

**AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN A  
PARTIR DEL GRANO DE MAÍZ Y LA INFLUENCIA DEL CARBONATO DE  
ÁCIDO SÓDICO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL SLURRY**

JAVIER ANTONIO PALACIO RODRÍGUEZ  
YESICA PEÑATA MENDOZA

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS TECNOLOGÍA E INGENIERÍA – ECBTI  
PROGRAMA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
BARRANQUILLA  
2012

**AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN LA EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL GRANO DE MAÍZ Y LA INFLUENCIA DEL CARBONATO DE ACIDO SODICO EN LAS PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL SLURRY**

JAVIER ANTONIO PALACIO RODRÍGUEZ  
YESICA PEÑATA MENDOZA

Proyecto de investigación y desarrollo tecnológico para optar el título de  
Ingeniero de Alimentos

Asesores  
**Raúl Goenaga.** Ingeniero de Alimentos  
**Cesar Barraza.** Químico

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD  
ESCUELA DE CIENCIAS BASICAS TECNOLOGIA E INGENIERIA – ECBTI  
PROGRAMA DE INGENIERIA DE ALIMENTOS  
BARRANQUILLA  
2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

PRESIDENTE DEL JURADO

---

JURADO

---

JURADO

Barranquilla, octubre de 2012

## DEDICATORIA

### JAVIER

Este trabajo se lo dedico a Dios, en primer lugar ya que gracias a el obtuve la inteligencia y sabiduría para realizar este proyecto de la mejor manera y me mantuvo rodeado de personas que me apoyaron en todo lo que necesitaba. A mis padres, Darío Palacio y Doris Rodríguez, a mi esposa Sandra, quien me apoyo incondicionalmente, a mis amigos gracias por apoyarme y creer en mí y a mi preciosa y hermosa Thaliana mi hija, no tengo palabras para decirle lo mucho que la quiero siendo ella el eje de este logro importante en mi vida.

### YESICA

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios por ser quien me dio la convicción, la perseverancia, para lograr esta meta y permitir que pudiéramos lograr un gran equipo de trabajo para culminar con éxito esta investigación. A mis padres, Yonis Peñata y Katherine Mendoza, a mis hermanos David, y en especial a Erika por su apoyo incondicional que me ha brindado durante estos años. Finalmente a todos mis amigos que me han ofrecido su apoyo para cumplir con esta etapa de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto de investigación expresan sus más sinceros agradecimientos a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, sus tutores y todas aquellas personas que nos han apoyado incondicionalmente a culminar con este proyecto y alcanzar una meta más.

A Dios por colmar nuestras vidas de bendiciones y ser nuestro guía en todo momento, por darnos la sabiduría y la constancia para culminar satisfactoriamente este proyecto.

Al ingeniero Cesar Barraza, por ser nuestro guía en el camino de la investigación, al consejero Jaime Ríos, a la Coordinadora académica Astrid Suárez, gracias a ella se pudo llegar a donde estamos. Al ingeniero Raúl Goenaga, al ingeniero Roberto de León.

Ms. Bibiana Ávila por su apoyo incondicional y por brindarnos los espacios de discusión apropiados para el desarrollo investigativo, por suministro de información, por sus observaciones, recomendaciones y por su valiosa colaboración.

A todos los tutores de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería.

Gracias a todo el personal que labora en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, CEAD Barranquilla, por brindarnos de una u otra forma su apoyo.

**TABLA DE CONTENIDO**

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>15</b>
<b>2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:</b>	<b>16</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
<b>3.1. Objetivo general:</b>	<b>18</b>
<b>3.2. Objetivos Específicos:</b>	<b>18</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>19</b>
<b>5. ALCANCE</b>	<b>20</b>
<b>6. DELIMITACIÓN</b>	<b>20</b>
<b>7. CONSTRUCTOS TEÓRICOS</b>	<b>20</b>
<b>7. 1. Métodos de extracción del almidón del maíz.</b>	<b>20</b>
<b>7.2. La molienda húmeda</b>	<b>21</b>
<b>7. 2. 1. Procesos</b>	<b>22</b>
<b>7.2.2. Conversión del almidón</b>	<b>23</b>
<b>7.3. FLUJOGRAMA: SECUENCIA DE LA OBTENCIÓN DEL ALMIDON DE MAÍZ.</b>	<b>24</b>
<b>7. 3. 1. Descripción del proceso:</b>	<b>25</b>
<b>7. 3. 2. Molienda húmeda</b>	<b>27</b>
<b>7. 3. 2. 1. DIAGRAMA DE FLUJO.</b>	<b>27</b>
<b>7. 4. Molienda seca</b>	<b>30</b>
<b>7. 4. 1. Extracción de almidón del grano de maíz.</b>	<b>31</b>
<b>7. 5. Estructura molecular</b>	<b>33</b>
<b>7. 5. 1. Propiedades fisicoquímicas del almidón</b>	<b>34</b>
<b>7. 5. 1. 1. Gelatinización.</b>	<b>34</b>
<b>7. 5. 1. 2. Retrogradación.</b>	<b>37</b>
<b>8. MARCO TEORICO</b>	<b>39</b>
<b>8. 2. Fundamentos teóricos.</b>	<b>39</b>
<b>8. 2. 1. Maíz (Zea Mays L.)</b>	<b>39</b>
<b>8. 2. 1. 2. Descripción botánica</b>	<b>39</b>
<b>8. 2. 1. 3. Variedades</b>	<b>39</b>
<b>a. Maíz tunicado (Zea mays tunica sturt).</b>	<b>39</b>
<b>b. Maíz Reventón (Zea mays everata Sturt).</b>	<b>40</b>
<b>c. Maíz Cristalino (Zea mayz idurata Sturt).</b>	<b>40</b>
<b>d. Maíz Dentado (Zea mays indenata sturt).</b>	<b>40</b>
<b>e. Maíz amilaceo (Zea mays amilacea Sturt).</b>	<b>40</b>
<b>f. Maíz Dulce (Zea mays saccharata Sturt).</b>	<b>40</b>
<b>g. Maíz Cerezo o cerozo (Zea mays ceritina kulesh).</b>	<b>41</b>
<b>8. 2. 1 .4. Estructura biológica del grano de maíz.</b>	<b>41</b>

8. 2. 1. 5. Calidad del grano de Maíz.	42
<b>8. 2. 2. EL ALMIDÓN.</b>	<b>42</b>
8. 2. 2. 1. Química del carbohidrato básico.	43
	<b>Pág.</b>
8. 2. 2. 2. Amilosa	44
8. 2. 2. 3. Amilopectina	45
<b>8. 2. 3. Extracción del almidón del grano de maíz.</b>	<b>50</b>
<b>8.2. 3. 1. DIAGRAMA DE FLUJO:</b>	<b>50</b>
8. 2. 3. 1. Recepción	51
8. 2. 3. 2. Cribado	51
8. 2. 3. 3. Molienda y lavado	51
8. 2. 3. 4. Centrifugado	52
8. 2. 3. 5. Filtración	52
8. 2. 3. 6. Secado del almidón	53
8. 2. 3. 7. Empaque	53
<b>8. 3. Análisis en el proceso, puntos de control y análisis finales</b>	<b>54</b>
8. 3. 1. Humedad del almidón secado.	54
8. 3. 2. Centrifugado Spin	54
<b>8. 4. Antecedentes</b>	<b>55</b>
<b>8. 5. Identificación de variables.</b>	<b>58</b>
<b>9. FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>59</b>
9. 1. Fase 1- Plan de trabajo	59
9. 2. Fase 2- obtención de datos reales.	60
9. 3. Fase 3- analizar y decidir la mejor solución	60
<b>10. METODOLOGIA</b>	<b>61</b>
10. 1. Población y muestra	61
10. 2. Técnicas y recolección de datos.	62
10. 3. Tratamiento de la muestra	62
10. 4. Color, olor y grados baume del slurry a secar.	63
10. 5. Sensibilidad alcalina	63
10. 6. Determinación del PH	64
<b>11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.</b>	<b>65</b>
<b>12. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS</b>	<b>74</b>
<b>13. CONCLUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>77</b>
<b>14. RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
<b>15. REFERENCIAS</b>	<b>77</b>

## LISTA DE CUADROS.

	Pág.
<b><u>Cuadro 1. Componentes en granos de cereales</u></b> _____	26
<b><u>Cuadro 2. Ficha técnica. Maíz.</u></b> _____	46
<b><u>Cuadro 3. Composición química del grano de maíz.</u></b> _____	47
<b><u>Cuadro 4. Composición nutricional del Maíz por cada 100grs</u></b> _____	48
<b><u>Cuadro 5. Ficha técnica del producto</u></b> _____	48
<b><u>Cuadro 6. Requisitos fisicoquímicos.</u></b> _____	49
<b><u>Cuadro 7. Requisitos microbiológicos</u></b> _____	49
<b><u>Cuadro 8. Resultado prueba en el Spin</u></b> _____	65
<b><u>Cuadro 9. Resultados sensibilidad alcalina obtenida.</u></b> _____	66
<b><u>Cuadro 10. Resultado análisis Brabender</u></b> _____	70
<b><u>Cuadro 11. Cronograma de actividades</u></b> _____	74
<b><u>Cuadro 12. Presupuesto de la investigación</u></b> _____	75



## LISTA DE FIGURAS.

	Pág.
<b><u>Figura 1. Daños y defectos del grano de maíz.</u></b>	26
<b><u>Figura 2. Estructura interna del grano de maíz.</u></b>	41
<b><u>Figura 3. Enlaces glucosidicos <math>\alpha</math>-1,4 y <math>\alpha</math>-1,6 de almidón.</u></b>	44
<b><u>Figura 4. Enlace <math>\alpha</math>-1,4 de amilosa.</u></b>	45
<b><u>Figura 5. Modelo de amilosa, puede ser representada como una cadena recta o hélice.</u></b>	45
<b><u>Figura 6. Enlaces glucosidicos <math>\alpha</math>-1,4 y <math>\alpha</math>-1,6 Amilopectina.</u></b>	46
<b><u>Figura 7. Análisis Brabender en almidón natural.</u></b>	57
<b><u>Figura 8. Análisis Brabender en almidón modificado</u></b>	5757
<b><u>Figura 9. Análisis Brabender muestra 1C normal.</u></b>	711
<b><u>Figura 10. Análisis Brabender, muestra 1C al 1.0% de NaHCO<sub>3</sub></u></b>	722
<b><u>Figura 11. Análisis Brabender, muestra 1C al 10% de NaHCO<sub>3</sub></u></b>	722
<b><u>Figura 12. Análisis Brabender, muestra 1c al 30% de NaHCO<sub>3</sub></u></b>	73

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
<b><u>Grafica 1. Resultado prueba en el Spin.</u></b> _____	65
<b><u>Grafica 2. Resultado sensibilidad alcalina, muestra sin NaHCO<sub>3</sub></u></b> _____	67
<b><u>Grafica 3. Resultado Sensibilidad alcalina, muestra al 1% de NaHCO<sub>3</sub>.</u></b> _____	67
<b><u>Grafica 4. Resultado sensibilidad alcalina, muestras con 10% de NaHCO<sub>3</sub>.</u></b> _____	68
<b><u>Grafica 5. Resultado sensibilidad alcalina, muestras con 30% de NaHCO<sub>3</sub>.</u></b> _____	68
<b><u>Grafica 6. Resultado comparativo de todos los análisis de sensibilidad alcalina.</u></b> _____	69

## GLOSARIO

**Criba:** Máquina compuesta de cuchillas fijas y móviles más una lámina agujereada que se emplea para partir granos de diferentes tamaños.

**Fasciculada:** Órgano vegetativo y generalmente aplanado de las plantas vasculares.

**Propiedades físicas:** Son aquellas que se pueden medir, sin que se afecte la composición o identidad de la sustancia.

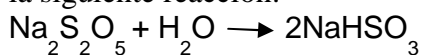
**Propiedades químicas:** Se observan cuando una sustancia sufre un cambio químico, es decir, en su estructura interna, transformándose en otra sustancia, dichos cambios químicos, son generalmente irreversibles.

**Reactivos:** Un reactivo o sustancia es aquella que interacciona con otro a instancias de una reacción química y de ello resultan otras sustancias que ostentarán propiedades, características y formaciones diferentes que pasarán a ser denominados como productos o productos de una reacción.

**Reacción química:** La reacción química es aquel proceso químico en el cual dos sustancias o más, denominados reactivos, por la acción de un factor energético, se convierten en otras sustancias designadas como productos.

**Slurry:** almidón suspendido en agua.

**Metabisulfito de sodio:** es el principal constituyente del Bisulfito de Sodio seco comercial, cuyos usos y propiedades son virtualmente idénticos, esto se da de acuerdo a la siguiente reacción:



## RESUMEN

En este trabajo se presenta un estudio experimental para aumentar el rendimiento de la extracción del almidón del grano de maíz (*Zea Mays L.*), analizar el comportamiento del almidón cuando se somete a diferentes concentraciones de carbonato de ácido sódico y de esta manera poder determinar cual es el porcentaje óptimo que incrementa la sensibilidad alcalina, sin que se altere las moléculas del almidón.

Para cubrir tal objetivo es importante controlar las variables de temperatura, tiempo y concentración de bicarbonato de sodio y se determinó que las moléculas de almidón no sufren maltrato por reactivos, favoreciendo las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón, independiente a la caracterización inicial del slurry.

Por otro lado, el análisis Brabender representado por un viscoamilograma es un registro del comportamiento de una suspensión de almidón a una concentración determinada durante el calentamiento y enfriamiento bajo una velocidad constante de cizallamiento. El incremento en la viscosidad es medida por un torque sobre una aguja, con un sistema de control automático y en una curva son reproducidos los perfiles de gelatinización y de empastamiento del almidón analizado. Los datos son reportados en Unidades Brabender (UB).

## INTRODUCCIÓN

El maíz es el principal producto vegetal que más se produce en Latinoamérica, es una materia básica de la industria para las transformaciones, a partir de la cual se obtiene almidón.

En las últimas décadas ha existido un interés por el estudio de las propiedades físico-químicas de alimentos sólidos, esta percepción está fundamentada por su gran importancia en el procesamiento de alimentos, incluyendo además estudios científicos referentes a las transformaciones estructurales y moleculares que ocurren en estos biopolímeros.

No obstante, hoy en día existen diferentes técnicas para la extracción y modificación, además de durar 1/3 de día cada proceso, si en este lapso de tiempo es interrumpida cualquier etapa del proceso puede traer problemas en el producto final, incluso si el estado inicial del slurry natural no se encuentra en condiciones aptas para su modificación. Por este motivo, se estudia la influencia del carbonato de ácido sódico ( $\text{NaHCO}_3$ ) para mejorar el proceso y acorde al comportamiento reportado por el almidón ofrecer un producto de buena calidad.

La ejecución del proyecto ofrece la posibilidad de desarrollar una metodología de investigación a través de la autogestión, incrementando el desarrollo socioeconómico, posteriormente a partir de los resultados se logra generar oportunidades de trabajo con ajustes tecnológicos que facilitan una mayor estabilidad directamente proporcional a la extracción de un almidón modificado.

Además, con esta iniciativa la presente investigación dará alternativas para fomentar el mejoramiento en la calidad de los granos de almidón. Se pretende aumentar el rendimiento en la extracción, se busca proporcionar soluciones claras que contribuyen notablemente en sus propiedades fisicoquímicas, se propone el carbonato de ácido sódico como un agente modificador del almidón y se puede corroborar que las condiciones de sensibilidad alcalina mejoran, sin que se altere las moléculas del almidón.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las industrias Colombianas se ve reflejado bajos valores de contenido de almidón de maíz, cuando se somete a un proceso de extracción afectando la calidad de los granos. Esta ha sido la principal causa de cierre de las empresas dedicadas a la extracción de almidón.

