saliva), estómago (jugo gástrico) e intestinos (jugo pancreático, jugo intestinal y mucosa intestinal), las cuales pueden convertir almidones, proteínas y azúcares en sustancias que el cuerpo pueda digerir. También existen enzimas industriales que se obtienen a partir de microorganismos controlados, las mismas que se usan para numerosas aplicaciones requeridas por las diferentes industrias las enzimas se clasifican en: (Bruchmann, 1980).

- Oxidorreductasas.
- Transferasas.
- Hidrolasas.
- Liasas.
- Isomerasas.
- Ligasas o sintetetasas.

Cada una de estas tienen diferentes aplicaciones dentro de las industrias, para el caso en estudio se usan las hidrolasas que tienen como función acelerar las reacciones en las que una sustancia se rompe en componentes más pequeños por reacción con moléculas agua. (Bruchmann, 1980).

2.10.1 Las amilasas

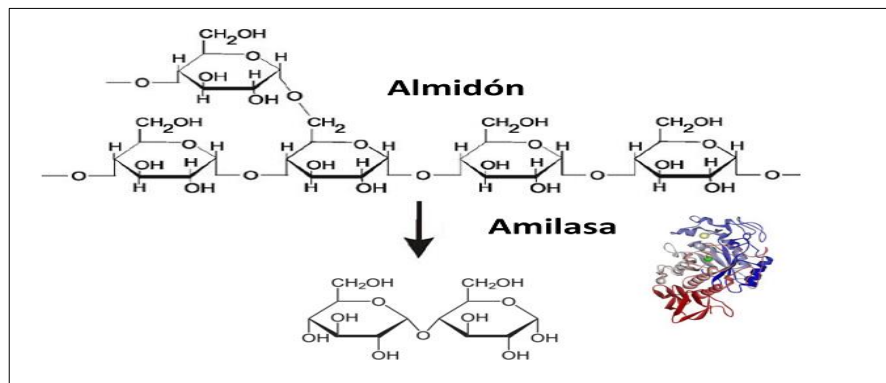
La **amilasa**, es una enzima hidrolasa que tiene la función de catalizar la reacción de hidrólisis de los enlaces α (1-4) del componente α -amilasa al digerir el glucógeno y el almidón para formar azúcares simples. Se produce principalmente en las glándulas salivales (sobre todo en las glándulas parótidas) y en el páncreas. Tiene actividad enzimática a un pH de 7. Cuando una de estas glándulas se inflama, como en la pancreatitis, aumenta la producción de amilasa y aparece elevado su nivel en sangre. (Jung & Quian, 2009).

2.10.2 Enzima α – amilasa

La alfa amilasa (α -amilasa) es una enzima amilolítica del grupo de las endo-amilasas que se encarga de la hidrólisis de los enlaces α (1-4) entre los residuos de glucosa que conforman distintos tipos de carbohidratos en la naturaleza. Sistemáticamente conocida como sistemáticamente conocida como α -1,4-glucano 4-glucanohidrolas tiene una amplia distribución, puesto que se halla en animales, plantas y microorganismos. (Bernfeld, 1963).

El proceso de conversión de almidón gelatinizado a un jarabe glucosado generalmente está representado en 2 etapas: licuefacción y sacarificación. 1) La licuefacción se presenta cuando se emplea la enzima α -amilasa (durante o después de gelatinizar el almidón), cortando las cadenas de los polímeros amilosa y amilopectina en cadenas de tamaño regular, dando como resultado dextrinas, maltosa, maltotriosa y maltopentosa. La α -amilasa, también conocida como α -1,4 glucanohidrolasa es una glucanasa endoactiva que cataliza la hidrólisis al azar de los enlaces α -(1,4) glicosídicos de la región central de las cadenas de amilosa y amilopectina excepto en las proximidades de los puntos de ramificación la velocidad de hidrólisis es más lenta en los enlaces cercanos a los puntos de ramificación. 2) La sacarificación es la hidrólisis de la amilopectina por la enzima α -amilasa que produce glucosa, maltosa y una serie de dextrinas que contienen enlaces ramificados conformados por 4 o más residuos de moléculas de glucosa que presentan enlaces α -1,6 provenientes de las

uniones glucosídicas de la estructura original. Los productos obtenidos en mayor concentración son maltosa, maltotriosa y maltopentosa, hidrolizando completamente la maltohexosa. (Pérez, 1996). En la figura 2-10, se muestra el ataque de la enzima α -amilasa a las cadenas de almidón.



Fuente: Villagómez, 2003

Figura 2-10. Ataque de la enzima α -amilasa

2.10.3 Enzima β -amilasa

(Nombres alternativos: 1,4- α -D-glucano-maltohidrolasa; amilasa sacarogénica). Otra forma de amilasa, la β -amilasa es también sintetizada por bacterias, hongos y plantas. Actúa desde el extremo no reductor de la cadena, catalizando la hidrólisis del segundo enlace α -1,4. La amilasa presente en el grano de cereal es la responsable de la producción de malta. Muchos microorganismos también producen amilasa para degradar el almidón extracelular. Los tejidos animales no contienen β -amilasa, aunque puede estar presente en microorganismos saprófitos del tracto gastrointestinal. Tiene un pH óptimo entre 4 – 5. (Pérez, 1996).

2.10.4 γ -amilasa

(Nombres alternativos: Glucano 1,4- α -glucosidasa; aminoglucosidasa; Exo-1,4- α -glucosidasa; glucoamilasa; α -glucosidasalisosómica 1,4- α -D-glucanoglucohidrolasa). Además de romper el último enlace α (1-4) glicosídico en el extremo no reductor de la cadena de amilosa y amilopectina, liberando glucosa, la γ -amilasa puede romper

los enlaces glicosídicos α (1-6). A diferencia de las otras amilasas esta forma es más eficaz en medios ácidos y su pH óptimo es de 3. (Pérez, 1996).

2.10.5 Usos de las amilasas

a) Uso medicinal: La amilasa sirve en el diagnóstico de enfermedades al determinar sus niveles en plasma para saber si se puede producir una pancreatitis. Sus niveles pueden estar elevados por un daño a las células productoras de la enzima en el páncreas, o bien, por una deficiencia renal (excreción reducida) o también por paperas. (Pérez, 1996).

b) Uso en la industria de alimentos: Las enzimas amilasas son empleadas en la fabricación de pan para romper azúcares complejos como el almidón (presente en la harina) en azúcares simples. La levadura puede entonces alimentarse de esos azúcares simples y convertirlos en productos de fermentación alcohólica. Este proceso da sabor al pan y hace elevar la masa. Las células de la levadura contienen amilasas pero necesitan tiempo para fabricar la suficiente cantidad para romper el almidón. Este es el motivo de la necesidad de largos tiempos de fermentación (especialmente para determinadas masas). Las técnicas modernas de elaboración de masas incluyen la presencia de amilasas para facilitar y acelerar estos procesos. (Pérez, 1996).

c) Otros usos: Algunas amilasas bacterianas se emplean como detergentes para disolver almidones en determinados procesos industriales. Aportan en la eliminación del polvo y tierra de la ropa que quedan atrapados en el tejido de las telas. En la maduración de frutas la amilasa es sintetizada, degradando el almidón de las frutas en azúcar, y volviéndolas más dulces. (Pérez, 1996).

2.11 Industrialización del maíz

La industrialización de maíz comprende dos grandes procesos diferentes. (Corn Refiners Association Inc., 1997)

- La molienda húmeda.
- La molienda seca.

a) Molienda húmeda

La primera etapa del procedimiento es la inspección y limpieza, destinada a eliminar los materiales extraños que acompañan al maíz. Posteriormente, el cereal limpio se macera con agua a 50° C en tanques de acero inoxidable durante 30 a 40 horas. En esta etapa la humedad se incrementa del 15 al 45 %. Asimismo se debilitan los enlaces del gluten y se libera el almidón. (Corn Refiners Association Inc., 1997).

- Posteriormente el grano macerado se tritura groseramente para despegar el germen de los otros constituyentes. El resultante de la molienda, suspendido en una corriente de agua, se hace pasar por hidrociclones donde se separa el germen. Para posteriormente extraer aceite. (Corn Refiners Association Inc., 1997).

b) Molienda seca

Según Ingaramo, (2005). La molienda del maíz se describe a continuación. (p. 2).

- El proceso de molienda seca consiste en la reducción del tamaño del grano y su posterior cernido y clasificación a fin de separar las diferentes fracciones.
- De esta molienda se obtiene también una importante variedad de productos, entre ellos cereales para desayuno, harinas y sémolas. Estas últimas pueden destinarse a la producción de cerveza, snacks o bien para la preparación de polenta.
- La harina de maíz se emplea en la elaboración de productos panificados. El germen, al igual que en la molienda húmeda, se separa y se destina a la extracción de aceite.
- La industria de la molienda seca de maíz exige granos duros, que rindan grandes proporciones de fracciones gruesas. Por tal motivo existe una preferencia por los maíces del tipo comercial Flint, que se adaptan adecuadamente al proceso.

2.12 Usos de las dextrinas

Según un estudio de mercado realizado, las dextrinas obtenidas por ruta seca son la principal materia prima para la elaboración de adhesivos principalmente para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio (Acosta & Salcedo, 2004). En la figura 2-11 se muestra los usos de las dextrinas.



Fuente: Aristizábal, 2004

Figura 2-11. Principales aplicaciones de los adhesivos de dextrina

- a) Cerrado de cajas de cartón. Este adhesivo se usa para encolar las aletas superiores y/o inferiores de las cajas de cartón corrugado a mano o en máquina. El factor principal en la selección del adhesivo adecuado está en el largo de la unidad de compresión que controla el tiempo. Generalmente, se usan adhesivos con alto contenido de soda cáustica. Los adhesivos tienen un contenido de sólidos de 30-40 % y 1.000-3.000 cP (25 °C) (Aristizábal, 2004).
- b) Fabricación de cores o tubos en espiral. En la formación de un tubo en espiral, formado por varias capas de cartón enrolladas unidas entre sí, se usan dos tipos de adhesivos. Para las capas más externas se usan emulsiones de PVA y para las más internas se usan adhesivos con base de dextrina. El adhesivo constituye la base para la formación de un buen tubo en espiral, ya que este está sujeto a altas velocidades en su uso final y además del propio peso del material del cual está formado. El consumo de adhesivo en esta aplicación depende del ancho de la

pared, que varía de acuerdo a la necesidad de resistencia que se requiera (Aristizábal, 2004).

- c) Estos adhesivos usualmente contienen 40-50% de sólidos con viscosidades entre 80.000–150.000 cP (Aristizábal, 2004).

Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel. Para la fabricación de sacos multipliegos se requieren principalmente dos clases de adhesivos, uno para pegado de los laterales, otro para la base. Se usan adhesivos solubles en agua fría, cuya principal característica es que deben ser razonablemente pegajosos y de secado rápido. Generalmente son usadas dextrinas blancas poco solubles, especialmente en máquinas de alta velocidad. Su principal sustituto son las emulsiones de PVA o mezclas de adhesivos dextrina-PVA. El adhesivo para pegar los laterales puede ser de secado lento, altamente diluido, siempre y cuando posea buen poder adhesivo. El adhesivo para la base debe poseer buena penetración ya que si se dispersa demasiado los sacos pueden pegarse unos con otros sacos al momento de ser almacenados, hecho que es indeseable. Actualmente los adhesivos para costura tienen unos márgenes normales de 20-33% de sólidos y viscosidades entre 2.000-3.000 cP (Aristizábal, 2004).

