Scholar@UPRM

# Obtención y caracterización del almidón del cormo de la yautía (########## spp.) del cultivar Nazareno para la elaboración de láminas comestibles



| | |
|---|---|
| Item Type | Thesis |
| Authors | Alvira Manios, Leidy F. |
| Download date | 2025-12-05 09:34:09 |
| Link to Item | https://hdl.handle.net/20.500.11801/3750 |

**OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DEL CORMO DE LA YAUTÍA (*Xanthosoma* spp.) DEL CULTIVAR NAZARENO PARA LA ELABORACIÓN DE LÁMINAS COMESTIBLES**

Por

**LEIDY FERNANDA ALVIRA-MANIOS**

Trabajo de tesis sometida en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS
En
CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2015

Aprobado por:

| | |
|---|---|
| Martha Laura López-Moreno, Ph.D.<br>Miembro, Comité Graduado | Fecha |
| Fernando Pérez Muñoz, Ph.D.<br>Miembro, Comité Graduado | Fecha |
| Rosa Nilda Chávez-Jáuregui, Ph.D.<br>Presidente, Comité Graduado | Fecha |
| Katherine Carrero-Figueroa, M.S.<br>Representante de Estudios Graduados | Fecha |
| Aixa Rivera Serrano, M.S.<br>Coordinadora del Programa<br>Ciencia y Tecnología de Alimentos | Fecha |

## ABSTRACT

Starch is the second most abundant natural polymer and it is composed of amylose (linear fraction) and amylopectin (branched fraction), in which physical organization and respective concentrations determine the physicochemical and functional properties from different starches. Starch extraction has been limited principally to four crops: corn, potato, cassava and wheat. However, it is known that corm central stem of cocoyam plant (*Xanthosoma* spp) accumulates a significant amount of carbohydrate, which can be processed in food industry as starch source. Furthermore, corm starch may have different structural and a functional characteristics that allows it to compete in the market and be uses multiple purposes. Currently, the corm is discarded food crop; it can be used as no conventional starch source showing an advantage over conventional starch sources. The main objective of this research is to extract and to characterize starch from Nazareno cultivar cocoyam corm as well as to develop edible films using the plate mold technique. Edible films mechanic and water vapor permeability properties were also evaluated. Corms were planted at the Isabela Agriculture Experimental Station, harvested after 10 months and subsequently processed in the pilot plant at Food Science and Technology Program from the University of Puerto Rico, Mayaguez Campus. Corms were divided in three sections (apical, middle and distal), peeled, cut, liquefied, filtered, centrifuged, washed and dried. Physically properties such as shape, size, structural integrity, whiteness index were assessed. Chemical analysis of proximate composition, dietary fiber, pH, amylose and resistant starch, minerals, tanins, saponins and fitates, and oxalate content were performed. Several techniques such as spectrophotometry and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) were applied. In addition, rheological and functional properties such as solubility, swelling capacity, clarity, and paste stability (4 and -18°C) were done. Edible films were elaborated following a 5x5 factorial design (starch and glycerol) and their mechanical and water vapor permeability properties were evaluated. Results suggest that cocoyam corm could be considered as an excellent source of high quality starch containing a 70% of starch on a dry basis. From the total starch content found 14.1% is type II resistant starch, which is related to dietary fiber content. Amylose and amylopectin content in starch as 20.9 and 79.1%, respectively. Low lipids, proteins, and ash contents, and a high whiteness index (97.0) are characteristic from high pure starch. Oxalate content was low (0.57mg/g). Fitates, tanins and saponins were not detected. Starch granule size was medium to small (11.83 a 12.11µm), with an elliptical shape (some with truncated tips) and polygonals with a smooth surface. In addition, starch granules exhibited low swelling capacity (13.69 g water/g starch at

90°C) and solubility (7.92% at 90°C), with a high gelatinization temperature (75.6 - 78.8°C). Paste elaborated from the three corm sections exhibited low viscosity (125.87 - 170.23 RVU) and as stable to cooking (b*reakdown* = 31.0 RVU) and cooling (*setback* = 20.3 RVU) processes. Starch from distal section was stable at refrigeration temperature for 6 days. Corm starch showed high potential for the elaboration of edible films. However, more research is needed in order to improve its water vapor permeability and mechanical properties. In conclusion, starch from the Nazareno cultivar cocoyam corm can be categorized as good quality starch.

# RESUMEN

El almidón es el segundo polímero natural de mayor abundancia en la naturaleza y está compuesto por amilosa (fracción lineal) y amilopectina (fracción ramificada). La organización física y la proporción de estos dos polisacáridos, otorgan determinadas propiedades fisicoquímicas y características funcionales a los diferentes almidones. Su extracción se ha limitado principalmente a cuatro cultivos: maíz, papa, yuca y trigo, sin embargo el cormo o tallo central de la yautía (*Xanthosoma* spp) acumula gran cantidad de carbohidratos, por lo que puede ser aprovechado por la industria como una importante fuente de almidón. Así mismo, el almidón del cormo puede tener diferentes características estructurales y funcionales que le permite competir en el mercado y así emplearse para múltiples propósitos. Actualmente el cormo es un cultivo descartado de la alimentación, de forma tal que su uso como fuente no convencional de almidón sería una ventaja sobre las fuentes de almidones convencionales. Los objetivos de esta investigación fueron extraer y caracterizar el almidón del cormo de la yautía del cultivar Nazareno, además elaborar láminas comestibles mediante la técnica de moldeado en plato y determinar sus propiedades mecánicas y de permeabilidad al vapor de agua. Los cormos fueron sembrados en la Estación Experimental Agrícola de Isabela, cosechados a los 10 meses y procesados en la planta piloto del Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos del Recinto Universitario de Mayagüez. Los cormos fueron divididos en tres secciones (apical, media y distal), pelados, licuados, filtrados, centrifugados, enjuagados y secados a 37°C. Se evaluaron las propiedades físicas del almidón tales como: forma, tamaño, integridad estructural e índice de blancura. Las propiedades químicas del almidón fueron: composición proximal, fibra dietaria, pH, taninos, saponinas, fitatos y oxalato. El contenido de amilosa y almidón resistente se determinaron por espectrofotometría y los minerales por espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Además, se determinaron las propiedades reológicas y funcionales del almidón tales como: solubilidad, poder de hinchamiento, claridad y estabilidad de la pasta (4 y -18°C). Así mismo, se elaboraron las láminas comestibles mediante un diseño factorial 5x5 (almidón y glicerol) y se determinaron sus propiedades mecánicas y de barrera al vapor de agua. Según los resultados obtenidos, el cormo de la yautía puede ser una excelente fuente de almidón con un contenido de 70.0% en base seca, de los cuales el 14.1% corresponde a almidón resistente de tipo II, el cual se relaciona con el bajo contenido de fibra dietaria. El contenido de amilosa y amilopectina es de 20.9 y 79.1%, respectivamente. El bajo contenido de lípidos, proteínas, cenizas, incluyendo el alto índice de blancura (97.0), indican

