

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS  
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE PALMA  
COROBA (*Attalea macrolepis*).

Realizado por:

Chirinos C, Jesús G.

Rodríguez, Giovel de J.

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como Requisito Parcial  
para optar al título de Ingeniero Químico

Barcelona, Abril de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS  
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE PALMA  
COROBA (*Attalea macrolepis*).

ASESOR

---

Lic. Quím. Ana Ciarfella  
Asesor Académico

Barcelona, abril de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y REOLÓGICAS  
DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO DEL MESOCARPIO DEL FRUTO DE PALMA  
COROBA (*Attalea macrolepis*).

JURADO

---

Dr. Ana Ciarfella  
Asesor Académico

---

Lic. Rafael Alemán  
principal

---

Dr. Lucas Álvarez Jurado  
Jurado principal

Barcelona, abril de 2010

## **RESOLUCIÓN**

De acuerdo al Artículo N° 41: Del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad De Oriente: “Los trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, quién lo participará al consejo universitario”.

## **DEDICATORIA**

Estaría incompleta y sin sentido esta dedicatoria si no dedico el logro de este esfuerzo a mi DIOS grande y poderoso a quien he dedicado y dedicare este y todos mis logros, a mi señor JESUCRISTO fuente inagotable de vida y cuya ayuda indefectible ha sido vital en todo momento, al ESPIRITU SANTO quien me guía cada día de mi vida.

También es muy importante para mi poder dedicar este trabajo a quienes con su apoyo espiritual, moral, intelectual, economico,etc... Me dieron un motivo y una razón para trazarme esta meta que ahora puedo alcanzar, ellos son MIS PADRES (Carmen Catanaima y Jesús Chirinos), a ustedes y a su impulso, tesón y visión dedico este logro que también es suyo.

A mis hermanos Nohemí tu ejemplo de constancia me inspira, a Joel y Norelis vaya esta dedicatoria, se que sus logros vendrán con la ayuda de DIOS, esfuércense y esforcémonos.

A mi abuelo ISAIAS CATANAIMA, viejo no pudiste ver este logro, pero a tu memoria lo dedico, tus principios éticos, morales y valores nunca dejaran de estar en cada uno de mis días, como nos haces falta!!!!. Dios es bueno.....Mi abuela, mujer virtuosa, para tu nieto es todo un placer poderte dedica este logro. A mis tías, tíos, primos a todos y cada uno de ellos que con sus palabras de aliento, motivaron este esfuerzo, es especial para mí poder dedicárselos.

A todas las personas que con sus palabras ayudaron y me motivaron, y a quienes ven en mí un ejemplo de esfuerzo al dar este paso.

Y claro me lo dedico a mi, que por fin puedo ver el fruto de mi empeño, constancia, dedicación plasmado en esta obra científica investigativa, lo voy a disfrutar.

Jesús Gabriel

Nunca en mi corta vida había imaginado que llegaría un momento tan especial como este, en el cual me sentiría plenamente agradecido con las bendiciones que el Creador me ha facilitado sin egoísmo alguno; muchas de las cuales no he sabido apreciar y darle el mérito que se merecen!!! Por ello, en este instante quiero dedicar este éxito a ti Dios por darme los regalos más maravillosos del mundo!!!

Mil Gracias por darme el aliento de vida en el vientre más extraordinario del universo... el de mi Súper Madre!!! Mejor ser terrestre no pudiste haber escogido para que engendrará una semilla de tu amor!!! Madre eres lo máximo!!! Gracias a tu gallardía hoy me encuentro escribiendo este tributo a todas esas personas que han ido forjando mi carácter y entre los cuales tú eres el pilar fundamental, gracias por tu inmensurable comprensión, valentía y apoyo hemos logrado esta meta. Reconozco que gracias a tu manera de enseñarme el significado de la vida real, hiciste de mí un ser más fuerte y responsable a la hora de asumir los retos que cada día la vida me presenta. Has sido ejemplo del más puro e incondicional amor, ímpetu y firmeza excepcional para sacarme hacia adelante junto a mis hermanos. I love U so much!!!

A mis Abuelos: “José A. Rodríguez” por ser pilar fundamental durante mi crianza en conjunto con “Doña Chepa”, quienes con cariño y tesón sembraron valores indispensables en mi. Además, por cumplir ambos a cabalidad su rol de padres putativos sin interés alguno.

A mis hermanos Yorlys y Simón, porque han sido y serán mis locos preferidos!!! Sin importar sus aciertos o no.. Siempre contarán con mi mano amiga!!!

Quisiera hacer una mención especial para mi Queridísima Eli “E.ra”, eres un ser asombroso!!! Muchíiiiiimaas gracias por tenerme siempre presente en tus pensamientos y oraciones; por hacerme sentir como si tuviera una segunda familia

fuera de casa junto a ti... loca eso es muy importante para mí y significa demasiado.  
Take Care!!!

A mi sobrina\_ahijada Ale Valentina, eres un ángel que llegó a nuestras vidas para iluminarlas y lograr unirnos aún más!!! Siempre serás la NUMBER ONE!!! A Simoney y Ramoncito... dos pequeñines inigualables!!! También le dedico este triunfo a Yorgiosimer, sé que es muy apresurado... pero ansío tu llegada!!!

A todas aquellas personas que creían no culminaría mi meta, les envió un enorme abrazo!!! Ahora con gran satisfacción puedo decir que no importa cuántas veces caigas lo primordial está en la fuerza con que te levantas...

Gio Rodríguez



## AGRADECIMIENTOS

Te agradezco DIOS TODOPODEROSO en primer lugar, ya que si no fuera tu voluntad ni con todas las ganas del mundo habría logrado esto, gracias por predestinar este logro en mi vida. JESUCRISTO gracias por dirigir mis caminos y andar a mi lado, ESPIRITU SANTO gracia por no apartar tu luz de mis caminos. Espero que nunca se aparte la bendición divina de mi lado, se que es mucho lo que les debo en agradecimiento quizás no habrían suficientes paginas en el mundo para ello, por eso, gracias por todo.

Te agradezco a ti madre, por ser el motivo, la fuerza, la ayuda y el ángel que me ha llevado a lograr esta y muchas, o todas, mis metas. Los agradecimientos son poca cosa para lo que has hecho por tus hijos al alentarnos con lo que ha estado en tus manos, sin mezquindad y con todo el amor que tienes; Este es un logro que te pertenece. Te agradezco a ti papa se que con tu fuerza, sudor y con todo lo que Dios te ha dado me has ayudado a llegar hasta aquí, espero veas que tu esfuerzo no ha sido en vano y que ha valido el esfuerzo, gracias.

Agradezco a mi compañero de tesis y hermano del camino Giovel Rodriguez por la colaboración, la valiosa contribución y amistad. Hacia delante, ve el esfuerzo que has puesto en la toda tu vida reflejado en este logro, ahora los cielos están abiertos recibe la bendición de DIOS, su paz y prosperidad en todos tus caminos, la vida sin DIOS es vacía y no tiene sentido.

Agradezco a la asesora la profesora Ana Ciarfella, por soportarnos, ayudarnos y contribuir en la medida de todas sus posibilidades y conocimientos a la realización de este trabajo, ha sido muy valiosa su ayuda; dios la bendiga y la favorezca.

A todos los profesores que impartieron sus conocimientos y que ahora están impresos en este trabajo, va este agradecimiento.

Jesús Gabriel

Ante todo, le agradezco a Dios Todopoderoso por protegerme y darme valor, seguridad y fuerza para cumplir todas mis metas.

A mi madre (Mercedes Rodríguez) por apoyarme y confiar en mis acciones.

A la Dra. Ana T. Ciarfella por su asesoría y su constante dedicación a esta investigación. Y sobre todo por brindarme su sincera amistad!!!

A las ilustres Universidades Nacionales: Universidad Central de Venezuela (UCV) y Universidad de Oriente (UDO); al Instituto de Investigaciones Avanzadas (IDEA), al Instituto de Investigación en Biomedicina y Ciencias Aplicadas (IIBCA) y al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVCA), sin cuyo apoyo no hubiese sido posible esta investigación.

Al resto de mi inmensa familia pasando desde mis tías, tíos hasta mis primos por siempre desearme lo mejor!!!

A mis grandes AMIGOS: Flor “La Vaga”, Álvaro, Jaigimar, Anita, Kimberly, Bric, Carolina “Cuasi-Mami” y Ninoska “La Margariteña”, Mil gracias por haber formado y marcado mi vida a lo largo de toda mi travesía en la UDO... Son seres excepcionalmente llenos de bondad, sin egocentrismos y con buena vibra!!! Espero que jamás cambien!!!

A Jesús Ch, que más que un amigo es un integrante más de mi familia... todo el éxito del mundo, te lo mereces!!!

A la familia Centeno-Harias en Barcelona, porque me acogieron e integraron a su clan familiar. Especialmente a la inigualable e inconfundible

Vicenta Narvaéz “MAITA”, por llenar de alegría mi estadía en su morada...  
eres única viejita!!!

## RESUMEN

La palma Coroba (*Attalea macrolepis*) nace y se cultiva de forma silvestre en el Municipio Cedeño del estado Bolívar y se le puede considerar como un buen potencial industrial de bajo costo para la elaboración de importantes productos tanto en la industria alimentaria como en otras. Para la evaluación de las distintas propiedades del almidón derivado de dicha palma se procedió a extraerlo a una velocidad constante de agitación de 4000 rpm, obteniéndose un rendimiento de 15,31% para un tiempo de 10s; 17,95% para 30s y 21,74% para un tiempo de 60s. Se determinó su composición fisicoquímica y morfológica, así como sus propiedades reológicas. La composición proximal reveló un contenido de 8,23% de humedad, 2,97% de proteína, 0,25% de grasa, 0,24% de fibra cruda, 0,17% de ceniza y 88,14% de carbohidratos. El pH y la acidez tuvieron valores de 5,35 y 0,03%, respectivamente. Su contenido de amilosa fue de 21,7%. Presentó un índice de blancura de 12,70. Los valores del poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y solubilidad fueron de 9,70 g<sub>agua</sub>/g<sub>almidón</sub>, 9,45 g/g<sub>almidón</sub> y 2,37%, respectivamente. El almidón mostró una temperatura de gelatinización de 69,0°C y una máxima viscosidad de 365 UB, así como una consistencia relativamente estable al proceso de cocción y baja tendencia a la retrogradación, lo que sugiere su posible uso en formulaciones de alimentos en donde se requiere el desarrollo de una rápida viscosidad y un gel de consistencia estable. Los gránulos de almidón de acuerdo a las micrografías, presentaron en su mayoría forma irregular, unos semejantes a una pirámide con vértices redondeados y otros, en menor número; son redondeados con un extremo truncado y superficies lisas, y exhibieron un espectro de difracción tipo A.

## CONTENIDO

RESOLUCIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	ix
RESUMEN.....	xiii
CONTENIDO .....	xiv
INDICE DE TABLA .....	xx
INDICE DE FIGURAS.....	xxii
CAPITULO I.....	23
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
1.1 Objetivos .....	24
1.1.1 Objetivo general.....	24
1.1.2 Objetivos específicos .....	25
CAPÍTULO II .....	26
MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Antecedentes .....	26
2.2. Utilización de las palmas en todo el mundo.....	27
2.3. Las palmas: sustentoras de vida .....	30
2.4. Palma coroba.....	34
2.4.1. Características de la Palma Coroba.....	34
2.4.2. Características del Fruto de la Palma Coroba .....	36
2.4.3. Zona de Ubicación del Cultivo .....	38
2.4.3.1. Clima .....	39
2.4.3.2. Suelo.....	40
2.4.3.3. Humedad Relativa.....	40
2.4.3.4. Influencia del Clima, Suelo y Humedad de la Región sobre la Palma Coroba .....	40

2.4.3.5. Valor nutritivo.....	41
2.5. Proceso de molienda: generalidades.....	41
2.5.1. Tipos de Molienda .....	42
2.5.2. Velocidad de Extracción.....	43
2.6. La harina: definición y características.....	44
2.7. Hidratos de carbono .....	45
2.7.1 Clasificación de los Hidratos de Carbono.....	46
2.7.1.1 Hidratos de Carbono: Simples y Complejos.....	46
2.8. Almidón: definición .....	47
2.8.1 Origen del Almidón .....	48
2.8.2 Características Generales del Almidón.....	49
2.8.3 Estructura de los Almidones .....	51
2.8.3.1 Amilosa .....	51
2.8.3.2 Amilopectina.....	53
2.9. Análisis fisicoquímico.....	56
2.9.1 Humedad .....	56
2.9.1.2. Determinación de Humedad: Método por Secado .....	56
2.9.2. Ceniza.....	57
2.9.3. Grasa .....	58
2.9.3.1. Determinación de la Grasa: Métodos de Extracción Directa con Disolventes .....	58
2.9.4 Proteína .....	59
2.9.4.1 Determinación de Proteínas: Método de KJELDAHL .....	60
2.9.5. Acidez .....	61
2.9.6. Fibra .....	61
2.9.7. Color.....	61
2.9.8. pH.....	62
2.9.9. Amilosa .....	63
2.10. Comportamiento reológico de los almidones.....	63

2.10.1 Gelatinización .....	64
2.10.2. Gelificación y Retrogradación .....	65
2.11. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento .....	67
2.12. Comportamiento de diferentes almidones.....	67
2.13. Difracción de rayos-x.....	71
2.14. Usos del almidón en productos alimentarios y no alimentarios.....	71
2.14.1 Uso en Productos Alimentarios.....	71
2.14.2 Industria de Edulcorantes.....	72
2.14.3. Uso en Productos no Alimentarios.....	72
2.14.4. Industria de Papel y Cartón.....	73
2.14.5. Industria Textil.....	73
2.14.6. Industria de Adhesivos.....	73
2.14.7. Industria Farmacéutica y Cosmética.....	74
CAPÍTULO III.....	75
DESARROLLO DEL PROYECTO .....	75
3.1. Procedimiento experimental.....	75
3.1.1. Obtención de la Materia Prima .....	75
3.1.1.1. Recolección del Fruto de la Coroba.....	75
3.1.1.2. Selección del Fruto.....	76
3.1.1.3. Acondicionamiento de la Muestra .....	76
3.1.2 Obtención del Almidón.....	77
3.1.3. Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas del Almidón	
Extraído .....	79
3.1.3.1. Humedad .....	79
3.1.3.2 Ceniza.....	80
3.1.3.3 Grasa .....	81
3.1.3.4. Proteína Cruda.....	82
3.1.3.5. Acidez titulable .....	83



3.1.3.6. pH.....	83
3.1.3.7. Fibra .....	84
3.1.3.8. Amilosa .....	85
3.1.3.9. Color.....	86
3.1.4. Índice de Absorción de Agua, Índice de Solubilidad en Agua y Poder de Hinchamiento.....	87
3.1.5. Claridad del Gel .....	88
3.1.6. Análisis Morfométrico del Almidón .....	88
3.1.7. Difracción de rayos-X:.....	88
3.1.8. Comportamiento Viscoamilográfico.....	89
3.2. Equipos, materiales y sustancias.....	89
3.3. Análisis estadísticos .....	92
3.4. Tablas de datos experimentales.....	92
3.4.1. Contenido de almidón en el mesocarpio .....	92
3.4.2. Propiedades Fisicoquímicas del Almidón.....	93
3.4.2.1. Humedad .....	93
3.4.2.2. Grasa .....	93
3.4.2.3. Proteína .....	94
3.4.2.4. Ceniza.....	94
3.4.2.5. Fibra cruda.....	95
3.4.2.6. Amilosa .....	95
3.4.2.7. Acidez .....	95
3.4.2.8. Color.....	96
3.4.3. Índice de Absorción de Agua, Índice de Solubilidad en Agua y Poder de Hinchamiento.....	96
3.4.4. Claridad del Gel .....	97
3.4.5. Análisis Viscoamilográfico.....	97
3.5. Muestra de cálculo .....	97
3.5.1. Cálculo del Porcentaje de Rendimiento en Almidón.....	97

3.5.2. Cálculo de las Propiedades Fisicoquímicas .....	98
3.5.2.1. Contenido de Humedad.....	98
3.5.2.2. Porcentaje de Ceniza.....	99
3.5.2.3. Contenido de Grasa.....	99
3.5.2.4. Porcentaje de Proteínas .....	100
3.5.2.5. Acidez. ....	100
3.5.2.6. Porcentaje de Fibra.....	101
3.5.2.7. Color.....	102
3.5.2.8. Contenido de Amilosa.....	103
3.5.3. Índices de Absorción de Agua (IAA), Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento .....	104
CAPÍTULO IV.....	105
DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
4.1 Discusión de resultados.....	105
4.1.1. Rendimiento en Almidón vs Tiempo de Extracción.....	105
4.1.2. Análisis de las Propiedades Fisicoquímicas.....	107
4.1.2.1. Composición Proximal.....	107
4.1.3. Amilosa .....	110
4.1.4. pH y acidez.....	111
4.1.5. Color.....	112
4.1.6. Morfometría y Tamaño de los Gránulos de Almidón.....	113
4.1.7. Poder de Hinchamiento, Solubilidad y Absorción de Agua del Almidón	115
4.1.8 Claridad de la Pasta.....	119
4.1.9. Comportamiento Amilográfico del Almidón.....	120
4.1.9.1 Temperatura Inicial de Gelatinización .....	120
4.1.9.2 Viscosidad Pico.....	121
4.1.9.3 Viscosidad a 90 °C .....	122
4.1.9.4 Viscosidad Después de 5 min a 90 °C.....	122
4.1.9.5 Viscosidad a 50 °C .....	123

4.1.9.6 Viscosidad Después de 5 min a 50 °C.....	123
4.1.9.7 Fragilidad .....	123
4.1.9.8 Retrogradación .....	124
4.1.9.9 Facilidad de Cocción.....	124
4.1.10. Difracción de Rayos X.....	125
4.2. Conclusiones .....	126
4.3. Recomendaciones.....	127
BIBLIOGRAFIA .....	128

## INDICE DE TABLA

Tabla 2.1 Usos comestibles de las Palmas [5] .....	29
Tabla 2.2 Otros productos útiles de las palmas [5].....	30
Tabla 2.3 Composición proximal de almidón de Sago [6].....	32
Tabla 2.4 Composición proximal del fruto de la Palma Coroba [3] .....	38
Tabla 2.5 Propiedades de los componentes del almidón [24].....	55
Tabla 2.6 Composición química de un cuerpo humano que pesa 65 kg [28] .....	59
Tabla 2.7 Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria [49]. .....	67
Tabla 2.8 Propiedades de algunos almidones [50].....	70
Tabla 2.9 Composición química de algunos almidones usados a nivel industrial.....	70
Tabla 3.1. Contenido de almidón extraído a diferentes tiempos.....	92
Tabla 3.2. Datos para la determinación de la humedad .....	93
Tabla 3.3. Datos para la determinación de la cantidad de grasa en el almidón .....	94
Tabla 3.4. Datos para cálculo de proteínas contenidas en el almidón extraído .....	94
Tabla 3.5. Datos para el cálculo del contenido de ceniza en el almidón.....	94
Tabla 3.6. Datos para la determinación de fibra cruda en el almidón.....	95
Tabla 3.7. Datos para la determinación de la amilosa en almidón.....	95
Tabla 3.8. Datos para la determinación de acidez presente en el almidón.....	95
Tabla 3.9. Parámetros obtenidos con el colorímetro para la determinación del color del almidón. ....	96
Tabla 3.10. Datos para el cálculo del índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento .....	96
Tabla 3.10. Datos para la determinación claridad del gel .....	97
Tabla 3.11. Datos para la determinación de Características viscosográficas de suspensiones de almidón nativo Coroba.....	97
Tabla 4.1. Rendimiento en almidón y tiempo de extracción.....	105

Tabla 4.2. Composición proximal (bs), contenido de amilosa y amilopectina del almidón.....	108
Tabla 4.3. Valor promedio de pH y acidez en el almidón .....	111
Tabla 4.4. Parámetros de $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , índice de blancura (WI) y $\Delta E_{ab}^*$ .....	112
Tabla 4.5 Forma y tamaño de los gránulos de almidón .....	114
Tabla 4.6. Poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y solubilidad de los almidones.....	117
Tabla 4.7 Claridad de la pasta del almidón de coroba .....	120
Tabla 4.8 Características de gelatinización del almidón.....	121

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Palma Coroba [fuente propia].....	34
Figura 2.2. Racimo de Coroba [fuente propia] .....	35
Figura 2.3 Dibujo de un corte longitudinal de una Coroba madura y sus partes .....	36
Figura 2.4 Ubicación geográfica del Municipio Cedeño [8].....	39
Figura 2.5. Diferentes gránulos de almidón [20] .....	50
Figura 2.6. Estructura del polímero de la amilosa. [21].....	52
Figura 2.7. Estructura del polímero de la amilopectina. [22].....	54
Figura 2.9. Representación esquemática de los cambios de los gránulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico [39] .....	64
Figura 2.10 Perfil de Viscosidades de diferentes almidones [47].....	68
Figura 3.1 Esquema para el acondicionamiento de la materia prima .....	77
Figura 3.2. Esquema para la obtención del almidón del mesocarpio de la Coroba. ..	78
Figura 4.1 Rendimiento de almidón en función del tiempo de extracción .....	106
Figura 4.2. Micrografía electrónica de los gránulos de almidón.....	115
Figura 4.3 Poder de hinchamiento, Índice de absorción de agua (IAA) y Índice de solubilidad de agua (ISA) promedio del almidón .....	117
Figura 4.4. Curva amilográfica del almidón .....	122
Figura 4.5. Difractograma del almidón .....	125

# CAPITULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Venezuela ha adoptado muchos cultivos de uso común en la dieta diaria de su población. La palma Coroba, que crece de manera silvestre y es de fácil cultivo en climas tropicales ha venido ocupando un lugar muy importante dentro de las costumbres alimentarias de los habitantes de la región sur del país.

El fruto de la palma Coroba se puede consumir directamente o después de ser sometido a diferentes procesamientos. Del mesocarpio del fruto de la Coroba se puede obtener harina y almidón. El almidón puede ser usado en la industria: como espesante en sopas y alimentos de bebés, para aumentar el contenido en píldoras, como estabilizante de helados y flanes, en la industria de embutidos (para adherir los productos y evitar el secado al cocinar salchichas y carnes elaboradas), en la industria del jarabe (usando fructosa para sustituir el azúcar de refrescos y colas), en confitería y caramelos (hechos a partir de la glucosa que es más económica), en panificación y en la industria de compotas y mermeladas (usando la dextrosa y la glucosa) [1]

En general, el almidón de la palma Coroba se podría considerar como un buen potencial industrial para la elaboración de importantes productos tanto en la industria alimentaria como en las que no se dedican a esta última; además de ser un cultivo alimenticio rico en calorías. Se puede usar principalmente sin modificar, es decir como almidón nativo, pero también podría ser usado modificado por diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades de consistencia, viscosidad, estabilidad a cambios del pH y temperatura, gelificación, dispersión y de esta manera poder usarlo en diferentes aplicaciones industriales que requieren ciertas propiedades particulares.

No se han reportado investigaciones relacionadas con la obtención y/o caracterización del almidón derivado del fruto de palma Coroba; los estudios que se han realizado están basados en el proceso de obtención de harina del mesocarpio y su uso como harina panificable ya sea sola o como aditivo de las harinas convencionales [2]

Por lo tanto, nace la necesidad de realizar esta investigación en la cual se evaluarán algunas propiedades del almidón derivado de dicha palma, extraído del mesocarpio. Cabe destacar que esta investigación podría ser utilizada como iniciativa para la creación de nuevos productos, aptos para el consumo humano o uso industrial, así como también, la creación de un banco de datos de almidones extraídos de las diferentes variedades de palmas disponibles en el país.

La importancia de este estudio radica en que los resultados obtenidos de esta investigación podrán ser usados para futuros proyectos y posibles aplicaciones relacionados con el ramo de los alimentos, tales como: la obtención de almidones secos con calidad aceptable, estandarización y control del proceso de extracción o para el aprovechamiento en dietas, recetas y productos de mayor complejidad.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído del mesocarpio del fruto de la palma Coroba (*Attalea macrolepis*).



### 1.1.2 Objetivos específicos

Obtener el almidón extraído del mesocarpio del fruto de la palma Coroba (*Attalea macrolepis*).