- d) Etiquetado de botellas de vidrio. Generalmente para esta aplicación se usan adhesivos a partir de dextrinas y solubles en agua fría. Son adhesivos extremadamente pegajosos. Estos adhesivos pueden ser usados en máquinas de alta velocidad, son fáciles de manejar, y fáciles de limpiar. Su principal sustituto son los adhesivos con base de caseína y los JellyGum (en el caso en el cual los envases deban ser refrigerados), siendo esta la principal desventaja de las dextrinas en este tipo de aplicación, su baja resistencia al frío. Se pueden usar también dextrinas boratadas en el caso de sustratos porosos. La característica más importante de los adhesivos para esta aplicación tenga resistencia al frío y que sea estable al cambio de temperatura (Aristizábal, 2004).

2.13 Tipos de dextrinas

- **Dextrinas blancas.** Las dextrinas blancas se utilizan en el terminado de textiles, en la manufactura de mesas de plástico y especialmente como goma para pegar. Se obtienen tratando el almidón con ácido a pH entre 1,5 y 3,0, a temperatura que puede variar entre 80 y 120 °C durante 3-8 horas. Dependiendo del pH de la solución de hidrólisis y del grado de hidrólisis producido por el calentamiento, se pueden producir dextrinas de mínima viscosidad. A temperaturas bajas, la solubilidad en agua varía desde 0% hasta cerca de 90%; donde el factor más importante, aparte de la temperatura y la acidez de la solución, es el tiempo de hidrólisis (Acosta & Salcedo, 2004).
- **Dextrinas amarillas.** En general, de cadenas lineales pequeñas, lo que atribuye a las dextrinas estabilidad en solución a altas concentraciones (70% p/v) y con ello la propiedad requerida para producir goma para papel, siempre que se produzca una película de pulido claro al secar. Sin embargo, para ciertas aplicaciones, la propiedad de retrogradación o set back es altamente requerida, y el grado de esta última tiene que ser controlado por las condiciones de preparación. En adhesivos para manufactura, es probablemente la propiedad más importante y más difícil cuantitativamente para reproducir (Acosta & Salcedo, 2004).

El tratamiento del almidón seco con el solvente apropiado, como el ácido clorhídrico o el ácido cloroacético, a una temperatura y por un tiempo mayor que para las dextrinas blancas (150 - 210)°C,(60 – 90) minutos, hace que primero ocurra una etapa de hidrólisis preliminar para producir pequeños fragmentos correspondientes a las dextrinas blancas (Acosta & Salcedo, 2004).

Como la temperatura es mayor que para las dextrinas blancas y la humedad mucho menor, dos fragmentos parecen que se recombinan para dar un tipo de estructura ramificada de color amarillo. La viscosidad puede incrementarse durante la re polimerización, indicando un apreciable incremento en el tamaño molecular (Acosta & Salcedo, 2004).

- **Gomas británicas.** Son muy ramificadas y por ello, más estables en solución que las dextrinas blancas y de una viscosidad similar; generalmente, tienen peso molecular más bajo que las dextrinas amarillas. Este tipo de dextrina es producido con un mayor tiempo de calentamiento durante el proceso de la hidrólisis, con respecto a las dextrinas amarillas (Aristizábal, 2004).

2.14 Proceso de extracción de dextrinas del almidón de maíz

Según Aristizabal (2004). Las dextrinas se pueden obtener por dos vías: por vía húmeda y por vía seca. (p.27)

2.14.1 Vía húmeda

El almidón se dispersa en agua y es calentado en presencia de un catalizador o tratado con enzimas y posteriormente secado. Los tratamientos se pueden hacer con ácido y enzimas (Aristizábal, 2004).

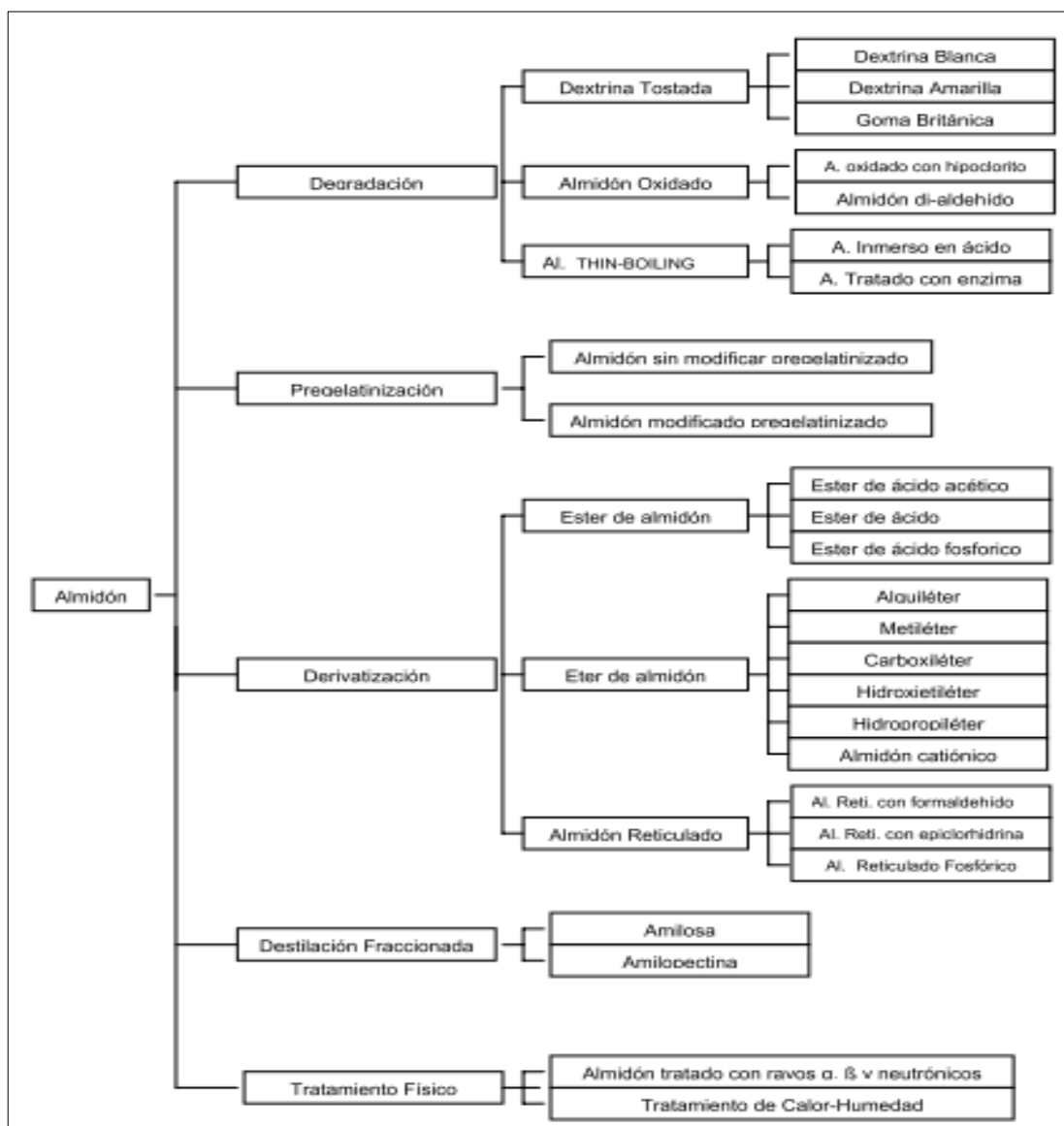
- a) Tratamiento con ácido:** se preparan por simple calentamiento de suspensiones acuosas de almidón con ácido. Son usadas para textiles o adhesivos, sin embargo, poseen cierta cantidad de dextrosa y su presencia en cantidades excesivas causa rompimiento de la película adhesiva con la consecuente disminución de su fuerza
- b) Tratamiento con enzima:** la conversión con enzimas se lleva a cabo por tratamiento de una pasta de almidón, con enzimas hidrolíticas. Según el tipo de enzimas se pueden obtener maltodextrinas, que se emplean en mezclas de panadería, polvos para bebidas, condimentos, alimentos deshidratados o instantáneos, mezclas de jabones secos, encapsulantes de sabor y edulcorantes en alimento infantil o dietético.

2.14.2 Vía seca

El almidón es sometido a altas temperaturas en presencia de un catalizador, dependiendo de la temperatura que se maneje, y la presencia o ausencia de un catalizador se pueden obtener tres clases de dextrinas (Aristizábal, 2004).

a) **Dextrinas blancas:** se obtienen por tratamiento del almidón con trazas de ácidos minerales, pH bajo, y temperaturas entre (80-120) °C y tiempos de tostación entre 3-8 horas. Son de color blanco similar al almidón poseen viscosidad variables y su solubilidad en agua fría puede ser de (0-90) %. El grado promedio de ramificación es calculado alrededor de 3%.

En la figura 2-12 se puede apreciar la clasificación de las dextrinas, que por el distinto tratamiento del almidón se obteniendo así los distintos tipos de dextrinas.



Fuente: James, 1973

Figura 2-12. Clasificación de dextrinas

2.15 Adhesivos

Un adhesivo es un material que permite la unión entre dos superficies o sustratos en el que actúan dos fuerzas esenciales, la adhesión y la cohesión: la adhesión es la fuerza de unión que se produce entre el adhesivo y el sustrato y la cohesión es la resistencia ejercida en el interior del adhesivo, existen una gran cantidad de adhesivos de diferentes naturalezas y origen. Eso hace que la clasificación de los mismos se haya realizado de muy diversas maneras. (Oñoro, 2005).

Unas de las clasificaciones más grandes se cita a continuación: (Oñoro, 2005).

- **Adhesivos reactivos.** El curado se realiza después de su aplicación: epoxi, siliconas, cianoacrilatos, anaeróbicos, poliuretanos, etc.
- **Adhesivos no reactivos:** Pre polimerizados antes de su aplicación: colas y adhesivos de contacto, PVC, colas blancas, cintas adhesivas, etc. Otra clasificación puede realizarse en función de la naturaleza del material del que están fabricados.
- **Adhesivos termoplásticos.** Como indica su nombre se ablandan hasta fundir con la temperatura, por lo que tienen poca resistencia al calor y a la fluencia, lo que puede ser una ventaja en aplicaciones de sellado.
- **Adhesivos elastómeros vulcanizados.** Dan mejores valores para la adherencia, presentan menos fluidez y tienen una resistencia al calor superior a los termoplásticos; por otro lado, son superiores a todos los restantes en resistencia a la flexión.
- **Adhesivos termoestables.** Están formados por polímeros que experimentan por curado una transformación. Física y química irreversible que los hace infusibles e insolubles. Las reacciones de curado pueden ser por condensación o por adición. Tienen buena resistencia a la fluencia, alto módulo de elasticidad y mayor resistencia a la temperatura que el resto. Su fragilidad depende, entre otras cosas, de la estructura molecular del monómero; sin embargo, se pueden conseguir comportamientos mecánicos

diferentes ajustando las composiciones y condiciones de curado. (Oñoro, 2005).

Clasificación de los adhesivos en función a sus componentes

Según Donald (2004), “Los adhesivos en función de sus componentes los adhesivos se dividen en” (p.1):

- Adhesivos sintéticos: a base de polímeros derivados del petróleo (colas de polivinil-acetato, colas etilénicas, colas de poliuretano, colas de caucho sintético, adhesivos anaeróbicos o de cianoacrilatos, etc.)
- Adhesivos de origen vegetal: a base de derivados de la fécula de patata, el maíz (colas de almidón, dextrinas, cauchos naturales, etc.);
- Adhesivos de origen animal: cola tradicional, hecha a base de pieles de animales o su esqueleto (colas de pezuña, de gelatina); colas de derivados lácteos (caseína).