Por consiguiente una diferencia primordial en los tipos de modificación son los reactivos; provocando cambios en sus propiedades fisicoquímicas, lo cual repercute en su perfil de viscosidad, afectando la estructura molecular del almidón y esto se vea reflejado en la alteración drástica de las propiedades fisicoquímicas, obteniendo un producto de mala calidad.

Toda esta problemática genera pérdidas, que están asociadas por el periodo de tiempo y temperatura, causando durante el proceso daños irreversibles en el almidón del grano de maíz.

## 2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

En la industria Colombiana las empresas dedicadas en la elaboración de productos extraídos del maíz y en la extracción y modificación de almidones a tenido ciertos altibajos, algunas empresas se han mantenido en el mercado otras no.

Diariamente tecnólogos e ingenieros buscan la mejor manera de que el negocio sea rentable con el objeto de obtener mejores métodos y crear diferentes tipos de almidones. Una idea clara que se debe tener es que lo importante no es crear una empresa para generar ingresos, empleos e impulsar el desarrollo de una región, sino lo importante es mantenerla para que se siga generando lo anteriormente descrito. Al observar los diferentes métodos de extracción del almidón y su comportamiento en cada etapa de su proceso se produce una diferencia en la cantidad y calidad del almidón asociada con el tiempo de reacción y la temperatura antes de empezar la extracción en la molienda húmeda además del reactivo utilizado, este es un factor determinante, al igual que su sensibilidad alcalina, este análisis se relaciona con el nivel de daño de los granos de almidón.

La cantidad de granos dañados esta influenciada con el porcentaje de modificación que indica de que manera actúan los reactivos en las moléculas de almidón entre mas alta sea la sensibilidad alcalina más son resistentes las moléculas a los reactivos, también asociada con la viscosidad obtenida en el adhesivo si este almidón es para la industria cartonera y/o textil. Analizando este comportamiento y lo observado en el proceso podemos decir que, si en un lote de almidón su análisis de sensibilidad alcalina es alto lo cual indica daño en las moléculas, el rendimiento va



hacer menor a un 50% lo cual genera perdidas ya que para modificarlos se necesitara mas reactivos o retratamiento del lote, incluyendo que este almidón sea para la industria cartonera y/o textil no serviría su adhesivo ya que va ser débil a la hora de pegar las diferentes capas del corrugado. Si su tiempo de reacción supera las 4 horas y su temperatura no es la adecuada influirá en el porcentaje de almidón obtenido en un lote.

Teniendo en cuenta lo anterior es de gran importancia determinar, el tiempo de reacción y temperatura adecuada, además de mejorar la calidad de los granos de almidón así su análisis de sensibilidad alcalina sea alto inicialmente, generando así aumento en su porcentaje de almidón de un lote desde su inicio y final del proceso y que el slurry este en condiciones aptas para su modificación sin importar en que estado se encuentren los granos de almidón al inicio de su extracción en el grano de maíz.

¿Determinar el rendimiento de la extracción del almidón analizando su comportamiento a partir de diferentes tiempos de reacción, temperatura y homogenización del reactivo Metabisulfito de sodio en el maíz cribado dispersado a los tanques reactores?

¿Analizar el comportamiento del almidón a partir de diferentes porcentajes de carbonato ácido de sodio, para determinar la influencia que este tiene en las propiedades fisicoquímicas del Slurry?

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general:

Determinar un mayor rendimiento en la extracción del almidón en el grano de maíz (*Zea mays L*) y la influencia del carbonato ácido de sodio en las propiedades fisicoquímicas del slurry.

#### 3.2. Objetivos Específicos:

- Describir el proceso de extracción, producción y estandarización del almidón de maíz actualmente, teniendo en cuenta puntos críticos de control.
- Distinguir las características fisicoquímicas del slurry natural.
- Determinar la influencia del tiempo y temperatura de reacción sobre el porcentaje de almidón extraído a partir del grano de maíz (*Zea mays L*).
- Determinar un mejor proceso de extracción de almidón en el grano de maíz (*Zea mays L*).
- Analizar el procedimiento en la realización de la sensibilidad alcalina del slurry natural.
- Identificar características de aumento o reducción del porcentaje de almidón de un lote a partir de su tiempo y temperatura de reacción
- Analizar comportamiento de la sensibilidad alcalina del slurry con adición de carbonato ácido de sodio y su comportamiento previo a la modificación
- Examinar el comportamiento del almidón en el Brabender para determinar su grado de viscosidad y consistencia con diferentes porcentajes de carbonato ácido de sodio previo a la modificación.
- Tabular y analizar resultados obtenidos.

- Comparar resultados con el sistema actual de extracción de almidón en el grano de maíz (*Zea mays* L).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Para efecto de este trabajo se pretende desarrollar y transferir alternativas tecnológicas que optimizarán los procesos de extracción de almidón del grano de maíz (*Zea mays* L), con ello se busca disminuir los costos de producción, obtener mayor rentabilidad, para de esta forma fortalecer el desarrollo regional.

Ofrecer un aporte significativo a los estudios de investigación existentes; en este sentido brindar una alternativa de mejora continua y un producto de mejor calidad con menos pérdidas en proceso, que permita incrementar la calidad de los granos de almidón, ya que las industrias podrán alcanzar unos índices de mejoramiento empresarial y poder generar un impacto positivo que aumente la competitividad en los procesos de extracción del almidón de maíz (*Zea mays* L).

Consideramos que al emplear carbonato ácido de sodio en las propiedades fisicoquímicas del slurry, se logró aumentar la sensibilidad alcalina, proporcionar mayor porcentaje de almidón sin que provoque cambio en su estructura, de igual forma lograr que beneficie a los empresarios en cuanto a la calidad del producto final.

Este proyecto es un aporte para que los estudiantes de Ingeniería de Alimentos de la UNAD se encaminen al estudio del comportamiento físico, químico de este tipo de materia prima y así mejorar los procesos industriales. Para posteriormente llegar a

puntualizar un objeto de estudio brindando de esta manera un panorama que refleja la intención de generar un positivo impacto que amplíe el interés científico.

## **5. ALCANCE**

Mejoramiento del sistema de producción en la extracción del almidón en el grano de maíz y sus propiedades físico químicas y funcionales previo a la modificación del slurry con el fin de mejorar la calidad del producto final, ahorro de tiempo y reactivos en la modificación.

## **6. DELIMITACIÓN**

Esta investigación esta limitada a determinar de qué manera se puede extraer de manera eficiente y eficaz el almidón en los granos de maíz (*Zea mays L*), a partir de analizar métodos y análisis existentes actualmente y mejorarlos.

## **7. CONSTRUCTOS TEÓRICOS**

### ***7. 1. Métodos de extracción del almidón del maíz.***

La molienda del maíz separa el grano de maíz (*Zea mays L*) en sus tres componentes básicos (endospermo, embrión y pericarpio más aleurona). En la molienda seca, el endospermo es el producto primario, pero el aceite es separado como un subproducto importante. En la molienda húmeda, los componentes de cada parte del grano (almidón, proteína, aceite, fibra y solubles) son separados en fracciones más purificadas que tienen un amplio espectro de usos. Se ha señalado que, en promedio, los supermercados presentan más de 1.000 formas de alimentos en los cuales los productos de la molienda húmeda del maíz o derivados del mismo están presentes como ingredientes (Watson, 1977). Aparte de su uso en alimentos, los productos del maíz

entran a muchos procesos industriales, los cuales incluyen productos de papel, textiles, materiales de construcción, metales fundidos, pinturas, explosivos, alcohol combustible, productos farmacéuticos y muchos otros (CIMMYT, 1997; Fundación Polar, 2000, Watson, 1977).

Freeman (1973), citado por Watson (1977), revisó a profundidad los factores que afectan la calidad del grano para la molienda húmeda y sus efectos en orden de importancia, ellos son: i) daños por hongos resultan en pérdidas de aceite debido a fraccionamiento severo durante la molienda; ii) granos partidos y material inerte reducen los rendimientos de almidón y gluten, ya que los granos partidos van directamente a las raciones de alimentos; iii) el bajo peso de los granos disminuye la tasa de producción y causa algunas pérdidas en el rendimiento de almidón; iv) el alto contenido de humedad reduce el peso y estimula la infección microbiana durante el transporte y almacenamiento. Otros factores importantes son: a) bajo contenido de aceite y proteína reducen el rendimiento de estos componentes; b) contenidos bajos de pigmentos de xantofilas disminuyen la coloración en el gluten, disminuyendo la competitividad; c) contaminación con residuos de micotoxinas y pesticidas son inaceptables debido a los riesgos de daños a la salud.

## ***7.2. La molienda húmeda***

Según Alvarez, A.(2006), el grano de maíz tradicional está compuesto por un 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidos en tres estructuras: el germen (embrión), el endosperma y el pericarpio. El mismo autor indica que el germen constituye el 10 al 12% del peso seco y contiene el 83% de los lípidos y el 26% de la proteína del grano y el endosperma constituye el 80% del peso seco y

contiene el 98% del almidón y el 74% de las proteínas del grano. El pericarpio constituye el 5 al 6% del peso seco e incluye todos los tejidos de cobertura exterior, con un 100 % de fibras vegetales.

El proceso de la molienda húmeda permite separar en un medio acuoso los distintos componentes del grano, esto es carbohidratos, proteínas y lípidos.

Para ello, antes de ingresar al molino, se somete al grano de maíz a un proceso de maceración con agua sulfurada y se facilita así la separación de los cuatro componentes básicos: almidón; aceite de maíz (germen); gluten para consumo y gluten ingrediente.

### **7. 2. 1. Procesos**

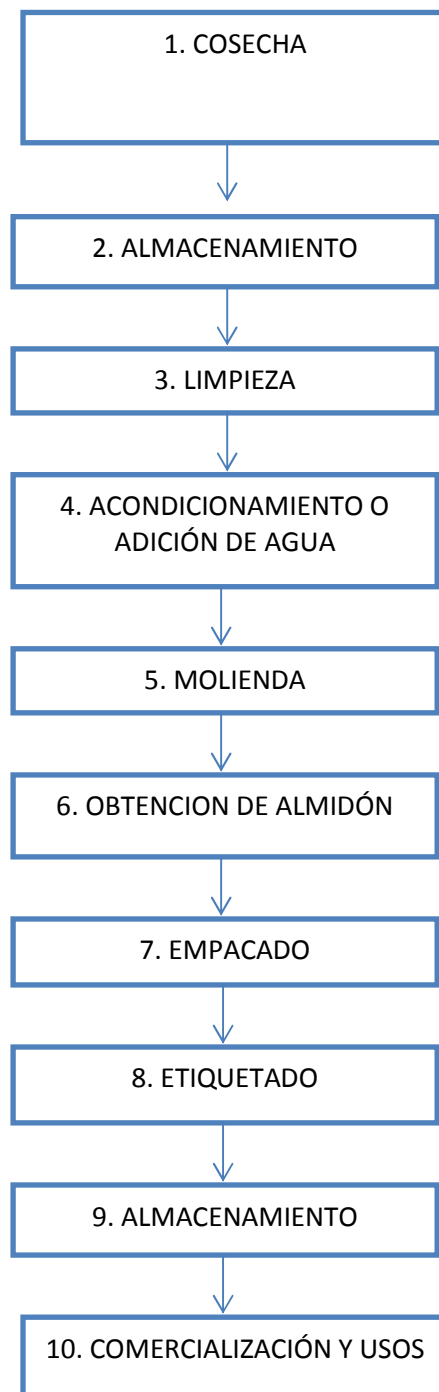
En la molienda húmeda se utilizan todos los tipos de maíz, pero dada su mayor disponibilidad, en los últimos años se emplean casi exclusivamente maíces dentados y semidentados. La porción de almidón del endosperma del grano es la materia prima para los endulzantes de maíz y se separa de las demás fracciones durante el proceso. El almidón de maíz, se encuentra naturalmente en forma de gránulos discretos de forma y tamaños característicos. Estos gránulos se hinchan cuando se los suspende en agua y se los calienta, hasta que finalmente se rompen para producir una pasta en la que las dos variedades moleculares del almidón se dispersan en el medio. Estas variedades moleculares son el almidón de cadena lineal (amilosa) y de cadena ramificada (amilopectina). El maíz común posee usualmente de 25 a 30% de amilosa en su almidón (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, 1999 ). Ambas estructuras son homopolímeros de condensación o múltiples agregados de moléculas de dextrosa (D-glucosa) unidas químicamente en forma primaria mediante un enlace  $\alpha$  (1, 4). Mientras que la amilosa se encuentra en la forma lineal exclusivamente, en la amilopectina las

cadena lineales se organizan en forma ramificada y la ramificación se ubica en la unión  $\alpha$  (1, 6).

### **7.2.2. Conversión del almidón.**

Cuando las uniones entre moléculas de dextrosa (unidades de glucosa anhidra) se rompen químicamente por la adición de agua, el producto final de esta conversión o reacción de hidrólisis es el azúcar simple Dglucosa. La hidrólisis del almidón se cataliza por medio de ácidos y enzimas. Controlando los parámetros de esta reacción (temperatura, tiempo y catalizadores enzimáticos), se pueden obtener cantidades fijas y predecibles de dextrosa y de los restantes polímeros de menor tamaño del almidón. Así se obtendrá por hidrólisis: dextrosa, maltosa (dos unidades de dextrosa), maltotriosa (tres unidades), etc. La combinación adecuada de procesos químicos permite producir casi cualquier mezcla de productos de conversión del almidón y por lo tanto jarabes y productos deshidratados con características físico químicas apropiadas para usos específicos.

7.3. FLUJOGRAMA: SECUENCIA DE LA OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE MAIZ.





### 7. 3. 1. Descripción del proceso:

Los granos de maíz se colocan en agua caliente con temperaturas entre 48°C y 52°C durante 40 horas con el fin de ablandarlos.

Para facilitar la extracción de almidón se adiciona al agua dióxido de azufre.

Los granos de maíz ya ablandados se presionan y se obtiene agua de color blanco, que se recolecta.

Los granos se quedan en el prensado, se muelen para separar el almidón que aun queda en ellos, se realizan varias lavadas para obtener el agua mas blanca, la cual se deja sedimentar y la masa que queda en el fondo se secura en hornos a 80°C durante 10 horas. La masa se muele en un molino de martillo para obtener un almidón fino.

En la guía de proceso de extracción del almidón de maíz de Suarez, D. (2005) se indica que el almidón se empaca en sacos de papel grueso o bolsas de plásticos para evitar el contacto con la humedad del ambiente; es importante colocar la fecha de elaboración para controlar su vida útil. La vida útil del almidón es de seis meses y se debe almacenar en sitios secos sobre estibas de madera o plástico para evitar el contacto con el suelo.

**Cuadro 1. Componentes en granos de cereales**

Componentes	Trigo %	Maíz %	Arroz sin cáscara %	Sorgo %
Salvado	15.0	5.5	6.0	6.0
Germen	2.5	11.5	2.0	10.0
Endospermo	82.5	83.0	92.0	84.0

Fuente: Enciclopedia Agropecuaria Terranova. (1995) volumen V. Colombia: Terranova Editores Ltda.