que el almidón es de alta pureza. La concentración promedio de oxalato fue baja (0.57mg/g) y no fueron detectados fitatos, taninos y ni saponinas. Los gránulos de almidón son de tamaño mediano y pequeño (11.83 a 12.11µm) con forma elíptica (algunos con puntas truncadas) y poligonal con una superficie lisa. Los gránulos exhiben valores bajos de capacidad de hinchamiento (13.69 g agua/g almidón a 90°C) y de solubilidad (7.92% a 90°C), y una temperatura de gelatinización alta (75.6 - 78.8°C). Las pastas del almidón de las tres secciones fueron de baja viscosidad (125.87 - 170.23 RVU), estables a procesos de cocción (b*reakdown* = 31.0 RVU) y de enfriamiento (*setback* = 20.3 RVU). El almidón distal fue estable a la refrigeración hasta por 6 días. El almidón del cormo presentó un alto potencial para la elaboración de láminas comestibles, sin embargo se requieren más estudios para disminuir su permeabilidad al vapor de agua y mejorar sus propiedades mecánicas. El almidón del cormo de la yautía del cultivar Nazareno se puede catalogar como un almidón de buena calidad.

**DERECHOS DE AUTOR RESERVADOS ©**
Leidy Fernanda Alvira-Manios
2015

## DEDICATORIA

Agradezco a Dios por estar siempre conmigo,
por ser la fuente de mi energía, de mis éxitos y
por mandarme tantos angelitos de la guarda
que siempre guían mi camino.

A mi mamá y mis hermanos
por su gran amor y sus esfuerzos constantes,
por creer siempre en mí, ser mi apoyo incondicional
y enseñarme a soñar en grande.
Este triunfo es por ustedes, los Amo.

A mis tres pedacitos de corazón
que a pesar de la distancia me llenan de amor
y grandiosos recuerdos.

A Eluith, mi gran amor
que sin importar las circunstancias
siempre tiene para mí un gran abrazo y una bella sonrisa.
Gracias por caminar junto a mí.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto sólo se puedo realizar bajo la colaboración de las siguientes personas y entidades:

A mi directora de tesis Dra. Rosa Chávez-Jáuregui, por permitirme desarrollar este gran proyecto de investigación, bajo su continuo apoyo y confianza. Gracias por su amistad, sus consejos y la una que otra jaladas de oreja.

Al Financiamiento de la Investigación y el Desarrollo de Tecnología Agrícola (FIDTA) por proveer los fondos para realizar este estudio a cabalidad y por la ayudantía de investigación.

Al profesor Ángel Bosques-Vega, por su interés en el proyecto y por proveer la materia prima.

A Lilliam Gaud, por esos dos semestres de trabajo arduo, acompañado de risas y palabras nuevas y a Carolina Coronell por ese eterno acompañamiento de trabajo en el laboratorio, lleno de estrés, risas y de mucho permanganato.

A la Estación de Investigación de Agricultura Tropical en Mayagüez (TARS), por el préstamo de equipos para la determinación de contenido de minerales, almidón resistente, la evaluación de la degradación enzimática del almidón. Agradezco especialmente al químico Delvis Pérez por su colaboración.

Al Laboratorio de Reología y Empaques de la Universidad del Cauca en Colombia, por el préstamo de equipos e instalaciones para llevar el análisis reológico del almidón. Agradezco especialmente a la química Evelyn Alegría Vivas.

Al Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la UPRM, por proveer las instalaciones para la ejecución de la mayor parte de los análisis del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

**ABSTRACT** ..... I

**RESUMEN** ..... III

**DEDICATORIA** ..... VI

**AGRADECIMIENTOS** ..... VII

**LISTA DE TABLAS** ..... X

**LISTA DE FIGURAS** ..... XII

**1. INTRODUCCIÓN** ..... 1

**2. OBJETIVOS** ..... 4

2.1 OBJETIVO GENERAL ..... 4

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS ..... 4

**3. MARCO TEÓRICO** ..... 5

3.1 YAUTÍA ..... 5

3.2 ALMIDÓN Y SUS PROPIEDADES ..... 6

3.2.1 Composición Química del almidón ..... 7

3.2.2 Propiedades Físicas del almidón ..... 10

3.2.3 Propiedades Funcionales del almidón ..... 11

3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ALMIDÓN Y SUS USOS ..... 15

3.4 LÁMINA COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN ..... 17

**4. MATERIALES Y MÉTODOS** ..... 21

4.1 MUESTRAS ..... 21

4.2 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DEL CORMO DE LA YAUTÍA ..... 21

4.2.1 Rendimiento del proceso de extracción del almidón ..... 22

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO ..... 23

4.3.1 Propiedades Químicas ..... 23

4.3.2 Propiedades Físico-Químicas ..... 36

4.3.3 Propiedades Funcionales del Almidón .....38
4.4 ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS COMESTIBLES .....41
4.4.1 Propiedades de barrera y mecánicas de la lámina .....42
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....44
**5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN** .....45
**6. CONCLUSIONES** .....74
**7. RECOMENDACIONES** .....75
**8. BIBLIOGRAFIA** .....76
**9. ANEXOS** .....96

## LISTA DE TABLAS

**Tabla 1**. Soluciones de amilosa y amilopectina empleadas para la preparación de la curva de calibración.....26

**Tabla 2**. Composición proximal del cormo de la yautía .....45

**Tabla 3**. Porcentaje de almidón en cada una de las secciones del cormo. .....46

**Tabla 4.** Composición proximal de muestras de almidón extraído del cormo de la yautía.....48

**Tabla 5**. Contenido de amilosa y amilopectina en las muestras de almidón del cormo .....50

**Tabla 6**. Contenido de oxalato en el almidón y la harina del cormo, y en el cormelo de la yautía del cultivar Nazareno .....54