Determinar el rendimiento en almidón obtenido del mesocarpio del fruto de palma Coroba (*Attalea macrolepis*) variando el tiempo de agitación a velocidad constante.

Caracterizar fisicoquímicamente la muestra de almidón (Humedad, fibra, cenizas, proteínas, grasa, color, pH, acidez, amilosa).

Determinar propiedades reológicas del almidón (poder de hinchamiento, el índice de absorción de agua, la solubilidad, el comportamiento viscoamilográfico y la claridad del gel).

Estudiar la morfometría y la cristalinidad del almidón.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

El almidón es un polímero que sirve como almacén de nutrientes en las plantas, pero no sólo es una importante reserva para las plantas sino también para los seres humanos, ya que proporciona gran parte de la energía diaria necesaria a través del consumo de los alimentos que lo contienen. Es considerado el carbohidrato más importante por sus características nutricionales y sus múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, además de su importancia relevante en el comercio. Para el establecimiento de bases teóricas se tomaron en cuenta algunos proyectos desarrollados anteriormente, como marco de referencia asociados al presente estudio:

**Belén, D. y Alemán, R.** (2004), estudiaron dos harinas obtenidas a partir del mesocarpio del fruto de la Coroba, y encontraron que la harina integral tenía un contenido graso de 31,90 %, 12,03% de almidón y menos de 3,00% en proteína. La harina desgrasada presentó 2,00% de grasa, 57,33 % de almidón y menos de 3,00 % de proteína. La harina desgrasada mostró los valores más altos de índice de absorción de agua (2,52 %) [1]

**Marcano, J. y Guilarte, B.** (2003), determinaron las características de harina de Coroba desgrasada usando CO<sub>2</sub> a condiciones supercríticas como fluido extractor. Sus resultados muestran un contenido de humedad de 5,00%; 19,09% de grasa, 1,08% de fibra cruda; 2,10% de cenizas, 1,97% de proteínas, 0,15% de acidez titulable, pH 5,75, índice de solubilidad en agua (ISA) de 24,00%; índice de

adsorción de agua (IAA) de 226,50%, lo que sugiere su posible uso en panificación y productos instantáneos [2]

**Belén, D. (2000)**, estudió la caracterización de la harina con diferentes contenidos de grasa a partir del mesocarpio de la fruta de Coroba. La composición química reveló que eran diferentes en proteínas, ricas en carbohidratos (principalmente almidón 42,00%), con una proporción importante de fibra, cenizas (donde se encontró calcio y fósforo), y son importantes proveedores de carotenoides [3]

**Azemi Mohd Noor, Abdul Manan Dos Mohd y Normah Awang Mehat (1997)**, estudiaron las propiedades fisicoquímicas del almidón extraído del tronco de la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.). La extracción de almidón se logró utilizando una solución acuosa que contiene 0,5% de metabisulfito de sodio. El contenido de humedad, proteínas, grasa, ceniza y contenido de amilosa total encontrado por ese estudio fue de 11,8%; 0,9%; 0,3%; 1,03% y 19,5%, respectivamente. [4]

## **2.2. Utilización de las palmas en todo el mundo**

Más de 800 usos se han registrado para las palmas, ya que también son el fundamento mismo de varias culturas. How are palms used around the world? More than 800 uses have been recorded for the date palm alone, for it is the very foundation of life for several cultures. Se puede dividir el uso en tres clases [5]:

**Usos ecológicos:** Palms are seldom used purposely for ecological purposes, yet they play a great role in the ecology of the tropical forest, for they are, in size, from small and almost insignificant understory plants to large and dominating beauties of the forest. las palmeras son rara vez utilizadas para fines ecológicos, pero juegan un

gran papel en la ecología de los bosques tropicales, ya que son plantas dominantes de la selva y con gran belleza, They are shelter for numerous birds and small son refugio para numerosas aves y pequeños animales. In the axils of the old leaves other plants such as ferns, orchids, and bromeliads grow, and their unique insects are many in number. Las palmeras son las principales fuentes de alimento para muchas aves y mamíferos. Some may fly to or climb the palms in search of the fruits, while others find the fruits on the ground below. Algunos pueden volar o subir a la palma en busca de los frutos, mientras que otros encuentran los frutos al pie del tronco. Even the foliage serves as food for some animals. On the farm the principal domesticated species have a limited number of ecological functions. Las hojas y forraje de palmeras cultivadas y añadidas con materia orgánica en descomposición, proporcionan un rendimiento constante de minerales y materia orgánica al suelo.

**Utilización como alimento:** casi todas las partes de la palma pueden ser utilizadas como alimento, como se muestra en la Tabla 2.1. Los tres usos más comunes son: primero, los alimentos provenientes de la savia ya que puede convertirse en una bebida fresca o fermentada en ponche. Segundo, el almidón acumulado que suele cosecharse a partir del tronco de las palmas maduras o del fruto, y se convierte no sólo en un alimento básico sino en un producto a nivel industrial y tercero, es el uso común de la punta de crecimiento oculta entre las bases de las hojas. En contraste, las cualidades alimenticias de la espiga, la flor, el polen, la pulpa del fruto, y la matriz en el interior varía con cada especie siendo difícil estar seguros de estos usos, sin juicio cuidadoso.

**Tabla 2.1 Usos comestibles de las Palmas [5]**

Material	Productos refinados	
De la savia	Vinagre, ponche, vino, aguardiente y azúcar de palma.	
De las flores	Como vegetal cocido, néctar para las abejas	
De la pulpa de la fruta	Fresca	Consumidas cocidas o mezcla de bebidas azucaradas.
	Fermentada	Vinos
De la nuez	Extracto	Aceite de cocina y algunos medicamentos.
	Fresca	Para beber cruda o tostada como marfil vegetal, para drogas o estimulantes.
	Extracto	Aceites y medicamentos.
	Germinada	Para cepellón comestible
	Concha	Aceites
Del tronco	Almidón o fécula.	
De la raíz	Medicamentos	

**Otros usos de la palma:** Debido a que los troncos y las hojas pueden ser largos, a menudo contienen fibras duras que son muy útiles. Los troncos, enteros o cortados en tablas, así como la costilla de la hoja, a menudo se utilizan para apoyar a los edificios o como un marco. Las hojas se utilizan con frecuencia en paja para reforzar paredes y techos en zonas rurales. Muchas partes leñosas de las plantas se utilizan para la fabricación de carbón vegetal. Sin embargo, esto no es todo, los pueblos nativos han encontrado formas de utilizar como defensa las espinas de algunas especies. Por último, se utilizan para la alimentación animal, especialmente durante la sequía. En la tabla 2.2 se especifican en detalle los usos múltiples de las palmas. [5]

**Tabla 2.2 Otros productos útiles de las palmas [5].**

Tronco	Como maderas, tablas, fibra, mimbre, carbón vegetal, almidón para la alimentación de cerdos
Fronds or leaves Hojas	Para cercas, paja, tejidos, ejes de flecha, fibras, cera, forraje,
Raíz	Brebajes
Espinas	Puntas de flecha
Cáscaras de frutas	Fibra
Semillas	Ornamentos
Cáscaras de frutos secos	Utensilios, o para carbón vegetal
Aceites	La fabricación de jabón

Thus, the uses of palms are highly varied, and the cultures that depend on palms have discovered many uses for them.

Así, los usos de las palmas son muy variados, y las culturas que dependen de las palmas han descubierto muchos usos para ellos.

### **2.3. Las palmas: sustentoras de vida.**

La energía almacenada en la palma por sus procesos de vida, especialmente en la producción de flores y frutas, se puede utilizar para la humanidad en forma de refrescos, azúcar y almidón. Debido a sus múltiples usos que pueden suministrar alimentos, vivienda y muchos artículos útiles para la sobrevivencia de los humanos, éstas pueden ser llamadas palmas sustentoras de la vida. A la hora de citar algunas de

estas palmas que fielmente cumplen con esa función se puede nombrar la palma datilera (*Phoenix dactylifera*), cuyo fruto ha sido signo seguro de la riqueza del desierto por muchos años. Otro gigante de las regiones áridas, es la palma de Palmira, a veces llamado el palmito de África (*Aethiopicum borassus*), su tronco hinchado a veces es ahuecado por las aves como un lugar de almacenamiento y refugio. La duma o palma de pan de jengibre (*Thebaica hyphaene*), se encuentra en los bosques de la costa de las regiones áridas de África oriental hasta la India, siendo de gran valor nutricional el consumo de sus frutos y hojas. Cabe destacar que dicha palma es utilizada como aislante de calor debido a la resistencia que ejerce al fuego. También se tiene conocimiento de la palmera buriti (*Mauritia flexuosa*), con varios nombres en Venezuela se conoce como moriche y es una palma de la cuenca del Amazonas y de las regiones húmedas del sur. Además de los usos habituales de las partes vegetativas para la construcción y el tejido, la savia de dicha palma es especialmente buena para sus usos típicos, la pulpa de la fruta es deliciosa y es utilizada para fresco, caramelos y otros dulces [5].

Otras palmeras proporcionan alimentos y aceite, entre ellas la Coroba (*Attalea macrolepis*) y la palma Babasú (*Attalea speciosa* u *Orbignya phalerata*), que proceden originalmente de la cuenca Amazónica. Tienen valor comercial debido a que sus semillas producen un aceite comestible, usado como limpiador y en la elaboración de productos para el cuidado del cutis, su fruto es medicinal y se usa como tónico para el cutis y para producir bebidas; el mesocarpio de ambas palmas son ricos en almidón. La palma Buriti o Moriche (*Mauritia flexuosa*) y la palma de aceite (*Elaeis guineensis*) proporcionan frutos, aceite y brotes comestibles (palmitos). La palma de sago (*Metroxylon sagu*) produce un almidón que se extrae de la médula del tronco. el se utiliza también para normalizar el nivel de hidratación de la fibra, el textil y dar más cuerpo a la tela y prendas de vestir. En Indonesia y Malasia, el sago es un alimento básico de muchas comunidades tradicionales en Nueva Guinea, Borneo, Las Molucas y Sumatra. En Brunei, se utiliza para hacer la comida local popular llamada

Ambuyat. También se usa comercialmente en la fabricación de fideos y pan blanco [6]. El uso del almidón de palma sago no se limita sólo a sus rutinas para la industria alimentaria, también puede ser utilizado en otras que no dediquen el campo a esta última. A continuación se muestra la composición proximal del almidón extraído de la palma sago [6]:

**Tabla 2.3 Composición proximal de almidón de Sago [6].**

Parámetro	Composición (%)
Humedad	11,8 ± 0,02
Ceniza	1,2 ± 0,03
Grasa cruda	0,002 ± 0,07
Proteína (N x 6,25)	0,20 ± 0,06
Fibra cruda	0,50 ± 0,20
Almidón	94,00 ± 0,60

El almidón de sago puede cambiarse aún más a través de la fermentación para la producción de plástico biodegradable y etanol. Su biomasa residual de manera similar se puede utilizar como materia prima para la producción de electricidad y calor. Muy pocos o ningún fruto de la palma son venenosos, pero a veces contienen cristales de oxalato de calcio que los hacen irritante y no comestibles.

#### The Rattan Palms Palms for Drinks, Sugar and Starch

The energy stored in the palm for its life processes, especially flower and fruit production, can be used for humankind in the form of refreshing drinks, sugar, and starch. The Sago The sugar palm Two species of palms dominate the market for palm oils, the African oil palm and the coconut. Dos especies de palmeras dominan el mercado de aceites de palma, el aceite de palma africana y el coco. However, there are many more species of palms, principally wild but sometimes cultivated on a small scale,



especially in Tropical America, that could become of great international importance except for the dominating role of the previous two species. Sin embargo, hay muchas más especies de palmeras principalmente silvestres en América tropical, que podrían ser de gran importancia internacional. The African oil palm is surpassed in importance as an oil source \ only by the soy beEl aceite de palma africana es superado en importancia sólo por la soja. ElFrom its origin in West Africa, this oil palm has traveled to and been made an important crop in practically all parts of the tropics where it has been hybridized and selected to develop very fine varieties.The Coconut pal coco es sin duda la mejor palma del mundo sobre la base de sus productos y sus usos para la gente, Pero la calidad de su aceite es menor que la de la palma aceitera.The date palm, a close rival, is less well adapted and therefore is of great importance in a much smaller geographic region. La palmera datilera un rival cercano al coco, está menos adaptada y por lo tanto es de gran importancia en una región geográfica mucho más pequeña. [6]

El examen de los gránulos de almidón de palma aceitera con un microscopio electrónico de barrido mostró tanto un óvalo y una forma elíptica con un extremo truncado, con un promedio de 14,5  $\mu\text{m}$ . Un análisis de difracción de rayos de este almidón mostró una fécula tipo A. El poder de hinchamiento y solubilidad determinados a 90 ° C se encontró que eran de 33,1 y 30,8%, respectivamente. Su Temperatura de Gelatinización obtenida por calorimetría diferencial de barrido (DSC) variar entre 52,4 ° C y 2,1 ° C, con un pico de temperatura de fusión de 62,9 ° C. El comportamientos de la fécula del tronco de palma de aceite es pseudoplástico y la viscosidad depende de la concentración de almidón, la temperatura y la velocidad de corte. [6]

The oil palm undoubtedly of great importance, is well adapted but much less useful than the coconut.

## 2.4. Palma coroba

Dentro de la variedad de plantas pertenecientes a las palmáceas, se encuentra la Coroba (*Attalea macrolepis*), antes llamada *Jessenia polycarpa* Karst, la cual deriva su nombre de la palabra indígena Coroiba, siendo un árbol perenne de aspecto muy decorativo con un tronco áspero, cilíndrico y sin ramas, coronado por un penacho de grandes hojas. Generalmente su altura no sobrepasa los 8 metros (figura 2.1). Todavía persiste confusión sobre la identificación de la palma Coroba. Braun y Delascio (1987) indican que puede tratarse de *Attalea macrolepis*. De acuerdo con Henderson (1997) se trata de *Attalea maripa* (Aubl.), sin embargo tiempo después el criterio de Braun y Delascio fue reconocido [1]



**Figura 2.1. Palma Coroba [fuente propia]**

### 2.4.1. Características de la Palma Coroba

Esta palma comienza a producir frutos después de 3 años de haber sido plantada y se puede cosechar durante unos 20 años. La producción es dada en forma de racimos (figura 2.2). El peso de cada racimo oscila entre 20 y 40 kilogramos pudiéndose encontrar hasta ocho racimos en una sola línea, independientemente de los años y altura que posea, presentándose ligeras variaciones en el número de frutos

y en el peso de cada racimo, a medida que se incrementa o disminuye la cantidad de éstos.



**Figura 2.2. Racimo de Coroba [fuente propia]**

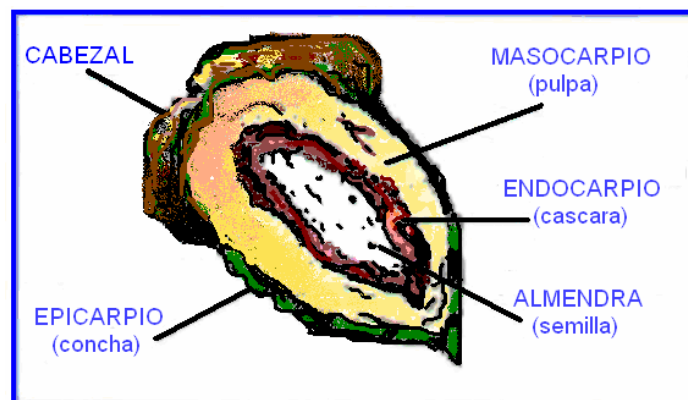
En casos excepcionales, un solo racimo puede poseer hasta mil frutos de coroba, que se cosecha durante todo el año, siendo la mayor producción en los meses de mayo, junio, julio, noviembre y diciembre. El fruto presenta un color que varía del amarillo naranja a pardos rojizos y es de forma oblonga. Sus características externas son semejantes a las del coco y se puede incluir en la categoría de hitos semicarnosos [2]

De este fruto se elaboran numerosos productos, tales como arepas, natillas, aceites de mesa, extraído tanto del mesocarpio como de la almendra. En estudios realizados, en los cuales se extrajo y refinó químicamente el aceite de la semilla, se encontró que éste presentaba un contenido de grasa del 61,9 % y que el ácido graso predominante es el ácido laurico (en el aceite crudo), con un 37,38 % m/m. El fruto de la palma Coroba posee características fisicoquímicas que permiten considerarla como una fuente potencial para la industria de los alimentos y las oleaginosas, lo que ha motivado a realizar estudios de factibilidad de la industrialización de la Coroba,

asegurando que los productos resultantes del procesamiento de dicho fruto tengan garantizados su colocación en un amplio mercado, y que la utilización de los aceites obtenidos pueda responder a las necesidades de consumo que crece a un ritmo acelerado, impulsado por el crecimiento demográfico y por el proceso socioeconómico del país [3]

#### 2.4.2. Características del Fruto de la Palma Coroba

En la figura 2.3 se muestra un esquema del fruto de la Coroba y sus partes, las cuales se explican a continuación [3]



**Figura 2.3 Dibujo de un corte longitudinal de una Coroba madura y sus partes**

**El cabezal:** Representa un 5 % de la masa del fruto; es una parte lisa y fibrosa de color verde antes de la maduración del fruto; cuando presenta una coloración marrón es debido a la resequead que va experimentando a medida que transcurre el tiempo. El cabezal forma una especie de gorro que cubre la parte superior del fruto y viene a representar el punto de unión de éste con el péndulo o vástago.

**Epicarpio o concha:** Representa la parte exterior del fruto del que constituye un 34% de la masa total del fruto. Su color, al igual que el cabezal, sufre variación a lo largo de todas las capas de su desarrollo.

Al comenzar la formación del fruto, este presenta un color verde muy parecido al observado en el coco en condiciones similares. Este color se va degradando hasta alcanzar un color amarillo o rojizo en el período de maduración, en que se hace menos dificultosa su separación de la pulpa. Todo lo contrario ocurre cuando está verde o se ha envejecido, adquiriendo ligeras manchas marrones. Su superficie es lisa, de unos 2 ó 3 milímetros de espesor y posee muy poca humedad. La concha se caracteriza por su fibrosidad, propiedad que permite su desprendimiento en forma longitudinal.

**Mesocarpio o pulpa:** Una vez eliminados el cabezal y la concha se observa la pulpa, la cual adopta la forma de una capa fibrosa y blanda de un grosor de unos 8 a 12mm. Es comestible y su aporte representa un 20 % de la masa total del fruto.

Al examinar la pulpa de una Coroba no madura se aprecia un color blanco verdoso; es poco húmeda y de sabor poco agradable al paladar. La tabla 2.1 muestra la composición química del mesocarpio o pulpa de la palma Coroba. Se puede observar que es una fuente importante de grasa, con un contenido promedio de 30,02 %. Comparando este valor, según referencias bibliográficas de materias primas oleaginosas, puede considerarse el mesocarpio de la Coroba semejante, en contenido graso, al algodón, girasol, maní, germen de maíz y palma africana. El contenido proteico del mesocarpio es bajo; sin embargo, es comparable al de granos de gran utilidad alimentaria como el trigo y el maíz. Su elevado contenido de cenizas lo ubica como un excelente proveedor de sustancias minerales como calcio y fósforo [3]

**Endocarpio o cáscara:** Representa la mayor proporción del fruto y aporta un 35 % de la masa total del fruto. Su forma es ovalada como la nuez, de superficie lisa pero con ligeros canales; su color es marrón y es leñosa a semejanza de la cáscara del durazno. El espesor del endocarpio regularmente varía entre 3 a 6 milímetros, y de 35 a 50 milímetros de largo.

**Almendra:** Se encuentra en el interior de la cáscara; es de forma oblonga, recubierta por una membrana o testa negruzca semejante a la que cubre a la semilla del coco, fruto con el cual puede ser comparado, ya que el sabor, color y textura son casi similares; pero a diferencia del coco, esta masa es compacta, más o menos ovoide y muy oleosa.

**Tabla 2.4 Composición proximal del fruto de la Palma Coroba [3]**

Parte del fruto	Hu	Prot	Gr	Fib	Ceni	E
Cabecal	22,8	3,40	2,4	42,	3,30	2
Epicarpio o	4,00	4,60	2,5	42,	5,70	4
Mesocarpio o	10,0	5,20	30,	5,0	5,40	0
Endocarpio o	11,7	1,30	0,4	11,	1,00	7
Almendra	10,0	10,8	63,	18,	6,50	-

\*expresados en % m/m en base húmeda de la muestra

\*\*ELN: extracto libre de nitrógeno

### 2.4.3. Zona de Ubicación del Cultivo

La palma de la Coroba se encuentra distribuida en todo el distrito Cedeño del estado Bolívar siendo su mayor concentración en las siguientes regiones: Caicara del Orinoco (Parroquia Caicara), Las Bonitas (Parroquia Las Bonitas), Santa Rosalía (Parroquia Ascensión Ferrara), Suapure (Parroquia la Urbana).

Las diversas partes características que integran la palma de la Coroba son idénticas en cada una de las regiones, excepto el tamaño del fruto que varía de un lugar a otro. En otras regiones de Venezuela como Miranda, Carabobo y Cojedes se ha encontrado este tipo de palma, que a diferencia de la localizada en el estado Bolívar, presentan un mayor tamaño, pero la pulpa presenta textura pegajosa y un sabor poco agradable al paladar [7]. En la figura 2.4 se muestra la ubicación del municipio Cedeño en el estado Bolívar, zona privilegiada en cuanto al cultivo silvestre de dicha palma.



**Figura 2.4 Ubicación geográfica del Municipio Cedeño [8]**

#### **2.4.3.1. Clima**

Las características climáticas de Caicara están influenciadas por la presencia del río, según la clasificación climática de Koeppen, el clima de la zona es tropical de sabana, donde se dan temperaturas altas todo el año, con una estación lluviosa desde abril hasta finales de octubre un período seco desde noviembre hasta marzo [8]

#### **2.4.3.2. Suelo**

Los suelos varían de acuerdo al material constituyente y por consiguiente pueden distinguirse los arenosos que son excesivamente drenados sobre pendientes entre dos y ocho por ciento y los parciales arenosos con incremento significativo de contenido de arcillas (franco-arcillo-arenoso) [8]

#### **2.4.3.3. Humedad Relativa**

La humedad es alta en toda la zona debido a la altitud y a la presencia de un cuerpo de agua como lo es el Orinoco, y se ubica por encima del 75% [8]

#### **2.4.3.4. Influencia del Clima, Suelo y Humedad de la Región sobre la Palma Coroba**

La variabilidad observadas en el clima y las condiciones pluviométricas han dado origen a la formación de diversos tipos de suelo dentro del distrito Cedeño, esta diversidad justifica la presencia de diferentes características de la Coroba en las regiones antes mencionadas.

La mayor influencia se le atribuye a la humedad, la cual junto con la temperatura es el factor determinante en la relación existente entre las diferentes sustancias de reserva en las plantas, es decir, que a mayor humedad del suelo corresponde mayor cantidad de grasa en las semillas de la planta. Además, en aquellas zonas que presentan un mayor riego se ha encontrado que las palmas producen un mayor número de racimos con frutos de masa mayor [9]



#### **2.4.3.5. Valor nutritivo**

El fruto de la Coroba presenta muchas características fisicoquímicas de gran importancia, las cuales se mencionan de acuerdo a las partes constituyentes del fruto. El cabezal y epicarpio son las partes que poseen un menor valor nutritivo de la fruta, mientras que el mesocarpio o pulpa de la Coroba es una de las partes del fruto que ofrece mayor utilidad en la industria alimenticia, ya que posee un alto contenido en materia grasa. La almendra puede contribuir al mejoramiento del producto alimenticio para animales mediante el aporte de proteínas y demás elementos que quedan en la torta residual después de la extracción del aceite por prensado mecánico [9]

#### **2.5. Proceso de molienda: generalidades.**

La molienda es una operación unitaria que implica la transformación física de materia sin alterar su naturaleza. El objetivo de la molienda es producir partículas pequeñas a partir de otras mayores

En la práctica casi todos los materiales sufren un paso de reducción de tamaño en alguna etapa de su procesado. Algunos alimentos necesitan de procesos de extracción, bien sea de pulpas (en el caso de frutas), huesos, o líquidos. Los procesos industriales para realizar la extracción pueden ser la mediante la trituración del alimento, el machacado o molienda (cereales para el pan, las olivas para el aceite, etc.), extracción mediante calor (grasas, tostado del pan, etc.), secado y filtrado, empleo de disolventes [10]

Dentro de las razones para realizar una reducción de tamaño están el liberar un componente para una separación posterior, subdividir el material de manera que pueda mezclarse íntimamente con otros componentes, tener un tamaño de partícula

adecuado al requerimiento de calidad del producto final y preparar los residuos para su reciclaje [10]

Para poder someter una muestra a diferentes tipos de análisis químicos y físicos, es necesario homogeneizarla lo más posible y triturarla hasta que alcance un determinado grado de finura. Sólo la preparación reproducible de muestras garantiza resultados de análisis fiables y exactos. La molienda puede usarse en la fabricación de: harinas y almidones, en la industria de minerales, fertilizantes y fosfatos, cemento, cal y yeso, carbón, coque y otros productos del carbono, compuestos químicos, pigmentos y jabones, en la producción de polímeros, en el procesado de residuos, entre otros, de allí la importancia.