Clasificación de los adhesivos en función de su presentación

- Adhesivos sólidos: destacan los adhesivos termofusibles que se utilizan en procesos industriales que los calientan para fundirlos, aprovechando su propiedad de enfriarse rápidamente para acelerar los procesos productivos. También son adhesivos sólidos las barras de pegamento para papel o los adhesivos en polvo a base de acetato o formaldehído entre otros (Donald, 2004).
- Adhesivos líquidos: comúnmente conocidos como colas blancas (en su mayoría tienen un color blanco o crema), utilizan en su composición un vehículo líquido (normalmente agua o disolvente) que, una vez usado, tiende a perder, hasta obtener un secado que hace que la unión sea resistente. Se emplean en la construcción, adhesivos para pavimentos y revestimientos como moquetas, PVC, linóleo, etc. (Donald, 2004).

Clasificación en función de su uso

Según Donald (2004), “los adhesivos en función de su uso se dividen en” (p. 4):

- Adhesivos industriales: aquellos que se utilizan en multitud de procesos de fabricación para realizar uniones. Las colas y adhesivos se emplean ampliamente en los siguientes sectores:
- Transformación del papel y cartón, papel higiénico, fabricación de cartón ondulado, encolado de estuches de cartón, fabricación de compresas y pañales, auto adhesivo de papel, etc.
- Envase y embalaje como: cerrado de cajas, sobres y bolsas, etiquetado de envases, botellas y latas, etc.
- Mueble y madera: fabricación de muebles, ensamblaje de madera, fabricación de puertas, tapicería de sillas y sillones, etc.
- Industria auxiliar del automóvil: montaje de paneles de puertas, techos de vehículos, tapicería de asientos, etc.
- Adhesivos profesionales: utilizados para la instalación o unión de materiales, sobre todo en la construcción, adhesivos para pavimentos y revestimientos como moquetas, PVC, linóleoum, etc.
- Adhesivos para uso doméstico o infantil: colas para uso doméstico y de papelería.

2.15.1 Colas animales

Son adhesivos preparados a partir del colágeno de los mamíferos, proteína principal del cuero, huesos y tendones. Se usan en la industria de la madera y contrachapado, la encuadernación de libros, la fabricación de papel engomado y en la unión de tejido y madera. La cola caseína se emplea en etiquetas adhesivas, aglomerados de corcho, recubrimientos de papel, encolado de la madera y en la fabricación de pinturas (Oñoro, 2005).

2.15.2 Adhesivos vegetales

Son aquellos solubles o dispersables en agua que son producidos o extraídos de materias primas naturales por procesos relativamente simples. Los almidones que constituyen la principal fuente de adhesivos pueden extraerse de raíces, tubérculos y médulas de las plantas. Las principales fuentes de almidón son: maíz, trigo, patatas y arroz. Los adhesivos proteínicos de origen vegetal, como la cola de soja, tienen propiedades similares a los adhesivos de origen animal. Especial interés tiene el grupo de las gomas naturales como el caucho, el agar-agar o la goma arábiga (Oñoro, 2005).

2.16 Principales usos de los adhesivos vegetales

Según estudios de mercado realizados en Colombia, las dextrinas obtenidas por ruta seca son la principal materia prima para la elaboración de adhesivos principalmente para la elaboración de tubos en espiral, formado de sacos de papel, cierre de cajas de cartón y pegado de etiquetas sobre vidrio (Acosta & Salcedo, 2004).

2.16.1 Cerrado de cajas de cartón

Este adhesivo se usa para encolar las aletas superiores y/o inferiores de las cajas de cartón corrugado a mano o en máquina. El factor principal en la selección del adhesivo está en el largo de la unidad de compresión que controla el tiempo. Generalmente se usan adhesivos con un alto contenido de soda cáustica. Los adhesivos tienen un contenido de sólidos entre (30- 40) % y (1000-3000) cP a 25°C (Aristizabal, 2004).

2.16.2 Fabricación de cores o tubos de espiral

En la formación de un tubo en espiral, formado por varias capas de cartón enrolladas unidas entre sí, se usan dos tipos de adhesivos. Para las capas más externas se usan emulsiones de PVA y para las más internas se usan adhesivos a base de dextrinas. El adhesivo constituye la base para la formación de un buen tubo en espiral, ya que este está sujeto a altas velocidades en su uso final y además del propio peso del material del cual está formado. El consumo de adhesivo en esta aplicación depende del ancho

de la pared, que varía de acuerdo a la necesidad de resistencia que se requiera. Estos adhesivos usualmente contienen 40-50% de sólidos con viscosidades entre 8000 y 15000 cP (Aristizabal, 2004).

2.16.3 Formado de sacos multipliegos y bolsas de papel

Para la fabricación de sacos multipliegos se requieren principalmente dos clases de adhesivos, uno para pegado de los laterales, otro para la base. Se usan adhesivos solubles en agua fría, cuya principal característica es que deben ser razonablemente pegajosos y de secado rápido. Generalmente son usadas dextrinas blancas pocos solubles, especialmente en máquinas de alta velocidad. Su principal sustituto son las emulsiones de PVA o mezclas de adhesivos dextrina-PVA. El adhesivo para pegar los laterales puede ser de secado lento, altamente diluido, siempre y cuando posea buen poder adhesivo. El adhesivo para la base debe poseer buena penetración ya que si se dispersa demasiado los sacos pueden pegarse unos con otros sacos al momento de ser almacenados, hecho que es indeseable. Actualmente los adhesivos para costura tienen unos márgenes normales de 20-33% de sólidos y viscosidades entre 2000 y 3000 cP (Aristizabal, 2004).

2.16.4 Etiquetado de botellas de vidrio

Generalmente para esta aplicación se usan adhesivos a partir de dextrinas y solubles en agua fría. Son adhesivos extremadamente pegajosos. Estos adhesivos pueden ser usados en máquinas de alta velocidad, son fáciles de manejar y limpiar. Su principal sustituto son los adhesivos con base de caseína y los Jelly Gum, (en el caso en el cual los envases deban ser refrigerados), siendo esta la principal desventaja de las dextrinas en este tipo de aplicación, su baja resistencia al frío. Se pueden usar también dextrinas boratadas en el caso de sustratos porosos. La característica más importante de los adhesivos para esta aplicación tenga resistencia al frío y que sea estable al cambio de temperatura (Aristizabal, 2004).

2.17 Teorías básicas que sustentan el trabajo basada en otros autores

Según Pérez (2007) “sostiene que se obtuvo dextrinas a partir del almidón de arracacha, por acción de la α -amilasa. El medio dispersante fue cloruro de calcio (CaCl_2) 0,005M, a pH 7 y dosis constante de α -amilasa sobre gramos de sustrato de 0,3 mg/g. A tres suspensiones de almidón al 10%, 20% y 30%, calentados a 65 °C, se les adicionó la solución de enzima (0,3 mg/g; pH: 7) y se hizo reaccionar a 70 °C durante 40 y 60 min; después de las cuales se inactivó la enzima mediante ebullición y posterior enfriamiento a 20 °C, luego se centrifugó y finalmente se procedió al secado (65 °C x 20 h). Al material de la hidrólisis se le determinó azúcares reductores, equivalente de dextrosa y rendimiento de dextrina. Se encontró que a 40 minutos y dosis de almidón al 30%, el equivalente de dextrosa fue 10, indicando la presencia de dextrinas, que mostraron color amarillo pardo y sabor ligeramente amargo y sin dulzor. El rendimiento de fue de 80%”. (p. 215)

CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Parte experimental

El presente trabajo de investigación aplicada se realizó, en las instalaciones del Laboratorio de química, dependiente del departamento de Química de la facultad de ciencias y tecnología de la Universidad Juan Misael Saracho.

3.2 Descripción del método para la obtención de dextrinas amarillas

La dextrina es uno de los productos derivados del almidón de mayor aplicación en los últimos años. Por su adecuada viscosidad y solubilidad es usada en la elaboración de productos alimenticios como: pan de trigo mejorado, caramelos, agentes espesantes, estabilizadores de suspensión, entre otros (Aristizábal, 2004).

El proceso de obtención de dextrinas a nivel experimental para la fabricación de pegamentos, se realizó por hidrólisis enzimática del almidón de maíz, el proceso contempla las siguientes etapas:

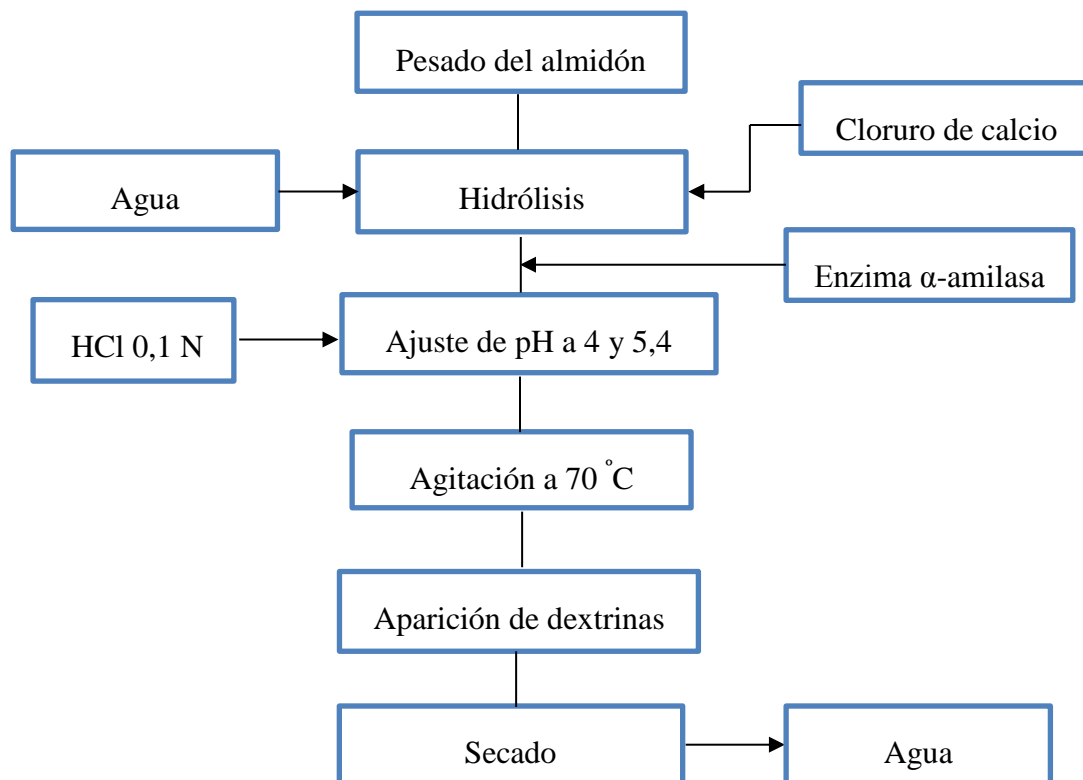
- Hidrólisis enzimática del almidón de maíz en medio ácido.
- Calentamiento de la muestra seca hasta presenciar el cambio de color de la misma.