**Tabla 7.** Tamaño y forma de los gránulos de almidón extraído del cormo de la yautía .....55

**Tabla 8**. Parámetros e índices de color y pH del almidón del cormo de la yautía.....58

**Tabla 9**. Propiedades de empastamiento del almidón de las tres secciones del cormo .....65

**Tabla 10**. Efecto del tween 80 en la permeabilidad al vapor de agua de la lámina elaborada...72

**Tabla 11**. Análisis estadístico del contenido proximal del cormo y del contenido de minerales.97

**Tabla 12**. Análisis estadístico del contenido amilosa y amilopectina del cormo .....98

**Tabla 13**. Análisis estadístico de la hidrólisis del almidón del cormo.....98

**Tabla 14**. Medidas de resumen del contenido del almidón resistente y de fibra dietaría del almidón del cormo.....99

**Tabla 15**. Análisis estadístico del contenido de oxalato en el almidón .....99

**Tabla 16**. Análisis estadístico de los resultados del análisis sensorial de acritud realizado al almidón del cormo.....100

**Tabla 17**. Análisis estadístico para la distribución del tamaño de los gránulos de almidón .....101

**Tabla 18**. Análisis estadístico para los parámetros, índices de color y pH de almidón.....101

**Tabla 19**. Análisis estadístico de la claridad de la pasta del almidón .....102

**Tabla 20**. Análisis estadístico del poder de hinchamiento del almidón.....103

**Tabla 21**. Análisis estadístico del poder de solubilidad del almidón .....104

**Tabla 22**. Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación.....106

**Tabla 23.** Análisis estadístico de las propiedades reologicas del almidóno.....111

**Tabla 24**. Análisis estadístico del diseño factorial para la elaboración de las láminas comestibles con el almidón del cormo.....114

**Tabla 25**. Análisis estadístico del efecto de tween 80 en la permeabilidad al vapor de agua de las láminas de almidón del cormo. .....117

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1**. Identificación de las partes de la planta de yautía del cultivar Nazareno ..... 5

**Figura 2**. Estructura de la amilosa y la amilopectina..... 8

**Figura 3**. Modelo de una curva de empastamiento .....12

**Figura 4.** Elaboración de láminas a partir de TPS. .....18

**Figura 5.** Procesamiento del cormo de yautía para la obtención de almidón .....22

**Figura 6**. Determinación de la composición proximal.....24

**Figura 7**. Etapas en la determinación de minerales por ICP .....25

**Figura 8**. Etapas en la determinación de fibra dietaria.....31

**Figura 9.** Etapas de la determinación de oxalato.....34

**Figura 10.** Hoja del panelista empleada para la prueba sensorial de acritud .....36

**Figura 11**. Determinación las propiedades físicas del almidón .....37

**Figura 12**. Texturómetro empleado para análisis de pasta de almidón. .....40

**Figura 13.** Reómetro Rotacional empleado para obtener la curva de empastamiento del almidón. .....41

**Figura 14**. Etapas de la elaboración de las láminas comestibles.....42

**Figura 15**. Método para determinar la permeabilidad de las láminas comestibles. .....43

**Figura 16**. Determinación de las propiedades mecánicas de las láminas empleando el texturómetro.....44

**Figura 17.** Curva de calibración empleada para la cuantificación de amilosa en el almidón.....49

**Figura 18**. Porcentaje de hidrólisis enzimática del almidón del cormo de la yautía.....52

**Figura 19.** Micrografía Electrónica de Barrido de los gránulos de almidón, de fibra y de las hojuelas del cormo de la yautía.....53

**Figura 20**. Micrografía de luz de los gránulos de almidón extraído del cormo.....56

**Figura 21**. Micrografía de luz polarizada de los gránulos de almidón .....57

**Figura 22.** Propiedades funcionales del almidón del cormo (claridad de la pasta, solubilidad y poder de hinchamiento). .....61

**Figura 23.** Estabilidad bajo condiciones de refrigeración y congelación .....64

**Figura 24**. Curva de empastamiento del almidón del cormo.....66

**Figura 25**. Influencia del contenido de almidón y glicerol en las propiedades de las láminas ...70

**Figura 26.** Fresas cubiertas con la lámina elaborada a partir de almidón del cormo.....73

**Figura 27**. Carta del Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación para el análisis Sensorial .....96

**Figura 28**. Curva de calibración de glucosa empleada para la determinación almidón.....99

**Figura 29.** Gráfica de barrar para el análisis sensorial de acritud realizado al almidón extraído del cormo.....101

# 1. INTRODUCCIÓN

El almidón, después de la celulosa, es la sustancia glucosídica de mayor abundancia en la naturaleza (Da Silva, 2013), siendo ampliamente usada en una gran variedad de formas tanto en la industria alimentaria como en la no alimentaria (Ellis, Cochrane, Dale, Duffus, Lynn, Morrison & Tiller, 1998; Satin, 2000), no solo porque representa la principal fuente de energía del hombre, sino también porque es un polímero que otorga propiedades deseables a diferentes productos, como textura, apariencia y consistencia (Hernández-Medina, Turruco-Uco, Chel-Guerrero & Betancur-Anacona, 2008).

El almidón es un "polímero natural cuyos gránulos consisten de estructuras macromoleculares de amilosa y amilopectina, ordenadas en capas y cuyas características en cuanto a composición, cantidad y forma varían de acuerdo al tipo de cultivo del cual provenga" (Meneses, Corrales & Valencia, 2007). Éste es obtenido mediante procesos económicos y sencillos que incluyen lavado, rallado, extracción por colado, sedimentación y posterior secado (Aristizábal, Sánchez & Mejia, 2007; Dávila, Cerda, Pacheco, Barreto, Berrios & Chávez-Jáuregui, 2013). A pesar de esto, su extracción se ha limitado principalmente a unos cuantos cultivos tradicionales, entre ellos el maíz (cerca del 80% de la producción mundial), el trigo, la papa y la yuca (Ellis et al., 1998; Waterschoot, Gomand, Fierens & Delcour, 2015; Tovar, 2013), y con los cuales se obtuvo una producción mundial de 73 millones de toneladas en el 2011 (AAF, 2013), correspondiendo 12.999.146 toneladas al almidón de papa y 1.675.112 toneladas al almidón de yuca (FAO, 2015). Considerando que estos cuatro cultivos (resaltando las raíces y tubérculos) son de elevada importancia para el consumo de una población mundial en crecimiento (principalmente para países en desarrollo) (Loftas & Ross, 1995), la FAO (2002) sugiere aumentar las investigaciones en nuevas fuentes de almidón, lo que ayudará a contribuir a la seguridad alimentaria (Owusu-Darko, Paterson & Omenyo, 2014), teniendo siempre presente que la oferta está enfocada hacia los productos con calidad nutritiva, adaptabilidad y bajo costo de producción, brindando así viabilidad económica tanto para los agricultores como para los consumidores (FAO, 2000 y 2013).