El término “reducción de tamaño” se aplica a todas las formas en las que las partículas de sólidos se pueden cortar o romper en piezas más pequeñas; en los procesos industriales la reducción de tamaño de sólidos se lleva a cabo por distintos métodos y con fines diferentes. Las grandes piedras de un mineral crudo se desintegran hasta un tamaño manejable; los productos químicos sintéticos se muelen hasta polvo y las láminas de plástico se cortan en cubos o rombos. Los productos comerciales con frecuencia han de cumplir rigurosas especificaciones con respecto al tamaño y, a veces, con respecto a la forma de las partículas. La reducción de partículas aumenta también la reactividad de los sólidos, permite la separación por métodos mecánicos de ingredientes no deseados y reduce el tamaño de un material fibroso para su más fácil tratamiento [11]

### **2.5.1. Tipos de Molienda**

A grandes rasgos existen dos grandes tipos de molienda: seca y húmeda. Obviamente la diferencia está en la cantidad de agua que se usa en cada una de ellas. No es que la molienda seca no utilice agua en el procedimiento, sino que la

utiliza en menor cantidad. Por otro lado, hay una diferencia fundamental en cada uno de estos tipos de molienda. En la molienda seca lo que se pretende es la separación de partes anatómicas del fruto (endospermo, germen, y pericarpio); en este caso en específico la pulpa del fruto Coroba. Por el contrario, en la molienda húmeda lo que se quiere es la separación de componentes químicos existentes en el mesocarpio de dicha fruta (almidón, proteína, fibra). Es por ello que el objetivo de la molienda seca es obtener la mayor cantidad de harina (endospermo que tiene tanto almidón, gluten y algo de fibra) y en la molienda húmeda se quiere obtener la mayor cantidad posible de almidón, gluten (proteínas) y fibra, por separado, lo más puras posibles [11]

### **2.5.2. Velocidad de Extracción**

La velocidad de extracción es afectada por los siguientes factores:

Temperatura

Concentración del solvente

Tamaño de las partículas

Porosidad

Agitación

Al aumentar la temperatura se aumenta la velocidad de extracción porque la solubilidad es mayor, el aumento de temperatura es muy usado en procesos de reacción química. La temperatura máxima para cada sistema está limitada por: el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del producto o del solvente, solubilidad de impurezas y por economía. La concentración del solvente es importante para soluciones acuosas, debido a la saturación y a la existencia de reacciones químicas, es de poca importancia cuando la extracción es controlada por difusión [12]

La reducción de partículas tiene gran importancia, porque aumenta el área de contacto y disminuye el tiempo necesario para la extracción, sobre todo para sólidos de baja porosidad. La porosidad permite que el líquido penetre a través de los canales formados por los poros dentro del sólido, aumentando así el área activa para la extracción [13]

La agitación da una mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de fluido que cubre la superficie del sólido en reposo y que actúa como una resistencia a la difusión. El equipo puede ser de etapas o de contacto continuo; algunas industrias requieren un tipo especial de equipo, pero en general las dos técnicas usadas son: rociar el líquido sobre el sólido o sumergir el sólido completamente en el líquido, el equipo usado en cada caso depende mucho de la forma física de los sólidos y del costo. Partículas trituradas (grandes) son tratadas en lechos fijos por métodos de percolación. Partículas molidas (finamente divididas) son puestas en suspensión en tanques llenos de solvente por medio de agitación.

Los principales métodos para extracción de partículas trituradas son: extracción en el sitio; extracción de montón; tanques percolados y sistema de multietapa en contracorriente. [14]

## **2.6. La harina: definición y características**

Una harina es un polvo más o menos blanco, que se obtiene de la molienda de las semillas de ciertas plantas alimenticias, ya sea de cereales, como el trigo, centeno, avena, cebada, arroz o maíz, y de leguminosas, como los guisantes, lentejas, habas o alubias; y según la naturaleza del grano, la harina poseerá más o menos propiedades nutritivas. No obstante, la industria alimentaria suele utilizar el término harina para referirse sólo a la harina de trigo; si se trata de otra harina se especifica su origen.

En general, los granos presentan tres partes distintas:

**El tegumento** que representa alrededor del 14,36 % del grano y encierra la capa rica en materias nitrogenadas.

**El albumen** que representa el 84,21 % y se compone de gluten (mezcla de proteínas) y almidón.

**El germen o embrión** que representa el 1,5% del grano y es rico en materias nitrogenadas y grasas. La molienda tiene como fin liberar los granos de almidón y las capas proteicas de las células vegetales.

Todas las harinas tienen un papel muy importante en la alimentación humana, ya que en general éstas contienen un 5-12 % de proteínas o sustancias nitrogenadas, 68 - 78 % de hidratos de carbono (en forma de almidón y glucosa), 0,94 - 4 % de grasas y un 0,48 -1,14% de sales minerales y vitaminas (sobre todo potasio, un poco de hierro, poco calcio, todas las vitaminas del grupo B y carentes de vitaminas A y C). Para conservarlas debe almacenarse a temperaturas bajas, y no contener una humedad que exceda del 13 %, ya que sería susceptible al ataque microbiano o por insectos. Una buena harina debe poseer un determinado número de características: tener un buen sabor de engrudo fresco, un olor ligero y agradable, ser suave y aterciopelada al tacto cuando se trata de un trigo tierno y más granulosa si es un grano duro, tener un color de blanco crema a amarillo, sin ser demasiado húmeda ni demasiado ácida. [15]

## 2.7. Hidratos de carbono

Grupo de compuestos, también llamados glúcidos, que contienen hidrógeno y oxígeno, en la misma proporción que el agua, y carbono. La fórmula de la mayoría de estos compuestos se puede expresar como  $C_m(H_2O)_n$ .

Energéticamente, aportan 4 Kcal (kilocalorías) por gramo de peso seco. Esto es, sin considerar el contenido de agua que pueda tener el alimento en el cual se encuentra el hidrato de carbono. Cubiertas las necesidades energéticas, una pequeña parte se almacena en el hígado y músculos como glucógeno (normalmente no más de 0,5% del peso del individuo), el resto se transforma en grasas y se acumula en el organismo como tejido adiposo. Se suele recomendar que mínimamente se efectúe una ingesta diaria de 100 gramos de hidratos de carbono para mantener los procesos metabólicos. [16]

### **2.7.1 Clasificación de los Hidratos de Carbono**

Están clasificados en varios grupos. Se encuentran los monosacáridos que a su vez se clasifican en aldosas y cetosas. Los oligosacáridos donde se encuentran los disacáridos (sacarosa), trisacáridos (rafinosa), tetrasacáridos (estaquiosa), pentasacáridos (verbascosa) y las dextrinas. Por último, encontramos a los polisacáridos que están clasificados como de almacenamiento (glucógeno, almidón) y estructurales (quitina, celulosa) [16]

#### **2.7.1.1 Hidratos de Carbono: Simples y Complejos**

**Los simples:** Los hidratos de carbono simples son los monosacáridos, entre los cuales podemos mencionar a la glucosa y la fructosa que son los responsables del sabor dulce de muchos frutos. Con estos azúcares sencillos se debe tener cuidado ya que tienen atractivo sabor y el organismo los absorbe rápidamente. Su absorción induce a que nuestro organismo secrete la hormona insulina que estimula el apetito y favorece los depósitos de grasa. El azúcar, la miel, el jarabe de arce, mermeladas, jaleas y golosinas son hidratos de carbono simples y de fácil absorción. Otros alimentos como la leche, frutas y hortalizas los contienen aunque distribuidos en una mayor cantidad de agua. Algo para tener en cuenta es que los productos industriales

elaborados a base de azúcares refinados es que tienen un alto aporte calórico y bajo valor nutritivo, por lo que su consumo debe ser moderado.

**Los complejos:** son los polisacáridos; formas complejas de múltiples moléculas. Entre ellos se encuentran la celulosa que forma la pared y el sostén de los vegetales; el almidón presente en tubérculos como la papa y el glucógeno en los músculos e hígado de animales. El organismo utiliza la energía proveniente de los hidratos de carbono complejos de a poco, por eso son de lenta absorción. Se los encuentra en los panes, pastas, cereales, arroz, legumbres, maíz, cebada, centeno, avena, etc. [16]

## **2.8. Almidón: definición**

El almidón es un hidrato de carbono complejo, un polisacárido natural formado por moléculas de glucosa unidas por un enlace glicosídico entre los carbonos 1 y 4. Su fórmula general es  $(C_6H_{10}O_3)_n$ , con valores de “n” que van desde cincuenta a varios miles [16] Es el principal componente en la dieta humana. El consenso reciente sobre los hábitos saludables de consumo favorecen un incremento en la proporción de carbohidratos poliméricos vegetales (incluyendo almidón) en la dieta diaria. Sin embargo, en nuestra cultura, el propósito principal de utilizar almidón en los alimentos es más funcional que nutricional. Este biopolímero constituye una excelente materia prima para modificar la textura y la consistencia de los alimentos. No solo es importante la cantidad de almidón para la textura del producto sino también el tipo de almidón. La producción anual de almidón es de 66,5 millones de toneladas [17]

Los almidones comerciales se obtienen de semillas de cereales como el maíz, arroz, trigo, y de algunas raíces y tubérculos, como la yuca y la papa. Es la sustancia de reserva alimenticia predominante en las plantas y proporciona del 70 al 80% de las

calorías consumidas por el humano. Tanto el almidón como los productos de la hidrólisis del almidón constituyen la mayor parte de los carbohidratos digeribles de la dieta habitual. Además de su valor nutritivo, los almidones nativos y modificados pueden ser usados para gelificar, espesar, como adhesivo, para retener humedad, estabilizar y dar textura. Los almidones también son utilizados en la industria del papel y la industria textil. [18]

### **2.8.1 Origen del Almidón**

Las técnicas de procesamiento de la materia prima amilácea están entre las más antiguas. Descripciones de la misma constan desde la historia de la civilización. Fueron encontradas tiras de papiros egipcios, colocadas entre sí con una pasta adhesiva obtenida de almidón gomificado, datando de 4.000 – 3.500 años antes de Cristo. Ese papel primitivo era tratado de manera especial con almidón para retener la tinta, mostrando notable avance tecnológico. Documentos romanos datados de 23 a 47 años después de Cristo describen otras fuentes datadas de 130 años antes de Cristo, donde el papiro había sido modificado con el uso de almidón. Una de las primeras descripciones de extracción de almidón fue dada por Cato en un tratado Romano de Agricultura, escrito en el año 170 después de Cristo. En esa descripción, los granos de cereal eran macerados con agua por 10 días, el agua y el grano mojado se removían. La mezcla era dejada asentar prensado luego en un paño de lino. La crema semi-líquida era calada en una vasija limpia con agua potable. El material obtenido era dejado secar al Sol. Esta descripción es importante porque los procesos modernos siguen exactamente ese orden, mostrando que los equipamientos pueden mudar, más los principios difícilmente son alterados.[19]

En 1719, Leenwenhock, inventor del microscopio, por intermedio de este aparato, hace intensas observaciones del granulo de almidón. Esos estudios facilitaron las dimensiones presentadas por los gránulos de almidón, que está entre las mayores



partículas sub-microscópicas encontradas en la naturaleza. Muchas otras observaciones posibilitaron un avance de conocimiento sobre la estructura del almidón.

En el siglo XIX el almidón era un artículo común en el comercio europeo. Sus propiedades comenzaban a tornarse conocidas. Una de las mayores descubiertas en esa época fue debida a Kirchoff que en 1811 comprobó ser posible producir azúcar del almidón por hidrólisis ácida. Además de eludir la naturaleza química del almidón, ese mayorazgo aún es utilizado hasta la actualidad, sirviendo de base a la producción de azúcares como la glucosa y maltosa a partir del almidón. En 1821 ocurre un incendio en una fábrica de textil en Dublín, que utilizaba almidón para engomar los hilos. Cuando el fuego fue extinto se observó que parte del almidón almacenado se había transformado en cenizas por el calor y como eso se disolvía fácilmente con el agua, produjo una pasta espesa y adhesiva, de esta manera fue descubierta la dextrinización del almidón por el calor. Considerando las cinco principales culturas amiláceas a nivel mundial, entre los cereales, sin duda la papa fue una de las más valorizadas por ser posible su cultivo en Europa. La situación comenzó a cambiar a finales del siglo XIX cuando se hicieron mejoras en la tecnología de almidón de maíz haciéndolo más competitivo. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial el consumo de almidón de papa creció enormemente. [19]

### **2.8.2 Características Generales del Almidón**

El almidón es quizás el polímero natural más importante que existe y es la mayor fuente de energía obtenida de varias plantas. Se encuentra en las semillas de cereales (maíz, trigo, arroz, sorgo), en tubérculos (papa), en raíces (yuca, batata, arrurruz), en semillas de leguminosas (frijoles, lentejas, guisantes), frutas (bananas, manzanas, tomates verdes y palmas), troncos (palma sago) y hojas (tabaco). Es la sustancia de reserva más importante de los vegetales y forma granos microscópicos

en el interior de la célula; estos granos están constituidos por capas concéntricas siendo su forma y tamaño característicos de las especies que lo producen, como puede observarse en la figura 2.5 Cuando se extraen y se secan los gránulos de almidón, éstos se presentan en forma de polvo blanco, desprovisto de gusto e insolubles en agua fría y alcohol; no obstante, sí se disuelven en agua hirviendo transformándose luego en una materia de consistencia gelatinosa [20]. En general, los gránulos de almidón presentan una composición química con 0,06 - 0,45 % de proteína, 0,05 - 0,8 % de lípidos, 0,08 - 1,4 % de ceniza y el resto lo forma el almidón propiamente dicho [20].



**Figura 2.5. Diferentes gránulos de almidón [20]**

El almidón es fabricado por las plantas verdes durante la fotosíntesis y lo almacena como energía en las paredes celulares y fibras de las plantas. Cuando el organismo necesita movilizar estas reservas (germinación, formación de nuevos tejidos) desdobla las cadenas en sus componentes elementales por hidrólisis: primero mediante la enzima amilasa produciendo fragmentos de 6 a 12 carbonos llamados dextrinas, luego forma el disacárido maltosa  $C_{12}H_{22}O_{11}$  y por último el monosacárido glucosa  $C_6H_{12}O_6$  que por oxidación produce dióxido de carbono, agua y energía. La digestión del almidón por el cuerpo humano comienza por la boca con la acción de la saliva y culmina en el intestino delgado.

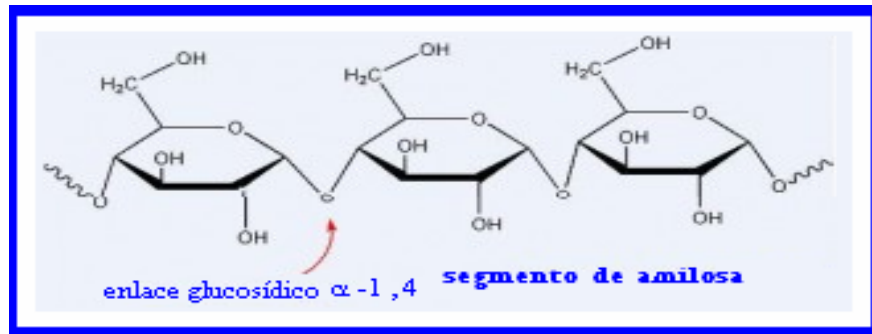
El cuerpo no consume toda la glucosa absorbida en la digestión del almidón, sino que transforma una gran parte de ella en glucógeno y la almacena en el hígado tal que a medida que el organismo precisa de glucosa, hidroliza el glucógeno y la libera en el flujo sanguíneo. De aquí la importancia del almidón como fuente de energía tanto para los vegetales como para los animales.

### **2.8.3 Estructura de los Almidones**

En realidad el almidón no es una sustancia pura, sino que está formado por dos componentes: la amilosa y la amilopectina, las cuales poseen propiedades físicas y químicas muy diferentes que influyen en las características funcionales del almidón, así como en su estructura. [21]

#### **2.8.3.1 Amilosa**

Es un polímero lineal que consta de moléculas de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4), el número de unidades varía entre los diferentes tipos de almidones pero generalmente se encuentra entre 1.000 unidades de glucosa por molécula de amilosa y tiene forma de espiral. En un extremo de la macromolécula la unidad de glucosa contiene el hidroxilo del carbono anomérico (a) libre, por lo cual se llama extremo reductor. En el extremo opuesto, o no reductor, el hidroxilo del carbono anomérico forma parte del enlace glucosídico (Figura 2.6). La abundancia de hidroxilos otorga propiedades hidrofílicas al polímero, impartándole afinidad por el agua. Sin embargo, debido a su linealidad, los polímeros de la amilosa tienden a agruparse muy estrechamente en forma paralela mediante la formación de puentes de hidrógeno entre los hidroxilos de los polímeros adyacentes reduciendo así su afinidad por el agua. En soluciones diluidas, el tamaño de agregación de los polímeros se puede incrementar hasta el punto en que ocurre precipitación. [21]



**Figura 2.6. Estructura del polímero de la amilosa. [21]**

En general, la estructura lineal de la amilosa favorece la formación de películas fuertes. Este fenómeno de asociación intermolecular entre las moléculas de amilosa es comúnmente llamado *retrogradación*. La amilosa forma muchos complejos insolubles con un gran número de moléculas orgánicas como alcoholes alifáticos, ácidos monoglicéridos o ácidos grasos lineales; el complejo generalmente precipita, cristalizándose, lo que permite hacer la separación con la amilopectina. La amilosa tiene afinidad por el yodo y sus moléculas contienen segmentos hidrofílicos e hidrofóbicos. El color del complejo es característico de la amplitud de la cadena, azul para un grado de polimerización mayor de 40 y rojo, pardo o amarillo para un valor menor que este [21].

La amilosa es susceptible de complejar moléculas hidrofóbicas (yodo, ácidos grasos, cadenas hidrocarbonadas), su capacidad de fijar yodo está en el orden de 20 mg por cada 100 mg de amilosa. Esta propiedad se debe a la conformación en hélice de esta macro molécula en la cual los grupos hidrófilos se orientan hacia el exterior y los hidrófobos hacia el interior. La cavidad hidrófoba tiene un diámetro de 4,6 Å que puede ser ocupado por diversos compuestos. Esta capacidad de fijación del yodo es la base de cuantificación del almidón, la caracterización de la amilosa y de la proporción de amilosa en relación a la amilopectina. [22]

Por su contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar como cerosos (con alrededor de 1-2% de amilosa), normales (con 17-24% de amilosa) y altos en amilosa (con 70% o más de este polímero). La mayoría de los almidones contiene aproximadamente un 25% de amilosa. [24]. Muchos almidones tales como del maíz común, trigo, papa y yuca contienen alrededor de 18-28 por ciento de amilosa; el maíz y el trigo están en el extremo alto del rango, mientras la papa y la yuca están en el extremo más bajo, entre 17-22 por ciento de amilosa.

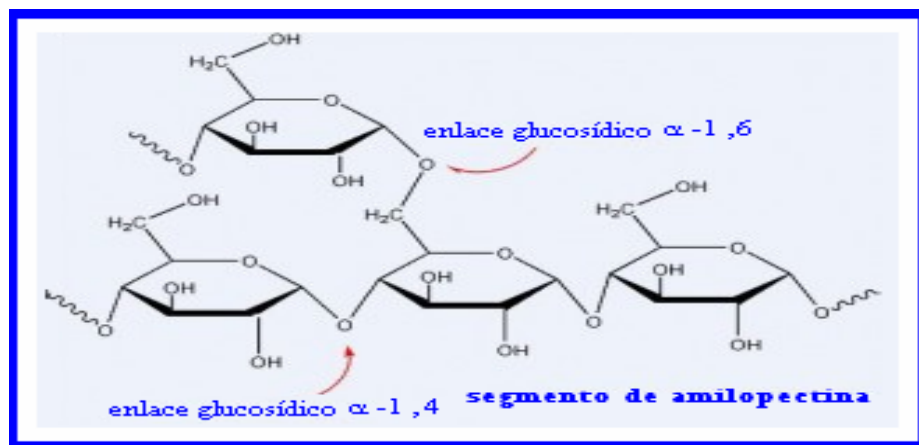
### **2.8.3.2 Amilopectina**

Es un polímero ramificado formado por cadenas lineales constituidas por 15-35 moléculas de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 4). Estas cadenas están unidas entre ellas por enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) que forman los puntos de ramificación (figura 2.7). La amilopectina tiene 5-6 % de enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) y está constituida de alrededor de 100.000 moléculas de glucosa.

El gran tamaño y naturaleza ramificada de la amilopectina reduce la movilidad de los polímeros e interfiere su tendencia a orientarse muy estrechamente para permitir niveles significantes de enlaces de hidrógeno. Como resultado, los soles o soluciones acuosas de amilopectina se caracterizan por su claridad y estabilidad como medida de la resistencia a gelificarse durante el almacenamiento. Los soles de amilopectina no forman películas tan fuertes y flexibles como la amilosa y no forman un complejo con yodo asociado con su coloración azul profunda. La amilopectina en sus estructuras lineales puede formar también complejos; pero como estas partes lineales son cortas, las hélices que se forman son cortas y solo se pueden introducir moléculas pequeñas dentro de ellas.

La amilopectina puede formar complejos de color rosa con el yodo y no puede formar complejos con los ácidos grasos. Las cadenas lineales de los dos polímeros

pueden formar hélices con seis moléculas de glucosa por cada ciclo. En el caso de la amilopectina, los enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6) son puntos de ruptura para la formación de las hélices y únicamente pueden formarse hélices cortas con las partes lineales de la molécula. En cambio, hélices constituidas de 120 moléculas de glucosa pueden formarse con la amilosa.



**Figura 2.7. Estructura del polímero de la amilopectina. [22]**

La estructura y la cantidad relativa de ambos componentes del almidón juegan un papel importante en la determinación de las propiedades fisicoquímicas (Tabla 2.2). La organización intramolecular entre amilosa y amilopectina con enlaces hidrógeno entre los grupos alcohólicos, directamente, o a través de moléculas de agua, conduce a la formación de zonas cristalinas (capas densas con un alto número de ramificaciones) y amorfas [capas menos organizadas ricas en puntos de enlaces  $\alpha$ -D-(1 $\rightarrow$ 6)]. Esto da al almidón una estructura semicristalina, con propiedades específicas como la presencia de un cruce en el gránulo ante una observación con luz polarizada y la difracción de los rayos X con tres tipos de espectro que permiten diferenciar los almidones de cereales, raíces y tubérculos. Sin embargo, en esta clasificación hay algunas excepciones como la yuca que presenta un espectro similar al de los cereales. [23]

El almidón natural necesita de la aplicación de calor para que se hidrate. El grado de hidratación depende del pH, temperatura y tiempo. Cuando se hidrata y se dispersa en agua caliente se forma un compuesto de color claro que tiene un sabor suave; cuando se enfría puede formar un gel débil. Si se calienta por tiempo prolongado y en condiciones ácidas, el almidón pierde sus habilidades espesantes.