3.3 Procesos de hidrolisis enzimática del almidón de maíz

El proceso realizado para obtener dextrinas del almidón de maíz es el siguiente:

- **Hidrólisis enzimática del almidón:** Para obtener dextrinas a partir del almidón de maíz es necesario romper las cadenas de este polisacárido, para poder obtener una solución que contenga azúcares simples y en mayor cantidad dextrinas, las cuales luego se pueden convertir en varios productos utilizados por la industria, como ya mencionamos se pueden usar para la fabricación de plásticos aglutinantes, y en especial para la fabricación de pegamentos (Sánchez, 2005).

En la figura 3-1 se muestra el proceso de la hidrólisis enzimática del almidón.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1 *Proceso de hidrólisis enzimática del almidón*

3.4 Método elegido para la obtener dextrinas amarillas

Para la obtención de dextrinas amarillas, se realizó la hidrólisis por vía enzimática en medio ligeramente ácido y temperatura de 70°C, este método es el más adecuado para obtención de dextrinas amarillas como se describió en el marco teórico, en el cual refleja resultados favorables en la producción de dextrinas dando un rendimiento de 80%, del cual se tomó como referencia el nivel cero del diseño factorial tomando parámetros superiores e inferiores para el presente trabajo.

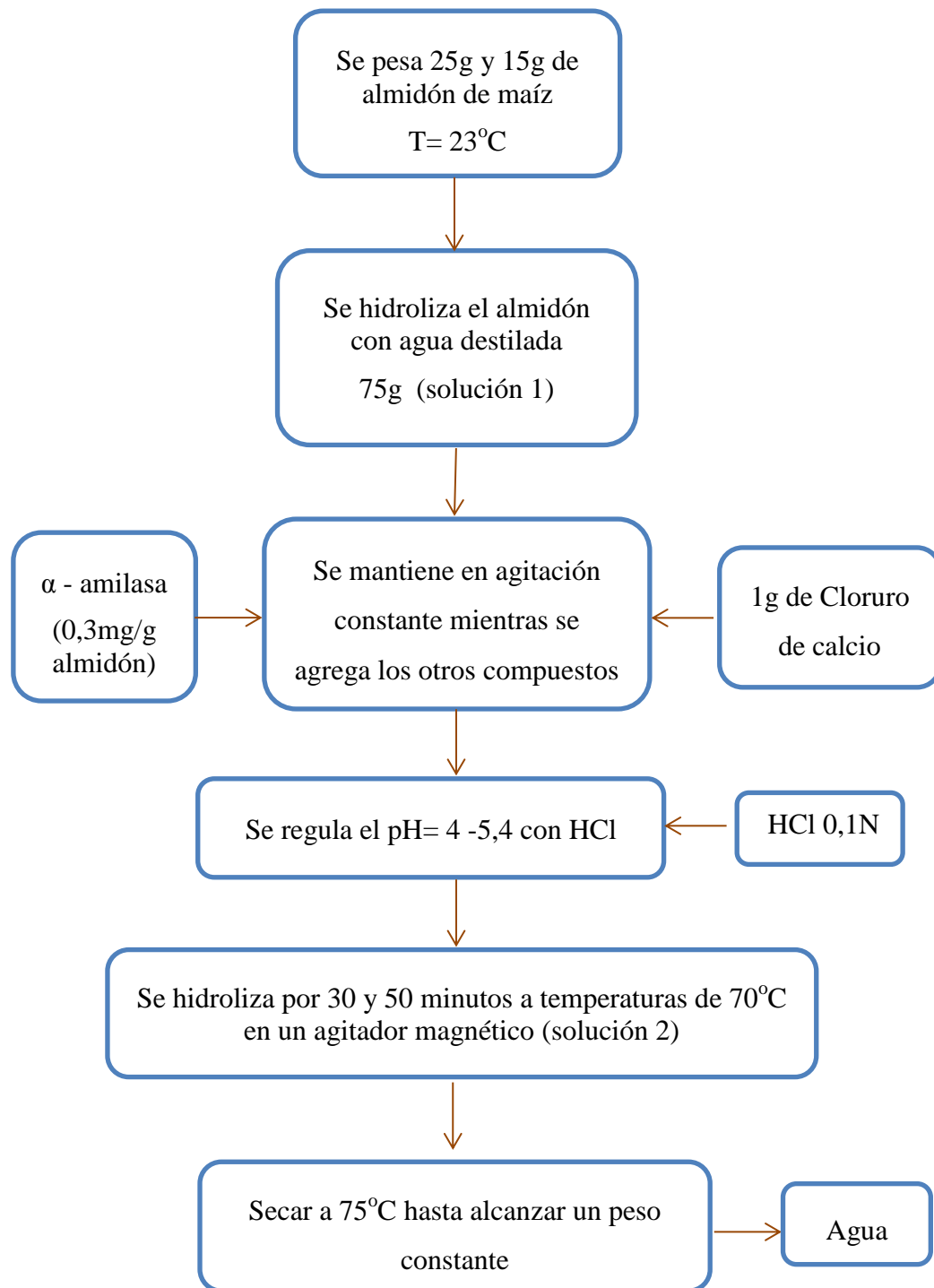
Por lo cual el método que se utilizó para la realización del proyecto es la hidrólisis del almidón de maíz por vía enzimática, debido a que este es el más adecuado para obtener dextrinas amarillas. El proceso a escala de laboratorio es el siguiente:

- Se toma 15% p/v y 25% p/v de almidón de maíz.
- Se hidroliza con agua destilada en un vaso de precipitado de 500 mL.

- Se mantiene en agitación constante en un agitador magnético, y se agrega la enzima α -amilasa (0,3mg/g de almidón).
- Agregar 1g de cloruro de calcio (CaCl_2) por cada 100 mL de solución, a la mezcla de almidón, agua y α - amilasa para que la enzima actúe a temperaturas más elevadas.
- Se agrega HCl para ajustar el pH entre (4 – 5,4).
- Se calienta la solución en un agitador magnético hasta alcanzar una temperatura de 70 °C.
- Se mantiene la solución en reacción, entre 30 y 50 minutos (aparición de dextrinas).
- Se deja secar la muestra hasta alcanzar un peso constante en una estufa.

En la figura 3-2 se muestra detalladamente el proceso de obtención de dextrinas amarillas o canarias.

Se utilizó el método de obtención de dextrinas por hidrólisis enzimática del almidón de maíz porque, es el más adecuado para obtener las dextrinas amarillas o canarias, las cuales son las que se desean obtener en este trabajo, ya que según la investigación que se llevó a cabo, este tipo de dextrinas son las más usadas para la fabricación de pegamento. Para llegar al objetivo propuesto se tomó como referencia el trabajo realizado por Pérez Freddy (2007), del mismo se señaló como punto de partida el nivel cero de su diseño factorial para crear los parámetros para realizar este trabajo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2 Esquema para la producción de dextrinas por medio de hidrólisis enzimática.

3.5 Descripción del proceso de hidrolisis para la obtención de dextrinas

Para la hidrólisis enzimática del almidón se estableció, que las variables a tomar en cuenta para el proceso de obtención de dextrinas serán: el % p/v de almidón, el pH y el tiempo de reacción de la solución con la enzima α -amilasa. Las variables tomadas en cuenta se sustentan por la referencia en el subtítulo 2.17 en el marco teórico.

3.5.1 Pesaje del almidón de maíz (maicena kris)

Para la obtención de dextrinas, se procede al pesado del almidón en una balanza analítica Gibertini, en la cual se pesa 25 y 15 gramos de almidón respectivamente, en un vaso de precipitado de 500 mL.

La característica principal de esta balanza, es que posee un margen de error de $\pm 0,01g$, y un rango de pesaje de 0 hasta 500 gramos, siendo la balanza adecuada para realizar el proceso. Como se puede ver en las figuras 3-3 y figura 3-4.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3-3. Balanza analítica



Fuente: Elaboración propia
Figura 3-4. Pesaje del Almidón

3.5.2 Preparación de la solución

Después de pesar el almidón se procede a agregar agua destilada, 75 mL y 85 mL respectivamente para llegar a los parámetros establecidos en el diseño factorial los cuales son de 15% p/v y 25% p/v, para formar una solución de almidón y agua. Como se puede ver en la figura 3-5



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5. Hidrólisis del almidón

Luego se procedió a agregar el reactivo cloruro de calcio CaCl_2 una cantidad de 1% p/v, es decir que por cada 100 mL de solución se le agrega 1g de CaCl_2 , este reactivo optimizará el uso de la enzima α -amilasa, la cual ayudará que la enzima actúe a temperaturas más elevadas, luego se ajustó el pH con ácido clorhídrico hasta alcanzar un valor de 4 y 5,4 estimado en el diseño factorial. Como se aprecia en la figura 3-6.



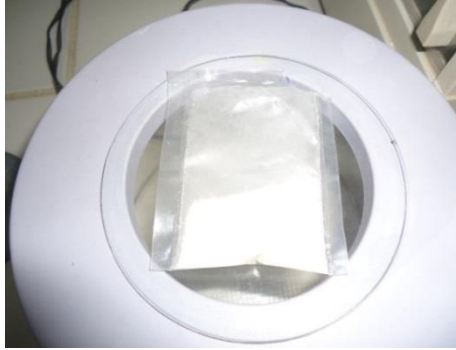
Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6. Pesado de CaCl_2

Posteriormente, se agrega la enzima α – amilasa 0,3 mg por gramo de almidón en la solución, la enzima α – amilasa al ser tratada con temperaturas mayores de los 55 °C deja de reaccionar y como se utilizara temperaturas mayores de los 55 °C. Según Pérez, (2007) “para que la enzima resista temperaturas más elevadas, en la solución tiene que haber presencia de iones calcio”, por esta razón se le agrega a la solución CaCl_2 , la cual ayuda a que la enzima pueda soportar temperaturas hasta 70 °C”.

La enzima α -amilasa purificada pierde su actividad rápidamente por encima de los 55 °C, pero la inactivación puede ser retardada por la presencia de calcio y sodio para ser completamente resistente a los extremos de temperatura 70 °C y pH (4 -5.4).

Además la enzima α -amilasa requiere de estos metales para la actividad catalítica (Vargas, 2000). Como se puede ver en la figura 3-7 el pesaje de la enzima α -amilasa



Fuente: Elaboración propia
Figura 3-7. Enzima α – amilasa

3.5.3 Ajuste del pH

Una vez preparada la solución y agregado la enzima α – amilasa, y el reactivo CaCl_2 que ayudara a la catálisis de la enzima, se procede a hacer el ajuste del pH de la solución, según los parámetros establecidos en el diseño factorial y la revisión bibliográfica. El ajuste del pH se realiza utilizando ácido clorhídrico 0,1 N, con el cual se adiciona a la solución para poder llegar al pH deseado (4-5,4) y óptimo para el proceso. Como se puede ver en la figura 3-8.



Fuente: Elaboración propia
Figura 3-8. Ajuste del pH

3.5.4 Procesos de hidrolizado

Ajustado el pH establecido en el diseño factorial, se procede a calentar la solución en un agitador magnético en agitación constante, hasta llegar a los 70 ° C dejándola reaccionar entre (30 - 50) minutos respectivamente. En la figura 3-9 se puede observar esta operación.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9. *Proceso de hidrólisis en el Agitador magnético*

3.5.5 Diseño factorial para la hidrolisis del almidón de maíz

Para poder determinar las variables significativas en el presente trabajo, se plantea un diseño factorial de dos niveles, y tres variables o parámetros con una repetición.