En el caso de Puerto Rico, la FAOSTAT (Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database) no tiene ningún reporte acerca de la extracción de almidón proveniente de raíces y tubérculos amiláceos, ya que estos están destinados principalmente para el consumo, como por ejemplo la yautía, cuya producción en el 2013 fue de 1.750 toneladas (FAO, 2015a). Cabe destacar que en los últimos años la producción de la misma ha disminuido notablemente

lo cual se atribuye en parte al bajo rendimiento comercial de los cormelos (Gill & Bosques, 2009; FAO, 2015a). De acuerdo con las investigaciones de Bosques-Vega (2014), la planta de la yautía (*Xanthosoma spp*) del cultivar Nazareno representa una nueva alternativa, ya que esta puede tener alto rendimiento del cultivo al plantarse en cualquier época del año, rendimiento que implica una mayor cantidad de cormelos que pueden cultivarse entre los 9 y 16 meses sin que se broten, lo que es ideal para la calidad y disponibilidad de los mismos (Gill et al., 2009). Adicionalmente, se puede dar un máximo aprovechamiento de la planta de la yautía, no solo por la comercialización de los cormelos, sino también por el aprovechamiento del tallo central (constituye la mayor parte de la planta, al alcanzar 1.5 metros de altura a los 6 meses), debido a que acumula gran cantidad de carbohidratos, siendo el almidón el principal constituyente (Rodríguez, 1986; Bosques-Vega, 2014).

El almidón del cormo de la yautía, al extraerse, puede usarse en la industria alimentaria gracias a las características funcionales que éste posee y las cuales varían con respecto a otras fuentes de almidones, no solo por ser diferente en su procedencia botánica, sino también por las condiciones climáticas y prácticas agronómicas (Boudries, Belhaneche, Nadjemi, Deroanne, Mathlouthi, Roger & Sindic, 2009; Burešová, Sedláčková, Faměra & Lipavský, 2010; Cottrell, Duffus, Paterson & Mackay, 1995; Mitolo, 2005; López, 2011). Entre dichas características de importancia para la industria alimentaria se encuentra la gelatinización, retrogradación, solubilidad, capacidad de retención de agua y el comportamiento reológico de la pasta (estabilidad y claridad del gel, formación de película), las cuales dependen de las propiedades físicas (tamaño e integridad del gránulo) y químicas del almidón (proteína, grasa, minerales y principalmente a la relación de amilosa-amilopectina) (Boudries et al., 2009; Cottrell et al,. 1995; BeMiller & Whistler, 2009; Vamadevan & Bertoft, 2015).

Estas propiedades físico-químicas son factores que también afectan el proceso de digestión del almidón y, por ende, sus características nutricionales. Sin embargo, cabe destacar que no todos los nutrientes ingeridos en la dieta son completamente utilizados en el cuerpo o disponibles, como es el caso de algunos almidones, que pueden dar lugar a la digestión incompleta y a la absorción del mismo en el intestino delgado (Sajilata, Singhal & Kulkarni, 2006). Considerando esto, el almidón ha sido clasificado como, *almidón de rápida* y *lenta digestión* y *almidón resistente*. Los dos primeros están relacionados con la velocidad de hidrólisis durante el proceso de digestión, la cual determina la cantidad de glucosa liberada (índice glicémico) (Englyst, Kingman & Cummings, 1992; Casarrubias, Bello & Hamaker, 2010),

mientras que el *almidón resistente*, al no ser digerido, puede comportarse como un sustrato para el crecimiento de los microorganismos probióticos. Este último también se relaciona con la disminución del riesgo de padecer enfermedades como la obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Sajilata et al., 2006; Ludwig, 2002).

En adición, los almidones nativos son tan versátiles que pueden mejorar sus propiedades funcionales mediante tratamientos físicos y modificaciones químicas o enzimáticas (Jobling, 2004; Waterschoot et al., 2015). Esto les permite tener un mayor rango de aplicación en la industria, comportamiento que le da un mayor valor agregado a los almidones (Aristizábal, et al, 2007). Dentro de esa misma versatilidad, los almidones pueden ser empleados para la elaboración de láminas comestibles[1] las cuales tienen un amplio rango de aplicación en la industria, particularmente en alimentos altamente perecederos como lo son las frutas y vegetales (Kramer, 2009; Parra, Tadini, Ponce & Lugão, 2004; Acosta, Fandiño & Ante, 2012; Chiumarelli & Hubinger, 2014; Saavedra & Algecira, 2010; Campos, Kwiatkowski & Clemente, 2011). Esto se debe a que las láminas juegan un papel importante en la conservación, distribución y mercadeo, protegiendo el alimento de daño mecánico, físico, químico, microbiológico, además de prevenir el deterioro de la calidad ya que actúan como una barrera para la humedad, gases, lípidos y sabores (Falguera, Quintero, Jiménez, Muñoz & Ibarz, 2011; Gontard, Guilbert & Cuq, 1993).

De acuerdo con Pavlath y Orts (2009), el uso de las láminas comestibles se ha extendido rápidamente, con ventas anuales que exceden los 100 millones de dólares, lo cual se atribuye a las ventajas que estos presentan, como el bajo costo, atractivo visual, ausencia de compuestos tóxicos y principalmente, porque son elaboradas con material renovable (principalmente almidón) y de fácil degradación. Este tipo de materiales ayudan a reducir la contaminación ambiental ocasionada por la acumulación de plásticos sintéticos (comúnmente empleados para empacar alimentos) y a reducir la emisión de $CO_2$ producido cuando éstos son quemados o sometidos a compostaje (Xu, Kim, Hanna & Nag; 2005; Lu, Xiao & Xu, 2009; Wittaya, 2012; Bourtoom, T. 2008; Tharanathan, 2003).

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene como objetivo en este proyecto darle valor agregado a la yautía del cultivar Nazareno, mediante el aprovechamiento de la pulpa del cormo, como una fuente de almidón que no sólo represente una alternativa para la industria de alimentos sino que también pueda ser empleado en la elaboración de láminas comestibles.