**Tabla 2.5 Propiedades de los componentes del almidón [24]**

Propiedad	Amilosa	Amilopectina
Estructura	Lineal	Ramificada
Longitud promedio de la cadena	Aprox. 1 000	20-25
Peso molecular	40 000 hasta $10^6$	200 000 hasta $10^9$
Grado de polimerización	Aprox. 1 000	10 000–100 000
En solución	Hélice extendida o enrollada	Esfera irregular
Estabilidad en soluciones acuosas	Retrógrada	Estable
Acomplejamiento	Con facilidad	Con dificultad
Retrogradación	Rápida	Muy lenta
Gel	Firme e Irreversible	Suave y Reversible
Formación de complejos	Favorables	Desfavorable
Patrón de rayos X	Cristalino	Amorfo
Digestibilidad de la $\beta$ -amilasa	Casi completa	Cerca de 60%
Reacción con yodo	19-20%	5-9%
Color con la solución de yodo	Azul profundo	Violeta
Longitud de onda máxima (nm)	Aprox. 660	530-550

## **2.9. Análisis fisicoquímico**

El análisis de rutina de cualquier clase de almidón debe incluir la determinación de los siguientes parámetros: humedad, ceniza, grasa, proteína, acidez, fibra, color, pH y amilosa, debido a que las propiedades fisicoquímicas son las que determinan el uso del almidón.

### **2.9.1 Humedad**

En los almidones, cualquiera que sea el método de industrialización a que hayan sido sometidos, contienen agua en cierta proporción. El agua puede decirse que existe en dos formas generales: "agua libre" y "agua ligada". El agua libre o absorbida, se libera con gran facilidad y es estimada en la mayor parte de los métodos usados para el cálculo del contenido en agua. En los hidratos el agua se encuentra como agua de cristalización o ligadas a las proteínas. Estas formas requieren para su eliminación en forma de vapor un calentamiento de distinta intensidad. Parte de la misma permanece ligada al alimento incluso a temperatura que lo carboniza. Hay muchos métodos para la determinación del contenido de humedad de los alimentos, variando en su complicación de acuerdo a los tres tipos de agua y a menudo hay una correlación pobre entre los resultados obtenidos. Sin embargo, la generalidad de los métodos da resultados reproducibles, si las instrucciones empíricas se siguen con fidelidad y pueden ser satisfactorios para uso práctico. Los métodos pueden ser clasificados como por secado, destilación, por métodos químicos e instrumentales. Para este caso en específico se utilizó el método por secado. [25]

#### **2.9.1.2. Determinación de Humedad: Método por Secado**

Este incluye las mediciones de la pérdida de peso debida a la evaporación de agua a la temperatura de ebullición o cerca de ella. Aunque tal método es usado



frecuentemente debido a que da resultados exactos cuando se considera sobre una base relativa, hay que tener en mente que el resultado obtenido puede no ser una medición verdadera del contenido de agua de la muestra.

En la fabricación de alimentos se pueden utilizar procedimientos rápidos para determinar humedad usando estufas desecadoras especiales que trabajan a temperaturas altas. Otras estufas tienen lámparas secadoras de radiación infrarroja y tienen además una balanza de lectura directa. Los hornos de microondas pueden utilizarse para la determinación de humedad en el laboratorio en forma rápida.

### **2.9.2. Ceniza**

Se denomina así a la materia inorgánica (sales minerales) que forma parte constituyente de los almidones. Las cenizas permanecen como residuo luego de la calcinación de la materia orgánica del alimento. La calcinación debe efectuarse a una temperatura adecuada, que sea lo suficientemente alta como para que la materia orgánica se destruya totalmente, pero tenemos que observar que la temperatura no sea excesiva para evitar que los compuestos inorgánicos sufran alteración (fusión, descomposición, volatilización o cambio de estructura).

Los minerales o sales de minerales cumplen en el organismo funciones plásticas y reguladoras. Cumplen la función plástica, el calcio, fósforo y el magnesio, formando parte del esqueleto, cartílagos, dientes, etc., el hierro (Fe) en la hemoglobina, C, H, O en grasas y glúcidos, el N en las proteínas. Pequeñísimas cantidades de Cu, Mn, Co y otros minerales también cumplen funciones plásticas.

[26]

### 2.9.3. Grasa

Los cuerpos grasos o lípidos son mezclas de ésteres resultantes de la combinación de glicerina con los ácidos grasos superiores, principalmente el palmítico, oleico y esteárico. Los lípidos son insolubles en el agua y menos densos que ella. Se disuelven bien en disolventes no polares, tales como el éter sulfúrico, sulfuro de carbono, benceno, cloroformo y en los derivados líquidos del petróleo. Muchos vegetales acumulan considerables cantidades de lípidos en los frutos y semillas. Con frecuencia se encuentran combinados covalentemente o mediante enlaces débiles con miembros de otras clases de biomoléculas, constituyendo moléculas híbridas tales como los glucolípidos, que contienen lípidos y glúcidos, y las lipoproteínas que contienen lípidos y proteínas. En estas biomoléculas las propiedades químicas y físicas características de sus componentes están fusionadas para cumplir funciones biológicas especializadas. [27]

#### 2.9.3.1. Determinación de la Grasa: Métodos de Extracción Directa con Disolventes

El contenido en lípidos libres, los cuales consisten fundamentalmente de grasas neutras (triglicéridos) y de ácidos grasos libres, se puede determinar en forma conveniente en los alimentos por extracción del material seco y reducido a polvo con una fracción ligera del petróleo o con éter dietílico en un aparato de extracción continua. Se dispone de éstos en numerosos diseños, pero básicamente son de dos tipos. El tipo **Bolton o Bailey-Walker** da una extracción continua debido al goteo del disolvente que se condensa sobre la muestra contenida en un dedal que es un filtro poroso, alrededor del cual pasa el vapor caliente del disolvente. El tipo **Soxhlet** da una extracción intermitente con un exceso de disolvente reciente condensado. La eficiencia de estos métodos depende tanto del pre-tratamiento de la muestra como de la selección del disolvente.

### 2.9.4 Proteína

Las proteínas están consideradas como el constituyente más importante de cualquier célula viviente y representan el grupo químico más abundante en el cuerpo de los seres vivos, con excepción del agua; en promedio. Las proteínas son componentes esenciales tanto del núcleo celular como del protoplasma celular y por lo tanto constituyen el grueso del tejido muscular, órganos internos, cerebro, nervios y piel (tabla 2.6). [28]

**Tabla 2.6 Composición química de un cuerpo humano que pesa 65 kg [28]**

Componentes	Porcentaje de peso corporal
Agua	61,6
Proteína	17,0
Grasas	13,8
Minerales	6,1
Carbohidratos	1,5

Las proteínas son compuestos orgánicos muy complejos con un alto peso molecular. En común con los carbohidratos y lípidos, sus elementos constitutivos son carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) y además contienen alrededor de un 16% de nitrógeno (N: rango 12-19%), y en ocasiones fósforo (P) y azufre (S). [28]

Desde un punto de vista químico, las proteínas son polímeros grandes. Son poliamidas y los monómeros de los cuales derivan son los ácidos aminocarboxílicos. Una sola molécula proteínica contiene cientos, e incluso miles, de unidades de aminoácidos, las que pueden ser de unos 20 tipos diferentes. El número de combinaciones diferentes, es decir, el número de moléculas proteínicas distintas que pueden existir, es casi infinito. Es probable que se necesiten decenas de miles de

proteínas diferentes para formar y hacer funcionar un organismo animal; este conjunto de proteínas no es idéntico al que constituye un animal de tipo distinto. [28]

Las proteínas son necesarias para la formación y renovación de los tejidos. Los organismos que están en período de crecimiento necesitan un adecuado suministro de proteínas para su aumento de peso. Los organismos adultos que tienen su peso estabilizado están en equilibrio dinámico, en el que sus proteínas se degradan y se regeneran continuamente, aunque su composición permanece constante. Para ello debe existir en la dieta un suministro regular y continuo de proteínas. [29]

#### **2.9.4.1 Determinación de Proteínas: Método de KJELDAHL**

Aunque se ha modificado durante años, el procedimiento básico de Kjeldahl mantiene aún su posición como la técnica más fidedigna para la determinación de nitrógeno orgánico. En consecuencia, es incluido entre los métodos oficiales aprobado por las organizaciones internacionales.

Se ha considerado que el catalizador más efectivo usado por el método Kjeldahl es el mercurio en forma de óxido mercúrico; así como el selenio, pero ambos tienen riesgos tóxicos y problemas para desecharlos. Además, el mercurio forma complejos con el amoníaco en el líquido de digestión que requieren la adición de tiosulfato de sodio para romper esos complejos y liberar el amoníaco. Tradicionalmente, el amoníaco liberado del líquido de digestión hecho alcalino se destila a una cantidad de ácido diluido normal, que finalmente es titulado con álcali normal para dar el contenido en nitrógeno orgánico en la muestra. Ahora es más popular destilarlo a una solución de ácido bórico al 4 % y titular directamente al amoníaco con ácido sulfúrico normal. [29]

### **2.9.5. Acidez**

La acidez es la capacidad que tiene una sustancia de liberar protones en solución. Una sustancia que tiene una alta capacidad para liberar protones en solución, es una sustancia que tiene una acidez relativamente alta. [30]

### **2.9.6. Fibra**

La fibra "cruda" o "bruta" es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente la muestra desengrasada con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluidos. Este tratamiento empírico proporciona la fibra cruda que consiste principalmente del contenido en celulosa además de la lignina y hemicelulosas contenidas en la muestra. Las cantidades de estas sustancias en la fibra cruda pueden variar con las condiciones que se emplean, por lo que para obtener resultados consistentes deben seguirse procedimientos estandarizados con rigidez. [31]

### **2.9.7. Color**

El color es un criterio básico en la evaluación de la calidad del almidón y constituye una cualidad fundamental en el análisis sensorial. Es un parámetro adecuado para comparar y clasificar almidones y brinda una mayor información para una posible comercialización de este producto, especialmente para su uso a nivel industrial y textil.

El almidón pasta debe ser claro y libre de cualquier color para una mejor aceptación [32]. El almidón de raíces de yuca tiene un color blanco si la piel y la cáscara se retiran antes del aplastamiento [33]. Productos químicos como ácidos,

dióxido de azufre, blanqueadores, etc., ocasionalmente se utilizan para mejorar el color de almidón, pero estas sustancias afectan negativamente a la calidad del almidón [34]. Los ácidos orgánicos también mejoran el color en concentraciones más bajas, pero afectan a la solución de almidón en concentraciones más altas. El uso de amoníaco mejora considerablemente el color de la fécula de aráceas, especialmente Colocasia [35].

### 2.9.8. pH

El pH es la concentración de iones hidronio [ $\text{H}_3\text{O}^+$ ] presentes en determinadas sustancias. La sigla significa "potencial de hidrógeno" y su valor se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como pH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ión hidrógeno.

A pesar de que muchos potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH pueden ser menores que 1 y mayores que 14. Un pH igual a 7 es neutro, menor que 7 es ácido y mayor que 7 es básico, a 25 °C. A distintas temperaturas, el valor de pH neutro puede variar debido a la constante de equilibrio del agua ( $K_w$ ).

La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más usados en ciencias tales como química, bioquímica y la química de suelos. El pH determina muchas características notables de la estructura y actividad de las biomacromoléculas y, por tanto, del comportamiento de células y organismos. [36]

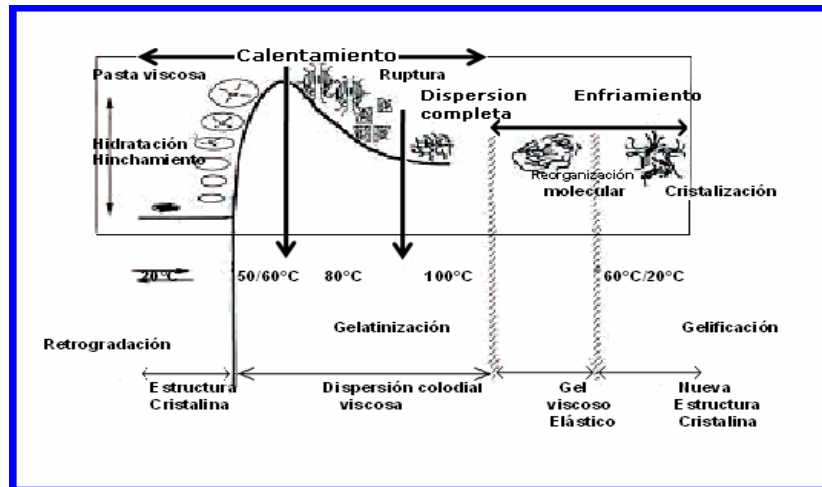
### **2.9.9. Amilosa**

Es una realidad de que el método simplificado de determinación de amilosa establecido por Juliano, ha sido por mucho tiempo, y lo es hoy, muy útil para definir la calidad de cocción y comestible de muchos alimentos [37], pero presenta alta variabilidad debido al uso de curvas de calibración con almidones diferentes al evaluado. También puede usarse el método de Mestres et al [38], que usa calorimetría diferencial de barrido o DSC. El fundamento de este método se basa en la medida de la energía de fusión del complejo formado entre la amilosa y el lípido L- $\alpha$ -Lysofosfatidilcolina (LPC).

### **2.10. Comportamiento reológico de los almidones**

Las propiedades funcionales de harinas y almidones son importantes en la industria de alimentos, ya que las características de los productos están influenciadas por ellas. La habilidad de un alimento que contiene almidón para formar una pasta o un gel es uno de los factores principales que determinan la textura y calidad del producto.

Durante un tratamiento hidrotérmico, el almidón sufre una serie de modificaciones que van a influir sobre su estructura, pasando por tres fases importantes: gelatinización, gelificación y retrogradación, los cuales causan hinchamiento, hidratación, fusión y ruptura de los gránulos de almidón (Figura 2.9). [39]



**Figura 2.9. Representación esquemática de los cambios de los granulos de almidón durante el procesamiento hidrotérmico [39]**

### 2.10.1 Gelatinización

En una primera fase el agua se difunde por las zonas amorfas del gránulo de almidón, produciéndose un primer hinchamiento que es reversible. Durante esta etapa de cocción, la amilosa se solubiliza y el almidón sufre una dispersión coloidal constituida por una fase continua o disolvente que se enriquece en amilosa y una fase dispersa de gránulos de almidón hinchados y enriquecidos en amilopectina. En esta etapa, los gránulos conservan sus propiedades ópticas incluyendo la capacidad de refractar la luz polarizada (birrefringencia), la cual está asociada a la alineación de las moléculas dentro del gránulo.

Si el calentamiento continúa, las moléculas de agua alrededor de los gránulos rompen los enlaces de hidrógeno en el interior de los gránulos, estos absorben agua lentamente y se hinchan. Este proceso es irreversible y ocurre después de que se alcanza una temperatura crítica que depende de la humedad presente, definida como la temperatura de transición vítrea  $T_g$  (Temperatura de gelatinización) la cual es



característica de cada almidón, pero también depende de la concentración de la suspensión. Cuando la molécula de almidón está completamente hidratada empieza a expandirse -se abre la hélice de la cadena- primero hacia el extremo externo y la cadena lineal más corta (amilosa) tiende a difundirse. Alcanzada esta temperatura se incrementa el hinchamiento y la birrefringencia desaparece; este fenómeno endotérmico se denomina gelatinización. La gelatinización ocurre en un intervalo de temperatura muy limitado, produce el hinchamiento del gránulo y la solubilización parcial de los polímeros, fenómenos que inducen la aparición de propiedades viscoelásticas las cuales se generan en un amplio intervalo de temperatura.[40]

La absorción de agua y el aumento de volumen van acompañados de un fuerte aumento de la viscosidad hasta llegar a un máximo llamado pico de viscosidad, en el cual el gránulo se rompe y ocurre una difusión de amilosa y amilopectina, generándose una mezcla de gránulos hinchados ricos en amilopectina, gránulos fundidos hidratados y moléculas disueltas de amilosa. La máxima viscosidad es el resultado del máximo hinchamiento, formándose una dispersión en medio acuosa, la cual es llamada pasta o engrudo. Cuando la temperatura de una suspensión acuosa de almidón es superior a la temperatura de gelatinización, los enlaces de hidrógeno se continúan destruyendo, las moléculas de agua empiezan a anexarse a los hidroxilos liberados y los gránulos se continúan hinchando. Como resultado directo del hinchamiento de los gránulos hay un incremento de la solubilidad del almidón. [41]

### **2.10.2. Gelificación y Retrogradación**

Durante la etapa de enfriamiento se distinguen dos etapas, la gelificación y la retrogradación. En la gelificación las moléculas de almidón se vuelven menos solubles y tienden a agregarse. La retrogradación es la cristalización de las cadenas de los polímeros que son agregados en el gel, cuando las pastas de los almidones son enfriadas y ocurre en tres estados: a) dilatación de las cadenas debido al rompimiento

de los enlaces intermoleculares que mantienen la configuración helicoidal, b) pérdida del límite de agua seguido de una reorientación de las moléculas y, finalmente c) una formación de enlaces de hidrogeno entre moléculas adyacentes formando una estructura cristalina. Esta cristalización va a endurecer el gel y acarrear el fenómeno de sinéresis, es decir, la expulsión de una parte del disolvente fuera del gel que produce una caída de la viscosidad. El grado de retrogradación es afectado por la concentración de amilosa y amilopectina, tamaño molecular, temperatura, pH y los componentes diferentes al almidón presentes en el medio. Es favorecido por bajos pH, aunque a valores de  $\text{pH} < 3$  la cantidad de material precipitado disminuye debido a la hidrólisis del almidón.

La estructura de la amilosa permite la formación de muchos sitios de enlace entre moléculas adjuntas por lo cual la retrogradación es asociada en gran parte con la fracción de amilosa, adicionado a su alto peso molecular. Altas concentraciones de amilosa implican formación de geles fuertes, opacos y que sufren sinéresis. Bajas proporciones de amilosa generan dispersiones claras y viscosas que no gelifican. [42]

El rango de temperatura de gelatinización es característico de cada tipo de almidón (tabla 2.7), y el origen de estas diferencias es usado como un factor determinante en la calidad tecnológica del almidón. [49]

**Tabla 2.7 Características de algunos almidones usados en la industria alimentaria [49].**

Tipo	Amilopectina(%)	Amilosa(%)	Temp de gelatinización (MC)	tamaño del gránulo (micras)
Maíz	73	27	62-72	5-25
Papa	78	22	58-67	5-100
Arroz	83	17	62-78	2-5
Yuca	82	18	51-65	5-35
Trigo	76	24	58-64	11-41

### **2.11. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento**

Cuando se calienta una suspensión acuosa de almidón, los gránulos se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua. [43]

Almidones de buena calidad con alto contenido de almidón y alta viscosidad de la pasta, tendrán una baja solubilidad, alta absorción de agua y un alto poder de hinchamiento. Alta solubilidad, baja absorción de agua y bajo poder de hinchamiento indican un almidón de baja calidad, el cual al enfriarse produce pastas delgadas y de poca estabilidad cuando se enfrían. [44]

### **2.12. Comportamiento de diferentes almidones**

El almidón de los tubérculos y las raíces presenta un fuerte elevamiento de viscosidad durante el cocimiento, mucho mayor que el de los cereales. Los gránulos de almidón de papa, yuca y maíz ceroso presentan picos de viscosidad más altos que

los de maíz y trigo. Esto es debido a que tienen mayor capacidad de absorción de agua, mayor velocidad de hidratación y se desintegran más rápidamente [46]. La Figura 2.10 muestra las curvas de viscosidad de diferentes almidones nativos generadas por un viscógrafo. Los valores de viscosidad pueden variar con la temperatura, velocidad y concentración de la solución de almidón utilizada en el viscógrafo.

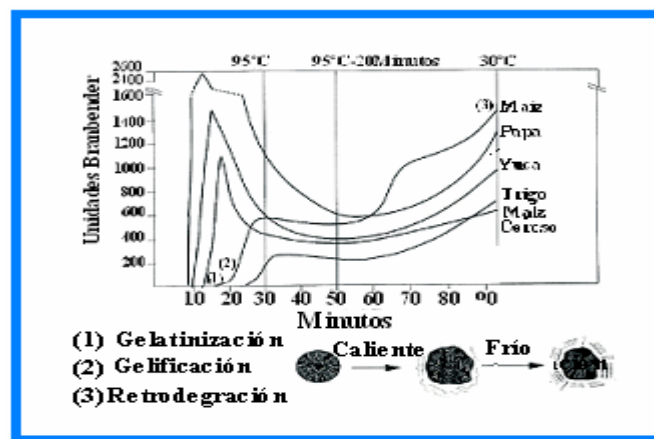


Figura 2.10 Perfil de Viscosidades de diferentes almidones [47]

**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. [47]

**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. El rompimiento será más rápido y acentuado. En el enfriamiento se presenta un ligero aumento en la viscosidad ya que no gelifica ni presenta sinéresis. [47]

**Almidón de papa** Absorbe más agua mostrando un máximo inicial mayor. Su temperatura de gelatinización es menor, debido a que los grupos éster-fosfato presentes en el gránulo de papa tienden a debilitar los enlaces provocando un espesamiento más rápido al calentarse. El máximo pico de viscosidad cae rápidamente durante el mantenimiento de la temperatura. La solución muestra poca tendencia a retrogradarse durante el enfriamiento. [47]

**Almidón de yuca** gelatiniza a la misma temperatura del almidón de maíz y del almidón de maíz ceroso, a temperaturas relativamente bajas (62-73 °C); el pico máximo es alcanzado rápidamente, lo que implica que es un almidón fácil de cocinar y requiere menor consumo de energía durante su cocción. Además, tiene una tendencia baja a la retrogradación y produce un gel de mayor claridad y estabilidad en comparación con el de otros almidones nativos [47]

Si un almidón muestra un alto poder de hinchamiento y alta solubilidad esto refleja la baja fuerza de asociación en los gránulos. El poder de hinchamiento de los almidones de cereales es más limitado que el que se observa para los almidones de tubérculos.

A continuación se muestra la comparación de algunas propiedades funcionales y fisicoquímicas de varios almidones. En algunos almidones, el tamaño de los gránulos de almidón muestra relación con su proporción amilosa/amilopectina [50]

**Tabla 2.8 Propiedades de algunos almidones [50]**

Almidón	Tipo	Morfología	Diám. (µm)	Cont. de amilosa (%)	Temp. de Gelatinización (°C)	Temp de Gelificación (°C)	Prop. de Cocción
Maíz	Cereal	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80	Gel opaco
Maíz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	5-30	<1	63-72	74	Claro cohesivo
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	5-100	20	59-68	64	Claro cohesivo tendencia a gelificar
Trigo	Cereal	Redondo Lenticular	1-45	25	58-64	77	Gel opaco
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81	Gel opaco
Sogo	Tronco	Ovalado Truncado	15-65	26	69-74	74	Gel opaco

**Tabla 2.9 Composición química de algunos almidones usados a nivel industrial.**

Componentes (%)	Makal	Camote	Yuca	Sagú	Maíz	Papa
Humedad	(8,99)	(9,83)	(9,48)	(10,5)	(9,9)	(19)
Proteína	0,16	0,22	0,06	0,64	0,35	0,06
Grasa	0,19	0,31	0,20	0,36	0,35	0,05
Fibra	0,35	0,28	1,01	0,06	0,62	-----
pH	4.5	4.35	5.26	4.78	5.49	5.66
Cenizas	0,12	0,26	0,29	0,22	0,06	0,40
Amilosa	23,6	19,6	17,0	22,7	28,3	21,0
Amilopectina	76,4	80,4	83,0	77,3	71,7	79,0

### **2.13. Difracción de rayos-x**

El grado de cristalinidad relativa se determinó mediante la relación entre el área total de la fracción cristalina (picos) y el área total de la fracción cristalina más el área de la fracción amorfa [47].

### **2.14. Usos del almidón en productos alimentarios y no alimentarios**

El almidón y los productos de almidón son usados en variedad de formas tanto en la industria de alimentos como en la que no se dedica a esta. En la alimentación, se usa como ingrediente de diferentes preparados y en la industria no alimentaria como materia prima básica o producto auxiliar para la elaboración de una amplia gama de productos.

El consumo de almidón se destina aproximadamente en un 75 % al sector industrial y el 25 % restante al sector de alimentos. La industria de fabricación de papel y cartón usan cerca del 80 % del almidón suministrado al sector industrial, seguido de textiles, adhesivos y otras industrias [51]

#### **2.14.1 Uso en Productos Alimentarios**

En la industria de alimentos el almidón, tanto nativo como modificado, tiene un papel importante en la textura de varios preparados al aportar palatabilidad y aceptabilidad: Como medio de moldeo, para caramelos de frutas, rodajas de naranja y gomas de mascar y dador de cuerpo, imparte textura y estabilidad a caramelos y marmelos. También suele usarse como emulsificante, produce una emulsión estable en la preparación de mayonesas y salsas similares.