**Figura. 1. Daños y defectos del grano de maíz.**

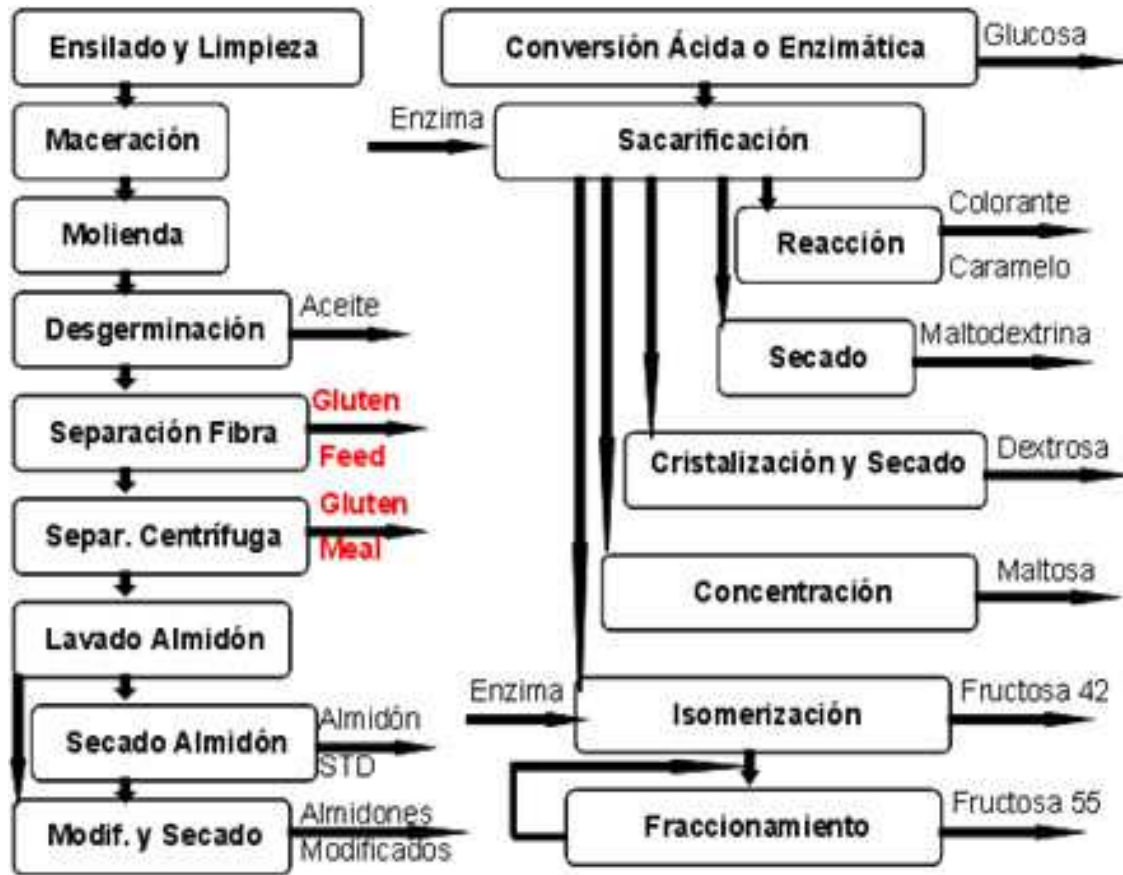


Fuente: Laboratorio Agropecuario (LACO). Daños y efectos comerciales en los granos. San Francisco Córdoba Argentina. Recuperado el 13 de octubre de 2012.

[http://www.lacocapacitacion.com.ar/subsitios/defectos\\_granos.php](http://www.lacocapacitacion.com.ar/subsitios/defectos_granos.php)

### 7. 3. 2. Molienda húmeda

#### 7. 3. 2. 1. DIAGRAMA DE FLUJO.



Fuente: Todoagro.com.ar. (2009). Subproductos de la industria de la molienda del maíz. Recuperado en <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=10751>

En el documento presentado en la página digital de TodoAgro de la República de Argentina se indica que: El maíz perfectamente limpio se introduce en tanques de maceración con agua a una temperatura de 49/54° durante 30 a 50 horas, con el agregado de alguna sustancia que facilite la separación de la fécula y la proteína insoluble. Después de la maceración, el grano de maíz hinchado, conteniendo cerca del 45% de agua, se muele grueso para permitir que a través de un proceso de flotación posterior, el germen, porción del grano donde se localiza el aceite, se separe del resto.

El mismo se seca, para ingresar luego en un proceso tradicional de producción de aceite, con un prensado, extracción por solvente y posterior refinación.

En la siguiente etapa, el tamizado, se logra la separación de la fracción fibrosa, que pasará a transformarse en el gluten feed.

Por diferencia de densidad, el centrifugado posterior permite separar el gluten de la fécula. El gluten se concentra, se filtra y se seca para formar harina de gluten de maíz. Una parte de la fécula se seca o se modifica para ser vendida a industrias alimenticias, papeleras, textiles u otras. Los endulzantes de maíz o el alcohol etílico se producen de la fécula restante

La molturación húmeda separa de igual forma que la molienda seca, pero avanza mucho más y separa algunas de sus partes en sus constituyentes químicos. Por esto, los productos primarios son: almidón, proteína, aceite y fibra en lugar de salvado, germen y endospermo.

De La molienda húmeda de maíz se obtiene una variedad de productos como:

- ✓ Endulzantes de maíz
- ✓ Alcohol
- ✓ Aceite
- ✓ Almidón

**Remojo:** Después de limpiar el maíz y de realizar la molienda como en la molienda seca, se sumerge el maíz en agua con 0.1 -0.2% de dióxido de azufre, (evita el crecimiento de microorganismos), se controla temperatura, la cual debe estar entre 48-52°C, por espacio de 30 -50 horas aproximadamente, el maíz con este proceso alcanza una humedad del 45%, ablandándose lo suficiente. El almidón se hincha y se vuelve gomoso. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

**Separación del germen:** El germen es separa haciéndolo pasar por el molino dos veces, después se separa del resto del grano con un separador de ciclón para líquidos o hidrociclón. Este fenómeno se debe a que el germen tiene menor densidad por el mayor contenido de aceite. El germen recuperado se lava para retirarle el almidón adherido, es secado y se lleva a los tanques para obtener el aceite.

**Cribado y molido:** El material que queda se criba y las partículas gruesas como el salvado y trozos de endospermo se muelen nuevamente, con el fin de separar el almidón, la proteína y la fibra.

**Lavado y tamizado:** Se realiza con el fin de separar el salvado. Primero se realiza un tamizado (el tamiz más fino puede tener 75  $\mu\text{m}$ ) y luego se lava para retirar el almidón adherido. Se escurre el salvado aplicándole presión posteriormente se seca, el producto que resulta es empleado para la alimentación de animales. Por otros orificios pasa el almidón y el gluten.

**Centrifugación y secado:** Debido a que el almidón es más denso que la proteína, se pueden separar entre sí a través de centrifugas continuas o por medio de hidrociclones adicionales. El gluten es liberado y secado, obteniéndose un contenido de proteína del 60 -70% en base seca. Este producto al igual que el salvado se utiliza para la alimentación de animales. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

**Purificación:** Debido a que el almidón en esta etapa aun contiene mucha proteína, es necesario que se purifique por recentrifugación o con hidrociclones, estos últimos funcionan igual que los empleados para separar el germen, siendo de un tamaño mucho más pequeño y se colocan en forma secuencial siendo mayor el número empleado. El almidón obtenido contiene menos de 0.3% de proteína quedando listo en este momento para su modificación química, conversión en jarabe o para ser secado en secadores flash para luego ser comercializado

#### ***7. 4. Molienda seca***

En la Universidad Autónoma de Barcelona (2003), Rosser define la molienda seca como el tratamiento físico del grano para reducir el tamaño de las partículas y facilitar la separación de fracciones constituyentes (RD 56/2002). Tiene por objeto la obtención de maíz molido integral o la separación de las diferentes partes atómicas del grano.

La molienda seca se inicia con la limpieza del grano y la separación electrostática para separar las partículas extrañas. Luego se agrega vapor de agua hasta que el grano tenga de 20 a 24% de humedad, para que el grano resista el impacto mecánico sin dañarse. El

grano pasa por un desgerminador que impacta el grano, mediante paltas que estrellan los granos contra las paredes del cilindro. Luego, el material se seca, se aspira para eliminar el pericarpio, y se pasa por una masa gravimétrica para recobrar el embrión. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

El endospermo se separa en fracciones. Una serie de molinos de cilindro y cernidores, reducen el endospermo a polvo. Las harinas finas se usan en panificación, como suplemento de harina de trigo, para fabricación de galletas y pastas que no requieran de gluten muy fuerte.

#### **7. 4. 1. Extracción de almidón del grano de maíz.**

**Recepción:** El maíz es recibido tanto en los silos metálicos como en los silos de planta (de concreto), debidamente higienizados y fumigados. Antes de caer en los silos, el maíz pasa por un sistema de prelimpieza que consiste en separar, por medio de una zaranda, los trozos de tuza y las partes metálicas grandes, por medio de un imán. De los silos de la planta, el maíz va directamente a Producción, pasando por el sistema de limpieza. Mientras que en los silos metálicos, la materia prima es sometida a un proceso de conservación, que consiste en inyectarle aire frío y seco con granifrigores y sacarle aire caliente con extractores. Control de Calidad se mantiene haciendo inspecciones para verificar las condiciones del maíz mientras está en los silos.<sup>9</sup>

**Limpieza:** La limpieza del maíz consiste en una serie de máquinas que, por diferencia de tamaño y peso, separa piedras, polvo, granos quebrados, restos de tuza,

partículas metálicas, etc.; y al final de este proceso, el maíz pasa por una rosca humedecedora que agrega agua para acondicionar el maíz para la desgerminación.

**Proceso de desgerminación:** Este proceso se denomina "Desgerminación en Seco", que consiste en separar el germen del maíz sin exceder el 16.0% de humedad. Se realiza quebrando el grano en dos trituradores de impacto y, mediante mesas clasificadoras, se divide en tres fracciones por diferencia de peso específico de los subproductos; ya que el endospermo -la parte más dura del maíz- tiene mayor peso específico que el germen.

**Molienda:** Los pre-productos libres de germen van a los molinos de cilindros para ser triturados, luego son clasificados en cernidores planos de acuerdo al tamaño; después pasan a otros molinos de cilindros que lo trituran hasta obtener la granulometría deseada de los productos finales.

El pre-producto, que luego será Sémola Cervecera, pasa por los purificadores de Sémola, que le elimina las partículas de germen y cáscaras más pequeñas, lo que garantiza un porcentaje de grasa menor a 1.0% en dicho producto. El germen extraído es almacenado o enviado a tanques de extracción de aceite. Se realiza un segundo acondicionamiento para obtener el máximo de grits y un mínimo de harina, consiste en humedecer el endospermo, con la ayuda de una rociadora se le adiciona agua. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)



**Secado:** Los productos finales pasan por un sistema de secado neumático que reduce la humedad de 15.0% a 12.0%, para la buena estabilidad del producto. Después de pasar por un enfriamiento hasta llegar a la temperatura ambiente, son depositados en los silos de productos terminados. La Harina Granular y la Harina Extrafina, después del enfriamiento son fortificadas con un compuesto concentrado de vitaminas A, E, B1, B2, B6, Hierro, Niacina, Ácido Fólico y Ácido Pantoténico. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

**Empacado:** Los productos terminados son empacados en los diferentes formatos en el Departamento de Envasado. Las harinas son empacadas por máquinas automáticas que forman las fundas, las sellan y las llenan, al mismo tiempo que le imprimen la fecha de vencimiento, número de lote y el precio de venta al consumidor.

### ***7. 5. Estructura molecular***

La estructura del granulo de almidón y el arreglo de sus componentes en diferentes niveles de organización, permiten explicar las propiedades fisicoquímicas y funcionales, así como la digestibilidad de los diferentes almidones.

Kuakpetoon y Wang (2007) analizaron almidones con diferentes contenidos de amilosa- amilopectina, reportando que los almidones con mayor contenido de amilosa requerían de menor energía para desorganizar su estructura que aquellos que presentaban mayores contenidos de amilopectina.

En la elaboración de los productos de maíz, el almidón tiene una función muy importante en la apariencia, textura y valor nutricional, ya que la proporción en las que se encuentren la amilasa y la amilopectina en el gránulo de almidón determinará las características fisicoquímicas y a su vez su posible aplicación tecnológica.

### **7. 5. 1. Propiedades fisicoquímicas del almidón**

Las propiedades de almidón dependen de las características físicas y químicas como del tamaño del gránulo, la distribución del gránulo, la proporción de amilosa/amilopectina y el contenido de minerales (Singh et al., 2003 citado por KAUR et al., 2007).

#### **7. 5. 1. 1. Gelatinización.**

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría debido a que su estructura está altamente organizada y a que presenta una gran estabilidad debido a las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes; sin embargo, cuando se calientan empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas, que son las menos organizadas y las más accesibles, ya que los puentes de hidrógeno no son tan numerosos ni rígidos como en las áreas cristalinas. A medida que se incrementa la temperatura, se retiene más agua y el gránulo empieza a hincharse y a aumentar de volumen (BADUI, 1999), donde una fracción de volumen y su morfología juegan un papel importante en el comportamiento reológico de las dispersiones de almidón (Bagley y Christianse, 1982; Da Silva et al., 1997; Evans y Haisman, 1979 citados por SANDHU y SINGH, 2007).

La baja solubilidad de los gránulos de almidón a temperatura ambiente es debida a su estructura semicristalina. Cuando almidón se encuentra se encuentra con suficiente agua, los gránulos absorben una pequeña cantidad de está y se hincha hasta cierto límite (30-50% del peso seco) (french 1984). Este proceso es reversible antes de que alcance la temperatura de gelatinización. Una vez que se ha sobrepasado la temperatura de gelatinización, los gránulos de almidón pierden su orden molecular y ocurren cambios irreversibles en las propiedades del gránulo como: pérdida de la estructura cristalina nativa (solubilización) y pérdida de la birrefringencia, es decir, la molécula se encuentra organizada (Atwell, 19988). Este proceso es conocido como gelatinización. La gelatinización del almidón es un proceso endotérmico que corresponde a la disociación de las moléculas. Las cuales se encuentran en una confirmación con dobles hélices y pasa a una conformación amorfa.

La gelatinización es la disrupción de la ordenación de las moléculas en los gránulos. Evidencias de la pérdida de orden son: el hinchamiento irreversible del gránulo, la pérdida de la birrefringencia y la pérdida de la cristalinidad (FENNEMA, 2000).

BELITZ y GROSCH (1997) señalan que en el proceso de gelatinización, en el que primero se produce una difusión de agua al grano, después una fusión en la zona cristalina favorecida por hidratación y finalmente una disolución, conforme aumenta el hinchamiento debido a que continúa la difusión de agua, se rompen principalmente puentes de hidrógeno entre las cadenas de glucosa de los cristales, quizá también en parte de la zona amorfa.

Se da el nombre de temperatura de gelatinización a aquella en la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierden la birrefringencia y el patrón de rayos X; esta temperatura es en realidad un intervalo ya que los gránulos, aunque provengan de la misma fuente botánica, tienen diferente composición y grado de cristalinidad, lo que provoca que unos sean más resistentes que otros (BADUI, 1999).

El calentamiento continuado de los gránulos de almidón en un exceso de agua resulta en un mayor hinchamiento de los gránulos, lixiviación de componentes solubles, principalmente amilosa y, eventualmente, de manera especial si se aplican fuerzas de cizalla, disrupción total de los gránulos. El hinchamiento de los gránulos y la disrupción da lugar a una masa viscosa que consiste en una fase continua de amilosa y/o amilopectina solubilizadas y una fase discontinua de restos de los gránulos (FENNEMA, 2000).

Los valores de viscosidad pueden variar con la temperatura, velocidad y concentración de la solución de almidón utilizada en el viscógrafo. El almidón de maíz muestra un rápido incremento de la viscosidad después de la gelatinización, hasta llegar a un punto máximo. La viscosidad disminuirá gradualmente durante el periodo de mantenimiento de la temperatura y posteriormente tendrá un incremento muy fuerte mientras la pasta se enfría y retrograda. El almidón de maíz ceroso prácticamente no tiene moléculas lineales de amilosa, es altamente estable y resistente a la retrogradación; al contrario, los almidones con alto contenido de amilosa tienen una retrogradación muy rápida. Su pasta permanecerá fluida y clara e incrementará su viscosidad más

rápidamente que el maíz regular, su viscosidad máxima será mayor y se obtendrá más rápidamente produciendo pastas con poco cuerpo y muy cohesivas.