Las variables que más influyen en el proceso de la hidrólisis enzimática del almidón son la masa de almidón en la solución, el tiempo de reacción y pH de la solución.

La temperatura del proceso de hidrólisis enzimática del almidón es de 70 °C, para lograr romper los gránulos de almidón provenientes de cereales como el maíz y un pH del proceso entre 4- 5,4 (Pérez, 2007).

En base al marco teórico realizado, se fijó dos tiempos de reacción para la hidrolisis entre (30 – 50) minutos, y la masa de enzima α -amilasa utilizada fue 0,3mg por gramo de almidón usado para la hidrólisis, también se ajustó el pH entre (4 – 5,4). Tomando como referencia el nivel cero de su diseño factorial para poder ajustar las

variables superiores e inferiores para la realización del proyecto como se indican en la tabla III-1.

Tabla III-1

Variables para el diseño factorial de la hidrólisis enzimática del almidón

Nivel	%p/v de almidón	pH de hidrolisis en (pH)	Tiempo de hidrolisis (min)
Superior	25%	5,4	50
Nivel 0	20%	4,7	40
Inferior	15%	4,0	30

Fuente: Elaboración propia

Tomando estos datos de referencia, como punto de partida se procede a realizar el diseño factorial más adecuado para la toma de datos siguiendo la ecuación 3-1

$$N^{\circ} \text{ Experimentos} = N^k \quad \text{Ecuación 3-1}$$

En este caso se tiene 2 niveles y 3 variables entonces la ecuación queda de la siguiente manera:

$$N = N^{\circ} \text{ de niveles} = 2$$

$$k = N^{\circ} \text{ de variables} = 3$$

$$N^{\circ} \text{ de experimentos} = 2^3 = 8$$

Considerando las combinaciones de estas variables, se determinaran cuál de ellas es la más significativa, cuando se analice la variable respuesta previo análisis de laboratorio, la variable de análisis en este caso será los azúcares reductores, los mismos nos permitirán, conocer el porcentaje de dextrina que se obtuvo después de haber realizado la hidrólisis como se indica en la tabla III-2, en la tabla III-3 nos muestra la interacción de las variables para cada uno de los ensayos.

Tabla III-2***Diseño factorial para la hidrólisis enzimática del almidón***

Tratamientos	Factores			Iteración de los efectos				Respuesta
	%p/v	pH	t	pH %p/v	pH t	%p/v t	pH %p/v t	Y _i
(1)	-1	-1	-1	1	1	1	-1	Y ₁
A	1	-1	-1	-1	-1	1	1	Y ₂
B	-1	1	-1	-1	1	-1	1	Y ₃
AB	1	1	-1	1	-1	-1	-1	Y ₄
C	-1	-1	1	1	-1	-1	1	Y ₅
AC	1	-1	1	-1	1	-1	-1	Y ₆
BC	-1	1	1	-1	-1	1	-1	Y ₇
ABC	1	1	1	1	1	1	1	Y ₈

Fuente: Elaboración propia

Donde Y_i = porcentaje de azúcares reductores

Tabla III- 3***Diseño factorial para la hidrólisis enzimática del almidón***

Prueba	%p/v almidón (g)	pH	tiempo (min)
1	15	4,0	30
2	15	5,4	30
3	25	4,0	30
4	25	5,4	30
5	15	4,0	50
6	15	5,4	50
7	25	4,0	50
8	25	5,4	50

Fuente: Elaboración propia

3.6 Proceso de elaboración del pegamento

El pegamento se obtiene realizando nuevamente una hidrólisis de las dextrinas obtenidas, pero esta vez elevando la temperatura de la hidrólisis entre 150-180 °C en un agitador magnético.

Se procede a pesar las dextrinas obtenidas en un vidrio reloj, pesando aproximadamente 10g de dextrinas y 10g de agua destilada en una probeta pequeña. Como se ve en la figura 3 – 10



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10. Dextrinas para preparar el pegamento

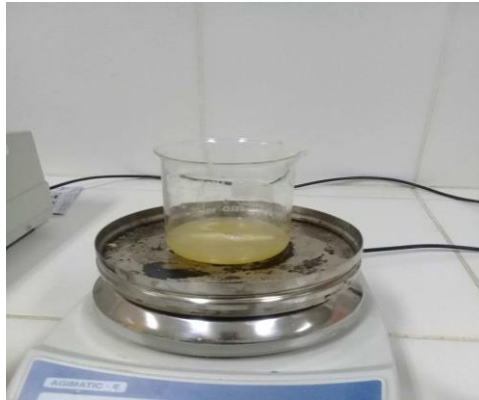
Luego de pesar la dextrina se la coloca en un vaso de precipitado, se agrega agua y se mantiene en agitación constante hasta alcanzar una temperatura de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ ver figura 3-11.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-11. Preparado del pegamento

Una vez que se llega a la temperatura deseada ($180\text{ }^{\circ}\text{C}$), la solución tomará un tono amarillento cristalino característico de un pegamento, una vez que llegue a tener este aspecto, este ya es considerado como un pegamento obtenido de las dextrinas como se observa en la figura 3-12 y figura 3-13.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-12. Calentamiento de las dextrinas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-13. Pegamento obtenido

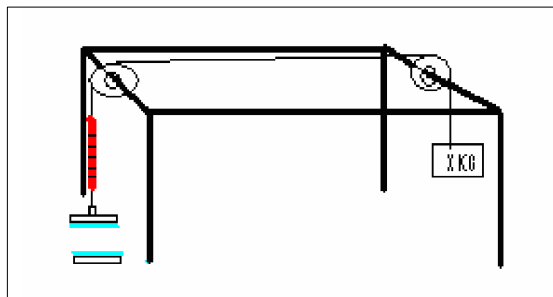
3.7 Análisis a realizar para determinación de dextrinas

De la hidrólisis enzimática del almidón se analizaron los azúcares reductores los cuales aparecen después del proceso de hidrólisis, puesto que con el porcentaje de azúcares reductores se puede determinar el porcentaje de dextrinas obtenidas después de realizada la hidrólisis enzimática, aunque el método para determinar la presencia de azúcares reductores sea un proceso también por hidrólisis, las dextrinas no se convierten a glucosa porque para que eso suceda se tendría que usar, nuevamente la enzima α – amilasa como catalizador para formar glucosa.

3.8 Pruebas de adhesividad del pegante

Para realizar las pruebas de adhesividad se tomó en cuenta, la medición de la resistividad o adherencia de un pegamento, que se realiza midiendo las fuerzas de resistencia de newton, por lo que se llevó a cabo dicho procedimiento creando un esquema con el que vemos en la figura 3.14, el mismo realizara la medición de las fuerzas de Newton de adherencia del pegamento obtenido mediante un dinamómetro.

El cual consiste pegar dos trozos de cartón con el pegamento, donde un extremo de los trozos pegados estará fijo en el mesón de laboratorio, y el otro extremo estará conectado a un hilo sin coeficiente de flexibilidad, el cual se conectará a un dinamómetro y luego pasará por un par de poleas, en el otro extremo se irá aumentando pesos estándares, hasta que los dos trozos de cartón se desprendan, en ese momento se medirá mediante el dinamómetro la fuerza que ejercida por el aumento del peso en un extremo, como se muestra en la figura 3-14.



Fuente: Vergara, 2008

Figura 3-14. Montaje para la prueba de adhesividad

Se realizó las pruebas en cartón corrugado, en el cual se untó una capa delgada del pegamento, se dejó secar por un tiempo determinado, se fijó en una base y se colocó peso en el otro extremo el cual se aumentó hasta que el las dos partes pegadas se desprendan en el momento de desprendimiento se midió la fuerza que ejerció el pegamento mediante un dinamómetro.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Análisis de la materia prima y producto final

La materia prima empleada para obtener dextrinas es el almidón de maíz que fabrica Industrias Venado S.A. es decir que se utilizó el “almidón de maíz Kris” del cual se determinó humedad, porcentaje de almidón y porcentaje de cenizas. Los resultados de los análisis de la materia prima que fueron realizados en el laboratorio CEANID, los cuales se pueden apreciar en la tabla IV-1.

Tabla IV-1
Composición del almidón de maíz Kris

Componentes	Composición (%)
Almidón	91,40
Humedad	8,50
Ceniza	0,10

Fuente: CEANID, 2017

Los análisis físico-químicos de este proyecto se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo (CEANID); dependiente de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación se detallan los tipos de análisis realizados:

- Determinación porcentual azúcares reductores.
- Determinación porcentual humedad.

Los parámetros mencionados fueron seleccionados de acuerdo a referencias bibliográficas en el marco teórico, basados en proyectos de investigación consultados, los cuales son los que se usaron para caracterizar la materia prima.

4.2 Resultados del proceso de hidrólisis enzimática del almidón

El grado de hidrólisis del almidón se expresa generalmente en función del equivalente de dextrosa, el mismo está directamente relacionado con la actividad de grupos libres de azúcares o azúcares reductores, por lo cual se realizó el análisis de los azúcares reductores presentes en el producto seco. Aplicado la ecuación 4-1 se puede determinar el porcentaje de dextrina que hay en cada muestra elaborada.

Determinación del Equivalente de Dextrosa (E.D.), (Hart & Fisher, 1984), de acuerdo con la ecuación 4-1.

$$\% \text{ E.D.} = \frac{\% \text{Azúcares reductores (base seca)}}{\% \text{Extracto seco (base seca)}} * 100 \quad \text{Ecuación 4-1}$$

En la tabla IV-2 se muestra los resultados del % azúcares reductores después de la hidrólisis enzimática del almidón.

Tabla IV- 2
Datos CEANID resultados de la hidrólisis enzimática

Pruebas	% p/v almidón (g)	pH (pH)	Tiempo (min)	Azúcares reductores* (%)	Equivalente dextrina E.D. (%)	Adhesividad (Kgf)
1	15	4,0	30	5,62	37,46	22,38
2	15	5,4	30	3,54	23,60	21,38
3	25	4,0	30	6,75	27,00	20,05
4	25	5,4	30	3,25	13,00	17,86
5	15	4,0	50	5,55	37,00	23,93
6	15	5,4	50	3,55	23,66	22,05
7	25	4,0	50	19,06	76,24	29,85
8	25	5,4	50	15,85	63,40	26,95
9	15	4,0	30	9,47	63,13	25,83
10	15	5,4	30	10,33	68,86	27,62
11	25	4,0	30	16,99	67,96	27,03
12	25	5,4	30	8,71	34,84	21,50
13	15	4,0	50	11,20	74,66	28,67
14	15	5,4	50	7,49	49,93	25,82
15	25	4,0	50	14,00	56,00	26,45
16	25	5,4	50	9,50	38,00	22,01

Fuente: Elaboración propia; CEANID*, 2020

4.2.1 Análisis de azúcares reductores variable de análisis de la hidrólisis del almidón

Las muestras del resultado de la hidrólisis parcial del almidón de maíz, fueron realizados por el Centro de Análisis Investigación y Desarrollo (CEANID), cuyos resultados se expresa en la Tabla IV-2 sustraídos de los datos, cálculos y resultados de azúcares reductores, los datos están expresados en el porcentaje de dextrinas obtenidas en función del peso de la muestra que se llevó a análisis, el porcentaje de azúcares reductores está expresado en la siguiente Tabla IV- 3 en función de los 15g de muestra que se llevó para análisis.