[1] http://www.ibwch.lodz.pl/en36,fibres_from_natural_polymers.html

# 2. OBJETIVOS

## 2.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener y caracterizar el almidón del cormo de la yautía del cultivar Nazareno con el fin de emplearlo en la elaboración de láminas comestibles.

## 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Extraer el almidón nativo del cormo de la yautía del cultivar Nazareno.
- ✓ Evaluar las propiedades físicas, químicas y funcionales del almidón.
- ✓ Elaborar láminas comestibles mediante la técnica de moldeado en plato.
- ✓ Evaluar las propiedades de barrera y mecánicas de las láminas comestibles.

# 3. MARCO TEÓRICO

## 3.1 YAUTÍA

La yautía del género *Xanthosoma* spp., es un planta comestible originaria de la región tropical de América, incluyendo América Central y las Islas del Caribe (considerada el cultivo más antiguo de Puerto Rico), comúnmente conocida como Mafafa (Colombia), Ocumo (Venezuela), Tigiusque (Costa Rica), Otó (Panamá), Tayo (Haití), Malanga (Cuba), Calusa (Perú) y Mangareto (Brasil) entre otros (Cuebas, 1983; García, M. 1986; Hernández, 1996).

Actualmente, los principales productores de yautía en el mundo son Cuba (185.900 toneladas), seguido de Venezuela, El Salvador, Perú y República Dominicana (FAO, 2015b). En Puerto Rico la producción de yautía es de tan solo 1.750 toneladas (FAO, 2015a), siendo necesario importar aproximadamente el 90% del producto para poder suplir la demanda (Zapata & Bosques, 2015). Es por ello, que el Departamento de Agricultura (Zapata et al., 2015) de la mano con las investigaciones de Bosques-Vega (2014), está promoviendo la siembra de la yautía del cultivar Nazareno (Figura 1). Esta se caracteriza por tener alto rendimiento del cultivo al plantarse en cualquier época del año; rendimiento que implica una mayor cantidad de cormelos que pueden cosecharse entre los 9 y 16 meses sin que se broten, lo que es ideal para la calidad y disponibilidad de los mismos (Gill et al., 2009).

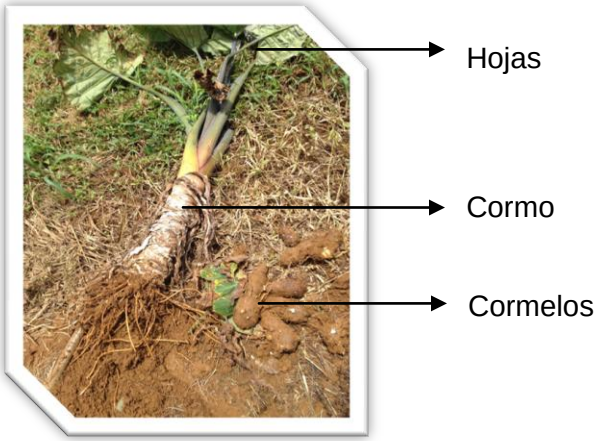



**Figura 1.** Identificación de las partes de la planta de Yautía del cultivar Nazareno.

La yautía (Figura 1) está formada por un tallo subterráneo llamado cormo que constituye la mayor parte de la planta (Rodríguez, 1986) y del cual se desprenden las hojas y los tubérculos. Estos últimos corresponden a los cormelos, que actualmente constituyen la parte comestible y los cuales se han procesado para la elaboración de productos destinados a la alimentación humana y animal (Hernández, 1996; Owusu-Darko et al., 2014; Oke & Bolarinwa, 2011). El cormo ha sido limitado en la industria alimentaria, no sólo por la falta de investigación sobre las características del mismo, sino por el alto contenido de cristales de oxalato de calcio que provocan acritud y causan efectos adversos sobre la salud (Holloway, Argall, Jealous, Lee & Bradbury, 1989; Akpan & Umoh, 2004; Iwuoha & Kalu, 1995; Aregheore & Perera, 2003; Cuebas, 1983; Kumoro, 2012; Libert & Franceschi, 1987).

Sin embargo, en el cormo se acumula gran cantidad de componentes, principalmente extracto no nitrogenado el cual está constituido mayormente por carbohidratos (93.62% en *Xanthosoma sagittifolium* (L) Schott (Akpan et a., 2004)). El almidón es el polisacárido más abundante (77.9 % para cormo de taro (Onwueme, 1994)), seguido de minerales, grasa, proteína y fibra (Hernández, 1996), los cuales son la base para plantear el aprovechamiento de la pulpa del cormo, como una fuente de almidón.

Actualmente, el cormo es un producto descartado en la alimentación, que incorporado en la industria representaría una nueva y útil alternativa renovable, de bajo costo. De tal forma que su uso como fuente no convencional de almidón, sería una ventaja sobre las fuentes de almidones convencionales (maíz: 64-78%, la papa: aprox. 76% y la yuca: 45-55%), debido a que puede tener diferentes características estructurales y funcionales que le permitan competir en el mercado y así emplearse para múltiples propósitos en la industria (Eckhoff & Watson, 2009; Grommers & Van der Krogt, 2009; Breuninger, Piyachomkwan & Sriroth, 2009).

## 3.2 ALMIDÓN Y SUS PROPIEDADES

El almidón es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado en forma de gránulos en casi todos los órganos de la mayoría de las plantas. Los órganos y tejidos que contienen gránulos de almidón incluyen polen, hojas, tallos, tejidos leñosos, raíces, tubérculos, bulbos, rizomas, frutas, flores y semillas (Shannon, Garwood & Boyer, 2009; Preiss, 2004;

Jane, Kasemuwan, Leas, Zobel & Robyt, 1994).

Su síntesis y almacenamiento se dan en los amiloplastos y en los cloroplastos (plastidios). En el caso de los cloroplastos (principalmente en las hojas) se da la síntesis de *almidón transitorio*, llamado así debido a que éste se forma en el día por la fijación de carbono durante la fotosíntesis, y en la oscuridad, es hidrolizado (hasta azúcares simples, generalmente sacarosa) para ser transportado a otras partes de la planta con el fin de aportar carbono al metabolismo no fotosintético, permitiendo así el crecimiento de la planta. Mientras que en los amiloplastos, de los cereales, raíces y tubérculos, ocurre la síntesis de *almidón de reserva*, el cual es almacenado durante largos periodos de tiempo (Shannon et al,. 2009; Preiss, 2004; Bermejo, 2014; Utrilla, 2010), siendo éste de importancia económica e industrial debido a que confiere propiedades físico químicas particulares que difieren entre cada una de las fuentes botánicas (Utrilla, 2010).