#### **7. 5. 1. 2. Retrogradación.**

Este fenómeno se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente y accionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; se puede efectuar por diferentes rutas que dependen de la concentración y de la temperatura del sistema. Si se calienta una solución concentrada de amilosa y se enfría rápidamente hasta alcanzar la temperatura ambiente se forma un gel rígido y reversible, pero si las soluciones son diluidas, se vuelven opacas y precipitan cuando se dejan reposar y enfriar lentamente. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación que está relacionada con su contenido de amilosa (BADUI, 1999).

La retrogradación según LINDEN y LORIENT (1996), corresponde a la formación de ligaduras entre las cadenas de las moléculas alineadas. De ello resulta el fenómeno de sinéresis, con eventual exudación de líquido y caída de la viscosidad. La retrogradación es tanto más rápida cuanto más elevada sea la proporción de amilosa lineal.

Los geles de amilosa tienden a la retrogradación. Se denomina así el paso en gran medida irreversible del estado disuelto, fuertemente hinchado, a un estado microcristalino insoluble sin hinchar, que se consigue también por enfriamiento lento de

un gel de almidón. La tendencia a la retrogradación se favorece con temperaturas bajas, especialmente en torno a los 0° C, pH neutro, concentraciones altas y con la presencia de sustancias tensioactivas. Depende del peso molecular y del tipo de almidón y aumenta en la serie < maíz < trigo (BELITZ y GROSCH, 1997).

Yuan y col (1993) realizaron estudios con amilopectinas provenientes de diferentes genotipos de maíz ceroso, encontraron que se presentaban una mayor proporción de cadenas largas, tenía mayor tendencia a retrogradar, que aquellas que mostraron una mayor proporción de cadenas cortas.

## 8. MARCO TEORICO

### 8. 2. *Fundamentos teóricos.*

#### 8. 2. 1. Maíz (*Zea Mays L.*)

##### 8. 2. 1. 2. Descripción botánica

El maíz, no se le conoce con exactitud su origen, según investigaciones arqueológicas indican que se cultiva en México desde hace más de 4500 años expandiéndose por casi todo el continente. Fue llevado a Europa en el año de 1694 extendiéndose su cultivo por todo el mundo. El maíz fue cultivado por primera vez en Colombia por los indios Tayronas, en el valle de bajo magdalena. El maíz es el principal producto vegetal que se produce, procesa y consume en Latinoamérica.

Es una planta gramínea, monoica, sus hojas son largas de gran tamaño se encuentran abrazados al tallo, los extremos de las hojas son muy afiladas y cortantes, el tallo es simple erecto de elevada longitud puede alcanzar los 4 metros de altura es robusto y sin ramificaciones, por su aspecto recuerda al de una caña. La raíz es fasciculada y proporcionan un perfecto anclaje a la planta. El fruto del maíz es una cariósida, conformado por una corona, dos caras y el escudete, con el embrión.

##### 8. 2. 1. 3. Variedades

**a. Maíz tunicado (*Zea mays tunicata sturt*):** Es un tipo de maíz, cuyos granos están encerrados en una vaina. La mazorca esta cubierta por una envoltura foliar como las de otros tipo de maíz. Normalmente no se cultiva en forma comercial.

**b. Maíz Reventón (*Zea mays everata Sturt*):** los granos son pequeños, redondeados, amarillo intenso o anaranjado, o aguzados y blanquecinos. Este maíz es una forma extrema del maíz duro, cuyo endosperma solo contiene una pequeña parte de almidón blando. Se usa para pop Corn e industria contera.

**c. Maíz Cristalino (*Zea mayz idurata Sturt*):** sus granos son duros y vítreos de forma redondeada o puntuda. El color del grano es amarillento o anaranjado y su velocidad de secado comparativamente mas lenta.

**d. Maíz Dentado (*Zea mays indenata sturt*):** Es el tipo mas extensamente cultivado. Se caracteriza por una depresión en la corona del grano. El almidón corneo esta acumulado en la periferia del grano, mientras que el blanco o harinoso llega hasta la corona, produciendo el indentado a la madurez.

**e. Maíz amilaceo (*Zea mays amilacea Sturt*):** Maíz harinoso o amilaceo, algo parecido al maíz cristalino en las características de las plantas y de la mazorca. Los granos están constituidos principalmente por almidón blando y son escasamente o no dentados. Es uno de los tipos más antiguos de maíz, es usado en la fabricación de harinas porque le confieren un color más blanco.

**f. Maíz Dulce (*Zea mays saccharata Sturt*):** Granos con alto contenido de azúcar, de aspecto transparente y consistencia cornea cuando inmaduros. Al madurar la superficie se arruga. El maíz dulce difiere del dentado por un gen que permite la conversión de la parte de almidón en azúcar. Se consume fresco, congelado o enlatado.

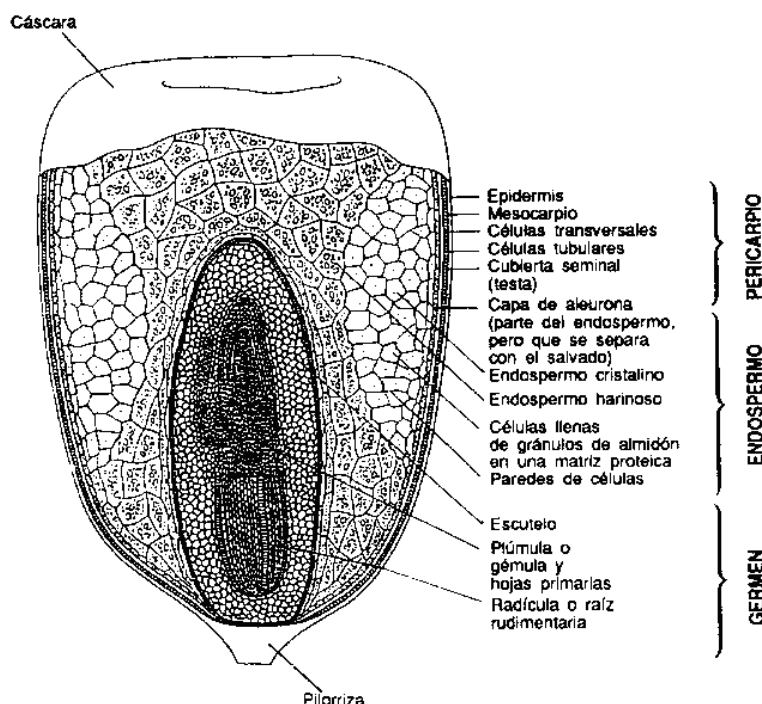


**g. Maíz Cerezo o cerozo (*Zea mays ceritina kulesh*):** Granos de aspecto ceroso. El almidón esta constituido exclusivamente por amilopectina, mientras que en los otros tipos el almidón es 73% amilopectina, 27 amilosa. Se cultiva para producir almidón semejante a la tapioca.

**8. 2. 1 .4. Estructura biológica del grano de maíz.**

El maíz esta constituido por el germen o embrión representa el 12% del grano; el endosperma representa el 82% del grano, es la estructura de almacenamiento del grano de maíz constituye su principal reserva energética el almidón; el pericarpio que es la cubierta del grano representa el 5%, este protege a la semilla de hongos y bacterias antes y después de la siembra y el pedicelo representa el 1% se encuentra en la base del grano. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

**Figura 2. Estructura interna del grano de maíz.**



Fuente: Illiones, J. (1964) [http://www.google.com.co/imgres?um=1&hl=es&client=firefox-a&sa=N&rls=org.mozilla:es-ES:official&biw=1138&bih=497&tbm=isch&tbnid=nAhMW3k8FNy8sM:&imgrefurl=http://viveono.blogspot.com/&docid=IZV3gfk13jV7hM&imgurl=http://4.bp.blogspot.com/\\_KChvZLHAaSw/S-H6J25tgYI/AAAAAAAAA44/kolkbvcIY2s/s1600/T0395S00.gif&w=655&h=651&ei=zISeUIriGIuc9QTvzYG4Cg&zoom=1&iact=hc&vpx=239&vpy=166&dur=386&hovh=151&hovw=152&tx=114&ty=102&sig=100867812007827635634&page=1&tbnh=143&tbnw=144&start=0&ndsp=12&ved=1t:429,r:1,s:0,i:135w.fao.org](http://www.google.com.co/imgres?um=1&hl=es&client=firefox-a&sa=N&rls=org.mozilla:es-ES:official&biw=1138&bih=497&tbm=isch&tbnid=nAhMW3k8FNy8sM:&imgrefurl=http://viveono.blogspot.com/&docid=IZV3gfk13jV7hM&imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_KChvZLHAaSw/S-H6J25tgYI/AAAAAAAAA44/kolkbvcIY2s/s1600/T0395S00.gif&w=655&h=651&ei=zISeUIriGIuc9QTvzYG4Cg&zoom=1&iact=hc&vpx=239&vpy=166&dur=386&hovh=151&hovw=152&tx=114&ty=102&sig=100867812007827635634&page=1&tbnh=143&tbnw=144&start=0&ndsp=12&ved=1t:429,r:1,s:0,i:135w.fao.org)

### **8. 2. 1. 5. Calidad del grano de Maíz.**

La calidad del grano de maíz esta asociada con su constitución física y química, los resultados de los diferentes análisis darán como resultado como se encuentra el grano de maíz y de esto dependerá el éxito de la producción, esta es una preocupación fundamental de una empresa. El aumento de proteína en el grano esta asociada con la calidad del mismo, el mejoramiento genético del grano a sido de gran importancia ya que se modifica la dureza del endosperma, los porcentajes de aceites, proteína y almidón del grano.

### **8. 2. 2. EL ALMIDÓN.**

El almidón es una fuente de energía reservada en granos de cereales. La cantidad de almidón varía en cada grano entre el 60 y 75% del peso del grano y suministra el 70-80% de calorías consumidas por humanos en todo el mundo. (Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999)

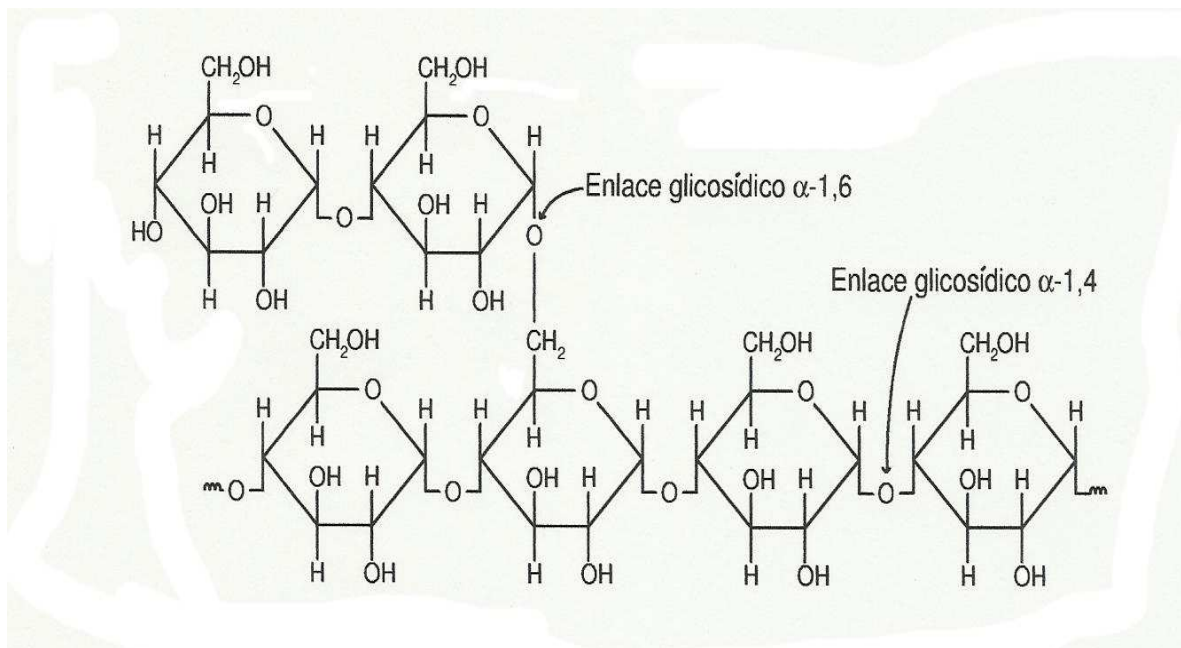
El análisis de almidón de diferentes vegetales muestra que se encuentra en los tejidos en forma de gránulos cuya forma y tamaño son características para cada vegetal. La utilización del almidón como componente alimentario se basa en sus propiedades de interacción con el agua, especialmente en la capacidad de formación de geles. La mayor parte de la producción de maíz se utiliza en la nutrición para el consumo humano y animal.

El almidón funciona principalmente como una fuente de carbohidratos para el crecimiento de la planta, y es consecuentemente la fuente principal de energía almacenada en la planta.

### 8. 2. 2. 1. Química del carbohidrato básico.

El almidón, es básicamente polímeros de D-glucosa de azúcar de 6 carbonos, enlazados juntos por enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 (Fig. 2). Al formar estos enlaces el carbón numero 1 (C1) en la molécula D-glucopiranososa reacciona con el carbón numero 4 (C4) o el carbón numero 6 (C6) de una molécula adyacente. Debido a que el grupo aldehído en un extremo del polímero de almidón siempre tiene un extremo de reducción, el otro extremo es no reductor. Dependiendo del número de ramificaciones de polímeros presentes en una molécula de almidón podría haber un gran número de terminales no reductores.

**Figura 3. Enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 de almidón.**



Fuente: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999

La formación de un enlace  $\alpha$  está determinada por la orientación del grupo hidroxilo (-OH) en el C1 del anillo piranosico (Fig.3) el enlace  $\alpha$  permite a algún polímero de almidón formar estructuras helicoidales.

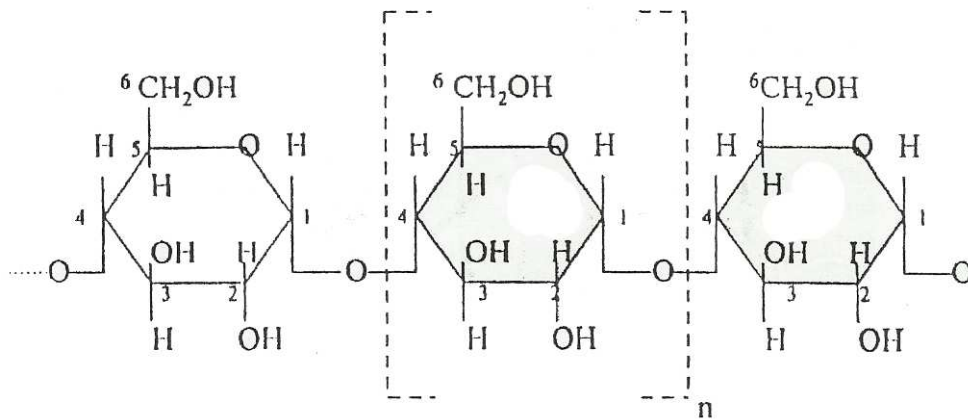
Sus dos estructuras poliméricas diferentes: la amilosa y la amilopectina cerca del 20% de los almidones es amilosa y 80% amilopectina.

#### **8. 2. 2. 2. Amilosa**

La amilosa es un polímero, este es lineal compuesto de D-glucopiranosico enlazada  $\alpha$ -1,4 (Fig.2.) Aunque particularmente es ilustrado como una estructura de cadena recta, es frecuentemente helicoidal. Es soluble en agua caliente esto se debe a la formación de una suspensión helicoidal, la amilosa es más elástica que la celulosa ya que tiene formación de cadenas en forma de hélice y sus fibras y películas son más elásticas.