Tabla IV- 3
Resultados de la hidrólisis del almidón

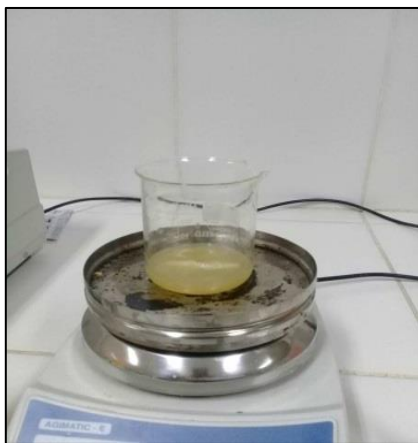
Pruebas	%p/v	pH	t	Azúcares reductores* (%)	Dextrinas (%)
	(g)	(pH)	(min)	Análisis 1	Análisis 1
1	15	4,0	30	5,62	37,46
2	15	5,4	30	3,54	23,60
3	25	4,0	30	6,75	27,00
4	25	5,4	30	3,25	13,00
5	15	4,0	50	5,55	37,00
6	15	5,4	50	3,55	23,66
7	25	4,0	50	19,06	76,24
8	25	5,4	50	15,85	63,4
9	15	4,0	30	9,47	63,13
10	15	5,4	30	10,33	68,86
11	25	4,0	30	16,99	67,96
12	25	5,4	30	8,71	34,84
13	15	4,0	50	11,20	74,66
14	15	5,4	50	7,49	49,93
15	25	4,0	50	14,00	56,00
16	25	5,4	50	9,50	38,00

Fuente: Elaboración propia; CEANID*, 2020

4.3 Elaboración del pegamento

Una vez terminado el proceso de producción de dextrinas, se procedió a la elaboración del pegamento, el cual tiene como base las dextrinas obtenidas. Se procedió a elaborar y comprobar la calidad del pegamento, realizando pruebas de adhesividad del mismo, el que será usado mayormente en la industria cartonera.

Se prepara una solución de la dextrina y agua en proporciones iguales en peso, luego se procede a calentar la solución en un agitador magnético, donde se eleva la temperatura entre 150 a 180°C, hasta que la solución aumente su viscosidad y tome un color amarillo cristalino, el color característico de un pegamento, una vez que llegue a tener este aspecto, este es considerado como el pegamento obtenido de las dextrinas. En la figura 4-1 se observa el pegamento elaborado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-1. Elaboración del pegamento

4.4 Pruebas de adhesividad realizadas al producto

Para comprobar la efectividad del pegamento, se realizó la medición de las fuerzas de newton para la adhesividad, en cartón- cartón para lo cual dicha medición se llevó a cabo en el laboratorio de física de la Universidad Juan Misael Saracho, donde se hizo el montaje de un esquema de trabajo como se muestra en el Anexo 4

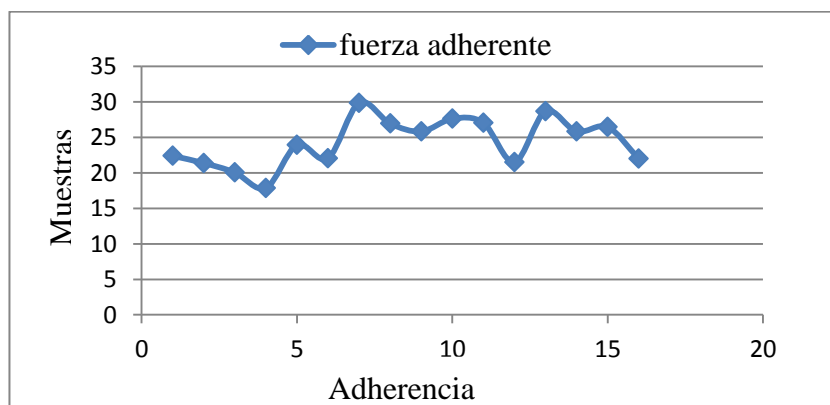
Los resultados obtenidos de la fuerza pegante o adherencia del pegamento a base de dextrina se pueden apreciar en la Tabla IV-4 la misma nos muestra la fuerza adherente en Kgf de cada ensayo realizado.

Tabla IV- 4
Datos de adhesividad

Pruebas	Datos de adherencia (Kgf)
1	22,38
2	21,38
3	20,05
4	17,86
5	23,93
6	22,05
7	29,85
8	26,95
9	25,83
10	27,62
11	27,03
12	21,50
13	28,67
14	25,82
15	26,45
16	22,01

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4-2 se observa la fuerza de adhesión de cada uno de los ensayos realizados, donde se aprecia en los puntos más altos una mayor fuerza adherente del pegamento como se aprecia en la muestra 7, es la que obtuvo mayor fuerza adherente, esto debido a que fue la muestra la cual obtuvo mayor porcentaje de dextrinas después de la hidrólisis enzimática del almidón.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2 Fuerza adherente

4.5 Análisis de las variables

El análisis se realizó mediante el programa estadístico SPSS 18.0 (Statistical package for the Social Sciences), el mismo que permite un tratamiento integrado de todas las fases del análisis de datos obtenidos más representativos y confiables.

Con el análisis de variación ANOVA, se determinó la influencia de los factores % p/v de almidón, pH de la solución y tiempo de reacción, y sus interacciones sobre las variables respuestas que en este caso es el porcentaje de azúcares reductores, como se muestra en tabla IV-5

Tabla IV-5

Datos para el análisis de varianza de los azúcares reductores

Nº Ensayo	Factores			Variable respuesta
	%p/v almidón (g)	pH	Tiempo	Azúcares reductores* (%)
1	-1	-1	-1	5,62
2	-1	+1	-1	3,54
3	+1	-1	-1	6,75
4	+1	+1	-1	3,25
5	-1	-1	+1	5,55
6	-1	+1	+1	3,55
7	+1	-1	+1	19,06
8	+1	+1	+1	15,85
9	-1	-1	-1	9,47
10	-1	+1	-1	10,33
11	+1	-1	-1	16,99
12	+1	+1	-1	8,71
13	-1	-1	+1	11,20
14	-1	+1	+1	7,49
15	+1	-1	+1	14,00
16	+1	+1	+1	9,50

Fuente: Elaboración propia; CEANID*, 2020

4.5.1 Análisis de varianza univariante

En la tabla IV-6 se muestran las variables del diseño factorial, y el número de experimentos realizados para cada variable que fue tomado en cuenta y que fue registrado mediante el programa, realizado en la parte experimental para un diseño 2^3

con una repetición teniendo un total de 16 experimentos con la variable respuesta como se ve en la tabla IV-5

Tabla IV-6
Variables del proceso de hidrólisis

Variables		N
p/v Almidón	-1,00	8
	1,00	8
Ph	-1,00	8
	1,00	8
Tiempo	-1,00	8
	1,00	8

Fuente: Elaboración Propia

4.5.2 Variable respuesta azúcares reductores

Como se puede apreciar en la tabla IV-7, el análisis de varianza para la variable dependiente o variable respuesta que es la los azúcares reductores, tomando en cuenta como factores independientes el %p/v de almidón, el pH de la solución y el tiempo de reacción, así como sus interacciones.

Tabla IV-7**Análisis de las variables significativas en la hidrólisis del almidón**

Variable dependiente: azucares					
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	Gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	352,83 ^a	7	50,40	34,75	0,00
Interceptación	1422,42	1	1422,42	980,70	0,00
% p/v almidón	15,17	1	15,17	10,46	0,01
pH	45,29	1	45,29	31,22	0,00
Tiempo	0,14	1	0,14	0,09	0,76
peso * pH	15,28	1	15,28	10,54	0,01
peso * Tiempo	239,78	1	239,78	165,32	0,00
pH * Tiempo	1,51	1	1,51	1,04	0,33
peso * pH * Tiempo	35,64	1	35,64	24,57	0,00
Error	11,60	8	1,45		
Total	1786,85	16			
Total corregido	364,43	15			
a. R al cuadrado = 0,968 (R al cuadrado ajustada = 0,940)					

Fuente: SPSS, 2018

Como señala el programa SPSS, las variables significativas tienen un nivel de confianza de 95% es decir, variable que poseen una significancia menor al 5% (0,05) se consideran significativas. Como se puede ver en la tabla IV-7, las variables significativas es decir las menores a 0,05 son el % p/v de almidón y el pH.

4.5.3 Análisis de regresión lineal múltiple

En el modelo de regresión lineal se establece el modelo matemático, que relaciona las variables más significativas con las variables respuesta. Para el análisis de regresión, se introdujo al SPSS las variables significativas como ya lo mencionamos que son el % p/v de almidón y el pH de la solución y la interacción de la misma como se aprecia en la tabla IV-8.

Tabla IV-8
Variables introducidas y eliminadas^b en la regresión lineal

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	pH*%p/v almidón, pH, %p/v almidón	0,000	Introducir

Fuente: SPSS, 2018

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: azúcares totales.

En la tabla IV-9 se observa el resumen del modelo de regresión lineal realizado por el programa SPSS 18.

Tabla IV-9
Resumen del modelo^b de regresión lineal

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típic. de la estimación
1	0,954 ^a	0,919	0,899	0,710

Fuente: SPSS, 2018

a. Variables predictoras: (Constante), pH*%p/v almidón, pH y %p/v almidón

b. Variable dependiente: Azúcares reductores

En la tabla IV-10 se muestra la suma de cuadrados realizada por SPSS 18, la cual se realizó después de la regresión lineal tomando como variable dependiente los azúcares reductores.

Tabla IV-10
Valores de la regresión lineal

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	68,749	3,000	22,916	45,352	0,000 ^a
Residual	6,064	12,000	0,505		
Total	74,813	15,000			

Fuente: SPSS, 2018

a. Variables predictoras: (Constante), pH*%p/v almidón, pH y %p/v almidón

b. Variable dependiente: Azúcares reductores

Tabla IV-11
Coefficientes^a del modelo de la regresión lineal

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	T	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	7,060	0.178		39,728	0,000
%p/v almidón	1,440	0.178	0,666	8,103	0,000
pH	-1,019	0.178	-0,471	-5,733	0,0000
pH*%p/v almidón	-1,089	0.178	-0,504	-6,127	0,000
					0,000

Fuente: SPSS, 2018

a. Variable dependiente: adhesividad

A partir de los coeficientes que nos proporciona la tabla IV-11 calculados con el programa SPSS 18 la ecuación 4-2 para la regresión lineal es la siguiente:

$$\% \text{ Azúcares reductores} = 7,060 + 1,440 * A - 1,019 * B - 1,089 A * B \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde A es %p/v almidón y B es el pH de la solución, a partir de esta ecuación se puede determinar que a mayor % p/v de almidón existen mayor porcentaje de azúcares reductores, y al aumentar el pH disminuye la concentración de azúcares reductores.