### **2.14.2 Industria de Edulcorantes**

Dado que el almidón es un polímero formado por miles de unidades de glucosa su rotura produce glucosa como producto final. Los hidrolizados comerciales de almidón son clasificados de acuerdo al equivalente de dextrosa (DE) de los jarabes. Las maltodextrinas son usadas en gran variedad de alimentos, incluyendo mezclas secas para sopas y frutas saborizadas, bebidas lácteas, helados y mezclas para tortas. Se usan como sustitutos de grasa y encapsulantes de aroma y sabor. Los jarabes de glucosa son usados principalmente en confitería y también para elaborar salsas enlatadas, jugos de tomate, dulces y encurtidos. Además son usados en la industria de adhesivos y en fundición y son la materia prima para la manufactura de alcohol, bebidas alcohólicas (cerveza, güisqui, vodka), ácido acético, acetona, jarabe de fructosa, glutamato monosódico; de ácidos carboxílicos tales como ácido cítrico, láctico, butírico, succínico, glutámico, glucónico y propiónico, entre otros, y de carbohidratos hidrogenados como sorbitol y manitol, el primero de ellos usado en la producción de vitamina C y como base de alimentos para diabéticos y el segundo usado como endulzante con bajo contenido de calorías. La dextrosa es usada en la industria de alimentos panificados y sirve como azúcar fermentable y también contribuye a realzar el sabor y aroma y a dar el color de la corteza. En la industria farmacéutica, es usada en la producción de tabletas y en la formulación de líquidos intravenosos.

### **2.14.3. Uso en Productos no Alimentarios**

En las industrias no alimentarias el almidón nativo y modificado son usados principalmente como: Adhesivo, para diferentes aplicaciones en la industria de papel y cartón. Como agente inerte, como excipiente, vehículo y elemento adhesivo de tabletas y productos medicinales. Es usado como absorbente, en la preparación de jabones y detergentes para aumentar su efectividad y poder de limpieza, para



recuperar sólidos en procesos de flotación y clarificación en la refinación de metales.  
Etc...

#### **2.14.4. Industria de Papel y Cartón**

La industria de papel y cartón consume almidones con diversos tipos de modificación; el tipo varía en cada empresa de acuerdo a diversos factores entre los cuales se destacan: el tipo de aplicación, el tipo de papel producido, las condiciones de operación y tipo de maquinaria y los costos, entre otras. Esta industria exige tres características básicas en el almidón: blancura, bajo contenido de fibra y pocas impurezas. El almidón se usa en esta industria en varias formas: como pegamento en masa o interno, cuando se necesita un revestimiento de pigmento para el papel, el almidón actúa como agente de revestimiento y como adhesivo.

#### **2.14.5. Industria Textil**

En la industria textil los almidones se usan en las operaciones como encolado de la urdimbre, aprestado y estampado de tejidos. El colante o apresto se elabora con almidones esterificados y un lubricante. Se usa generalmente para fibras de algodón; mientras que para poliéster y acrílicos se requieren aprestos sintéticos. El almidón también es usado para el estampado de tejidos o para producir diseños en varios colores sobre la superficie lisa de un tejido acabado. Además se usa en lavandería para almidonar tejidos blancos y darles dureza y para restaurar apariencia y cuerpo a las prendas de vestir.

#### **2.14.6. Industria de Adhesivos**

El almidón y algunos almidones modificados se usan para la elaboración de adhesivos para diversas aplicaciones en la industria de papel y cartón, ya sea para

adhesivos de alta fuerza adhesiva o para colas de menor precio. Estos se emplean para el laminado de ciertos papeles, cerrado de cajas de cartón, fabricación de materiales de embalaje, papel de envoltura y cinta rehumedecibles, para el pegado de etiquetas sobre vidrio y enlatados, formación de sacos multipliegos de papel y bolsas de papel, elaboración de sobres. También son usados en la encuadernación de libros, sellados de cajas de cartón, pegado de papel de cigarrillos, fabricación de fósforos y cajas de fósforos.

#### **2.14.7. Industria Farmacéutica y Cosmética**

El almidón y algunos almidones modificados son ampliamente usados en la fabricación de píldoras o tabletas, en las cuales cumplen dos funciones: como agente de dispersión de polvo y como ligante del ingrediente activo de la tableta. Cuando esta es ingerida, el almidón absorbe rápidamente la humedad y se hincha causando un estrés interno al interior de la tableta el cual se desintegra y libera el ingrediente activo.

En la industria cosmética, se emplea en la fabricación de polvos faciales finos, polvos compactos y polvos nutritivos. También actúa como absorbente, mejorador de viscosidad y como vehículo para sustancias pastosas, líquidas o semisólidas en la elaboración de cremas y lociones de uso dermatológico [52]

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Procedimiento experimental**

El procedimiento experimental empleado, así como los ensayos y experiencias se desarrollaron en las instalaciones de la Universidad de Oriente (UDO) Núcleo Anzoátegui, específicamente en el Laboratorio de Alimentos y en el Laboratorio de Investigación de Química en la unidad de Cursos Básicos, con la colaboración de la Universidad Central de Venezuela (UCV) Núcleo Distrito Capital y el Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente (IIBCAUDO), Núcleo de Sucre. Todos los análisis pertinentes se rigen por las normas AOAC (Association of Official Analytical Chemist) respectivas.

##### **3.1.1. Obtención de la Materia Prima**

Antes de hacer los diferentes estudios al almidón del mesocarpio de la palma Coroba, primero fue necesario obtenerlo a partir del fruto. Para esto se siguió el proceso tradicional indígena el cual consta de operaciones sencillas de pelado, lavado y despulpado (figura 3.1).

###### **3.1.1.1. Recolección del Fruto de la Coroba**

La recolección del fruto de la palma Coroba se realizó en las adyacencias de la “Escuela Técnica Agropecuaria Robinsoniana Caicara (ETARC)” ubicada en la Urbanización Rómulo Gallegos en la población de Caicara del Orinoco, municipio Cedeño del Estado Bolívar. Las muestras se colectaron durante los meses de mayo a

octubre de 2008, y fueron trasladadas en sacos hasta las instalaciones de la U.D.O, Núcleo de Anzoátegui, donde fueron sometidos a los demás pasos y operaciones previos a la extracción del almidón.

### **3.1.1.2. Selección del Fruto**

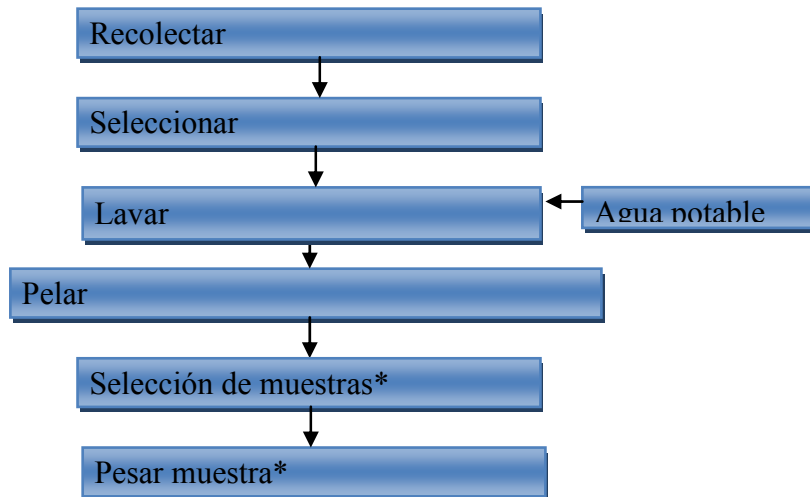
La selección de los frutos fue hecha de manera aleatoria entre las palmas que presentaron frutos de buen tamaño y color aceptable; por eso se hizo lo posible por adquirirlas justamente en la época de pre-cosecha con la finalidad de obtener una mejor calidad del producto deseado, desechando todos los frutos de color naranja y marrón (maduros) así como aquellos que mostraban aparentes daños físicos.

### **3.1.1.3. Acondicionamiento de la Muestra**

Para la obtención de la pulpa (mesocarpio) se procedió de la siguiente manera:

**Lavado:** Los frutos previamente seleccionados se sometieron a un lavado con agua a temperatura ambiente bajo estrujamiento para eliminar todo el sucio que presentaban en su parte exterior.

**Despulpado:** se procedió a retirar el epicarpio o concha del fruto, para lo cual se utilizaron cuchillos de acero inoxidable, obteniéndose el mesocarpio o pulpa de la Coroba mediante cortes en hojuelas, dejando la nuez lo más limpia posible. Se determinó el peso de mesocarpio obtenido.



\* Para efecto de cálculo del rendimiento

**Figura 3.1 Esquema para el acondicionamiento de la materia prima**

### 3.1.2 Obtención del Almidón

Después de acondicionada la materia prima, se extrajo el almidón (figura 3.2):

**Licuada:** el mesocarpio se molió con agua destilada, en una proporción 1:2, en una licuadora marca Osterizer, a diferentes tiempos de licuado, manteniendo la velocidad constante.

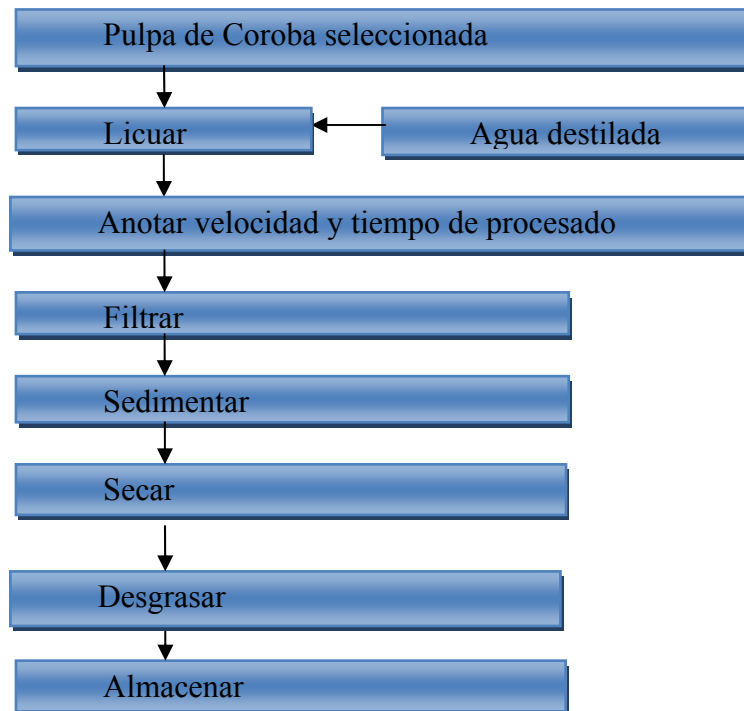
**Filtrado:** el licuado se tamizó a través de un liencillo.

**Sedimentación:** se dejó sedimentar la lechada para eliminar el agua por decantación. Se limpió la superficie del sedimento de impurezas visibles y se resuspendió nuevamente en agua destilada, repitiéndose el proceso hasta obtener un almidón totalmente libre de impurezas visibles.

**Secado:** el almidón se colocó en bandejas y se secó a una temperatura de  $45 \pm 2$  °C durante un tiempo de 120 minutos, en un deshidratador con ventilación forzada.

**Desgrasado:** se desgrasó con hexano para quitar gran parte de los lípidos contenidos en el almidón seco, provenientes de la pulpa.

**Almacenamiento:** la muestra previamente pesadas fue guardada en frascos con tapas herméticas para evitar la adsorción de humedad.



**Figura 3.2. Esquema para la obtención del almidón del mesocarpio de la Coroba.**

El rendimiento en almidón se calculó mediante la siguiente expresión [21]:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{ma_{obt}}{mm} \quad (\text{Ec.3.1})$$

Donde:

**ma<sub>obt</sub>**: masa del almidón obtenido

**mm**: masa de mesocarpio

### 3.1.3. Determinación de las Propiedades Fisicoquímicas del Almidón Extraído

A continuación se presentan los procedimientos de los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron a la muestra de almidón seco:

#### 3.1.3.1. Humedad

El contenido de humedad se determinó por el método 970.20 de AOAC, 1990 [26], que consiste en determinar la diferencia de pesada antes y después de calentar la muestra en estufa a 103 °C y presión atmosférica normal, durante 16 horas aproximadamente.

Procedimiento:

Desecar la cápsula en la estufa a  $103 \pm 1$  °C por un período no menor de dos horas o por toda la noche, enfriar en el desecador y pesar determinándose de esta manera la tara inicial.

En la cápsula previamente tarada, pesar exactamente alrededor de 3 g de la muestra a analizar

Colocar la cápsula con la muestra en la estufa a  $103 \pm 1$  °C hasta peso constante o por un periodo de 7 horas.

Retirar la cápsula de la estufa, colocar en un desecador por 45 minutos y pesar.

Para el cálculo del contenido de humedad libre presente en la muestra se utilizó la siguiente expresión [26]:

$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

$P_i$  = Masa inicial de la muestra en gramos.

$P_f$  = Masa final de la muestra en gramos.

### 3.1.3.2 Ceniza

El contenido de ceniza se determinó según el método 923.03 de la AOAC (1990) [27], que consiste en incinerar la muestra para determinar por diferencia de peso el contenido de ceniza.

Procedimiento:

Se pesaron 2 g de muestra en un crisol previamente tarado y deshumedecido.

El crisol y su contenido se calcinaron en una mufla a 650 °C durante 3-4 horas.

Se dejó enfriar el crisol a temperatura ambiente y se pesó.

Para el cálculo del contenido de ceniza presente en la muestra se utilizó la siguiente expresión [27]:

$$\%Ceniza = \frac{CC - C}{W} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

CC = Peso del crisol más la ceniza.



C = Peso del crisol vacío.

W = Peso de la muestra

### 3.1.3.3 Grasa

El contenido de grasa se determinó según el método 920.85 de la AOAC del año 1990 [28], que consiste en desgrasar la muestra con hexano, evaporar luego el solvente y secar la muestra en estufa.

Procedimiento:

Se pesaron 2 g de muestra en un beaker previamente tarado.

El beaker con la muestra se colocó en un extractor de grasa, usando hexano como solvente de extracción.

Se dejó enfriar el beaker conteniendo la grasa para luego colocarlo en la estufa durante una hora, con la finalidad de que se evapore completamente el solvente.

Se enfrió el beaker a temperatura ambiente y se pesó.

Para la determinación de grasa se utilizó la siguiente expresión [28]:

$$\%Grasa = \frac{BG - B}{W} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

B = Peso del beaker vacío.

BG = Peso del balón más la grasa.

W = Peso de la muestra.

### 3.1.3.4. Proteína Cruda

El contenido de nitrógeno se determinó por el método 920.87 de la AOAC (1990) [30], donde se realiza una mineralización de la muestra.

Procedimiento:

Se pesó 1 gramo de muestra y se colocó en un tubo de digestión.

Se agregó 1 g de catalizador y 25 mL de ácido sulfúrico concentrado

Se digesto la muestra por 4 h en un digestor marca Velp Científica, modelo DK6.

El amonio resultante se destila sobre ácido bórico en una unidad de destilación marca Velp Científica, modelo UDK 126A.

Se tituló con HCl 0,01N y el porcentaje de proteína total se calculó como  $N \times 6,25$

Para la determinación de proteína se utilizó la siguiente expresión [29]:

$$\% \text{ Proteína Cruda} = \left( \frac{V \times N \times 0,014}{W} \times 100 \right) \times f \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

V = volumen gastado de HCl en la titulación.

N = normalidad del HCl.

14 = equivalente-gramo del nitrógeno.

W = peso de muestra.

f = factor proteico = 6,25

### 3.1.3.5. Acidez titulable

Fue determinado por el método volumétrico 942.15 de la AOAC (1990).

Medida de la acidez total:

Tomar 50 mL del filtrado y titular con hidróxido de sodio 0,1 N utilizando fenolftaleina como indicador.

Para el cálculo de la acidez total se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Acidez = \frac{g_{acido}}{W} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

$$g_{acido} = Nb * Vb * PeqAc$$

Nb = normalidad de la base (NaOH)

Vb = volumen de la base

Peq Ac = peso equivalente ácido

W = masa de la muestra

### 3.1.3.6. pH

El pH fue determinado por el método 943.85 de la AOAC (1990)

Procedimiento:

Calibrar el medidor de pH con las soluciones tampón pH 4,0 y pH 7,0

Mezclar 20,0 g de almidón en base seca con 100 mL de agua destilada (previamente hervida para eliminar el CO<sub>2</sub>) durante 15 minutos

Filtrar a través de un papel filtro Whatman N°1

Tomar una alícuota y medir el pH con una cifra decimal

### 3.1.3.7. Fibra

El contenido de fibra se determinó según el método 920.86 de la AOAC (1990) [32], que extrae la fibra con un ácido y una base, la cual es luego incinerada para determinar por diferencia de peso el contenido de fibra.

Procedimiento:

Se pesó de 1 a 2 g de muestra en un balón de 500 mL

Se agregaron 200 mL de ácido sulfúrico al 1,25 % (hirviendo) y se sometió a reflujo durante 30 minutos.

Se filtró la solución caliente a través del papel de filtro. Se lavó con agua hirviendo varias veces con porciones de 50 mL cada vez, hasta que el agua de lavado no tuvo reacción ácida.

Se regresó el residuo con mucho cuidado al balón de digestión y se le agregaron 200 mL de NaOH al 1,25 % (hirviendo). Se sometió a reflujo durante 30 minutos.

Se filtró en un crisol Gooch y se lavó el residuo con agua hirviendo, hasta la eliminación del hidróxido de sodio en el filtrado, posteriormente se lavó con pequeñas porciones de alcohol.

Se secó el residuo en estufa a 105°C por espacio de 2 horas. Se dejó enfriar y se pesó (peso  $P_1$ ).

Se colocó el residuo en la mufla a 500-600°C por una hora. Se dejó enfriar y se pesó (peso  $P_2$ ).

Para el cálculo de la fibra cruda se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Fibra = \frac{P_1 - P_2}{W} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

$P_1$  = Peso

P2 = Peso

W = Peso de la muestra.

### 3.1.3.8. Amilosa

El contenido de amilosa se determinó utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC) con un equipo que cuenta con un software NETZSCH Proteus-Thermal Analysis-versión 4.8.3, para el registro y análisis de los datos, siguiendo el método de Mestres [39]. Este método se basa en la medida del cambio de entalpía (exoterma) que se produce en el enfriamiento al formarse un complejo entre la amilosa y el fosfolípido L- $\alpha$ -Lysofosfatidilcolina (LPC). Se utilizó LPC de yema de huevo (L-4129) de la marca Sigma y de referencia amilosa de papa.

Procedimiento:

Se pesaron entre 10 y 11 mg de las muestras en celdas de aluminio

Se agregaron 50  $\mu$ L de solución al 2% p/p de LPC en agua desionizada y como referencia se utilizó una celda vacía.

El perfil de temperatura para el análisis fue el siguiente: calentamiento de la muestra de 25°C a 160°C (10 °C/min), mantener por 2 minutos a 160°, enfriamiento hasta 60 °C (10 °C/min).

El contenido de amilosa se calculó con la siguiente fórmula:

$$Amilosa (\%) = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

$\Delta H_1$ = entalpía de la muestra y  $\Delta H_2$ = entalpía de la amilosa patrón

### 3.1.3.9. Color

Se determinó con un colorímetro marca Hunter Lab, modelo COLORFLEX CX1819, utilizando la escala CIEL\*a\*b\* con observador 10° e iluminante D65. La calibración se realizó con una placa blanca de porcelana con los siguientes valores: L\*: 93,54; a\*: -0,81 y b\*: 1,58. Se registraron los valores de L\* (Luminosidad), a\* (posición de la muestra en el eje rojo-verde) y b\* (posición de la muestra en el eje azul-amarillo). Con estos datos se determinó el índice de blancura (WI) y diferencia de color ( $\Delta E$ ), mediante las siguientes formulas establecidas por el método:

Diferencia de color ( $\Delta E$ ):

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (\text{Ec. 3.9})$$

Donde:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{muestra}} - L^*_{\text{patrón}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{muestra}} - a^*_{\text{patrón}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{muestra}} - b^*_{\text{patrón}}$$

Índice de blancura (WI):

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Ec. 3.10})$$

Donde:

L\* = Luminosidad

a\* = posición de la muestra en el eje rojo-verde

b\* = posición de la muestra en el eje azul-amarillo

### 3.1.4. Índice de Absorción de Agua, Índice de Solubilidad en Agua y Poder de Hinchamiento

Estas propiedades del almidón fueron determinadas por el método de Anderson *et al* [43]. Se trabajó en un rango de temperatura entre 65 y 95°C.

Procedimiento:

Se pesaron tubos de centrifuga secos a 60 °C.

Se agregó en los tubos 0,2 g de almidón (bs) y 10 mL de agua destilada

Se colocaron los tubos en baño de agua a 65 °C durante 30 minutos.

Se centrifugaron los tubos a 6000 rpm durante 30 minutos.

Se decantó el sobrenadante en cápsulas de aluminio (previamente taradas).

Se secó el sobrenadante en una estufa durante toda la noche a 70 °C.

Se pesó el tubo de centrifuga con el gel y las cápsulas con el residuo seco.

Para el cálculo del índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH), se realizaron los siguientes cálculos:

$$\text{Índice.de.absorción.de.agua(IAA)} = \frac{\text{Peso.del.gel(g)}}{\text{Peso.muestra(g)bs}} \quad (\text{Ec. 3.11})$$

$$\text{Índice.de.solubilidad.de.agua(ISA)} = \frac{\text{Peso.solubles(g)} \times V \times 10}{\text{Peso.muestra(g)bs}} \quad (\text{Ec. 3.12})$$

$$\text{Poder.de.hinchamiento(PH)} = \frac{\text{Peso.del.gel(g)}}{\text{Peso.muestra(g)bs} - \text{Peso.solubles(g)}} \quad (\text{Ec. 3.13})$$

### **3.1.5. Claridad del Gel**

La claridad del gel de almidón fue determinada de acuerdo al método de Craig et al (1989). La claridad fue medida en un espectrofotómetro marca Genesys, modelo 10UV a 650 nm.

Procedimiento:

Se pesaron, en tubos de centrifuga, 200 mg de almidón (bs),

Se suspendió el almidón en 20 mL de agua destilada.

Se colocaron los tubos en un baño de agua en ebullición durante 30 minutos.

Se colocó la suspensión en cubetas del espectrofotómetro y se dejó enfriar a temperatura ambiente.

Se leyó el porcentaje de transmitancia a una longitud de onda de 650 nm, utilizando agua destilada como blanco.

### **3.1.6. Análisis Morfométrico del Almidón**

La muestra de almidón fue observada a través de un microscopio electrónico de barrido (SEM), marca FEI, modelo Quanta200, ubicado en el Instituto de Investigaciones en Biomedicina y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente (IIBCAUDO), Núcleo Sucre. Las muestras fueron fijadas en grafito y cubiertas con oro, según la metodología estandarizada en dicho Centro. El tamaño del gránulo de almidón fue estimado promediando las medidas de 30 gránulos de almidón tomados al azar de las micrografías SEM.

### **3.1.7. Difracción de rayos-X:**

Se utilizó un Difractómetro de rayos X, marca Brukers Siemens, Modelo D8 Advance según la metodología, por la siguiente ecuación [46]:



$$\text{Cristalinidad relativa (CR)(\%)} = \frac{\text{área fracción cristalina}}{\text{área total}} \quad (\text{Ec. 3.14})$$

### 3.1.8. Comportamiento Viscoamilográfico

Se determinaron las propiedades de gelatinización del almidón según metodología 70-10 descrita en la AACC (2003), utilizando un micro-viscoamilógrafo-Brabender. El amilograma se trazó con el siguiente perfil de temperatura: calentar la suspensión de 30 a 95 °C (7,5 °C/min), mantener a 95 °C por 5 min, enfriar a 50 °C (7,5 °C/min) y mantener a 50 °C por 1 min. Los parámetros evaluados en los amilogramas fueron: Temperatura inicial de gelatinización, temperatura pico, viscosidad pico (P), viscosidad a 95 °C, viscosidad después de 5 min a 95 °C (H), viscosidad a 50 °C (C), viscosidad después de 5 min a 50 °C, retrogradación (asentamiento) (C-P), fragilidad (estabilidad) (P-H) y consistencia o poder de gelificación (C-H) (Mazurs et al, 1957; Merca y Juliano, 1981).