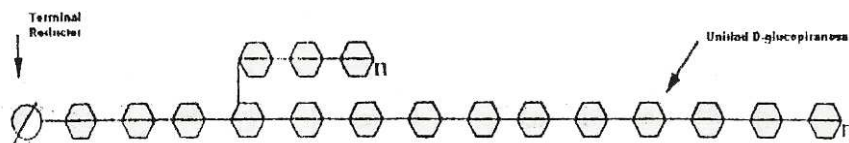
La amilosa tiene habilidad para formar un gel después de que el granulo de almidón sea cocinado, la formación de gel es el resultado de la reasociación de los polímeros de almidón solubilizados (retrogradación) después de estar a una alta temperatura, ocurre bastante rápido con la amilosa de polímero lineal.

**Figura 4. Enlace  $\alpha$ -1,4 de amilosa.**



Fuente: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999

**Figura 5. Modelo de amilosa, puede ser representada como una cadena recta o hélice.**

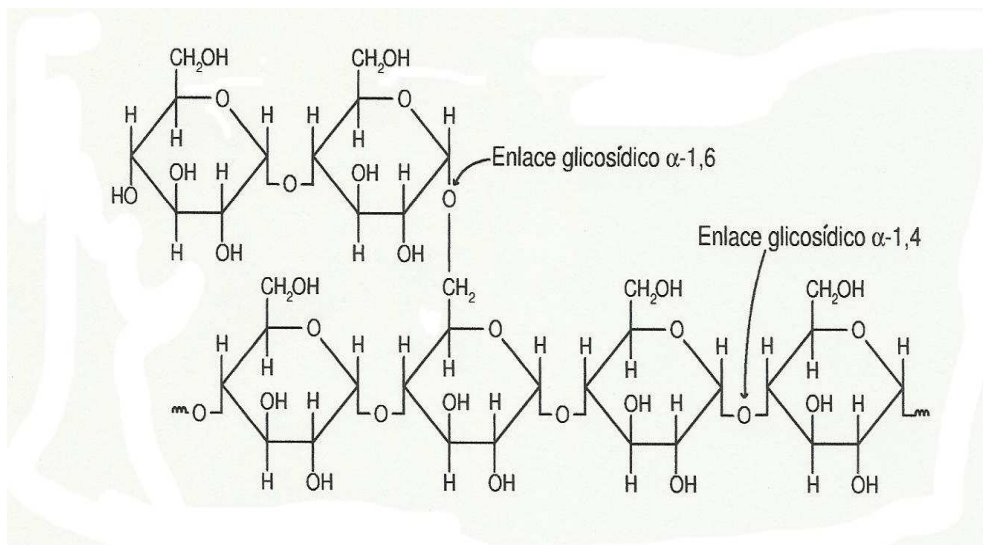


Fuente: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999

### 8. 2. 2. 3. Amilopectina

La amilopectina, es la molécula predominante en la mayoría de los almidones normales, tiene propiedades expansivas, es un polímero más grande que la amilosa y es ramificada, esta compuesta de segmentos de glucosa enlazada  $\alpha$ -1,4 conectada a puntos de ramificación enlazados  $\alpha$ -1,6. Debido al tamaño de la molécula su retrogradación es disminuida y la formación de gel puede ser demorada o evitada. La retrogradación es el proceso que ocurre cuando las moléculas que componen el almidón gelatinizado empiezan a reasociarse, permitiendo una estructura mas ordenada.

**Figura 6. Enlaces glucosidicos  $\alpha$ -1,4 y  $\alpha$ -1,6 Amilopectina.**



Fuente: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, 1999

**Cuadro 2. Ficha técnica. Maíz.**

<b>Nombre común</b>	Maíz, Choclo, Abá, Yomo
<b>Nombre científico</b>	Zea Mays L.
<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Clase</b>	Angiosperma
<b>Subclase</b>	Monocotiledóneas
<b>Orden</b>	Glumiflorales
<b>Familia</b>	Gramíneas
<b>Genero</b>	Zea
<b>Especie</b>	Mays L.

Fuente: Hernández, E. (2009). Módulo de Cereales y Oleaginosas, Sogamoso.Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

**Cuadro 3. Composición química del grano de maíz.**

Fracción	%Grano	%Almidón	%Proteína	%Aceite	%Azúcares	%Cenizas
Grano entero	-	71.5	10.3	4.8	2.0	1.4
Endospermo	82.5	86.4	9.4	0.8	0.6	0.3
Embrión	11.5	8.2	18.8	34.5	10.8	10.1
Pericarpio	5.5	7.3	3.7	1.0	0.3	0.8

Fuente: Hernández, E. (2009). Módulo de Cereales y Oleaginosas, Sogamoso. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

**Cuadro 4. Composición nutricional del Maíz por cada 100grs**

Elemento o compuesto	Unidad	Total
Agua	%	12gr
Grasa	%	3.5gr
Proteínas	%	9.5gr
Carbohidratos	%	73.9gr
Fibra	%	1.0gr
Potasio	%	287mg
Fósforo	%	210mg
Hierro	%	2.3mg
Sodio	%	35mg
Manganeso	%	0.48mg
Magnesio	%	127mg
Calcio	%	10mg
Cinc	%	2.21mg
Selenio	%	15.25mcg

Vitamina B1 (Tiamina)		0.45mg
Vitamina B2 (Riboflavina)	%	0.20mg
Calorías	%	356Kcl
Niacina	%	3.62mg

Fuente: Hernández, E. (2009). Módulo de Cereales y Oleaginosas, Sogamoso. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

**Cuadro 5. Ficha técnica del producto**

Nombre del producto	Almidón de Maíz
Nombre comercial del producto	Almidón o fécula de Maíz
Calidad	Cumplir con la norma NTC – 926
Generalidades	El almidón de maíz es el producto obtenido por molienda húmeda del grano de maíz.  Almidón de maíz sin modificar y/o modificado se utiliza en la industria alimentaria, industria textil y en la industria de papel y cartón.
Requisitos generales	Se debe presentar en forma de polvo fino blanco, libre de suciedad u otras impurezas, no debe tener olor.  No se permite la adición de edulcorantes, saborizantes ni ningún otro aditivo
Requisitos específicos	El almidón o fécula de maíz sin modificar para la industria alimentaria debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma NTC- 926 y Microbiológicos.
Vida útil	Doce meses, a partir de la fecha de fabricación conservando todas sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas, siguiendo las condiciones de almacenaje.



Empaque y rotulado	Se debe empaquetar en bolsas de papel Kraft o plásticas que permitan conservar la calidad e higiene del producto y facilitar el manejo. El rotulado del producto debe cumplir con la resolución No 05109 del Ministerio de Protección social.
Presentación	En bolsas de papel Kraft o de plástico por kilogramos

**Fuente:** Laboratorio Molinos del Cauca, (Marzo 2008).

**Cuadro 6. Requisitos fisicoquímicos.**

<b>Humedad</b>	11,5 a 13,0% Máximo
<b>Proteína</b>	0,50% Máximo
<b>Grasa</b>	0,25% Máximo
<b>Fibra</b>	0,12% Máximo
<b>Ceniza</b>	0,25% Máximo
<b>pH</b>	5 a 7
<b>Punto de gel</b>	72 a 74° C
<b>Sensibilidad alcalina</b>	39 a 69ml
<b>Tappi</b>	0.12% Máximo

Resultados investigación laboratorio Molinos del Cauca, (marzo del 2008).

**Cuadro 7. Requisitos microbiológicos**

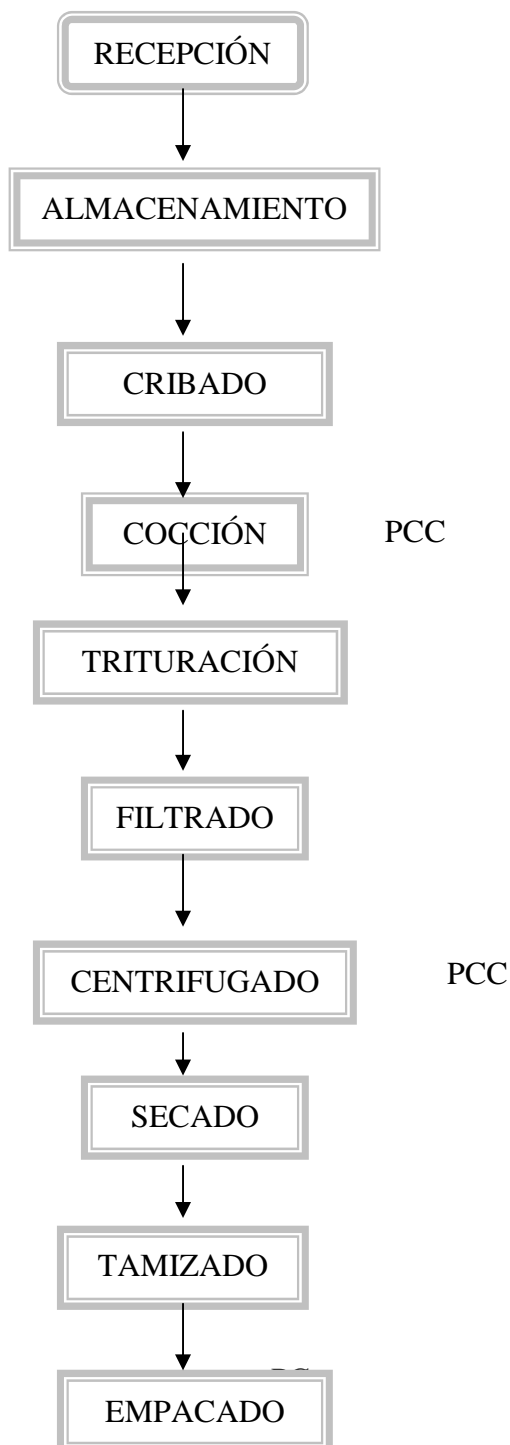
Recuento bacterias aerobios mesófilos	500 U.F.C/g
Recuento de mohos y levaduras	Hasta 500 U.F.C/g
Coliformes totales	70 /g
Coliformes fecales	<3 /g
Estafilococos coagulasa positiva	Hasta 100 U.F.C/g

Resultados investigación laboratorio Molinos del Cauca, (marzo del 2008).

### 8. 2. 3. Extracción del almidón del grano de maíz

Los procesos que se describen a continuación del diagrama de flujo son producto del proceso real de la molienda húmeda realizada en Molinos del Cauca, después de analizar a los autores Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, (1999).

#### 8.2. 3. 1. DIAGRAMA DE FLUJO:



### **8. 2. 3. 1. Recepción**

El proceso en la extracción del almidón empieza desde la recepción de la materia prima en este caso el maíz; en él, se analiza el contenido de impureza. El contenido de impureza no debe de ser mayor a un 18%, no debe de estar infestado, presentar hongos y olor no característico. El producto es almacenado a granel o en silos

### **8. 2. 3. 2. Cribado**

Una vez realizado este análisis el maíz es cribado y empacado en sacos de 50 kilos, una vez recibida la materia prima, este es analizado y luego cribado, este es vertido a un tanque de fibra de vidrio con capacidad de 20.000Lts con agitación en su interior, se le adiciona 8.000Lts de agua a una temperatura de 50°C. Se le adiciona 25Kl de Metabisulfito de sodio, luego se le agregan 6.000Kl de materia prima ya cribada por 4.5 horas de reacción con agitación constante.

### **8. 2. 3. 3. Molienda y lavado.**

Este proceso inicia con el descargue de los tanques en reacción, se arranca en vacío las maquinas que intervienen en el proceso, luego se abre la válvula principal de descarga del tanque reactor que haya cumplido el tiempo de reacción. El descargue se hace de forma gradual y llega a un tanque recolector de 75Lts este es transportado por bomba centrifuga a un primer DCM o Screen Bend, la lechada va separada al tanque de diluido, la masa a otro tanque de 200Lts, al cual se le adiciona agua. Esta masa pasa aun segundo Screen bend por medio de otra bomba centrifuga, la lechada pasa al tanque de diluido y la masa entra al Entoleter. En este se desintegran las partículas gruesas desprendiendo el almidón, la lechada es lavado hasta que no quede slurry y el colado pasa al tanque de diluido, la fibra gruesa es lavada a través de una batería Screen Bend (6 unidades) con el fin de separar la fibra gruesa hasta llegar al ultimo Screen Bend sin

contenido de almidón. Pasa por bomba a el tanque de forraje húmedo y/o fibra húmeda aquí se concluya la molienda húmeda y se sigue a otra etapa.

#### **8. 2. 3. 4. Centrifugado**

En esta etapa se hace la separación de la proteína al almidón y un porcentaje considerable de agua.

Toda la lechada que viene de la extracción de los Screen Bend llega a un tanque de 4.000Lts con un baume de 8 y 9 grados, a través de una bomba centrífuga la lechada pasa a un filtro de autolimpieza, este filtro retiene todas las partículas mayores a 1 mm de diámetro, la lechada alimenta inicialmente a una centrífuga Qx, la función de esta es iniciar el lavado de la lechada en su mayoría retira agua proteína por el over flow y por el under flow sale slurry con baume de 10 a 12 grados a tanques de 20Lts, esta agua proteína pasa a través de una bomba alimentando a una segunda centrífuga Tx2, cuya función es seguir separando agua proteína incrementando el baume del slurry a 14 grados y retirando agua proteína por el over flow y por el under llega a un tanque de 20Lts, a través de una bomba, la lechada se alimenta a una tercera centrífuga Tx1, esta ultima se encarga de concentrar mas el slurry retirando mas agua hasta llevarla a 18 y 21 grado baume saliendo por el over flow agua mas limpia y por el under el slurry de coloración muy blanca, este almidón pasa por un tanque de concentrado para luego pasar a otra etapa.

#### **8. 2. 3. 5. Filtración**

El almidón proveniente de las centrifugas ya concentrado es almacenado en un tanque de 4.000Lts allí se mide el pH y se lleva a 4.5 a 6.0 con ácido clorhídrico, luego pasa por un filtro de vacío que consta de un tambor que lleva una tela de 5 micras, la bomba de vacío hace una succión a través de la tela formando una torta húmeda

separando el agua y devolviéndola al proceso, la torta que esta sujeta en la tela es cortada por una cuchilla que al girar el tambor la parte sumergida crea una nueva torta que luego es filtrada y retirada por la cuchilla esta cae en mezcladora y dosifica la cantidad para alimentar el sistema de secado.

#### **8. 2. 3. 6. Secado del almidón**

En el mismo tiempo que se esta iniciando el filtrado de almidón en el filtro de vacío se arranca el ventilador de almidón y se procede a hacer el arranque del quemador de gas, de acuerdo a la temperatura requerida para secar el almidón se gradúa entre 60 y 65 grados centígrados, una vez obtenida se empieza a dosificar el almidón a través de un ducto de secado, en el tiempo que se demora el almidón en llegar a los ciclones es el requerido para secarse entre 11 a 13 por ciento de humedad, en los ciclones se separa el aire caliente saliendo por la parte superior del ciclón y el almidón se deposita en la tolva.

#### **8. 2. 3. 7. Empaque**

En la ultima etapa del producto terminado el almidón ya depositado en la tolva, es transportado por un sinfín a un tamizador, cuya función es separar los geles o partículas extrañas cuya granulometría sea mayor a 200 micras que sale como rechazo, el producto ya tamizado sale de la tolva de empaque, que a través de una boquilla se llena la bolsa y se pesa de acuerdo a lo requerido, 25 o 12Kls luego se cose se enumera de acuerdo al lote correspondiente, se estiba y se almacena hasta su despacho.

### ***8. 3. Análisis en el proceso, puntos de control y análisis finales***

Los análisis en el proceso de la molienda humedad para la extracción del almidón del grano de maíz (*Zea mays L*), son los siguientes:

En la etapa de empacado del almidón se toma cada 30min una muestra del almidón seco que sale de la tolva, para determinar humedad, Dry Gritz, NSR, pH, olor y color, al terminar un lote se determina una muestra promedio de todas las muestras tomadas, a esta muestra se le hace análisis fisicoquímico, microbiológico y sensoriales para determinar si el producto esta acto para la industria de alimentos, o cumple requisitos para su modificación. Todo de acuerdo a lo que se requiere según el cronograma de producción.