Las diferencias en la estructura membranosa y las características físicas de los plastidios de cada una de las plantas, así como las condiciones ambientales, influyen en el patrón de síntesis y acumulación de almidón; siendo responsables de las diferencias en cuanto a morfología y estructura molecular (amilosa y amilopectina) de los gránulos de almidón (Preiss, 2004; Utrilla, 2010; James, Denyer & Myers, 2003; Janes, 2009).

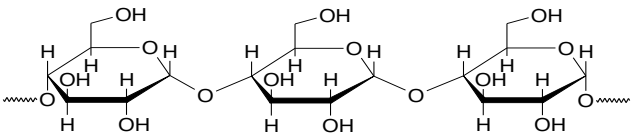
### 3.2.1 Composición Química del almidón

El almidón nativo es obtenido mediante procesos sencillos de lavado, rallado, extracción por colado, sedimentación y secado[2] (Aristizábal et al., 2007; Dávila et al., 2013). Dichos procesos tiene como finalidad separar los gránulos de almidón (amilosa y amilopectina) de los demás componentes de la planta como proteínas, celulosa y compuestos solubles en agua, que dependiendo del caso pueden ser considerados como impurezas, ya que afectan las propiedades del almidón[3] (BeMiller et al., 2009; Singh, 2010).

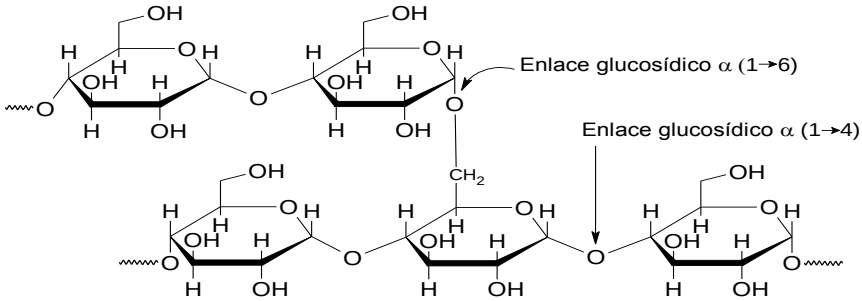
[2] http://www.starch.eu/extraction-and-processing/
[3] http://www.starch.eu/extraction-and-processing/

### *3.2.1.1 Amilosa y Amilopectina*

El almidón es un polímero natural cuyos gránulos están compuestos por capas de amilosa y de amilopectina (molécula predominante del almidón). La estructura de la amilosa (Figura 2a), consta de unidades de D-glucosa unidas linealmente por enlaces glucosídicos α(1→4), capaces de asociarse intramolecularmente (puentes de hidrógeno) formando una red tridimensional. La amilopectina es un polisacárido ramificado (Figura 2b) compuesto por segmentos lineales de D-glucosa unidos por enlaces α(1→4) conectados por ramificaciones de enlaces α(1→6) (Vaclavik & Christian, 2002; Bertoft, 2004; Hernández-Medina et al., 2008).



a)




b)

**Figura 2.** Estructura de la a) amilosa y b) la amilopectina

Estas dos moléculas se organizan en el gránulo formando una estructura semicristalina que consiste en dos áreas, una cristalina y una amorfa. La primera es integrada por cadenas de amilopectina estructuradas en racimos que se alinean radialmente a lo largo de un eje imaginario llamado hilio (el cual corresponde al punto donde se inicia la biosíntesis del gránulo de almidón, pero éste no necesariamente es el centro geométrico del gránulo). Las capas amorfas son los puntos ramificados entre la amilopectina y la amilosa (Wang, Bogracheva & Hedley, 1998; Gott, Barton, Samuel & Torrence, 2006; Hoseney, Zeleznak & Yost, 1986; Tang, Watanabe & Mitsunaga, 2002; Singh, 2010). Dicho comportamiento permite que al observar el

gránulo de almidón bajo luz polarizada se dé un patrón de birrefringencia (la estructura cristalina refracta la luz en dos direcciones); comúnmente conocido como cruz de Malta; (Vaclavik et al., 2002; FAO & OMS, 1999; Singh, 2010). Esto se puede emplear como parámetro de identificación de los almidones (Gott et al,. 2006) y de verificación de la estructura cristalina de los mismos (Espinosa, 2009).

La proporción relativa y las diferencias estructurales entre amilosa y amilopectina en el gránulo varían entre fuentes botánicas (amilosa: trigo 25%, papa 20%, yuca 17%, maíz normal 25%, maíz ceroso 1-5% y maíz de alto contenido de amilosa 50-70%), lo que contribuye a las diferencias significativas en las propiedades de almidón y su funcionalidad.[4]

#### *3.2.1.2 Otros componentes*

En la composición proximal de los gránulos de almidón, además de amilosa y amilopectina, puede contener otros componentes que son considerados minoritarios como son proteínas, lípidos o minerales y cuya presencia se ha empleado para evaluar la efectividad de la extracción del almidón en términos de pureza (Valcárcel-Yamani, Rondán-Sanabria & Finardi-Filho, 2013; Rocha, Demiate & Franco, 2008; Blazek, 2009). Sin embargo, la cantidad exacta de estos compuestos no depende sólo del proceso de extracción, sino de la especie y la variedad de donde provengan. Cabe recalcar que la distribución de estos componentes en el gránulo no es uniforme (Pérez, Baldwin & Gallant, 2009).

En promedio, el contenido típico de proteína en cereales es de aproximadamente 0.3% y de lípidos de hasta 1.0%. Las raíces y tubérculos pueden contener aproximadamente 0.05% de proteínas y 0.1% en lípidos (Pérez et al., 2009). El contenido de minerales (calcio, magnesio, fósforo, potasio y sodio) en lo almidones es menor al 0.4%, por lo que no representan un efecto importante en la funcionalidad del almidón, a excepción del fósforo. Éste puede asociarse principalmente en la región amorfa del almidón, siendo un obstáculo importante para la hinchazón y digestión del almidón (Blazek, 2009; Svihus, Uhlen & Harstad, 2005). Además, el fósforo puede causar un efecto importante en las propiedades reológicas del almidón debido a que pueden generarse geles más claros y de mayor viscosidad (Blennow, Bay-Smidt, Olsen & Møller, 2000).