### 3.2. Equipos, materiales y sustancias.

Equipos:

Equipo eléctrico de extracción por solvente para determinación de grasa, marca Velp, modelo Ser-148 de tres puesto.

Mufla eléctrica, marca Vulcan modelo A-130, rango de operación 0 – 1200 °C.

Licadora domestica marca Osterizer, modelo 4190, 3 velocidades.

Espectrofotómetro marca Bausch & Lomb Spectronic 20, para la determinación de proteínas.

Medidor de pH digital, marca Orión, modelo 601A.

Centrifugadora, marca International Equipment CO, modelo 428-16158, rango de operación 0 – 6000 rpm.

Colorímetro marca Hunter Lab modelo COLORFLEX CX1819

Viscoamilógrafo marca Brabender Instruments Inc, modelo Pt – 100, capacidad 500 ml.

Balanza analítica electrónica marca Denver Instrument Company, modelo P – 114, capacidad de 210 gramos, con apreciación de  $\pm 0,01$  gramos.

Estufa con corriente de aire, marca Memmert de cuatro bandejas perforadas con dimensiones de 30 cm de ancho, 39 cm de largo y de profundidad 1 cm, rango de operación 0 – 150 °C, apreciación de  $\pm 1$  °C.

Procesador Pentium III, 40GB, 256 MB de RAM, velocidad de procesador de 2,40 GHz.

#### Materiales:

Cuchillo de acero inoxidable.

Bolsas medianas de polietileno con cierre hermético.

Capsulas de Petri de vidrio, 90 mm de diámetro.

Desecador de vidrio con diámetro de 210 mm.

Vaso de precipitado de 100 ml, 250 ml y 500 ml.

Cilindro graduado de 25 ml, 50 ml y 500 ml.

Matraces erlenmeyer de 50 ml, 100 ml y 250 ml.

Bureta de 50 ml.

Crisoles de porcelanas, 20 ml de capacidad.

Pipetas graduadas de 1 ml, 5 ml y 10 ml.

Espátula.

Tubos de vidrio para centrifugadora de 10 ml.

Gradilla de madera de varios puestos.

Termómetro escala de 0 – 250 °C.

Matraz aforado de 100 ml.

Agitadores de vidrio.

Balones aforados de 1000 ml.

Vidrio de reloj.

Cronómetro.

Pizetas.

Goteros plásticos.

Papel de filtro N<sup>o</sup> 2 de 9 cm de diámetro.

Soporte de embudos.

Embudos Buchner.

Filtro de tela.

Sustancias:

Mesocarpio del fruto de la Coroba.

Agua destilada.

Solución saturada de Acetato de potasio.

Solución saturada de Cloruro de magnesio.

Solución saturada de Carbonato de potasio.

Solución de ácido cítrico al 0.1% m/m.

Solución saturada de Nitrato de potasio.

Solución saturada de Cloruro de potasio.

Solución saturada de Cloruro de Sodio.

Solución de metabisulfito de sodio al 1% m/m.

Solución Buffer de pH 4 y pH 7.

Alcohol etílico de 90% v/v neutralizado.

Solución de Hidróxido de sodio 0,05N.

n-Octanol.

n-Hexano al 99% v/v.

Solución de fenolftaleína al 5%.

Solución de ácido sulfúrico al 1,25% v/v.

Reactivo de Biuret.

Los equipos, materiales y sustancias se encuentran ubicados en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui. A excepción de la Balanza digital Denver, la centrifugadora y el medidor de pH digital que se encuentran en el Laboratorio de Investigación de Química en la unidad de Cursos Básicos de dicha institución.

### 3.3. Análisis estadísticos

La evaluación estadística de los resultados se realizó mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA). Esto para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes muestras a un nivel de significancia de 0,05. Este análisis estadístico se realizó mediante el programa Statgraphics Plus for Windows 1.4, Versión 5.1, 1994-1995 by Statistical Graphics Corp, USA.

### 3.4. Tablas de datos experimentales

#### 3.4.1. Contenido de almidón en el mesocarpio

**Tabla 3.1. Contenido de almidón extraído a diferentes tiempos**

Muestra	Tiempo (seg)	Pulpa (g)	Almidón (g)
1	10,39	50,0057	6,7925
2	10,38	50,0091	8,1585

**Tabla 3.1. Contenido de almidón extraído a diferentes tiempos (continuación)**

Muestra	Tiempo (seg)	Pulpa (g)	Almidón (g)
3	10,28	50,0071	8,0174
4	30,50	50,009	7,7362
5	30,66	50,0027	10,1148
6	30,31	50,0014	8,3248
7	60,0011	50,0024	8,0655
8	60,003	50,0013	12,2506
9	60,0077	50,0046	12,3006

**3.4.2. Propiedades Fisicoquímicas del Almidón****3.4.2.1. Humedad****Tabla 3.2. Datos para la determinación de la humedad**

muestra	Crisol vacío(g)	Crisol + Almidón (g)	Crisol + Almidón 100°C (g)
1	15,4063	18,3858	18,1482
2	15,6787	18,6631	18,4203
3	15, 5236	18,2459	18,0123

**3.4.2.2. Grasa**

**Tabla 3.3. Datos para la determinación de la cantidad de grasa en el almidón**

Muestra	Almidón(g)	Beaker Vacio(g)	Beaker + Grasa (g)
1	2,0048	78,7459	78,7528
2	2,0048	75,9631	75,9638
3	2,0021	78,7438	78,7511

**3.4.2.3. Proteína****Tabla 3.4. Datos para cálculo de proteínas contenidas en el almidón extraído**

Muestra	Almidón(g)	Catalizador(g)	V <sub>HCl</sub> 0,018N (mL)
1	1,0151	1,006	4,3
2	1,0053	1,0012	4,3
3	1,0000	1,003	4,1

**3.4.2.4. Ceniza****Tabla 3.5. Datos para el cálculo del contenido de ceniza en el almidón**

Muestra	Crisol vacío(g)	Crisol + Almidón húmedo (g)	Crisol + Almidón seco (g)	Crisol + Ceniza (g)
1	15,4063	18,3858	18,1482	15,4127
2	15,6787	18,6631	18,4203	15,6831
3	15,6523	18,8921	18,7618	15,5569

### 3.4.2.5. Fibra cruda

**Tabla 3.6. Datos para la determinación de fibra cruda en el almidón**

Muestra	Almidón(g)	Crisol vacío (g)	Crisol + fibra vidrio(g)	Crisol + fibra vidrio+fibracruda seca (g)	Crisol + fibra vidr+ceniza (g)
1	2,0007	31,2325	31,3057	31,2812	31,2758
2	2,0015	34,0618	34,1076	35,1049	35,1006
3	2,0121	28,2984	28,4335	28,4655	28,4704

### 3.4.2.6. Amilosa

**Tabla 3.7. Datos para la determinación de la amilosa en almidón**

Muestra	Almidón(mg) Coroba	$\Delta H(J/g)$
1	10.38	-5,745
2	10.88	-5,628
Muestra	Almidón(mg) Standart	$\Delta H(J/g)$
1	4,80	-26.736

### 3.4.2.7. Acidez

**Tabla 3.8. Datos para la determinación de acidez presente en el almidón**

Muestra	Almidón(g)	$V_{NaOH} 0,0023N (L)$
1	2,0012	0,003
2	2,0009	0,003

### 3.4.2.8. Color

**Tabla 3.9. Parámetros obtenidos con el colorímetro para la determinación del color del almidón.**

L*	a*	b*
89,0	1,57	6,21
89,02	1,56	6,18
89,06	1,56	6,23

### 3.4.3. Índice de Absorción de Agua, Índice de Solubilidad en Agua y Poder de Hinchamiento

**Tabla 3.10. Datos para el cálculo del índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua y poder de hinchamiento**

Temp (°C)	Tub. Cntrif (g)	Almidón(g)	V <sub>sobrenadante</sub> (mL)	Cápsula(g)	Tub+gel (g)	Cap+sólido (g)
60	12,6889	0,2337	3,6	29,4241	14,1299	29,4255
	12,7589	0,238	3,7	28,3312	14,2619	28,3327
65	12,9273	0,2308	3,5	54,566	14,3637	54,5723
	12,633	0,23	3,6	55,1664	14,045	55,1725
70	12,7772	0,2328	3,5	27,734	14,6847	27,7398
	12,3724	0,2327	3,1	28,9772	14,2904	28,9839
75	12,9273	0,2328	2,8	54,5667	15,0982	54,5736
	12,633	0,2331	2,7	55,166	14,829	55,1739
80	12,6181	0,2396	2,4	27,734	15,0567	27,7383
	12,7691	0,2387	2,3	28,9772	15,1984	28,9833
85	12,7978	0,2361	0,9	54,5657	16,7079	54,573
	12,6205	0,2358	0,8	55,166	16,491	55,1724



### 3.4.4. Claridad del Gel

**Tabla 3.10. Datos para la determinación claridad del gel**

Muestra	Almidón(g)	Tramitancia (%)
1	0,104	7,5
2	0,1106	6,2
3	0,1195	5,9

### 3.4.5. Análisis Viscoamilográfico

**Tabla 3.11. Datos para la determinación de Características viscográficas de suspensiones de almidón nativo Coroba**

Características	Coroba
Temperatura de gelatinización	69,0 °C
Viscosidad inicial <sup>2</sup>	22
Máxima viscosidad <sup>2</sup> : <b>P</b>	365
Viscosidad al final del período de calentamiento <sup>2</sup> (90 °C): <b>H</b>	360
Viscosidad <sup>2</sup> a 50 °C: <b>C</b>	443

<sup>1</sup> 8 % en base seca.

<sup>2</sup> Expresados en Unidades

Brabender

## 3.5. Muestra de cálculo

### 3.5.1. Cálculo del Porcentaje de Rendimiento en Almidón

El rendimiento en almidón extraído del mesocarpio del fruto de la palma Coroba se cálculo a través de la Ec. 3.1 (en este caso aplicada a la masa seca) y de los datos de la tabla 3.1

Así, para el primer valor se obtiene de la tabla 3.1 que

$$m_{a_{obt}} = 6,7925$$

$$m_m = 50,0057$$

Tal que al sustituir en la Ec. 3.1 resulta:

$$\%rendimiento = 100*(6,7925) / (50.0057) = 13,5835\%$$

Repitiendo este procedimiento con los demás datos, resultan los valores que se reportan en la tabla A.1 (anexo A).

### 3.5.2. Cálculo de las Propiedades Fisicoquímicas

#### 3.5.2.1. Contenido de Humedad

Para este caso se usan los datos de la tabla 3.2 y la Ec. 3.2

Así, para el primer valor se obtiene de la tabla 3.2 que

$$P_i = 18,3858g - 15,4063g = 2,9795g$$

$$P_f = 18.1482g - 15,4063g = 2,7419g$$

Tal que al sustituir en la Ec. 3.2 resulta

$$\begin{aligned} \%Humedad &= 100*[(2,9795g) - (2,7419g)] / (2,9795g) \\ &= 7,9745\% \end{aligned}$$

Se hace lo mismo para los demás casos tal que su valor promedio es

$$H = 8,2304\%$$

Los valores se reportan en la tabla A.2 (anexo A).

### 3.5.2.2. Porcentaje de Ceniza

Para este cálculo se usan los datos de la tabla 3.5

Así, por ejemplo para el primer dato se tiene

$$CC = 15,4127 \text{ g}$$

$$C = 15,4063 \text{ g}$$

$$W = 18,3858\text{g} - 15,4063 \text{ g} = 2,9795\text{g}$$

Tal que

$$\% \text{ Ceniza} = (15,4127 \text{ g} - 15,4063 \text{ g}) / 2,9795\text{g} * 100$$

$$\% \text{ Ceniza} = 0,2148\%$$

Esto se repite para los demás datos resultando la tabla A. 5 (anexo A)

### 3.5.2.3. Contenido de Grasa

Para este cálculo se usan los datos de la tabla 3.3

Así, por ejemplo para el primer dato se tiene

$$B = 78,7459 \text{ g.}$$

$$BG = 78,7528 \text{ g.}$$

$$W = 2,0048 \text{ g.}$$

Tal que

$$\% \text{ Grasa} = [(78,7528 - 78,7459)/2,0048] \times 100$$

$$\% \text{ Grasa} = 0,3442 \%$$

Esto se repite para los demás datos resultando la tabla A. 3 (anexo A)

#### 3.5.2.4. Porcentaje de Proteínas

Para este cálculo se usan los datos de la tabla 3.4

Así, por ejemplo para el primer dato se tiene

$$V = 4,3 \text{ mL.}$$

$$N = 0,018 \text{ N}$$

$$W = 1,0151 \text{ g}$$

$$f = 6,25 \text{ g}$$

Tal que:

$$\% \text{ Proteína} = \frac{(4,3 \text{ mL} \times 0,018 \text{ N} \times 14 \times 100)}{(1000 \times 1,0151 \text{ g})} \times 6,25$$

$$\% \text{ Proteína} = 0,67\%$$

Esto se repite para los demás datos resultando la tabla A. 4 (anexo A)

#### 3.5.2.5. Acidez.

Para este cálculo se usan los datos de la tabla 3.8

Así, por ejemplo para el primer dato se tiene:

$$N_b = 0,0023 \text{ N (NaOH)}$$

$$V_b = 3,00 \text{ mL}$$

Tal que

$$\text{meqACIDO} = 0,0023 \text{ N (NaOH)} * 3,00 \text{ mL}$$

$$\text{meqACIDO} = 6,9 \times 10^{-3}$$

Entonces, sustituyendo en la ecuación 3.6 queda:

$$\text{ACIDEZ} = 6,9 \times 10^{-3} \text{ meq/1,8365g}$$

$$\text{ACIDEZ} = 3,76 \times 10^{-3} \text{ meq/g de almidón}$$

Esto se repite para los demás datos resultando la tabla A. 7 (anexo A)

### 3.5.2.6. Porcentaje de Fibra

Para este caso se usan los datos de la tabla 3.6

Así, para el primer valor se obtiene de la tabla 3.6 que

$$P_1 = 31,2812\text{g}$$

$$P_2 = 31,2758\text{g}$$

$$W = 2,0007\text{g}$$

Tal que al sustituir en la Ec. 3.7 resulta

$$\% \text{ Fibra} = 100 * [(31,2812\text{g}) - (31,2758\text{g})] / (2,0007\text{g}) = 0,2699\%$$

Se hace lo mismo para los demás casos tal que su valor promedio es

$$\text{— } \%F = 0,2428 \%$$

Los valores se reportan en la tabla A.7 (anexo A).

### 3.5.2.7. Color

Con los datos obtenidos en el colorímetro se procedió a calcular (mediante las siguientes formulas establecidas por el método empleado) los parámetros necesarios para establecer la tonalidad propia de este almidón, primeramente se tienen que deducir las diferencias de color, las cuales se expresaron como  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$

Donde:

$$\Delta L^* = L^*_{\text{muestra}} - L^*_{\text{patrón}}$$

$$\Delta a^* = a^*_{\text{muestra}} - a^*_{\text{patrón}}$$

$$\Delta b^* = b^*_{\text{muestra}} - b^*_{\text{patrón}}$$

Empleando los valores promedios tabulados en la tabla 3.9, se tiene:

$$\Delta L^* = (98,03 - 93,54) = -4,51$$

$$\Delta a^* = 1,56 - (-0,81) = 2,37$$

$$\Delta b^* = 6,21 - 1,58 = 4,63$$

Con estos datos se calculó:

Diferencia de color ( $\Delta E$ ): Este valor define el tamaño total de la diferencia pero no da información acerca de cómo difiere el color, se calcula como:

$$\Delta E^*_{ab} = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

Sustituyendo valores

$$\Delta E^*_{ab} = [(-4,21)^2 + (2,37)^2 + (4,63)^2]^{1/2}$$

$$\Delta E^*_{ab} = 6,88$$

Índice de blancura (WI): este índice toma en cuenta los valores de luminosidad y las tonalidades:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Donde:

$L^*$  = Luminosidad

$a^*$  = posición de la muestra en el eje rojo-verde

$b^*$  = posición de la muestra en el eje azul-amarillo

De manera que al sustituir el primer dato de la tabla se tiene:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - 89,03)^2 + 1,56^2 + 6,21^2} = 87,30$$

Estos valores están tabulados en la tabla A. 10 (anexo A)

### 3.5.2.8. Contenido de Amilosa.

Para este cálculo se usan los datos de la tabla 3.7

$$Amilosa (\%) = \frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} \times 100 \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

$\Delta H_1$  = entalpía de la muestra y  $\Delta H_2$  = entalpía de la amilosa standart

Así, por ejemplo para el primer dato se tiene

$$\Delta H_1 = -5.745$$

$$\Delta H_2 = - 26.736$$

Tal que

$$\text{Amilosa (\%)} = [(- 5.745) * 100] / (- 26.736) = 21.49$$

Este resultado se encuentra tabulado en la tabla A. 6 (anexo A)

### 3.5.3. Índices de Absorción de Agua (IAA), Solubilidad en Agua (ISA) y Poder de Hinchamiento

En este caso se usan los datos de la tabla 3.9. Así, por ejemplo para el primer dato se tiene:

$$\text{Peso del gel} = (\text{tub} + \text{gel}) - \text{tub} = (14,3637\text{g} - 12,9273\text{g})$$

$$\text{Peso del gel} = 1,4364\text{g}$$

$$\text{IAA} = (1,4364\text{g}) / (0,2308) = 6,224 \text{ g}_{\text{gel}}/\text{g}_{\text{muestra}}$$

$$\text{Peso solubles} = (\text{cápsula} + \text{sólido}) - \text{cápsula} = 54,5723\text{g} - 54,566\text{g}$$

$$\text{Peso solubles} = 0,0063\text{g}$$

$$\text{ISA} = (0,0063\text{g} * 100) / (0,2308\text{g}) = 2.73\%$$

$$\text{PH} = (1,4364\text{g}) / [(0,2308\text{g}) - (0,0063\text{g})] = 6.3982$$



## CAPÍTULO IV

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Discusión de resultados

##### 4.1.1. Rendimiento en Almidón vs Tiempo de Extracción

El almidón es el principal carbohidrato complejo de la dieta y componente mayoritario de muchos alimentos. El peso de almidón obtenido mediante cualquier proceso de extracción permitió establecer los parámetros de rendimiento del mismo proceso y de la fuente de la cual se extrajo.

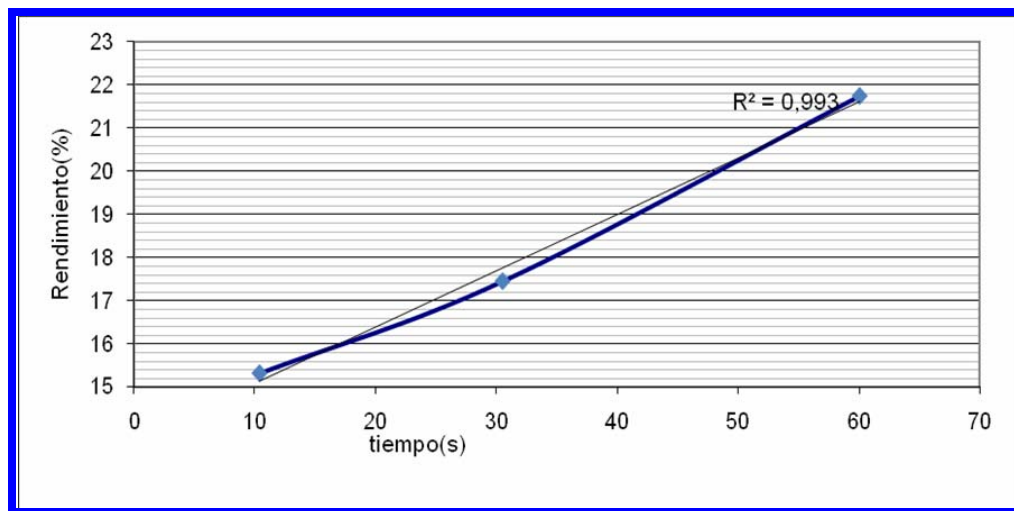
En la tabla 4.1 se muestran los resultados promedios del rendimiento en almidón de la pulpa de coroba a diferentes tiempos de extracción. Los mismos estuvieron comprendidos entre 15,31% y 21,74%, observándose que el rendimiento en almidón se incrementó con el tiempo de agitación; sin embargo, estadísticamente el incremento no fue significativo ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 4.1. Rendimiento en almidón y tiempo de extracción**

Tiempo (s)	Rendimiento (%)
10,35 ± 0,06	15,31 ± 1,50 a
30,49 ± 0,18	17,45 ± 2,48 a
60,00 ± 0,00	21,74 ± 4,86 a

Los valores están expresados como la media  $\pm$  la desviación estándar. Valores con letras iguales en una misma columna estadísticamente son iguales a un nivel de confianza de un 95% ( $p < 0,05$ )

En la figura 4.1 se muestra la tendencia en el tiempo del rendimiento en almidón extraído de la pulpa de la coroba. Si se desea conocer tanto los valores originales como los de esta curva, véanse las tablas A.1 a A.3 en el anexo A.



**Figura 4.1 Rendimiento de almidón en función del tiempo de extracción**

De acuerdo a la bibliografía consultada las revoluciones por minuto usadas, para la extracción del almidón, son las más indicadas [54], ya que de esta manera no es necesaria la utilización de tamices para tener gránulos parecidos en tamaño y que la pérdida del producto no sea significativa.

Los resultados obtenidos son cercanos a los observados en un estudio realizado en raíces de yuca, donde se obtuvo un rendimiento promedio de almidón de 16,80% [55]

## **4.1.2 .Análisis de las Propiedades Fisicoquímicas**

A continuación, se analiza cada una de las propiedades fisicoquímicas determinadas en el almidón derivado del mesocarpio del fruto de la palma Coroba. Los resultados que se presentan son los promedios totales de todas las corridas realizadas (los datos se muestran en las tablas A.2 a A.8 del anexo A.).

### **4.1.2.1. Composición Proximal**

La composición química indica la pureza del almidón y su consideración es importante en la evaluación de las propiedades reológicas, ya que estas pueden verse afectadas por las impurezas presentes.

#### **4.1.2.1.1. Humedad**

Todos los alimentos pueden contener agua, libre o ligada, la cual si está presente por encima de ciertos niveles facilita el desarrollo de microorganismos y afecta la textura del alimento.

En la tabla 4.2 se muestra que el contenido promedio de humedad del almidón extraído fue de 8,23 %, y por tanto tiene un contenido de materia seca de 91,77%, valor que según Radley [32] se encuentra en los rangos aconsejables para el almacenamiento seguro de almidones y harinas. Al comparar el valor obtenido en esta investigación, con el encontrado por Azemi [4] para almidón del tronco de palma aceitera, lo hace un almidón más resistente al deterioro por ataques de bacterias debido a que es menor al 11,8% tabulado en su investigación. Todos los cálculos de valor nutricional requieren del conocimiento previo de dicho contenido de humedad, además de ser de gran importancia económica para un fabricante de alimentos, ya que

el agua es un “llenador barato” innecesario y a la vez puede ocasionar el deterioro del alimento.

**Tabla 4.2. Composición proximal (bs), contenido de amilosa y amilopectina del almidón**

Humedad (%)	8,23 ± 0,31
Materia seca (%)	91,77 ± 0,31
Proteínas (%)	0,71 ± 0,02
Grasa (%)	0,27 ± 0,18
Fibra (%)	0,26 ± 0,03
Ceniza (%)	0,19 ± 0,04
Carbohidratos (%)	98,57
Amilosa (%)	21,27 ± 0,31
Amilopectina (%)	78,73 ± 0,31

#### 4.1.2.1.2. Proteína

Un alto contenido de proteína en los almidones puede afectar sus propiedades funcionales y la de los productos con ellos elaborados y puede ser indicativo de un proceso de extracción ineficiente.