Los puntos critico son en la reacción y en el centrifugado ya que e estas 2 etapas puede haber una perdida de almidón muy considerable.

#### **8. 3. 1. Humedad del almidón secado.**

Esta se toma cada 30 min. Unos 100Grs aproximadamente de muestra, se pesa 5.0Grs uniformemente en una balanza de humedades Mettler Toledo, esta calienta la muestra a cierta temperatura por 15 a 20 minutos y por diferencia de peso da el resultado de cuanto % de humedad contiene la muestra

#### **8. 3. 2. Centrifugado.**

En esta se toma muestra en el Under Flow de la centrifuga y se determina que grados baume tiene el slurry, se toma una muestra de agua proteína y se centrifuga por 5 min. Para mostrar si esta pasando almidón hacia el Over Flow

#### 8.4. Antecedentes

Según informe de FAO-OMS (1980). Se ha demostrado en la literatura (Wurzburg y Szymansky, (1970), Whistler et al. (1984) y Gerhardt, (1980) que el objetivo de la modificación de almidón es mejorar sus propiedades de tal modo que resista condiciones rigurosas de procesamiento.

Los estudios sistemáticos sobre el almidón se remontan a 1974, cuando Lelievre relacionó la gelatinización del almidón con la fusión de los polímeros homogéneos. Marchant y Blanshard, en 1978, demostraron que durante la gelatinización ocurren tres procesos: difusión del agua dentro del grano, desaparición de la birrefringencia, y expansión del gránulo.

Evans y Haisman en 1982, aplicaron técnicas calorimétricas para comprobar la pérdida de estructura física del almidón al gelatinizar; esta pérdida estructural fue demostrada por Zobel en 1988. En 1988 Atwell definió la gelatinización como un fenómeno durante el cual el orden molecular dentro del gránulo de almidón colapsa. Recientemente los estudios de Baks (2007) y de Habeych (2009) han propuesto un modelo matemático y teórico para explicar el comportamiento de la gelatinización del almidón.

El aumento en el porcentaje de almidón en la molienda húmeda, el rendimiento y la eficiencia siempre será una meta a la que todo profesional quiere llegar en el área de producción, durante mucho tiempo este ha sido un factor clave para empresas

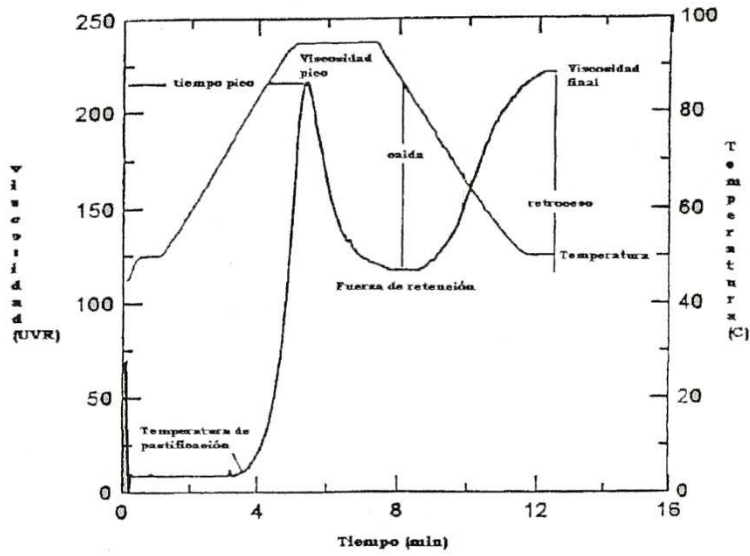
molinerías. La sensibilidad alcalina hoy en día es un requisito previo para una buena modificación y para obtener un producto de buena calidad para industrias alimentarias, textiles, papel, cartoneras y farmacéuticas.

El problema radica en la sedimentación parcial y/o la no sedimentación de una muestra de almidón suspendido en una solución alcalina, compuesta de hidróxido de sodio (NaOH) y borato de sodio ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). Lo cual indica en su resultado como están los gránulos de almidón, estos resultados están relacionados con el tiempo de reacción y la temperatura con la que se inicia la reacción, también esta relacionada con la viscosidad durante el calentamiento, medidos por medio del Micro-viscosímetro Brabender, el cual mide la viscosidad del almidón con respecto al tiempo. Entre más alta sea la viscosidad de un almidón natural más estará apto para la modificación. Los factores que se tienen en cuenta son la viscosidad pico (punto B), y la viscosidad final (punto F); en donde se tiene en cuenta su retrogradación, los almidones naturales tienen normalmente una retrogradación más alta que la viscosidad pico (punto B) a diferencia de los almidones modificados que su retrogradación es mucho más baja inclusive puede llegar a casi cero.

**La retrogradación** consiste en dos procesos separados, primero la gelificación de las moléculas exudadas de amilosa de los gránulos durante la gelatinización y segundo, la recristalización de la amilopectina. La reasociación de la amilosa y amilopectina en el almidón gelatinizado incrementa su rigidez entre los gránulos hinchados (Franco, M. Lajolo, E. Wenzel de Menezes, 2006)

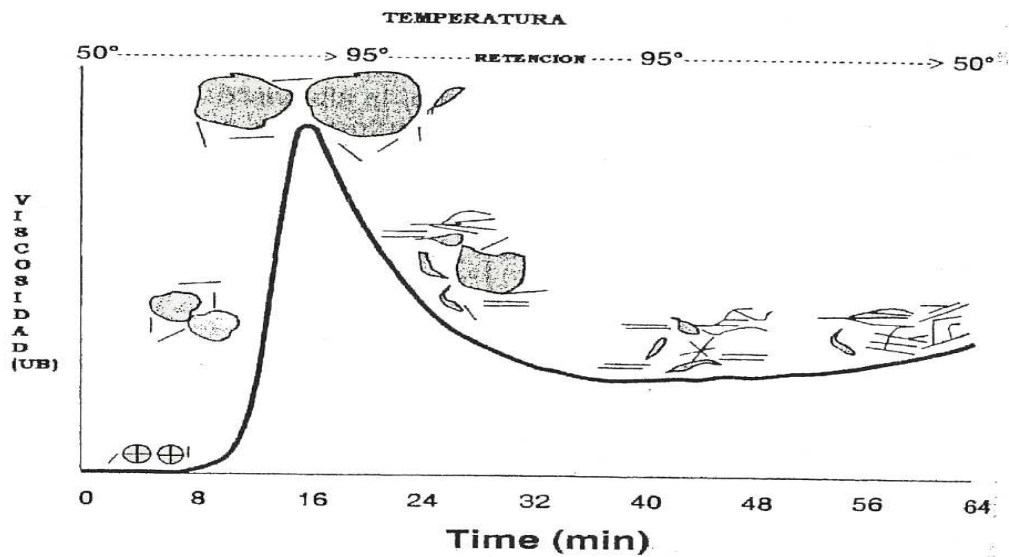


Figura 7. Análisis Brabender en almidón natural.



Fuentes: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, (1999.)

Figura 8. Análisis Brabender en almidón modificado



Fuentes: Starches by David J. Thomas and William A. Atwell, Eagan press, (1999)

Por medio de esto se estableció que los almidones analizados que dieron una sensibilidad alcalina alta presentaron en su prueba funcional; el buñuelo, su miga era regular, su viscosidad pico era alta al igual que su viscosidad final comparada con las demás en donde su sensibilidad pico y final eran bajas en comparación a esta.

#### **8. 5. Identificación de variables.**

El control de las variables garantizan un factor determinante de éxito en toda investigación, en este trabajo se tiene en cuenta los factores de tiempo, reacción, temperatura, dosificación de reactivos, análisis Brabender y la observación de la precipitación de los gránulos de almidón influenciados por el carbonato ácido de sodio en el análisis de sensibilidad alcalina, influyentes en el producto final y obteniendo resultados favorables.

Las variables a controlar son tiempo de reacción, temperatura y sensibilidad alcalina

A través del análisis Brabender se puede analizar el comportamiento de viscosidad, con tiempo y temperatura establecidos. Las horas de reacción del maíz cribado y temperatura se deben ajustar a 3,5hrs - 48°C con el fin de mejorar las condiciones de sensibilidad alcalina a 40ml. En el desarrollo de esta tesis se describe detalladamente el proceso.

## **9. FASES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

La ejecución del proyecto se realizó en tres fases:

### **9. 1. Fase 1- Plan de trabajo**

Se define claramente la labor a realizar, así como establecer el plan y programa de trabajo con el propósito de llegar a conclusiones y premisas generales que puedan ser aplicadas para obtener la mejor solución.

Una de las problemáticas de la industria colombiana dedicadas a la extracción del almidón de maíz es lograr obtener un producto de buena calidad, ya que permanentemente se ven expuestos a amenazas internas originadas durante la modificación provocando daños en los granos de almidón lo cual limita aumentar la calidad del almidón, esta situación está relacionada por el tiempo de reacción, la temperatura y la influencia de los reactivos utilizados.

El propósito de esta fase es aumentar durante el proceso de extracción el rendimiento del almidón a partir del grano de maíz (*Zea mays L.*), empleando el carbonato de ácido sódico y de esta manera poder determinar cuál es la influencia que este tiene en las propiedades físico-químicas del slurry.

### 9. 2. Fase 2- obtención de datos reales.

En todo problema de ingeniería, si se logra obtener datos reales, la solución resulta fácil, no obstante se debe reunir datos sobre la muestra que se quieren analizar y los demás factores que intervienen y estar convencidos de que los datos obtenidos son reales y que por consiguiente no han sido manipulados, ni tampoco son registros o datos inexactos.

Se obtienen los resultados a través de los análisis de sensibilidad alcalina, prueba Spin y análisis Brabender.

### 9. 3. Fase 3- analizar y decidir la mejor solución

- Se organiza los datos obtenidos de las muestras realizadas, para compararlas con parámetros ya establecidos:
- **Color:** Blanco hueso
- **Olor:** Característico
- **Grados Baume:** Entre 19 y 21° Be
- **Sensibilidad alcalina:**

**Almidón muy bueno:** de 46ml a 50ml y sobrenadante transparente

**Almidón bueno:** sedimentación del almidón y capa turbia gelatinosa igual y/o por debajo de 70ml.

**Almidón malo:** cuando la capa gelatinosa esta por encima de los 70ml.

- **Determinación del pH:**

De 4.5 a 7 Slurry natural.

De 5.5 a 6.5 Slurry modificado

- **Análisis Brabender:**

Punto B: Menor de 500 BU

Punto F: Máximo 280 BU

En esta fase se determina el porcentaje adecuado de carbonato de ácido sódico y se analizó que el grano de almidón no sufre maltrato por el reactivo empleado lo cual favorece las propiedades fisicoquímicas del slurry.

## **10. METODOLOGIA**

En la elaboración del proyecto se realizó un estudio experimental con el fin de obtener la concentración óptima de  $\text{NaHCO}_3$  en las propiedades fisicoquímicas del slurry y lograr mayor sensibilidad alcalina.

### ***10. 1. Población y muestra***

Los estudios se realizaron en la planta de producción de Molinos del Cauca S.A. de Barranquilla, sin manipular variables deliberadamente, con el fin de realizar un ensayo específico en las muestras de almidón de maíz, para uso productivo en industria cartonera con un porcentaje de carbonato ácido de sodio que no altere agresivamente la materia prima y permita obtener resultados favorables.

Se abarcan dos muestras:

La muestra (1) se toman 3 lotes de 6.000kls de maíz cribado dispersados en 8.000lts de agua cada uno, todos los lotes contienen el mismo tipo de maíz (*Zea mays L*).

Para la muestra (2) se toman 3 muestras de 100grs de almidón cada una tomada de un promedio representativo del lote de almidón seco de los tres reactores de la muestra (1).

### ***10. 2. Técnicas y recolección de datos.***

Se basa inicialmente en la observación en diferentes tiempos de reacción, 5hrs, 4,5hrs y 3,5hrs diferentes grados de temperatura: 50 y 48°C y tiempo de homogenización del metabisulfito de sodio previo a la dispersión para cada tanque reactor; 5 minutos. Además de la sensibilidad alcalina y análisis Brabender para determinar variaciones en la calidad del almidón en cada uno de ellos, tomando anotaciones al respecto.

Tomando muestras finales representativas y recolectando datos de que manera influye el carbonato ácido de sodio en el almidón para la industria cartonera, textil y/o industrial del slurry previo a la modificación. Consignando los valores registrados y sometidos a procesos de tabulación y análisis de la información

### ***10. 3. Tratamiento de la muestra***

La muestra (1) se clasifica en muestra 1A, 1B y 1C. La muestra 1A presenta las siguientes condiciones, se le adiciono Metabisulfito de sodio 25Kgs, se dejo agitando por 5 minutos y luego se adiciono los 6.000Kls de maíz cribado, con un tiempo de reacción de 5 horas, con agitación constante y la temperatura en el reactor es de 50°C.

La muestra 1B, presenta las siguientes condiciones, se le adiciono Metabisulfito de sodio 25Kls, se dejo agitando por 5 minutos y luego se adiciono los 6.000Kls de maíz

cribado, tiempo de reacción de 4 horas, con agitación constante y temperatura en el reactor de 50°C.

La muestra 1C, presenta las siguientes condiciones, se le adiciono Metabisulfito de sodio 25Kls, se dejo agitando por 5 minutos y luego se adiciono los 6.000Kls de maíz cribado, con un tiempo de reacción de 3.5 horas, con agitación constante y temperatura en el reactor de 48°C.

Una vez terminado el tiempo de reacción en cada uno de los reactores se toma una muestra en un vaso precipitado de 250ml se agita la muestra y se vierten en dos probeta de 5 ml y se coloca en una centrifuga Spin por 5 minutos. En ella se observa los resultados para luego ser sometido a tratamiento estadístico.

#### ***10. 4. Color, olor y grados Baume del slurry a secar.***

Se tomo una muestra representativa de 250ml del slurry pasado por la ultima centrifuga que llega al tanque de concentrado, para la muestra 1A, 1B y 1C, se le hizo análisis sensorial respecto al olor y color, luego se le tomo los grados baume a cada una de las tres muestras por medio de un hidrómetro a 100ml de slurry en una probeta, consignando los valores.

#### ***10. 5. Sensibilidad alcalina***

Se toma muestra de 50grs del almidón ya seco, en un vaso precipitado se adiciona 1.434grs de agua destilada con agitación constante, 13.3grs de Hidróxido de

Sodio y 8.10grs de Borato de Sodio, se mezcla hasta que todos los componentes se hayan disueltos, luego se pesan 145.0 de reactivos en un frasco de plástico de 250ml. Se le adicionan los 50.0grs de almidón ya previamente pesado, esta solución se agita por 4 minutos. Se vierten en 100ml de la suspensión en un cilindro graduado de 100ml, se tapa y se deja en reposo por 12 horas. Después de 12 horas se registra el volumen precipitado y la capa gelatinosa, teniendo como parámetro; almidón muy bueno, de 46ml a 50ml y sobrenadante transparente; almidón bueno, sedimentación del almidón y capa turbia gelatinosa por debajo de 70ml. Almidón malo, cuando la capa gelatinosa esta por encima de los 70ml.