4.5.4 Valores corregidos

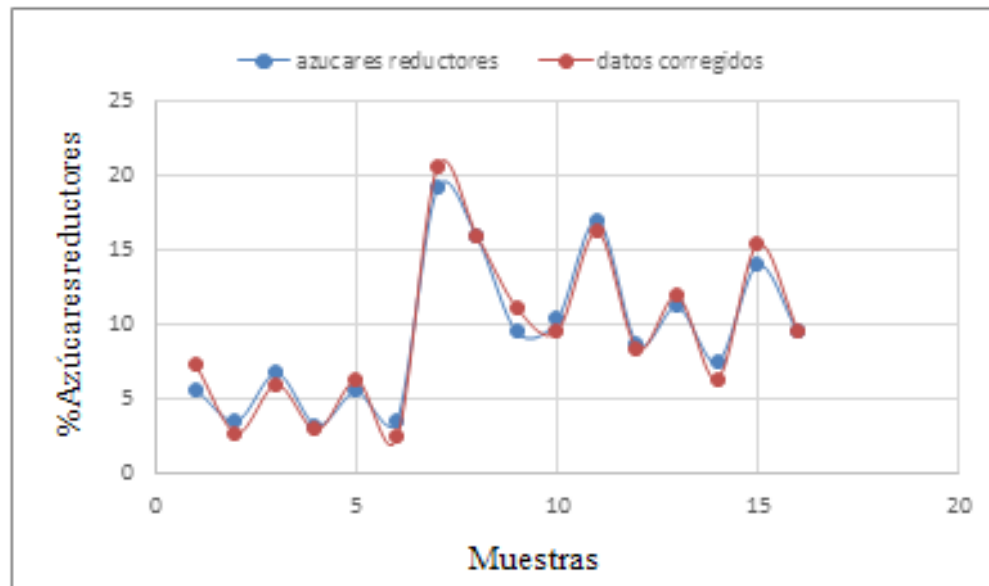
Mediante el estudio realizado en el programa SPSS 18 y los datos recopilados, se puede apreciar en la Tabla IV- 12, los valores corregidos que género el programa estadístico después de haber realizado la regresión lineal en el mismo, y colocado todas las variables correspondientes al proyecto tomando como variable de respuesta los azúcares reductores nos genera valores corregidos para optimizar el proceso.

Tabla IV- 12
Valores corregidos para los azúcares reductores

PRUEBAS	Datos Azúcares reductores* (%)	Corregidos Azúcares reductores (%)
1	5,62	7,26
2	3,54	2,75
3	6,75	6,01
4	3,25	2,92
5	5,55	6,26
6	3,55	2,40
7	19,06	20,45
8	15,85	15,95
9	9,47	11,11
10	10,33	9,54
11	16,99	16,24
12	8,71	8,38
13	11,20	11,91
14	7,49	6,34
15	14,00	15,39
16	9,50	9,60

Fuente: SPSS, 2018; CEADID*, 2020

En la siguiente figura 4-3 se muestra graficados de color azul, los datos de azúcares reductores obtenidos en cada una de las pruebas de laboratorio realizadas, y los datos corregidos los que nos proporciona el programa estadístico SPSS están de color rojo, en la cual se aprecia que la muestra 7 es la que mayor porcentaje de azúcares reductores obtuvo por lo tanto mayor porcentaje de dextrinas.



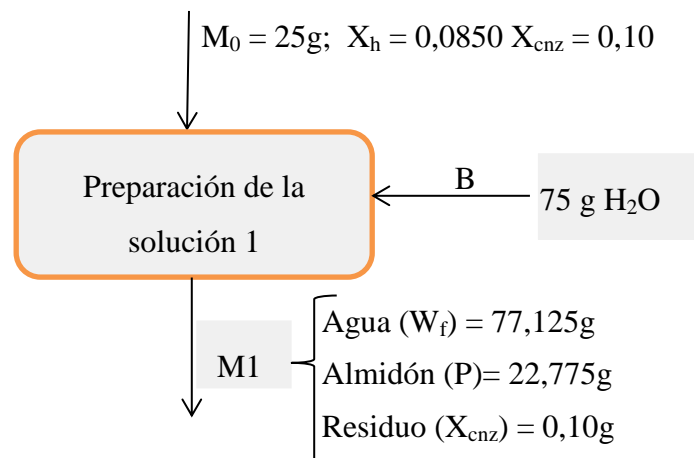
Fuente: Elaboración Propia

Figura 4-3. Grafica de los valores corregidos.

Como se puede apreciar los datos corregidos por el programa estadístico SPSS, y los datos obtenidos en la experimentación no tienen mucho margen de distancia, por lo tanto se puede llegar a la conclusión de que el pegamento obtenido es de buena calidad.

4.6 Balance de materia por etapas

Balance en la preparación de la solución 1



$$M1 = B + M_0 \text{ balance en solución 1}$$

$$M1 = 75 \text{ g} + 25 \text{ g} = 100 \text{ g}$$

- Masa de agua en solución 1

$$\text{En el almidón: } W_i = M_0 * X_h \longrightarrow W_i = 25\text{g} * 0,085 = 2,125\text{g}$$

$$W_f = B + W_i \longrightarrow W_f = 75\text{g} + 2,125\text{g} = 77,125\text{g}$$

- Masa de almidón puro en solución 1

$$P = M_0 - W_i - X_{cnz} \longrightarrow P = 25\text{g} - 2,125\text{g} - 0,10\text{g} = 22,775\text{g}$$

Dónde:

M_0 = masa de almidón con humedad

$M1$ = masa total de la solución 1

B = masa de agua

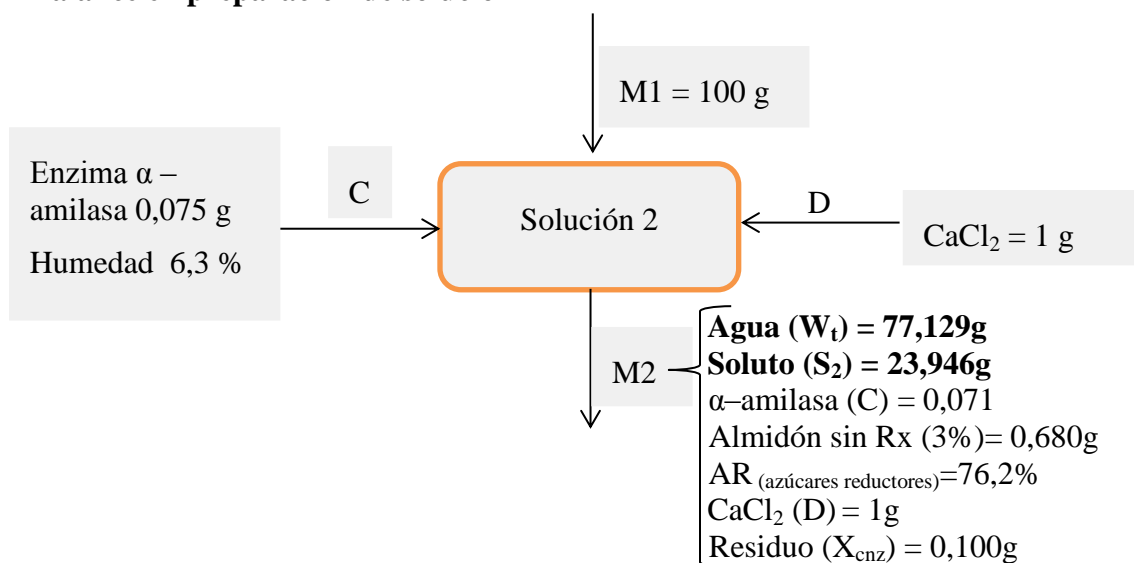
W_i = masa de agua presente en el almidón

W_f = masa final de agua en la solución

P = masa de almidón puro

X_{cnz} = residuo

Balance en preparación de solución 2



Nota: En M2 el peso del almidón sin reaccionar, el porcentaje de azúcares reductores, el CaCl_2 , el residuo (X_{cnz}), y el peso de α -amilasa son parte del peso del peso del soluto (S_2).

$$M2 = M1 + C + D \text{ en solución 2}$$

$$M2 = 100 + 0,075\text{g} + 1\text{g} = 101,075\text{g}$$

- Masa de agua total en la solución

$$\text{En } \alpha \text{ - amilasa: } W\alpha = C * 0,063 \longrightarrow W\alpha = 0,075\text{g} * 0,063 = 0,004\text{g}$$

$$W_t = 77,125\text{g} + 0,004\text{g} = 77,129\text{g}$$

- Masa seca de la solución (S_2)

$$\text{Masa seca de } \alpha \text{ - amilasa: } M\alpha = C - W\alpha \longrightarrow M\alpha = 0,075\text{g} - 0,004\text{g} = 0,071\text{g}$$

$$S_2 = P + M\alpha + D + X_{\text{cnz}} \longrightarrow S_2 = 22,775\text{g} + 0,071\text{g} + 1\text{g} + 0,10\text{g} = 23,946\text{g}$$

$$\text{Almidón sin Rx (SRx)} \longrightarrow \text{SRx} = P * (0,03) \longrightarrow \text{SRx} = 22,775 * (0,03) = 0,680$$

Dónde:

C = masa de α - amilasa

D = masa de CaCl_2

M2 = masa de la solución 2

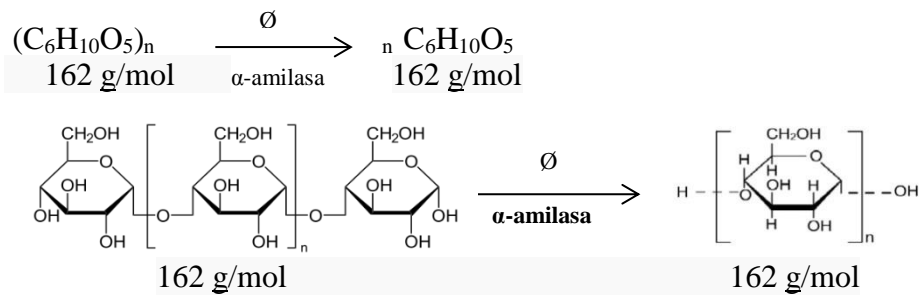
$W\alpha$ = masa de agua en α - amilasa

W_t = masa de agua total en la solución 2

S_2 = masa seca total de la solución

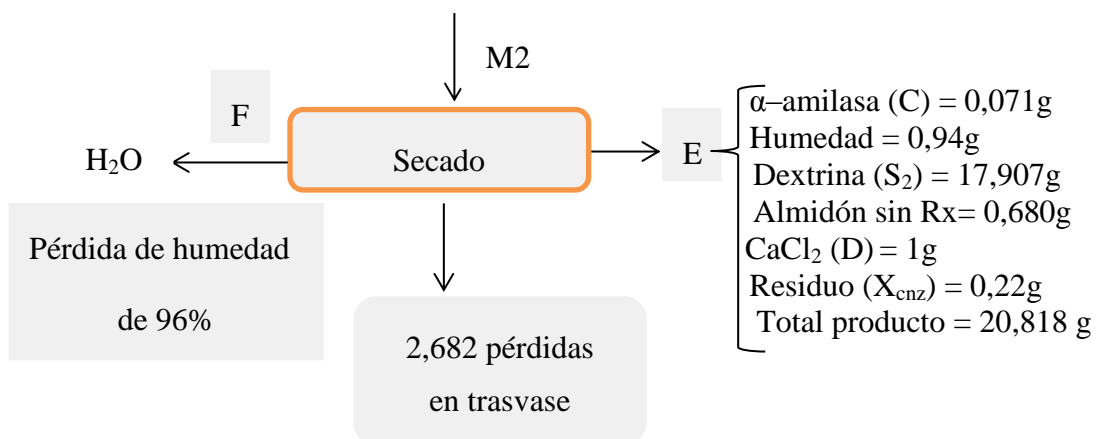
AR = Azúcares Reductores

En esta etapa ocurre una reacción, donde la enzima actúa rompiendo los enlaces alfa de las cadenas de amilopectina, formando cadenas más pequeñas pero con el mismo peso molecular, la cual esta molécula más pequeña es la dextrina.