El contenido de proteína del almidón fue de 0,71%, como se muestra en la tabla 4.2. Este valor es superior al observado para almidones de sagú y maíz (0,64% y 0,35%, respectivamente, tabla 2.5) y yuca (0,34%) [55]. El valor obtenido también es superior al nivel permitido por la FDA en almidones de maíz (0,28% - 0,35%, rango permisible o factible para la producción de jarabes con alto contenido de glucosa), sin embargo, no llega a afectar su sabor y olor, como es el caso de los almidones de cereales que también tienden a formar espuma.

#### 4.1.2.1.3. Grasa

Las grasas pueden afectar las propiedades fisicoquímicas y las características de pasting de los almidones ya que pueden formar complejo con la amilosa, lo que impide la hidratación del granulo y retarda la gelatinización de los mismos. La presencia de cantidades apreciables de grasa también puede generar problemas de enranciamiento durante el almacenamiento de los mismos.

El contenido de grasa en el almidón fue de 0,27 %, como se muestra en la tabla 4.2 Este valor es menor al observado en los almidones de maíz y arroz, los cuales contienen respectivamente 0,6 y 0,8 % (tabla 2.4), y en almidones de yuca (0,11%) [55], pero es similar al obtenido en estudio realizado a la aceitera, que posee 0,3% de grasa [4]. Esta grasa tiende a formar un complejo con la amilosa, lo cual puede reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos del almidón.

#### 4.1.2.1.4. Fibra

El almidón de Coroba sometido a estudio posee 0,26% de fibra cruda, como se muestra en la tabla 4.2. Este valor es menor al observado en almidones como el de palma sago (0,50 %) [6], maíz y yuca (0,62 % y 1.01%, respectivamente), pero se encuentra cercano al almidón de batata (0,28%) tabla 2.9. El bajo contenido en fibra (menor al 1%, requisito de calidad a nivel industrial) del almidón del mesocarpio de la palma coroba puede indicarnos que el proceso de extracción fue eficiente, haciéndolo útil para la industria papelera como adhesivo en el laminado de ciertos papeles y cajas corrugadas. Por otro lado debido a esta propiedad puede ser empleado en la industria de explosivos y para obtener alcoholes y acetona. [39]

#### 4.1.2.1.5. Ceniza

La cantidad de constituyentes inorgánicos presentes, medidos como el contenido de ceniza, puede ser indicativa de la cantidad de iones metálicos enlazados al almidón.

En la tabla 4.2 se observa que el contenido de ceniza del almidón fue de 0,17%, valor inferior al observado en almidones de yuca y papa (Tabla 2.9) o con los estudios realizados al almidón de palma aceitera [4] indicando que posee un menor contenido de sales minerales. Algunos errores y dificultades involucrados en la determinación de las cenizas en seco en este estudio se correspondieron a la pérdida de ceniza debido a la intensidad con que ardió la flama en el momento de quemar la muestra en la estufa y al cambio gradual en las sales minerales con el calor, como el cambio de carbonatos a óxidos; adhesión de las muestras con un contenido alto de azúcares, lo cual puede ocasionar pérdida de la muestra y fusión del carbón a partes no oxidadas atrapadas de la muestra

#### 4.1.3. Amilosa

Las diferencias en el contenido de amilosa de los almidones afectan las propiedades reológicas de sus geles y en consecuencia, la calidad de los productos con ellos elaborados. El contenido de amilosa afecta las propiedades de gelatinización y retrogradación, el poder de hinchamiento y la susceptibilidad enzimática de los almidones. En consecuencia es importante que el contenido de amilosa sea cuantificado para el procesamiento de los alimentos y su calidad.

El estudio reveló que el almidón de la pulpa de coroba tiene un contenido de amilosa de 21,27 %, como se muestra en la tabla 4.2, valor que es comparable al encontrado para la papa (22%) [50] y palma aceitera (19,5%) [4] y muy superior al

observado en arroz (17%) [50] y en yuca (18,07 %) [55]. La relación amilosa/amilopectina fue de 0,27%, mayor al de los otros almidones mencionados, indicando que puede formar geles más fuertes con mayor tendencia a retrogradar, con lo cual el comportamiento de la pasta de almidón en sistemas acuosos puede depender de ello.

Como se demuestra, el contenido de amilosa de los gránulos de almidón varía con la fuente botánica y puede ser afectado por las condiciones climáticas y tipo de suelo durante el crecimiento. Por su contenido en amilosa (mayor a 20%), el almidón extraído de la pulpa de la coroba podría ser usado para la fabricación de golosinas debido al alto poder de gelificación.

#### 4.1.4. pH y acidez

El pH de los almidones nativos es un indicador de una posible fermentación mientras que en almidones comerciales puede dar idea además, de la presencia de aditivos o la aplicación de algún tipo de modificación. Por otro lado la presencia de ácidos influye de manera significativa en el sabor, color y estabilidad del almidón afectando las propiedades físicas de las suspensiones y aunque se remueven con los lavados, no se eliminan completamente. La determinación de la acidez constituye un índice de calidad importante, que además, permite determinar si un producto ha sufrido o no algún deterioro, ya sea de tipo físico-químico o microbiológico. [28]

**Tabla 4.3. Valor promedio de pH y acidez en el almidón**

pH	Acidez (meq/g almidón)
5,35 ± 0,28	3,8 x 10 <sup>-3</sup> ± 0,1x 10 <sup>-3</sup>

De acuerdo con la tabla 4.3, el pH (5,35) del almidón de coroba es medianamente ácido, sin embargo haciendo la respectiva comparación con el análisis

de otros almidones (tabla 2.5) se puede decir que el de Coroba posee menor pH que el almidón de maíz, manteniéndose dentro de un rango aceptable.

Con respecto a la acidez, el valor obtenido ( $3,8 \times 10^{-3}$  meq/g almidón) se encuentra dentro del rango aceptable: entre  $2,2 \times 10^{-3}$  y  $5,0 \times 10^{-3}$  [64]

#### 4.1.5. Color

El color es un indicativo del grado de la calidad, contaminación o infestación del almidón. En la tabla 4.4 se muestran los parámetros de color del almidón extraído de la pulpa de Coroba.

**Tabla 4.4. Parámetros de  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , índice de blancura (WI) y  $\Delta E_{ab}^*$**

$L^*$	$a^*$	$b^*$	$\Delta E_{ab}^*$	WI
$89,03 \pm 0,03$	$1,56 \pm 0,01$	$6,21 \pm 0,03$	6,88	87,30

Con respecto a la luminosidad ( $L^*$ ), con un valor de 89,03, se observa que es un valor bajo comparado con otros almidones como el de yuca (98,78) (Ciarfella [55]), lo que indica que es un almidón más oscuro. La diferencia en los valores de  $L^*$  puede ser debida a un mayor contenido de pigmentos en la grasa del almidón de Coroba, este factor podría ser una limitante a nivel comercial si se necesita blancura en la materia prima.

En lo que se refiere al valor del ángulo  $a^*$  (1,56), en una escala de verde (valores negativos) a rojo (valores positivos), el mismo nos indica que el almidón presenta tonalidad rojiza, lo que contribuye a disminuir la luminosidad. El valor obtenido es superior al observado en almidones de yuca, entre -0,21 y 0,27 [55].



El valor del ángulo  $b^*$  (6,21), en una escala de azul (valores negativos) a amarillo (valores positivos) muestra que el almidón presenta una fuerte tonalidad amarilla (lo que contribuye a bajar su luminosidad), valor superior al observado en almidones de yuca, entre 1,78 y 2,51 [55].

El índice de blancura arrojó un valor de 87,30, lo que confirma que los pigmentos amarillos y rojos están afectando la luminosidad del almidón. Por tanto, debe procurarse disminuir el contenido de grasa del almidón durante la extracción. El valor obtenido es inferior al observado en almidones de yuca, entre 97,06 y 97,85 [55].

El valor de  $\Delta E$  (6,88) nos da idea de la magnitud de la diferencia de color entre el almidón de Coroba y un patrón. Como se observa el valor es alto, confirmando que el almidón debe ser sometido a procesos de blanqueamiento antes de ser comercializado, si se requiere de alto grado de blancura.

#### **4.1.6. Morfometría y Tamaño de los Gránulos de Almidón**

La microscopia electrónica de barrido permite estudiar la forma y tamaño de los gránulos de almidón ya que su tamaño afecta las propiedades de gelatinización, susceptibilidad enzimática, cristalinidad, hinchamiento y solubilidad. El tamaño del granulo también es una característica de importancia en la industria de extracción del almidón ya que definirán el tamaño de malla de los cedazos para su extracción y purificación.

Los gránulos del almidón extraído del mesocarpio del fruto de la Coroba no son uniformes en tamaño y forma (figura 4.2). En su mayoría tienen forma redondeada con un extremo truncado cóncavo, presentando una superficie irregular (tabla 4.5).

Algunos autores afirman [63] que la forma redondeada de los gránulos puede ser consecuencia de una mayor proporción de cadenas cortas en la amilopectina.

Los gránulos de otras fuentes tienen formas diferentes al de Coroba, se ha reportado en el ñame forma de oblongo a oval, ocumo de redondeada a variable, ocumo chino de poligonal a variable, papa de oval a esférico [65] y arroz y maíz poliédrica [66]

**Tabla 4.5 Forma y tamaño de los gránulos de almidón**

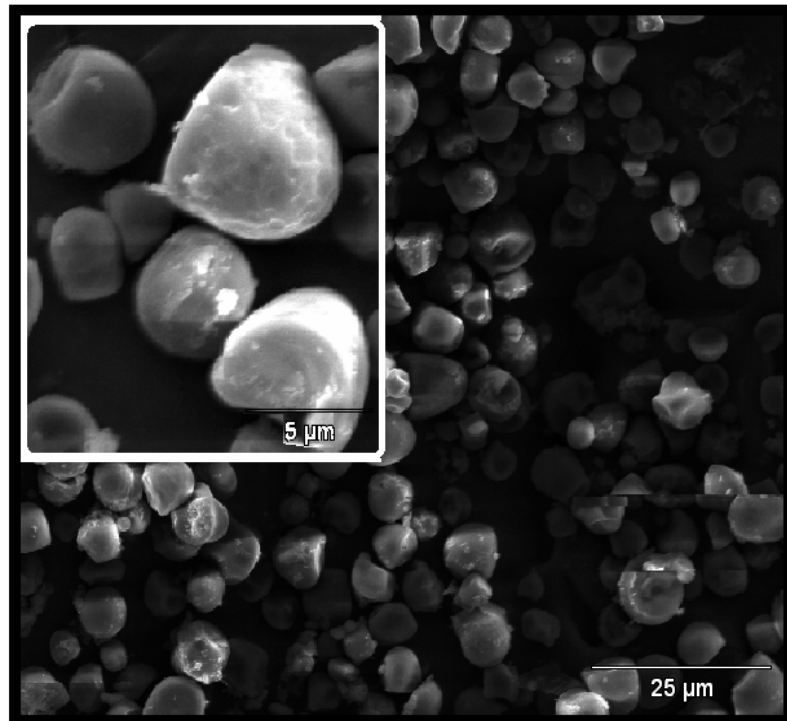
Forma	Tamaño ( $\mu\text{m}$ )
Redondeada con extremo truncado	$6,16 \pm 1,95$

Con los datos de patrón de medición de las micrografías se tomaron medidas del ancho de los gránulos. El tamaño se ubicó entre 2,7 y 9,5  $\mu\text{m}$ , resultando un promedio de 6,16  $\mu\text{m}$ . El tamaño de estos gránulos podría compararse con los del arroz (tabla 2.4), los cuales varían de 3-8  $\mu\text{m}$ , considerándose así como los más resistentes a procesos con altas temperaturas como la esterilización y poseen mayor digestibilidad.

El amplio rango en el tamaño granular, observado en el almidón d Coroba, también, ha sido reportado para otras fuentes de almidón. En yuca se ha reportado 9,11-11,55  $\mu\text{m}$  [55], papa entre 10-110  $\mu\text{m}$  [65], ñame entre 12-100  $\mu\text{m}$ , ocumo chino entre 3-10  $\mu\text{m}$  [66].

Se ha señalado [67] que desde el punto de vista agroindustrial los almidones de mayor tamaño podrían presentar más facilidades para su extracción y purificación, pero desde el punto de vista de la alimentación humana serían preferibles almidones con gránulos pequeños ya que serían más digeribles. Esto nos permite suponer que

los almidones de Coroba podrían ser utilizados en alimentos para infantes o personas mayores.



**Figura 4.2. Micrografía electrónica de los granulos de almidón**

El pequeño diámetro de los granulos de almidón de coroba los hace más resistentes a la ruptura y pérdida del orden molecular; de allí que la temperatura de gelatinización sea más elevada. [44].

#### **4.1.7. Poder de Hinchamiento, Solubilidad y Absorción de Agua del Almidón**

Durante la gelatinización, el gránulo de almidón se hincha, a consecuencia de la ruptura de los puentes de hidrógeno entre las cadenas de polímeros, formándose nuevos puentes entre el agua y los grupos hidroxilo de la amilosa y de la amilopectina. Al romperse el gránulo se libera al exterior la amilosa, formando una

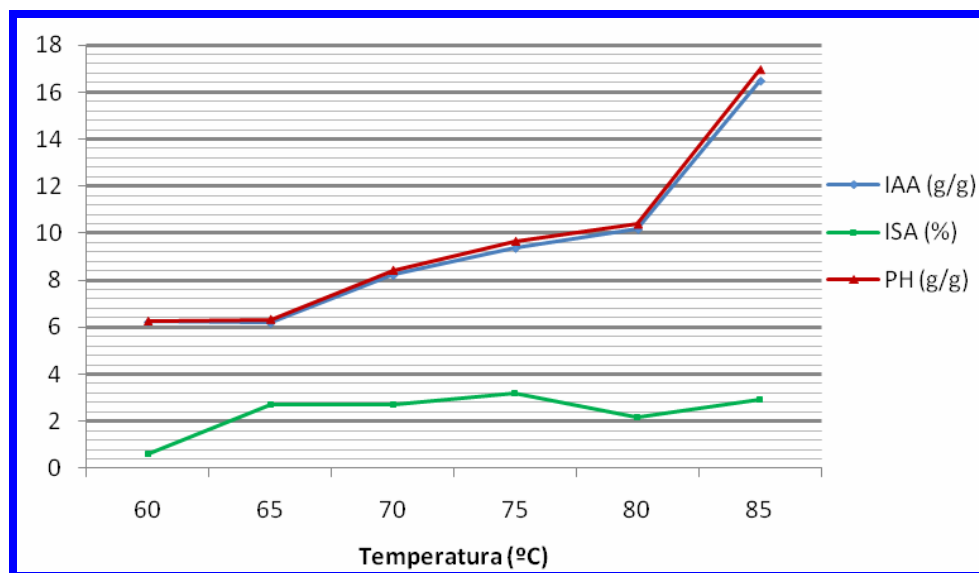
red tridimensional durante el enfriamiento. El hinchamiento (propiedad relacionada con su contenido de amilopectina) y la solubilidad (propiedad relacionada con el contenido de amilosa), proporcionan evidencia de la magnitud de la interacción entre las cadenas poliméricas, tanto en regiones cristalinas como amorfas dentro del gránulo [42].

El poder de hinchamiento es una medida del aumento en peso del almidón no solubilizado, a consecuencia de la absorción de agua. Como se observa en la tabla 4.6 y en la figura 4.3 el poder de hinchamiento se incrementó al incrementarse la temperatura entre 60 y 85 °C en un 170,38 %. El poder de hinchamiento (16,98 g/g) es bajo comparado con el observado en almidones de yuca [55], entre 38,26-40,93 g/g a 85 °C. Su bajo poder de hinchamiento coincide con su alta temperatura de gelatinización, lo que indica que las fuerzas intermoleculares de sus gránulos son más fuertes, hidratándose con menor facilidad sus polímeros. El almidón de Coroba no puede ser usado en alimentos que requieren retener agua, como los productos cárnicos, embutidos, jaleas, etc. Se han reportado valores de poder de hinchamiento a 75 °C de 9,25 g/g en un almidón de yuca mutante, de menor tamaño que los gránulos “normales” [66], lo que corrobora que por su tamaño granular el almidón de Coroba tiene un bajo poder de hinchamiento.

**Tabla 4.6. Poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y solubilidad de los almidones**

Temp (°C)	60	65	70	75	80	85
PH (g/g)	6,28 ± 0,11	6,35 ± 0,06	8,44 ± 0,06	9,68 ± 0,00	10,40 ± 0,06	16,98 ± 0,15
IAA (g/g)	6,24 ± 0,11	6,18 ± 0,06	8,22 ± 0,03	9,37 ± 0,07	10,18 ± 0,00	16,49 ± 0,10
ISA (%)	0,61 ± 0,02	2,69 ± 0,05	2,69 ± 0,27	3,18 ± 0,30	2,18 ± 0,54	2,90 ± 0,27

Se han reportado patrones de hinchamiento en almidón de sorgo, similares a los obtenidos en esta investigación, indicándose que el hecho de que no presenten una tendencia lineal se debe a la posible presencia de dos tipos de fuerzas asociativas en el gránulo de almidón que se relajan a diferentes temperaturas [43].



**Figura 4.3 Poder de hinchamiento, Índice de absorción de agua (IAA) y Índice de solubilidad de agua (ISA) promedio del almidón**

El índice de absorción de agua es una medida del aumento en peso del almidón a consecuencia de la absorción de agua por los grupos hidroxilo de los polímeros amilosa y amilopectina. Como se observa en la tabla 4.6 y en la figura 4.3 el índice de absorción de agua se incrementó al incrementarse la temperatura entre 60 y 85 °C en un 164,26 %. El índice de absorción de agua, al igual que el poder de hinchamiento, es bajo (16,49 g/g) comparado con el observado en almidones de yuca [55], entre 34,79-37,95 g/g a 85 °C. Así se comprueba que las fuerzas asociativas dentro del gránulo de almidón de Coroba son más fuertes, por lo que disminuye la superficie molecular disponible para enlazarse a moléculas de agua.

Las variaciones en el índice de absorción de agua podrían ser atribuidas a la existencia de proporciones diferentes de regiones cristalinas y amorfas dentro de los gránulos de almidón, así los gránulos con muchas zonas amorfas, débilmente asociadas, presumiblemente deberían absorber más agua y viceversa. Se ha observado también que un pH elevado favorece la capacidad del almidón para absorber y retener agua [42].

Como un resultado directo del hinchamiento del gránulo, hay un incremento en la solubilidad del almidón, lo cual es una medida de la cantidad de amilosa que es liberada del interior del gránulo cuando el mismo comienza a perder su estructura por efecto de la absorción de agua. Como se observa en la tabla 4.6 y en la figura 4.3, en promedio, el índice de solubilidad en agua se incrementó al incrementarse la temperatura entre 60 y 85 °C en un 375,41 %. El índice de solubilidad en agua, al igual que los parámetros anteriores, es bajo (2,90 %) comparado con el observado en almidones de yuca [55], entre 7,74-9,12 % a 85 °C, debido posiblemente a que las fuerzas que mantienen unidos a los polímeros son muy fuertes y no permiten la salida de la amilosa.

Tanto el poder de hinchamiento como el índice de solubilidad indican el grado de asociación existente (enlaces intragranular) entre los polímeros del almidón (amilosa y amilopectina). El valor más alto de solubilidad para el almidón nativo de Coroba se presenta a 85°C; esto se puede atribuir a que, con el aumento de la temperatura, el gránulo gelatiniza, resultando la ruptura del orden molecular dentro del gránulo y la solubilización de las moléculas de amilosa. Otros autores han informado resultados similares a los obtenidos en esta investigación con relación a la dependencia entre solubilidad y temperatura de extracción [43].

#### **4.1.8 Claridad de la Pasta**

La claridad de la pasta es una propiedad que depende de la cantidad de pigmentos, suciedad y proteínas presentes en el almidón, y también está relacionada con el grado de compactación de los polímeros, especialmente amilosa durante el enfriamiento.

En la tabla 4.7 se tiene el porcentaje de tramitancia de la pasta preparada con el almidón de coroba. El valor (6,53 %) indica que forma pastas muy opacas, debido posiblemente a su pequeño tamaño granular como ha sido reportado por otros investigadores [66]. Los almidones de yuca, de mayor tamaño granular, presentan una tramitancia entre 55,84 y 65,28% [55]

Otros investigadores han señalado que las pastas con tramitancia menor de 40% son consideradas opacas o turbias [64]. La opacidad también puede ser atribuida a su alto contenido de amilosa, que lleva a la formación de un gel firme en el enfriamiento, y se ha señalado que es una propiedad característica de almidones con bajo poder de hinchamiento [68]

**Tabla 4.7 Claridad de la pasta del almidón de coroba**

Claridad de la pasta (% T)	6,53 ± 0,85
----------------------------	-------------

La transparencia u opacidad de las pastas de almidón influyen directamente sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en que se empleen como espesantes, por lo que los almidones de coroba no pueden ser utilizados en la formulación de productos como gelatinas y confites.

#### **4.1.9. Comportamiento Amilográfico del Almidón**

El perfil amilográfico de los almidones, obtenidos con el viscoamilógrafo Brabender, permite estudiar los cambios de viscosidad que se producen durante el calentamiento y posterior enfriamiento de una suspensión de los mismos, a una velocidad constante de cizallamiento. Con este estudio se pueden elegir los almidones adecuados para una preparación alimenticia, dependiendo de la textura que se deseen el producto final [50].

En la Tabla 4.8 se tienen los datos obtenidos del amilograma realizado a una suspensión al 7% de almidón de Coroba.

##### **4.1.9.1 Temperatura Inicial de Gelatinización**

Es importante conocer la temperatura de gelatinización de los almidones para los procesos de cocción, esterilización por calor, extrusión y deshidratación. El valor de la temperatura inicial de gelatinización del almidón de coroba fue de 69,0 °C, superior al observado en almidones de yuca (entre 65 y 68,9 °C) [55].



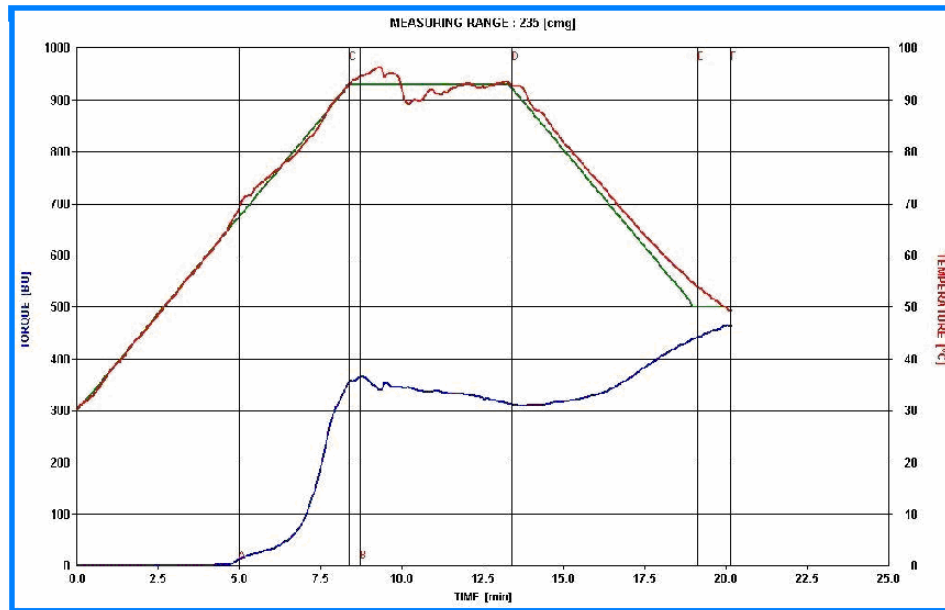
Se ha señalado que esta temperatura está relacionada con el tamaño granular de manera inversa, es decir, a mayor tamaño granular menor es la temperatura, lo que puede corroborarse con nuestros resultados si se compara su comportamiento con el de almidón de yuca [62]. También puede estar relacionada con la perfección de los cristalitas de almidón debido al ordenamiento de las dobles hélices y en consecuencia refleja la estabilidad del gránulo [69], razón del bajo poder de hinchamiento del almidón de coroba.