A cada uno de las muestras finales de los reactores se le hizo este análisis, además se realizaron 3 análisis mas de sensibilidad alcalina de los mismos lotes pero a estos se le adicionó el 1%, 10% y 30% de carbonato ácido de sodio a la solución ya preparada, obteniendo resultados favorables para no modificar el almidón con reactivos

#### ***10. 6. Determinación del PH***

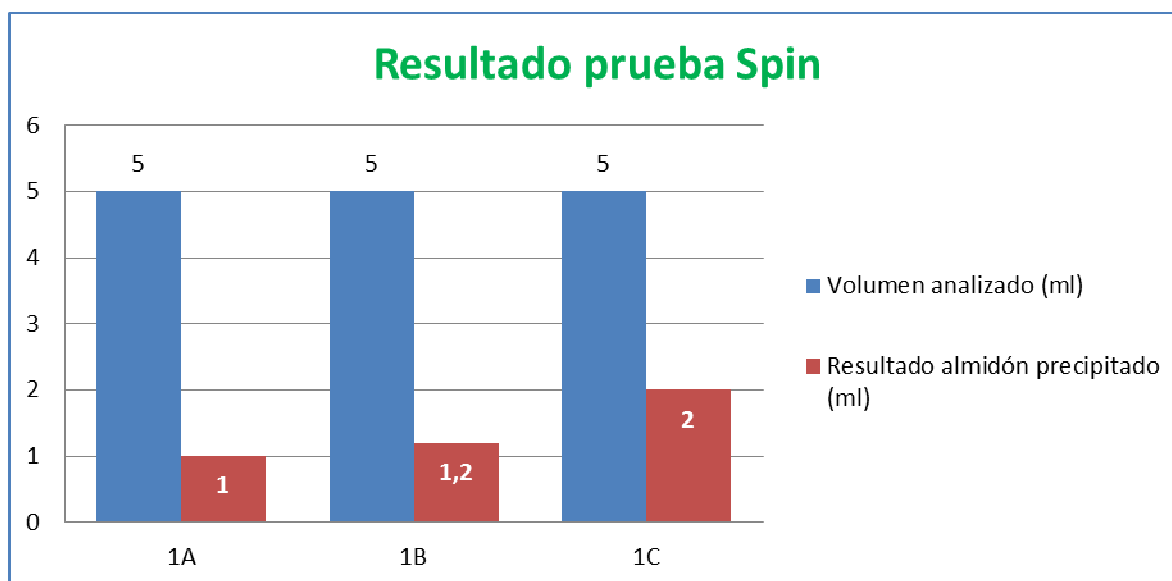
Se toma 50grs de almidón, se vierten en 250ml de agua destilada y se agitan hasta homogenizar, se toma la lectura del pH por medio del electrodo del potenciómetro el cual antes de introducirlo en la muestra se lava con agua destilada y se espera el resultado hasta que se estabilice el valor. Consignando resultados al respecto.



## 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Muestra	Volumen analizado (ml)	Resultado almidón precipitado (ml)
1A	5ml	1
1B	5ml	1.2
1C	5ml	2.0

Grafica 1. Resultado prueba en el Spin.



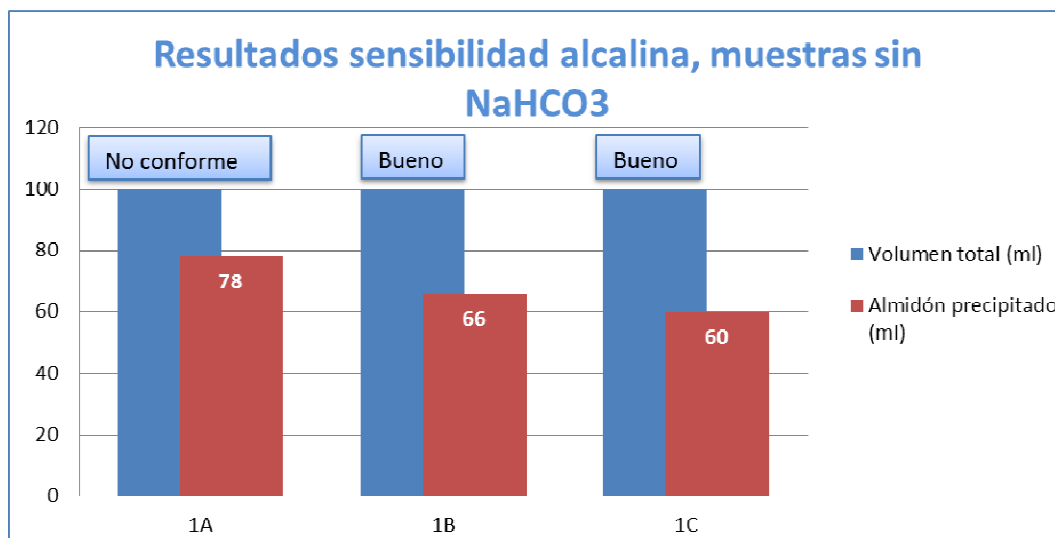
De acuerdo a la tabla de resultados se puede determinar que la muestra 1C presentó más almidón precipitado que las demás, una vez terminado las horas de reacción. De acuerdo a la investigación y sus diferentes resultados de cada una de las variables en el proceso y análisis, se determinó las siguientes observaciones de importancia; el tiempo de reacción no debe ser superior a 4 horas y su temperatura no

debe pasar de los 48°C, porque a mayor temperatura menos porcentaje de almidón, el resultado del análisis muestra que una parte del almidón de los granos de maíz cribado (*Zea mays L*), se gelatiniza y a mayor tiempo el almidón pierde % de almidón y aumenta el % de fibra. Entre mas fresco este el grano de maíz (*Zea mays L*), mejor cribado, entre más tiempo pase almacenado el grano de maíz (*Zea mays L*), al momento de ser cribado este tendrá mayor contenido de fibra.

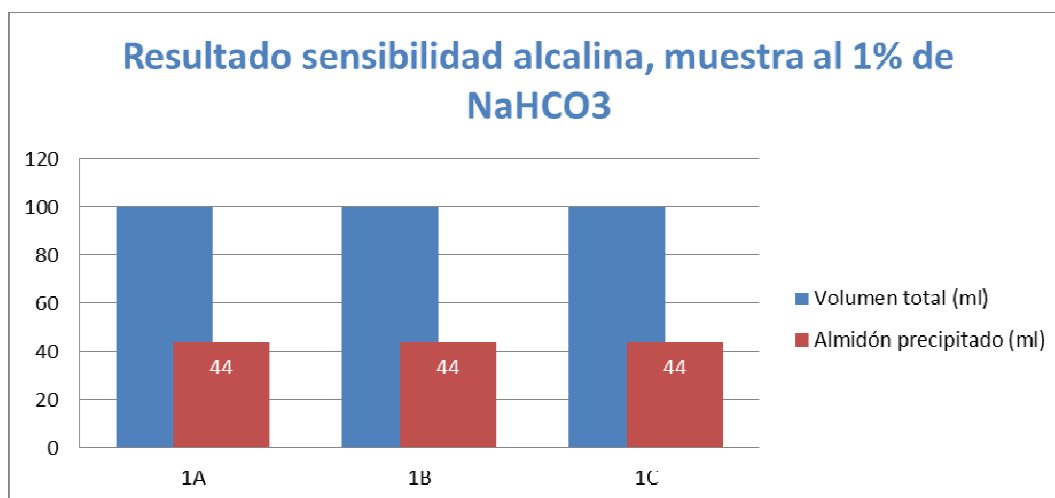
**Cuadro 9. Resultados sensibilidad alcalina obtenida.**

Muestra	Volumen total (ml)	Almidón precipitado (ml)	Calificación
1 <sup>a</sup>	100ml	78ml	Alm. Malo
1B	100ml	66ml	Alm. Bueno
1C	100ml	60ml	Alm. Bueno
1 <sup>a</sup>	100ml + 1% NaHCO <sub>3</sub>	44ml	Alm. Muy bueno
1B	100ml + 1% NaHCO <sub>3</sub>	44ml	Alm. Muy bueno
1C	100ml + 1% NaHCO <sub>3</sub>	44ml	Alm. Muy bueno
1 <sup>a</sup>	100ml + 10% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno
1B	100ml + 10% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno
1C	100ml + 10% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno
1 <sup>a</sup>	100ml + 30% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno
1B	100ml + 30% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno
1C	100ml + 30% NaHCO <sub>3</sub>	35ml	Alm. Muy bueno

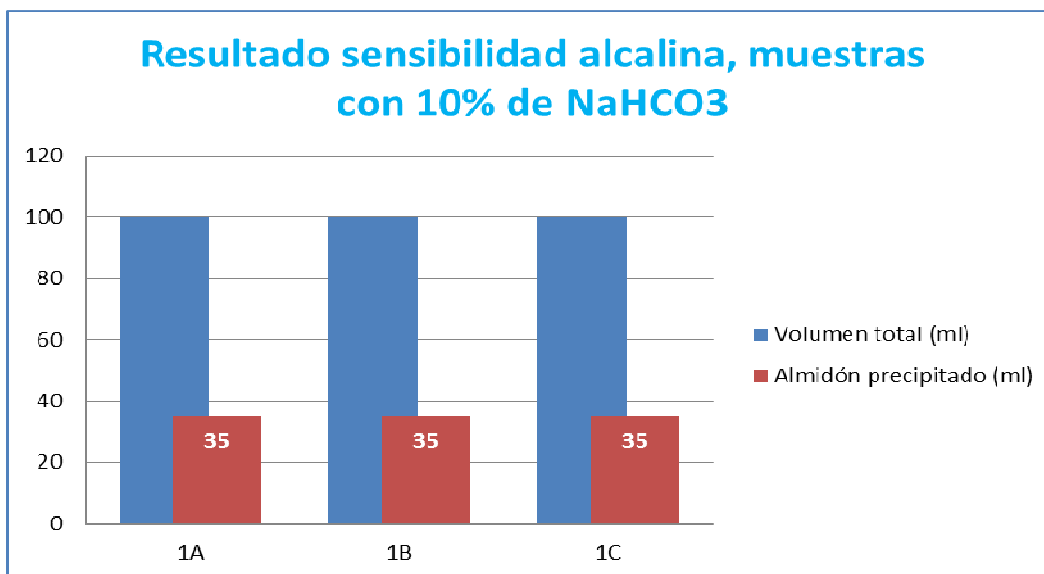
**Grafica 2. Resultado sensibilidad alcalina, muestra sin NaHCO3**



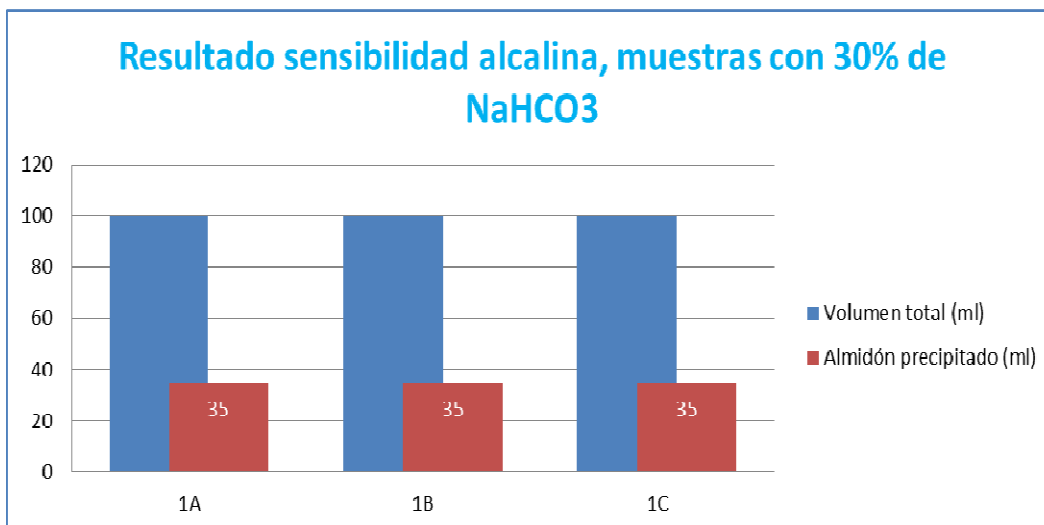
**Grafica 3. Resultado Sensibilidad alcalina, muestra al 1% de NaHCO3.**



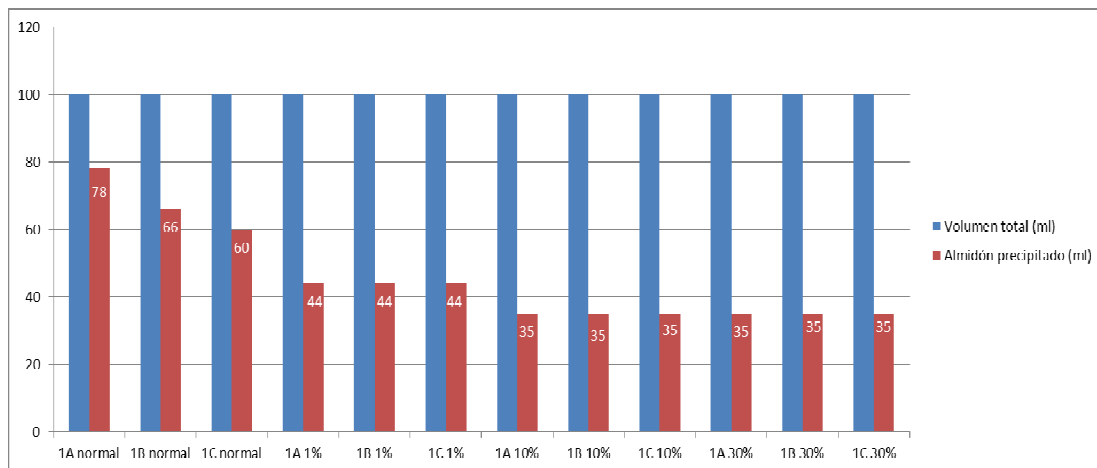
**Grafica 4. Resultado sensibilidad alcalina, muestras con 10% de NaHCO<sub>3</sub>.**



**Grafica 5. Resultado sensibilidad alcalina, muestras con 30% de NaHCO<sub>3</sub>.**



**Grafica 6. Resultado comparativo de todos los análisis de sensibilidad alcalina.**



De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar de las 3 primeras muestras que la 1C de la tabla presento un valor precipitado mayor que las muestras 1A y 1B. Esto confirma la importancia del tiempo de reacción y temperatura de reacción, sobre los granos de almidón, de acuerdo a su resultado este almidón se encuentra **bueno**, pero ninguno de los tres llegó entre los valores de 46 a 50ml, almidón muy bueno.

Con respecto al resultado anterior se le adiciona 1% de  $\text{NaHCO}_3$  a la muestra 1A, 1B y 1C obteniendo un volumen precipitado de 44ml, sin importar las condiciones iniciales de reacción para las tres muestras y sólidos precipitados de la sensibilidad alcalina normal. Se puede notar que a la hora de adicionar el 1% a la muestra los grano de almidón comienzan a hincharse y precipitarse, a las 3 horas el volumen de sólidos precipitados es de 70ml, a las 5 horas el volumen precipitado es de 59ml a las 9 horas el volumen de sólidos precipitados ya es de 44ml terminando con este valor hasta cumplir las 12 horas.

Para las muestras en donde se le adiciona el 10% de  $\text{NaHCO}_3$  a la solución para determinar la sensibilidad alcalina, se obtuvo un resultado constante comparado con las muestras en donde se le adiciono el 20% a la solución. El volumen total de sólidos precipitados fue en menos tiempo que las muestras al 1%, su tiempo fue de 7 horas aproximadamente con un volumen final de sólidos precipitados de 35ml manteniendo este valor hasta cumplir las 12 horas correspondiente al análisis.