[4] http://www.cargillfoods.com/na/en/products/starches-derivatives/molecular-structure/index.jsp

Los lípidos se encuentran principalmente formando un complejo de inclusión con el almidón, particularmente con la amilosa, en el cual la parte polar del lípido se une fuertemente a la misma. La presencia de lípidos afecta varias de las propiedades del almidón, reduciendo no solo el hinchamiento del almidón (Eliasson & Wahlgren, 2004) y la solubilidad en agua (probablemente debido al aumento de la hidrofobicidad), sino también porque retarda el proceso de gelificación. Este también tiene un efecto inhibidor en la retrogradación del almidón, lo que ayuda a mejorar la estabilidad del gel en los procesos de congelación y descongelación de los mismos. En adición, los lípidos y proteínas (asociadas también en el interior del gránulo) que se encuentran en la superficie del gránulo de almidón actúan como una barrera, no sólo reduciendo la digestibilidad del mismo debido a que disminuye el contacto con la enzima digestiva (Vasanthan & Hoover, 1992; Svihus et al., 2005; Blazek, 2009), sino que previenen que escapen moléculas de amilosa y amilopectina mediante lixiviación lo que conllevaría a una disminución en la viscosidad (Pomeranz, 2012).

### 3.2.2 Propiedades Físicas del almidón

La integridad física del gránulo ha sido evaluada mediante Microscopia Electrónica de Barrido (SEM), para observar la superficie del gránulo. Esta debe ser lisa con ausencia de grietas, independientemente de la formas de los gránulos (esférica, ovalada, disco, alargadas y poligonal, incluso con puntas truncadas) (Valcárcel-Yamani et al., 2013; Sivoli, Pérez, Rodríguez, Raymúndo & Ayesta, 2009; Cardoso, Samios & Silveira, 2006; López, 2011). En adición, estas formas de los gránulos de almidón se han empleado como un parámetro de identificación de los mismos[5], siendo que ésta varía de acuerdo a su origen biológico (Jayeola & Akinsebikan, 2013; Valcárcel-Yamani et al., 2013).

Dentro de las propiedades físicas del almidón, también se encuentran el tamaño de los gránulos. Esta se considera importante para las propiedades funcionales, relacionándose principalmente con: i) la temperatura de gelatinización (entre más pequeño el gránulos de almidón, más alta la temperatura), ii) el poder de hinchamiento (mayor tamaño, mayor poder de hinchamiento), iii) el grado de hidrólisis (entre más pequeño el gránulo de almidón, más susceptible a la degradación enzimática) (Jayeola et al., 2013).

[5] http://www.cargillfoods.com/na/en/products/starches-derivatives/molecular-structure/index.jsp

El tamaño de los gránulos varía entre las fuentes botánicas (diámetro de almidón en µm: yuca 5-35, papa 15-100, maíz 5-25 y arroz 3-8)[6], sin embargo, éste también depende de las condiciones climáticas (temperaturas altas, por lo general, están relacionadas con gránulos de almidón más pequeños) y de las prácticas agronómicas (Boudries et al., 2009; Burešová et al., 2010; Cottrell et al., 1995; Mitolo, 2005; López, 2011; Svihus et al., 2005).

### 3.2.3 Propiedades Funcionales del almidón

Cuando el almidón se extrae de su fuente, éste tiene la apariencia de un polvo blanco, con características de insolubilidad en agua fría. Sin embargo, los gránulos tienden a hidratarse mediante calentamiento, debido a que las moléculas de agua van penetrando el gránulo, lo cual es favorecido por las ramificaciones de la amilopectina (forma y peso molecular de la amilopectina) (Lii, Tsai & Tseng, 1996; Tester & Morrison, 1990). En el proceso de hichamiento, la temperatura es la que da la energía cinética al agua para romper los puentes de hidrógeno entre las moléculas de almidón, por lo que ocurre un aumento considerable en volumen pero sin perder la birrefringencia del gránulo. Esta se mantiene sólo hasta que alcance la temperatura característica de cada almidón (temperatura de gelatinización) en la que la estructura pierde su arreglo cristalino. La gelatinización da lugar a la lixiviación de amilosa y parte de la amilopectina, con la obtención de una solución translucida (índice de refracción del gránulo expandido está próximo al del agua) y viscosa (los gránulos hinchados ocupan más espacio) (FAO y OMS, 1999; Mitolo, 2005; Vaclavik et al., 2002; Tester et al., 1990).

Una vez ocurrido este fenómeno de gelatinización, la red tridimensional de amilosa soluble que fue lixiviada, reemplaza sus asociaciones intramoleculares por puentes de hidrógeno intermoleculares y adopta una conformación helicoidal interrumpida. Esto permite que la molécula de amilosa sea más larga y flexible, lo que se traduce en la formación de geles elásticos fuertes. En otras palabras, la amilosa es la responsable del proceso de gelificación del almidón. En su ausencia, la amilopectina sólo lleva a formar soluciones espesas sin llegar a formar geles (Vaclavik et al., 2002; McGrane, Mainwaring, Cornell & Rix, 2004; Mitolo, 2005).

[6] http://www.cargillfoods.com/na/en/products/starches-derivatives/molecular-structure/index.jsp

Una vez alcanzada la gelificación, y con la disminución de la temperatura, puede ocurrir el proceso de retrogradación. Aquí se da un realineamiento de las cadenas lineales de amilosa con formación de estructuras cristalinas de doble hélice (FAO y OMS, 1999); dando lugar finalmente a la modificación en la elasticidad, firmeza, con endurecimiento del gel (Wani, Singh, Shah, Schweiggert-Weisz, Gul & Wani, 2012). Este proceso aunque es dependiente principalmente de la cantidad de moléculas de amilosa libres y de su longitud (distribución de peso molecular), se ve favorecido por almacenamiento prolongado del gel, ya sea bajo condiciones ambientales, de refrigeración o de congelación, lo que provoca una liberación considerable de moléculas de agua (sinéresis) (Wani et al., 2012; Mitolo, 2005; Cornell, 2004).

Los cambios estructurales que sufre el gránulo de almidón durante la fase de calentamiento y enfriamiento, indicados en el proceso de gelatinización y retrogradación, están descritos en la curva de empastamiento de los almidones (obtenida mediante análisis en un reómetro). Esta consta de cuatro fases (Figura 3): 1) temperatura de gelatinización, 2) pico de viscosidad máxima, 3) inestabilidad del gel por degradación de la estructura o “breakdown” y 4) estabilidad del gel por aumento de la viscosidad o “setback” (Zhou, Robards, Glennie-Holmes & Helliwell, 1998).