**Tabla 4.8 Características de gelatinización del almidón**

Punto	Nombre	Resultado
A	Temperatura de gelatinización (°C)	69,0
B	Viscosidad pico (UB)	365
C	Viscosidad a 90 °C (UB)	360
D	Viscosidad después de 5 min a 90°C	313
E	Viscosidad a 50 °C (UB)	443
F	Viscosidad después de 5 min a 50 °C	463
B-D	Fragilidad	51
E-D	Retrogradación	128
	Facilidad de cocción (min:s)	03:45

#### 4.1.9.2 Viscosidad Pico

Una vez alcanzada la temperatura de gelatinización, la viscosidad de la muestra se incrementó rápidamente (figura 4.4) alcanzando una viscosidad pico a 365 UB. Se ha señalado [69] que esta viscosidad está directamente relacionada con la longitud de las cadenas de amilosa y de amilopectina, siendo parecida a la observada en almidones de yuca (entre 347,0 y 434,2 UB) [55].



**Figura 4.4. Curva amilográfica del almidón**

#### 4.1.9.3 Viscosidad a 90 °C

Una vez alcanzada la viscosidad pico, los gránulos comienzan a romperse a consecuencia del hinchamiento y de la agitación. La viscosidad a esta temperatura fue de 360 UB, parecida a la observada en almidones de yuca (entre 315,8 y 361,8 UB) [55].

#### 4.1.9.4 Viscosidad Después de 5 min a 90 °C

La viscosidad después de 5 min a 90°C disminuyó hasta 313 UB, lo que refleja la pérdida de espesamiento de la pasta a altas temperaturas. Los valores fueron ligeramente superiores a los observados en almidones de yuca (entre 225,4 y 259,0 UB) [55], siendo por tanto el almidón de coroba más estable a altas temperaturas y a las fuerzas de corte generadas en el amilógrafo.

#### **4.1.9.5 Viscosidad a 50 °C**

Al comenzar la etapa de enfriamiento comienzan a reagruparse los fragmentos granulares y la amilosa lixiviada, lo que aumenta la viscosidad de la pasta. A esta temperatura la viscosidad fue de 443 UB, semejante al observado en almidones de yuca (entre 379,2 y 464,4 UB) [55].

#### **4.1.9.6 Viscosidad Después de 5 min a 50 °C**

Este valor es indicativo de la estabilidad de la pasta cocida y tendencia a la retrogradación. El valor obtenido fue de 463 UB, semejante al observado en almidones de yuca (entre 414,6 y 511,8 UB) [55] y mayor al obtenido al inicio del período de enfriamiento (443 UB). Estos resultados sugieren la posible utilización de este almidón en sistemas o formulaciones de alimentos donde se requiera el desarrollo de una rápida viscosidad y un gel de consistencia estable.

#### **4.1.9.7 Fragilidad**

Este valor, calculado como la diferencia entre la viscosidad pico y la viscosidad después de 5 min a 90 °C nos indica la estabilidad de la pasta a altas temperaturas. El valor obtenido fue de 51 UB y fue menor al observado en almidones de yuca (entre 109,4 y 196,4 UB) [55], por lo que su pasta es más estable que la de yuca a altas temperaturas. Bajos valores de fragilidad son un indicativo de que el gránulo de almidón presenta fuerzas intermoleculares más fuertes, una estructura interna más rígida y en consecuencia menor tendencia a la ruptura.

#### **4.1.9.8 Retrogradación**

Este valor, calculado como la diferencia entre la viscosidad a 50 °C y la viscosidad después de 5 min a 90 °C, nos da idea de la tendencia de la pasta de almidón a la formación de geles durante el período de enfriamiento. El valor obtenido fue de 128 UB y fue menor al observado en almidones de yuca (entre 153,8 y 205,4 UB) [55], lo que sugiere que se forman geles menos fuertes que en almidón de yuca debido posiblemente al grado de polimerización de la amilosa y de la amilopectina [70] o a su baja solubilidad en agua.

#### **4.1.9.9 Facilidad de Cocción**

Este valor es calculado como la diferencia, en tiempo, entre el momento en que comienza la gelatinización y el momento en que se alcanza la viscosidad pico. El tiempo que tardó el almidón en cocinarse fue de 3 minutos y 45 segundos, valor superior al observado en almidones de yuca (entre 1:29 y 2:27 min:s) [55], lo que indica que el almidón de coroba tarda más en cocinarse. Este comportamiento se ha observado en gránulos de tamaño pequeño, de alta cristalinidad y de mayor fuerza intergranular, lo que restringe la entrada de agua a los mismos [55]. También, como puede observarse en la figura 4.4, la viscosidad pico se alcanza después de los 90 °C, lo que indica que el almidón requiere temperaturas muy altas para cocinarse.

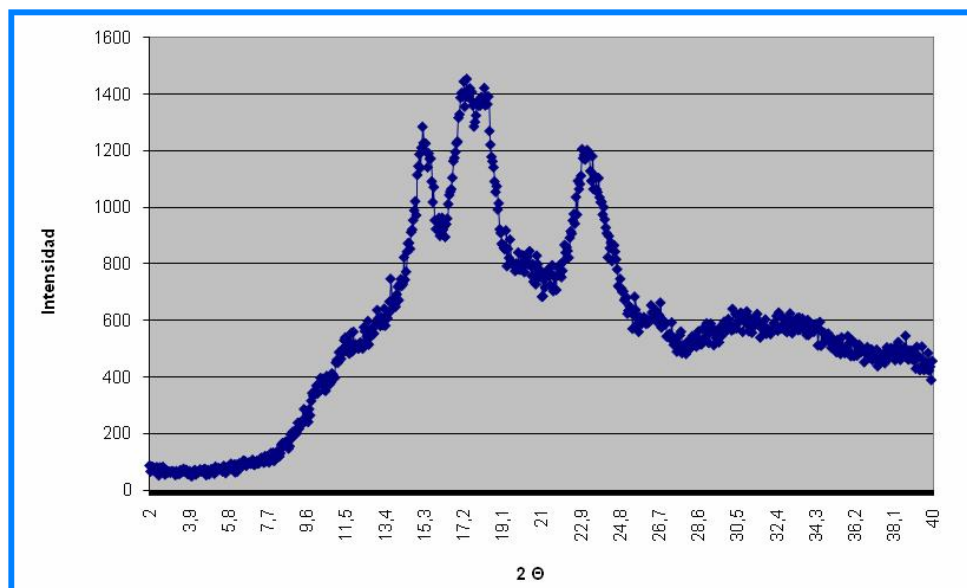
Una interpretación adecuada del perfil amilográfico de un almidón nos da un mejor entendimiento de la estructura fisicoquímica de la matriz de almidón. La viscosidad de la pasta es una de las características funcionales fundamentales del almidón durante el calentamiento en suspensión agua:almidón y es considerada la base para aplicaciones alimenticias, muestra también el grado de interacción entre una mezcla de componentes en el alimento. También examina los cambios

funcionales del almidón durante el proceso y para monitorear sus modificaciones fisicoquímicas [50]

#### 4.1.10. Difracción de Rayos X

La difracción de rayos X ha sido usada para mostrar la presencia y características de la estructura cristalina de los gránulos de almidón

El gránulo de almidón para la palma Coroba presentó el patrón característico tipo A (figura 4.5), semejante al de yuca [55]. Como se observa se desarrollaron 5 picos a 15, 17, 18, 20 y 23 °2 $\theta$ . El estudio del difractograma señala que es un almidón tipo A ya que muestra un doblete a 17 y 18 °2 $\theta$  y un singlete a 23 °2 $\theta$ , a diferencia de los almidones tipo B que tienen un pico a 6 °2 $\theta$  y a 17 °2 $\theta$ , y un doblete a 22 y 24 °2 $\theta$  [65].



**Figura 4.5. Difractograma del almidón**

## 4.2. Conclusiones

El rendimiento en almidón depende del tiempo de extracción del almidón en la muestra.

El almidón obtenido es de alto grado de pureza, a pesar de su alto contenido de grasa, el cual afectó además el color de la muestra.

Los valores de pH y acidez se encuentran dentro del rango aceptable para muestras de almidón.

Los gránulos de almidón de pulpa de coroba tienen forma redondeada con un extremo truncado y son de pequeño diámetro, lo que los hace resistentes a procesos con altas temperaturas y poseen mayor digestibilidad, de manera que pueden ser utilizados en alimentos para infantes y regímenes especiales.

El almidón de pulpa de coroba tiene bajos valores de poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y solubilidad, lo que señala que presenta gránulos con enlaces intermoleculares muy estables.

El almidón de coroba forma geles opacos debido al pequeño tamaño de sus gránulos y a su contenido relativamente alto de amilosa, lo que lo hace adecuado para la preparación de alimentos que requieren opacidad en los productos.

El comportamiento viscoamilográfico del almidón de coroba nos indica que forma pastas estables durante la cocción a altas temperaturas y forma geles medianamente fuertes durante el enfriamiento, por lo que su sinéresis puede ser baja. También puede ser usado en productos que requieran esterilización, como los enlatados y compotas.

El almidón de coroba presenta un patrón de difracción de rayos X tipo A, semejante al de almidón de cereales y al de yuca.

#### **4.3. Recomendaciones**

Realizar estudios con un mayor tiempo de extracción a fin de determinar el tiempo óptimo para tener el mayor rendimiento en almidón.

Realizar nuevas extracciones del almidón de pulpa de coroba procurando limpiarlo exhaustivamente de la grasa a fin de determinar de qué manera se vieron afectados los parámetros estudiados por la presencia de la misma.

Realizar estudios de digestibilidad del almidón de pulpa de coroba, para comprobar su utilización en alimentos para infantes y regímenes especiales.

Evaluar el comportamiento del almidón de coroba en alimentos preparados con él.

Realizar estudios de viscosidad y sinéresis al almidón de pulpa de coroba, a fin de completar los estudios realizados.

Realizar estudios del almidón extraído de otras partes de la planta de la palma coroba.

## BIBLIOGRAFIA

[1] Belén, D. y Alemán, R. “Evaluación de algunas propiedades funcionales y reológicas de harinas de Coroba (*Jessenia polycarpa* Karst)”, publicación de la revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia, Maracaibo (2004).

[2] Marcano, J. y Guilarte, B, “Efecto del proceso de desgrasado, por extracción supercrítica con CO<sub>2</sub>, de la pulpa del fruto de la Coroba (*Jessenia polycarpa* Karst) sobre las características fisicoquímicas, funcionales y microbiológicas”, Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, Barcelona (2002).

[3] Belén, D. “Obtención de harina a partir del mesocarpio del fruto de la palma Coroba (*Jessenia polycarpa* Karst)” Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Simón Rodríguez, Canoabo (2000).

[4] Azemi Mohd Noor, Abdul Manan Dos Mohd, Maryland Nurul Islam y Normah Awang Mehat. “Propiedades físico-química del aceite de tronco de palmera de almidón” Escuela de Tecnología Industrial, Universidad Sains Malaysia. Penang, Malasia (1997)

[5] Elevitch C. “Perfiles y Especies en las Islas del Pacífico”. Recursos para la Agricultura (PAR), Holualoa-Hawaii

[6] Franklin W. “Palmas Multiusos” Editado por Craig Elevitch

[7] Rojas, M. “Caicara, ayer y hoy”, Publicación personal, Caicara del Orinoco (1999)



[8] Hurtado, A. “Caicara: aspectos físicos”, disponible en [http://www.angelfire.com/biz/caicara/aspectos\\_fisicos/coroba.html](http://www.angelfire.com/biz/caicara/aspectos_fisicos/coroba.html) (1998).

[9] Montaldo, A. y Sánchez, T. “Primer Seminario Venezolano Sobre Plantas Agámicas Tropicales”, Publicación del Instituto de Agronomía de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay (2000).

[10] Treybal, R. “Operaciones Básicas de transferencia de masa en Ingeniería Química”. 1era edición. Editorial McGraw Hill. México (1998)

[11] Ocon, J. y Tojo, G. “Problemas de Ingeniería Química”, 2da edición. Editorial Aguilar. España (1975).

[12] Luiz, E. “Concepto y Tecnologías para la elaboración y Usos de Harinas Compuestas”, Notas Técnicas del Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), Guatemala (2004).

[13] Fellows, P.”Tecnología del procesado de alimentos” 3era edición. Universidad de Córdoba. España (1994).

[14] Potter, N. “La Ciencia de los Alimentos”. 1era edición. Editorial Harla. México (1978).

[15] Cortes, M. “La harina de trigo y sus usos”, disponible en <http://www.molineriaypanaderia.com/tecnica/harina/analisi.html> (1998).

[16] Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2008 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos

[17] FAO-STST.2002.database FAO. "Food and Agriculture Organization of the United Nations". Roma, Italia.

[18] Thomas D. y Atwell W. "Starches\_ practical guides for the food industry". Editorial Egan. (1999)

[19] "Culturas Tuberosas amiláceas Latino Americanas: Propriedades Gerais do Amido" Vol.1. Brazil

[20] Ludin, A. "II Congreso Venezolano de Ciencia y Tecnología de Alimentos". Universidad Central de Venezuela. Caracas (1999).

[21] Biliaderis C. "The structure and interactions of starch with food constituents". Canadian Journal of Physiology and Pharmacology (1991)

[22] McGrance S., Cornell H. y Rix C. "A simple and rapid colorimetric method for the determination of amylose in starch products" (1998)

[23] Flint O. "Almidones alimentarios en: microscopia de los alimentos-manual de metodos practicos utilizando la microscopia optica". Editorial Acribia. España (1994)

[24] Ocultate, P. "Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos". 2da edición. Editorial Acribia S.A. España (1993).

[25] "Producto de Cereales y Leguminosas. Determinación de Humedad", Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (1990).

[26] “Producto de Cereales y Leguminosas. Determinación de Cenizas”, Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (1990).

[27] “Alimentos. Determinación de Grasa”, Approved methods of the American Association of Cereal Chemistry (AOAC). The Association, St. Paul, MN. USA (1990).

[28] Michael C. Latham “NUTRICIÓN HUMANA EN EL MUNDO EN DESARROLLO”. Cátedra: Nutrición internacional. Universidad de Cornell Ithaca, Nueva York, Estados Unidos. (2002)

[29] “Producto de Cereales y Leguminosas. Determinación de Proteínas”, Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (1990).

[30] “Producto de Cereales y Leguminosas. Determinación de Acidez titulable”, Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (1990)

[31] “Producto de Cereales y Leguminosas. Determinación de Fibra Cruda”, Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (1990).

[32] Radley, J. “*Examination and analysis of starch and its derivatives*”, Applied Science Publishers Ltd, London, (1976)

[33] Kurup G. y Nanda S. “Storage and drying systems, in *Advances in horticulture*”, Vol. 8 Malhotra Publications, New Delhi, (1994)

[34] Sajeev M. “Studies on settling and concentration of cassava starch suspensions”, Ph. D. Thesis, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore (2000)

[35] Rani V., John J., Moorthy S. y Raja K. "Effect of pre-treatment of fresh *Amorphophallus paeoniifolius* tubers on the physicochemical properties of starch". *Starch/Stärke* (1998)

[36] "Alimentos. Determinación de pH (Acidez Iónica)", Métodos oficiales de análisis de la AOAC. 11 ed. Washington, DC. (2000).

[37] Juliano, B. "A simplified assay for milled-rice amylose". *Cereal Science Today*, 16 (10): 334-360 (1971)

[38] Mestre, C., Matencio, F., Pons B., Yadij M y Flidel G. "A rapid method for the determination of amylose content by using differential scanning calorimetry" (1996)

[39] Bello L., Meza K., Contreras S. y Paredes O. "Functional properties of corn, banana and potato starch blends". *Acata Científica venezolana*, (2001)

[40] Ziegler G., Thompson D. y Casanovas J. "Dynamic measurement of starch granule swelling during gelatinization". *Cereal chemistry* (1993)

[41] Aguilera J. y Rojas E. "Rheological, thermal and microstructural properties of whey protein-cassava starch gels". *Journal of food science* (1996)

[42] García A., Jiménez A., Martín N., Bravo L. y Saura F. "Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch". *Food chemistry* (1999)

[43] Anderson, R. “Water absorption and solubility and amylograph characteristics of roll-cooked small grain products”. Cereal chemistry (1982)

[44] Schoch, T. “Swelling power and solubility of starch granules”. En: “Methods in carbohydrates chemistry”, R. Whistler, R. Smith y M. Wolfrom Eds. Academic Press, USA, Vol IV. (1964)

[45] Cameron, R. y Donald, A. “A small-angle X-ray scattering of the absorption of water into the starch granule”. Carbohydrate research (1993)

[46] Agunbiade, S. y Longe, O. “The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*Cajanus cajan*) and yambean (*Sphenostylis stenocarpa*)”. Food chemistry (1999)

[47] Taggart, P. “Starch as an ingredient: manufacture and applications. In: Eliasson, A-C. Starch in food. Structure, function and applications”. Cambridge, Reino Unido. Woodhead Publishing Limited. (2004)

[48] Vaclavik, V. “Almidones en los alimentos”. En: Fundamentos de ciencia de los alimentos. Editorial Acribia, España. (1998)

[49] Baudi, S. “Optimización de los Alimentos”, 2da edición, editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España (1990).

[50] Hernández, M. Torruco, J. Chel, L. y Betancourt, D. “Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán”, México (2004)

[51] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), World Health Organization (WHO). “*Food Standards Programme. Codex Alimentarius Commission XII, Supplement*”. Roma (1991)

[52] CIAT. “La industria de almidón en el departamento del Cauca, Colombia”. Cali, Colombia. (1995)

[53] Valera, R. “Manual de Estadística Básica”. 2da edición. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Maracay (1996).

[54] Cobana, M. y Antezana, R. “PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE YUCA POR VÍA SECA” Centro de Alimentos y Productos Naturales, Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón. La Paz, Bolivia (2002)

[55] Ciarfella, A. “Evaluación de las raíces comestibles de cuatro variedades promisorias de yuca, caracterización del almidón y elaboración de casabe fortificado”. Tesis doctoral. Universidad Central de Venezuela (2009).

[56] En Rao, M. y Rizvi, S. “Engineering Properties of Foods”. 2nd ed. Dekker. Nueva York, EEUU. (1995)

[57] Farfán, D. y Monico, M. ”Caracterización del almidón de yuca con miras a su utilización en las industrias papelera y textil” Trabajo de grado de química farmacéutica Universidad Nacional, Bogota-Colombia (1989).

[58] Alarcón, F. y Dufour, D. “Almidón agrio de yuca en Colombia” Cali Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (1998).

[59] Tang H, Ando H, Watanabe K, Takeda Y, and Mitsunaga Y. "Some physicochemical properties of small-, medium-, and large granule starches in fractions of waxy barley grain". *Cereal Chem.* (2000)

[60] Alvis, A., Vélez, C., Villada, H. y Rada-Mendoza, M. "Análisis Físico-Químico y Morfológico de Almidones de Ñame, Yuca y Papa y Determinación de la Viscosidad de las Pastas" Trabajo de Investigación, Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Agrícolas, Departamento de Ingeniería de Alimentos, Córdoba-Colombia (2008).

[61] Betancur-Ancona, D. "Caracterización Molecular, Nutricia y Funcional de Almidones de *Phaseolus lunatus* y *Mucuna pruriens*". Tesis (Doctorado en Ciencias, Alimentos), Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México, (2001)

[62] Karim, A., Norzuiah, M. y Seow, C. "Methods for the study of starch retrogradation ". *Food Chem.* (2000).

[63] Leniz, J. "Caracterización morfológica y agronómica de 27 cultivares de yuca Trópico Cochabambino". *Revista Brasileira de mandioca* (1993).

[64] Aristizábal J y Sánchez T. "Guía técnica para la producción y análisis de almidón de yuca". Boletín de servicios agrícolas de la FAO nº 163. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma.

[65] Hoover R., Swamidas G. y Vasanthan T. "Studies on the physicochemical properties of native, deffated, and heat-moisture treated pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) starch". *Carbohydrate research*, (1993)

[66] Ceballos H. y De La Cruz G. “Taxonomía y morfología de la yuca. En: La yuca en el tercer milenio: Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización”. Cap 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. (2002)

[67] Montaldo A. y Montilla J. “La yuca frente al hambre del mundo tropical”. En: La yuca frente al hambre del mundo tropical. Publicación especial de la Universidad Central de Venezuela- Facultad de agronomía y de ciencias veterinarias. Anauco Ediciones, C.A. Caracas, Venezuela. 561 p. (1996)

[68] Hernández O., Emaldi U. Tovar J. “In vitro digestibility of edible films from various starch sources”. Carbohydrate polymers. (2008)

[69] Tester R., Debon S., Davies H. y Gidley M. “Effect of temperatura on the síntesis, composition and physical properties of potato starch”. Journal of the science of food and agricultura. (1999).

[70] Liu Q., Donner E., Yin Y., Huang R. y Fan M. “Physocochemical properties and in vitro digestibility of selected cereals, tubers and legume grown in China”. Food Chemistry. (2006)



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y  
ASCENSO**

<b>TITULO</b>	Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas del almidón extraído del mesocarpio del fruto de palma coroba ( <i>attalea macrolepis</i> ).
<b>SUBTITULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CDIGO CULAC / E MAIL</b>
Chirinos C, Jesús G.	CVLAC: 17.869.274 E_MAIL: chirinoscj@hotmail.com
Rodríguez, Giovel de J.	CVLAC: 15.469.467 E_MAIL: giovelrj@hotmail.com

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

Evaluación

Propiedades Fisicoquímicas

Reológicas

Almidón

Mesocarpio

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO**

ÁREA	SUBÁREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	INGENIERIA QUÍMICA

**RESUMEN (ABSTRACT):**

La palma Coroba (*Attalea macrolepis*) nace y se cultiva de forma silvestre en el Municipio Cedeño del estado Bolívar y se le puede considerar como un buen potencial industrial de bajo costo para la elaboración de importantes productos tanto en la industria alimentaria como en otras. Para la evaluación de las distintas propiedades del almidón derivado de dicha palma se procedió a extraerlo a una velocidad constante de agitación de 4000 rpm, obteniéndose un rendimiento de 15,31% para un tiempo de 10s; 17,95% para 30s y 21,74% para un tiempo de 60s. Se determinó su composición fisicoquímica y morfológica, así como sus propiedades reológicas. La composición proximal reveló un contenido de 8,23% de humedad, 2,97% de proteína, 0,25% de grasa, 0,24% de fibra cruda, 0,17% de ceniza y 88,14% de carbohidratos. El pH y la acidez tuvieron valores de 5,35 y 0,03%, respectivamente. Su contenido de amilosa fue de 21,7%. Presentó un índice de blancura de 12,70. Los valores del poder de hinchamiento, índice de absorción de agua y solubilidad fueron de 9,70 g<sub>agua</sub>/g<sub>almidón</sub>, 9,45 g/g<sub>almidón</sub> y 2,37%, respectivamente. El almidón mostró una temperatura de gelatinización de 69,0°C y una máxima viscosidad de 365 UB, así como una consistencia relativamente estable al proceso de cocción y baja tendencia a la retrogradación, lo que sugiere su posible uso en formulaciones de alimentos en donde se requiere el desarrollo de una rápida viscosidad y un gel de consistencia estable.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO****CONTRIBUIDORES:**

<b>APELLIDOS Y NOMRES</b>	<b>ROL/CÓDIGO CVLAC/ E_MAIL</b>				
Ana Ciarfella	ROL	CA	AS	TU	JU
				X	
	CVLAC	8.315.404			
	E_MAIL	atciavsellap@gmail.com			
Rafael Alemán	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
					X
	CVLAC:	3.673.390			
Lucas Álvarez Jurado	E_MAIL	reasi@hotmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
				X	
CVLAC:	4.077.552				
E_MAIL	Lalvaresm57@gmail.com				
E_MAIL					

**FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:**

<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DIA</b>
2010	04	16

**LENGUAJE: SPA**

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**

**ARCHIVO (S):**

<b>NOMBRE DE ARCHIVO</b>	<b>TIPO MIME</b>
TESIS. Fruto de palma coroba.doc	Application / msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F  
G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t  
u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE**

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Ingeniero Químico

**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**

Pre – Grado

**ÁREA DE ESTUDIO:**

Departamento de Ingeniería Química

**INSTITUCIÓN:**

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:****DERECHOS:**

De acuerdo al Artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de núcleo respectivo, el cual lo notificará al Consejo Universitario”.

Chirinos C, Jesús G.

**AUTOR**

Rodríguez, Giovel de J.

**AUTOR**

Ana Ciarfella

**TUTOR**

Rafael Alemán

**JURADO**

Lucas Álvarez

**JURADO****POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**