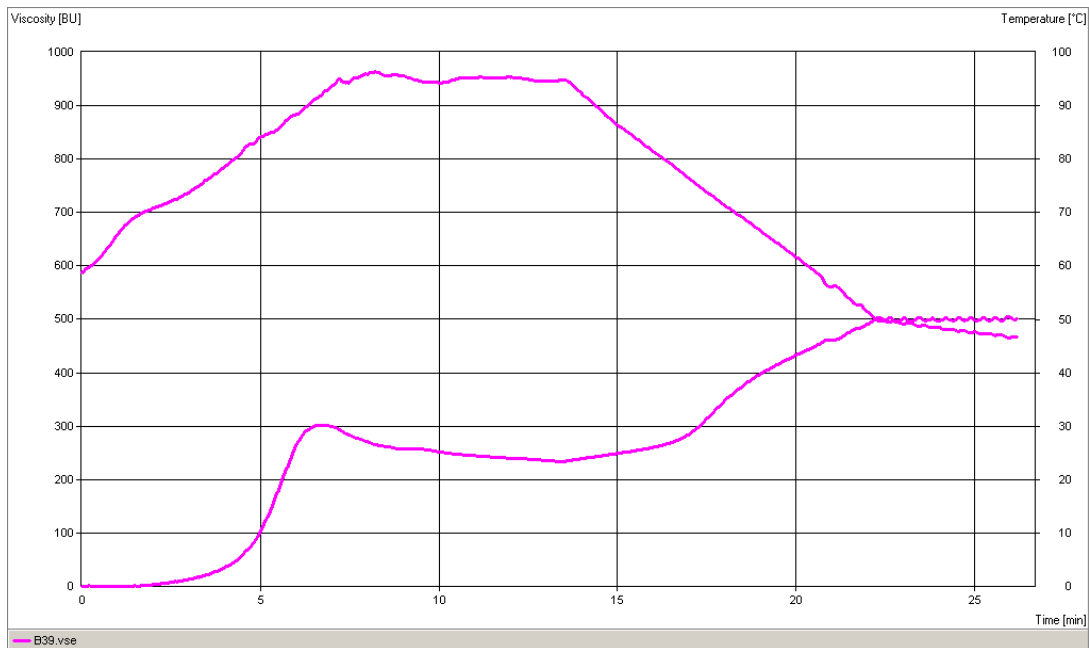
De acuerdo a este resultado se determina que el almidón cumple y sobrepasa los parámetros de sensibilidad alcalina para almidones naturales de acuerdo a este resultado este almidón se encuentra apto para la modificación o para la utilización para la industria cartonera de acuerdo con su sensibilidad sin necesidad de modificarlo. Se confirma estos resultados con el análisis Brabender para analizar comportamiento de viscosidad, con tiempo y temperatura establecidos para ello para así confirmar la conformidad del almidón para la modificación y su uso en la industria cartonera

**Cuadro 10. Resultado análisis Brabender**

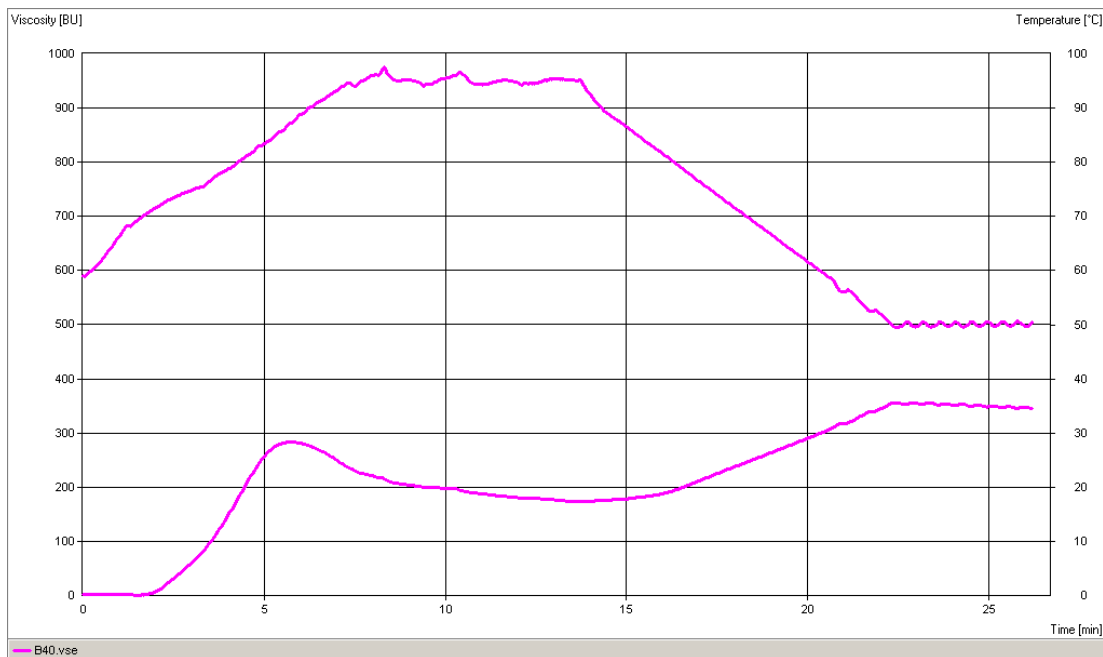
Muestra	Viscosidad máxima (BU)	Viscosidad final (BU)	Temp. inicial de gelatinización (°C)
1C	302	467	72.9
1C al 1% $\text{NaHCO}_3$	211	272	74.9
1C al 10% $\text{NaHCO}_3$	460	103	69.8
1C al 30% $\text{NaHCO}_3$	121	98	79.1

Se puede observar que a mayor porcentaje de  $\text{NaHCO}_3$  hay un aumento de la temperatura inicial de gelatinización, disminución de la viscosidad inicial y final necesarias para una buena modificación.

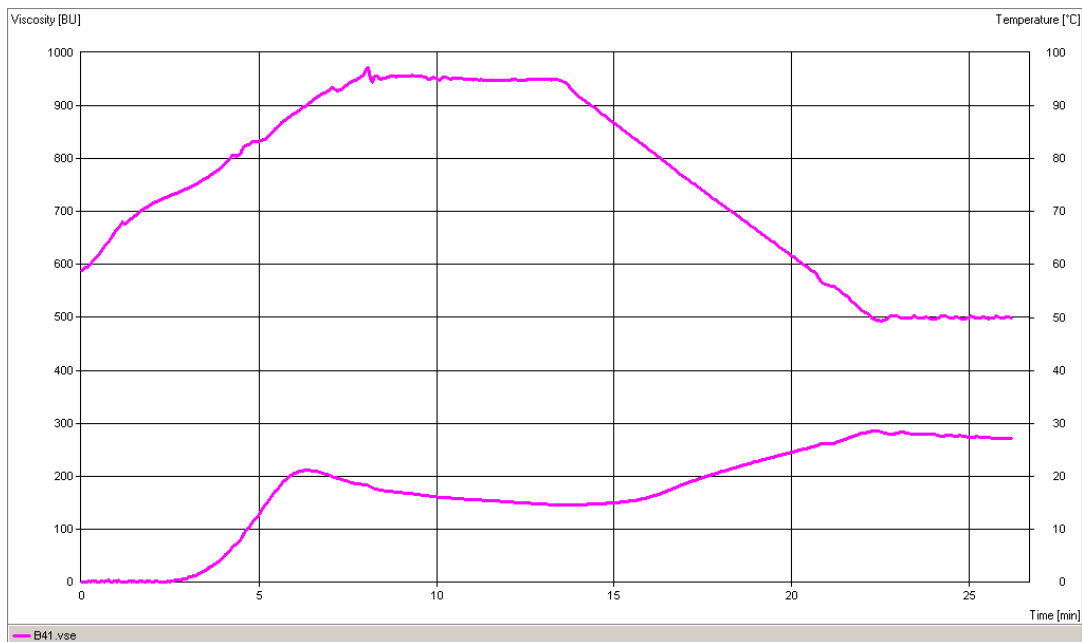
**Figura 9. Análisis Brabender muestra 1C normal.**



**Figura 10. Análisis Brabender, muestra 1C al 1.0% de NaHCO<sub>3</sub>**

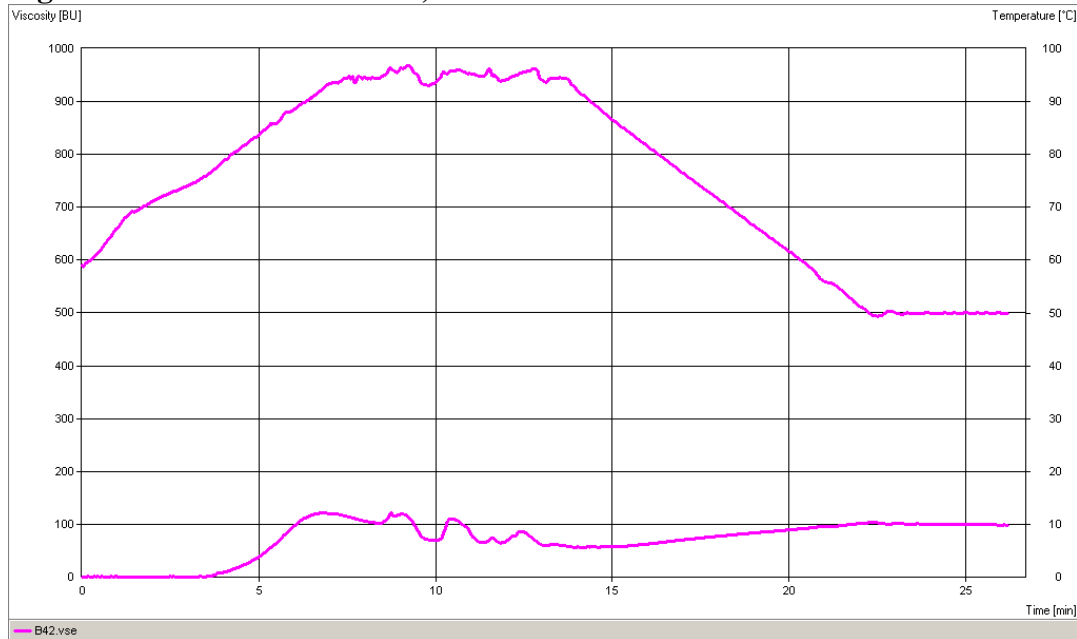


**Figura 11. Análisis Brabender, muestra 1C al 10% de NaHCO<sub>3</sub>**





**Figura 12. Análisis Brabender, muestra 1c al 30% de NaHCO<sub>3</sub>**



Analizando los resultados se determino que a medida que se aumentaba el porcentaje de NaHCO<sub>3</sub> había un aumento de la viscosidad, en el ultimo análisis se noto que se gelatinizo el almidón y aumento la viscosidad del gel de manera muy elevada muy diferente a los análisis de las 2 muestras anteriores; de las tres muestras el punto de equilibrio entre la viscosidad inicial y final y las características del gel que presentaron las tres muestras analizadas lo dio la muestra 1C al 10% , la muestra 1C al 1% presento gel pero no viscoso y la muestra 1C al 30% presento un gel demasiado viscoso y mostró un aumento considerable del volumen de la muestra.

Estos resultados se reprodujeron 3 veces más para ver su factibilidad dando como resultado las mismas características de los análisis iniciales

**12. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS**

**Cuadro 11. Cronograma de actividades**

# de Etapas	Etapas	MESES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Diseño de proyecto	■											
2	Fuentes y clasificación del material	■	■										
3	Tratamiento y análisis de la información		■	■									
4	Muestra y análisis			■									
5	Desarrollo y evaluación de ensayos			■	■	■	■						
6	Recopilación de resultados			■	■	■							
7	Mecanografía y presentación final					■	■	■					
8	Entrega del proyecto								■				
9	Revisión del proyecto								■	■			
10	Sustentación										■		

**Cuadro 12. Presupuesto de la investigación**

<b>Descripción</b>	<b>Gasto total</b>
Recopilación de las fuentes documentales	\$120.000
Papelería	\$100.000
Gastos operacionales	\$800.000
Compra de materiales y reactivos	\$300.000
Gastos adicionales	\$300.000
<b>Total</b>	<b>\$1.620.000</b>

## 14. CONCLUSIÓN DE RESULTADOS

Por medio de la presente investigación se obtuvo mayor porcentaje de almidón 24% más, mejorando las horas de reacción del maíz cribado ajustando su tiempo y temperatura, que sería 3,5hrs a 48°C comparado a 5hrs y 50°C de acuerdo a esto mejoraron sus condiciones de sensibilidad alcalina a 40ml a través de la adición de carbonato ácido de sodio.

El resultado de estos análisis determinó que el grano de almidón no sufrió maltrato por el reactivo Metabisulfito de Sodio, favoreciendo las propiedades fisicoquímicas: Sensibilidad alcalina, análisis Brabender y pH, se logró llegar a esta condición en mucho menos tiempo que un almidón tratado, 30 minutos comparado con las 7 horas que dura el proceso completo.

A través del análisis Brabender se pudo analizar el comportamiento de viscosidad, con tiempo y temperatura establecidos (de 0 a 120 grados centígrados por un tiempo de 25 minutos) para así comprobar la conformidad del almidón y existe la tendencia que entre más alta sea la viscosidad del almidón, este a su vez estará apto para la modificación permitiendo ofrecer un producto de buena calidad.

Se pudo demostrar que el efecto del carbonato ácido de sodio incrementa el almidón de maíz (*Zea mays L*) utilizando una concentración del 10% sin que implique un cambio en la estructura molecular del almidón, favoreciendo las propiedades fisicoquímicas.

## 14. RECOMENDACIONES

Los resultados finales obtenidos en almidón de maíz (*Zea mays* L) son aptos para la modificación adicionando  $\text{NaHCO}_3$  al 10%, se observó que haciendo esta adición el almidón tomaba un estado final igual a la de un almidón modificado sin alterar de una manera agresiva las moléculas del almidón por medio fisicoquímicos, de acuerdo a esto sugerimos: estudiar cuánto reactivo se ahorraría a la hora de modificar el slurry, obteniendo su viscosidad inicial y final como condiciones finales igual a la de un slurry modificado completamente.

## 15. REFERENCIAS

- ÁLVAREZ, A. (2006). Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición. Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. Molienda Húmeda y Molienda Seca. Cámara de Almidón. Recuperado en <http://www.maizar.org.ar/pdf/Revista%20maizar%202.pdf>
- ARAYA, J. (1996). *Producción de harinas, tesis para la obtención de título de técnico Universitario en Industria Alimentaria*. Universidad de Santiago de Chile.
- CIMMYT. (1997). *El maíz blanco: un cereal de consumo humano tradicional en los países en desarrollo*. FAO-CIMMYT. Roma, Italia. 21 p.
- DEFINICIÓN ABC. (S/F). Definición de Reacción Química. Recuperado en <http://www.definicionabc.com/ciencia/reaccion-quimica.php#ixzz2BPYCLVFL>
- DEFINICIÓN ABC. (S/F). Definición de Reactivo. Recuperado en <http://www.definicionabc.com/ciencia/reactivo.php>
- FOOD CHEMICALS CODEX. (2012). Edición Octava. Recuperado en <http://www.foodprocessing.com.au/products/51853-8th-edition-of-Food-Chemicals-Codex>
- FRANCO, M. WENZEL DE MENEZES, E. (2006). *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. Editorial Universidad de Sao Paulo.
- FUNDACIÓN POLAR. (2000). *El maíz en Venezuela*. 530 p.
- HERNÁNDEZ, E. (2006). *Módulo Tecnología de Cereales y Oleaginosas*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, Bogotá D.C.
- KAUR, J. (2007). *Integrated Management of Chickpea Wilt Incited by Fusarium oxysporum f. sp. Ciceris*. Recuperado en <http://www.scialert.net/fulltext/index.php?doi=ijar.2012.284.290>
- LABORATORIO MOLINOS DEL CAUCA S.A. (2008). *Graficas análisis Brabender*.
- ROSER, A. (2003). *Manual de microscopía de piensos*. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona.
- SUAREZ, D. (2005) *Guía de proceso para la extracción del almidón de maíz, 1° edición*.
- THOMAS, D. ATWELL, W. (1999). *Starches*. Eagan press. St. Paul, Minnesota, USA.

TODOAGRO.COM.AR. (2009). *Subproductos de la industria de la molienda del maíz. Argentina*. Recuperado en <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp?nid=10751>

WATSON, S. ( 1977). *Industrial utilization of corn*. In G. F. Sprague (ed.) *Corn and Corn Improvement*.