Balance en el secado

Se puso las muestras al secador, en el cual la muestra perdió un 96 % de la humedad presente en cada muestra la cual se sometido a una temperatura de 75 °C, tomando en cuenta que después del secado en trasvasado se pierde un 2% del peso seco.



Tomando en cuenta que un 3% de almidón queda sin reaccionar después de la hidrólisis.

$$M2 = E + F \longrightarrow F = M2 - (E + (E \cdot 0,04))$$

$$F = 101,075 - (23,5 + (23,5 \cdot 0,04)) \quad F = 76,635 \text{ g H}_2\text{O}$$

El residuo aumenta en esta etapa por el aumento de temperatura a 0,220g

Pérdidas de trasvase en el secado

Se realiza un trasvase del producto seco a otro vaso de precipitado, donde existe una pérdida del producto que se queda pegado en las paredes el cual en el pesado final solo quedan 20,818g

$$E - 20,818 = 2,682g$$

Donde: AR = Azúcares reductores

Rendimiento:

P = 22,775 es la masa de almidón seco alimentado el cual se convierte en dextrinas

La cantidad de dextrina obtenida en el proceso es 17,916g y el rendimiento se puede calcular con la ecuación 4-3. (Vásquez, 2008)

$$M_{\text{dextrina real}} = 17,916g$$

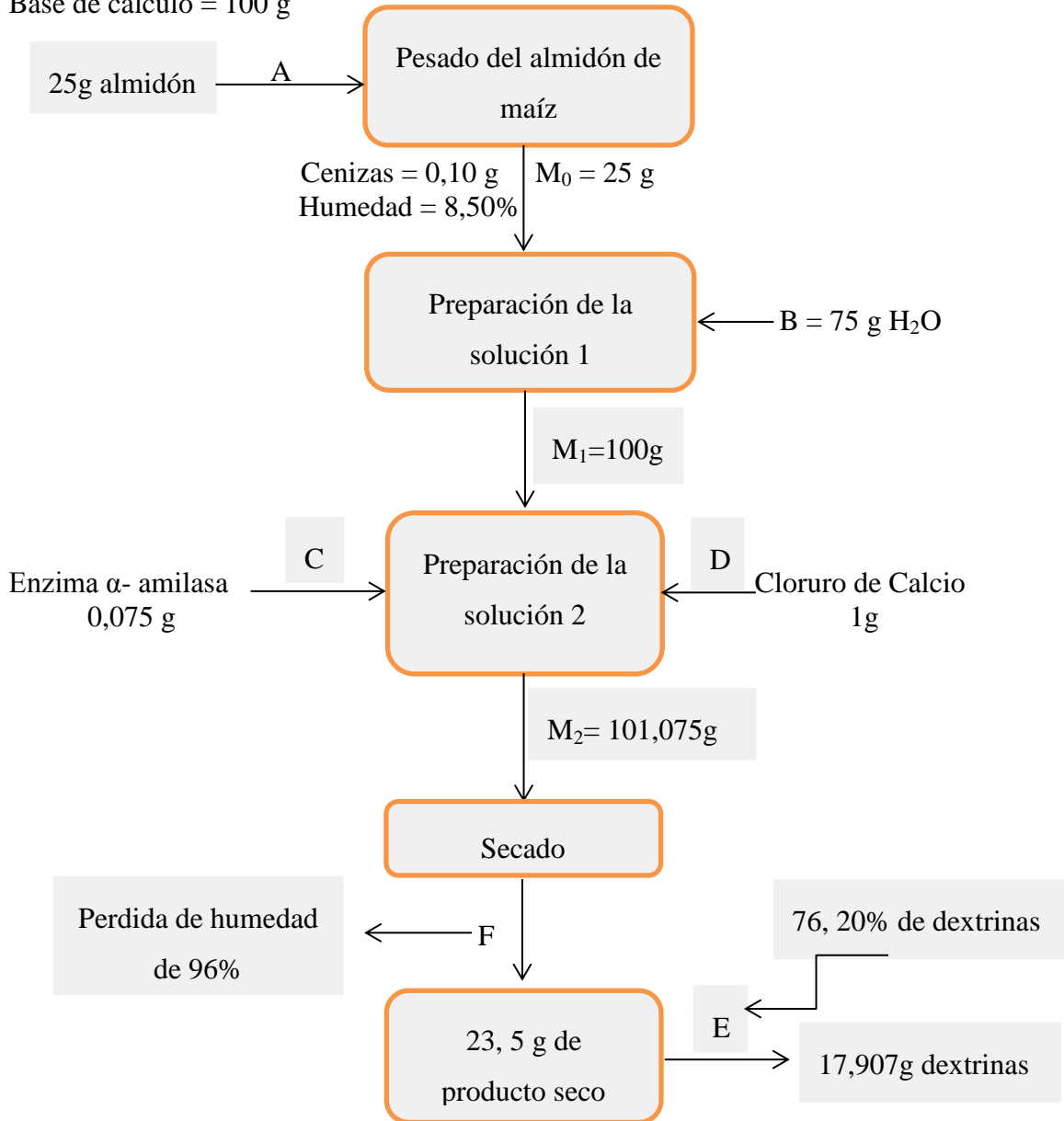
$$\text{Rendimiento \%} = \frac{\text{Masa dextrina real}}{\text{Masa almidón alimentado}} * 100 \quad \text{Ecuación 4-3}$$

$$\text{Rendimiento \%} = \frac{17,916g}{22,775g} * 100 = 78,6\%$$

Balance de materia general

A continuación se muestra el balance general de materia del proceso.

Base de cálculo = 100 g



Fuente: Elaboración Propia

Balance general del proceso: $A+B+C+D - F = E \cdot (0,762) = \text{Dextrinas}$

A = 25 g de Almidón

C = 0,075 g de α -amilasa

B = 75 g de agua destilada

D = 1 g CaCl_2

4.6.1 Balance de energía en el secado

En este acápite se realiza el balance de energía en los procesos de; agitación, y evaporación.

- **Balance en el secado**
- **Balance en el agitador magnético**

Se tienen los siguientes datos para el balance de energía en el secado tomando en cuenta que el volumen de la estufa es de 70 litros:

$$m_{mezcla} = 0,101075 \text{ Kg}$$

$$m_{aire} = 0,0857 \text{ Kg en la estufa}$$

$$Cp_{aire} = 1,005 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K (Klein, 2001)}$$

$$T_{sist} = 343^\circ\text{K}$$

$$T_{mezcla} = 293^\circ\text{K}$$

$$T_{final} = 348^\circ\text{K}$$

$$T_{estufa} = 298^\circ\text{K}$$

$$\lambda_v = 2264,30 \text{ Kj/Kg Lambda de vaporizacion (Klein, 2001)}$$

Se calcula el calor entregado con la ecuación 4-4 y la ecuación 4-5

$$Q_{entregado} = Q_{absorbido}$$

$$Q_{entregado} = m_{aire} \times Cp_{aire} \times \Delta T + \lambda_v * m_{mezcla}$$

$$Q_{entregado} = [0,0857 \text{ Kg} \times 1,005 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{K} \times (345^\circ\text{K} - 298^\circ\text{K})] + 2264,3 \text{ Kj/Kg} * 0,101075 \text{ Kg} = 232,912 \text{ Kj}$$

$$Q_{absorbido} = m_{mezcla} \times Cp_{mezcla} \times \Delta T$$

Despejando Cp de la mezcla:

$$Cp_{mezcla} = \frac{Q_{abs} - m_{Aire} \times Cp_{Aire} \times \Delta T}{m_{mezcla} \times \Delta T}$$

$$Cp_{mezcla} = \frac{232,912 \text{ Kj} - 0,0857 \text{ Kg} \times 1,005 \text{ Kj}/\text{Kg}^\circ\text{K} \times (343 - 298)^\circ\text{K}}{0,101075 \text{ Kg} \times (345 - 293)^\circ\text{K}}$$

$$Cp_{mezcla} = 43,57 \text{ Kj}/\text{Kg}^\circ\text{K}$$

$$Q_1 = 232,912 \text{ Kj} \times \frac{1 \text{ KW}}{3600 \text{ Kj}} = 0,064 \text{ KW}$$

La potencia del calentador de la estufa es de 2000 W por lo tanto, el tiempo mínimo requerido se calcula con la ecuación 4-7, de la potencia calórica por la ley de joule:

$$Q_1 = P \times tiempo(t)$$

$$tiempo(t) = \frac{Q_1}{P}$$

$$tiempo(t) = \frac{232,912 \text{ Kj}}{0,064 \text{ Kj}/s} = 3601s$$

4.6.2 Balance en el agitador magnético

La capacidad máxima de trabajo del agitador magnético es de 80W a 1500 rot/min, la velocidad a la que se trabaja para el agitado es de 300 rev/min. Para obtener los watt a los que trabaja el agitador se hace una relación entre las velocidades y energía utilizada.

$$Q_2 = \frac{80 \text{ W} \times 300 \text{ rpm}}{1500 \text{ rpm}} = 16 \text{ W} = 0,016 \text{ Kw}$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El proceso de hidrólisis enzimática del almidón concluye, que para un porcentaje p/v de 25, un tiempo de reacción de 50 minutos de la enzima α -amilasa a un pH de 4, obtuvo el mejor resultado en producción de azúcares reductores los cuales pueden ser tomados como dextrinas.
- La relación entre el E.D. y el tiempo de hidrólisis, con la enzima α -amilasa indicó que el aumento del tiempo de hidrólisis, manteniendo constante el sustrato, hay un incremento en el equivalente de dextrosa y el porcentaje de azúcares reductores.
- Con un porcentaje del 78% de rendimiento en producción de dextrinas, se pudo apreciar que el proceso es muy estable, se pudo concluir que la muestra número 7 en los resultados de la hidrólisis, obtuvo los mejores resultados en rendimiento.
- Del análisis factorial la variable con mayor influencia en el proceso, fue la concentración almidón pues el rendimiento del proceso depende de esta variable.
- La influencia del control del pH también es muy importante, el cual toma importancia porque debido al control de esta variable en la solución de almidón, antes y después del proceso de hidrólisis, permite activar o desactivar el ataque de la enzima α -amilasa y mejora los resultados de producción de Dextrina.
- Se apreció que las muestras con mayor porcentaje de dextrina, son las que mejor adherencia obtuvieron al momento de realizar las pruebas de adhesividad.
- Se observó que el pagamento con mayor fuerza adherente fueron los que mayor porcentaje de dextrina tenían en su composición después de la hidrólisis.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a la Carrera de Ingeniería Química, interesarse en profundizar los estudios del proceso de hidrólisis enzimática del almidón de maíz, a escalas de laboratorio para producción de dextrinas amarillas, que son las más utilizadas en la producción de pegamentos.
- Se recomienda tener mayor control en la temperatura en el proceso de hidrólisis, ya que al elevarse la temperatura a más de los 72°C, puesto que al sobrepasar esta temperatura la solución se gelatiniza y que descartada la generación de dextrinas.
- Las enzimas usadas son muy sensibles al cambio de temperaturas en el ambiente, ya que estas pueden no actuar de la manera que se desea al momento de ejecutarse la hidrólisis, por lo que se recomienda un manejo cuidadoso de las mismas, puesto que son las que nos ayudarán a obtener las dextrinas, se recomienda mantenerlas a temperaturas de 15°C.
- Se recomienda también un estudio más complementario del proceso de adhesión del pegamento, y su porcentaje solubilidad en agua para que esos parámetros sean tomados en cuenta para futuros desarrollos, que deseen implementar la producción de adhesivos a partir de almidones.