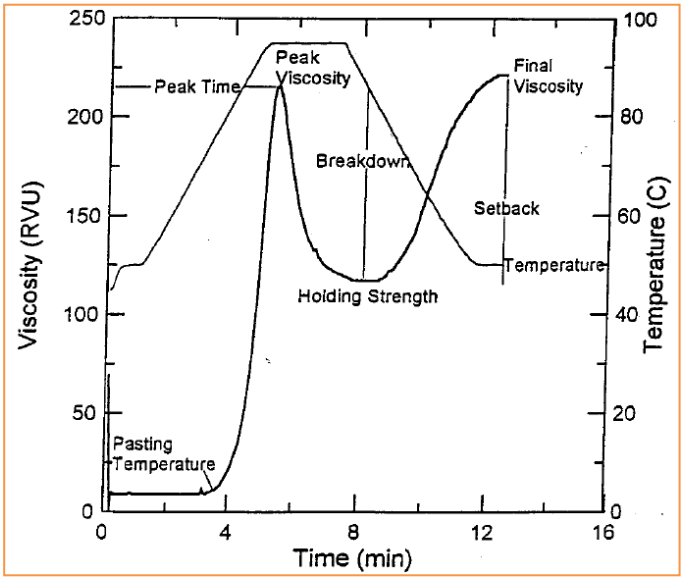



**Figura 3.** Modelo de una curva de empastamiento (Zhou et al., 1998).

La primera fase de la curva muestra la temperatura y el tiempo en el que se inicia la gelatinización. El proceso se determina por el aumento de la viscosidad, que está relacionado con el poder de hinchamiento de los gránulos y el contenido de amilosa (correlacionado negativamente con el poder de hinchamiento). Éste es afectado por el complejo formado por la presencia de lípidos que aumentan la temperatura de gelatinización (Chun, Lee, Hamaker & Janaswamy, 2015). En la segunda fase se alcanza el máximo pico de viscosidad, que está relacionado con la facilidad de cocción de una muestra y depende de las características físicas del almidón y de la relación de amilosa-amilopectina. La tercera etapa que corresponde al "*breakdown*" o susceptibilidad de los gránulos de almidón cocidos a desintegrarse mientras continúa el calentamiento y la agitación. La susceptibilidad está relacionada con la rigidez de los gránulos hinchados (correlacionado positivamente con las cadenas cortas de amilopectina) (Chun et al., 2015). La fase final o "*setback*" se relaciona con el aumento en la viscosidad y representa la tendencia a la retrogradación de las moléculas de amilosa solubles. En la retrogradación las moléculas se asocian, uniendo los gránulos de almidón hidratados, formando una estructura ordenada (recristalización) (Brabender CWB, 2011; Méndez, Hinojosa, Gutiérrez, Marzo, Ramírez & García, 2009).

El proceso de retrogradación puede ocurrir como parte deseable, en términos de importancia nutricional, ya que la digestión enzimática del almidón retrogradado se da más lentamente y conlleva liberación moderada de glucosa al torrente sanguíneo (Wang, Li, Copeland, Niu & Wang, 2015). Esto indica que el grado de digestión del almidón se ve afectado por las características intrínsecas (como forma física del alimento, tipo cristalino del almidón, proceso de retrogradación) y extrínsecas (masticación, tiempo de tránsito de la boca al íleon terminal, la concentración de la amilasa en el intestino) (Verdú & Gassull, 2002). Sin embargo, cabe resaltar que para los propósitos nutricionales Englyst y sus colaboradores (1992) han clasificado el almidón en tres fracciones, *almidón de digestión rápida* (ADR, fracción digerida dentro de los primeros 20 minutos), *almidón de digestión lenta* (ADL, fracción digerida entre 20 y 120 minutos) y *almidón resistente* (AR, no se digiere ni absorbe en el intestino delgado).

El consumo de ADL da un aumento leve en la disponibilidad de glucosa en la sangre y provoca una respuesta glicémica moderada. Esto provoca efectos benéficos a la salud humana relacionados con la disminución del riesgo de padecer enfermedades como la obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Casarrubias et al., 2010; Ludwig, 2002). Por otro lado, el AR se considera "un componente de la fibra dietética que posee bondades fisiológicas

(control dietético de la diabetes, función preventiva en el desarrollo de neoplasias colónicas y regulación de la colesterolemia)" (Bello-Pérez, González-Soto, Sánchez-Rivero, Gutiérrez-Meraz & Vargas-Torres, 2006).

- ✓ **Modificaciones del almidón**

Las propiedades funcionales de los almidones nativos se pueden alterar mediante tratamientos físicos y modificaciones químicas o enzimáticas (Jobling, 2004; Waterschoot et al., 2015). Esto da valor agregado a los almidones debido a que pueden tener una amplio rango de aplicación en la industria (Aristizábal et al., 2007).

Dichas modificaciones causan variación en la estructura del gránulo de almidón y depende de las características del almidón nativo y de la función que se requiere que éste cumpla (López, 2011). Entre las modificaciones más comunes están las químicas, que involucran la adición de grupos funcionales a partir de reacciones de derivatización (eterificación, esterificación, entrecruzamiento, entre otros) y las de descomposición, que involucran la hidrólisis ácida, enzimática o de oxidación (Singh, Kaur & McCarthy, 2007; López, 2011). Como resultado de dichas modificaciones se afectan las propiedades físico químicas de los almidones nativos y se altera notablemente la solubilidad, transparencia, opacidad, viscosidad o el poder de gelificación, entre otros (López, 2011).

- ✓ **Índices de calidad del almidón**

Determinar los índices de calidad de los almidones es relativo al propósito para el cual va a ser empleado, sin embargo, en términos generales, la principal característica es tener alto contenido de almidón (porcentaje de pureza de los gránulos) (Valcárcel-Yamani et al., 2013; Rocha et al., 2008). Además, son necesarias una viscosidad adecuada, solubilidad, capacidad de retención de agua y relación de amilosa/amilopectina. Estas determinan principalmente las propiedades funcionales de los almidones (Aristizábal et al., 2007; Acuña, 2012).

## 3.3 PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ALMIDÓN Y SUS USOS

Entre las principales fuentes industriales de almidón se encuentra el trigo, maíz y papa. Otras fuentes botánicas sólo representan el 1% de la producción. A nivel mundial, Norte América y China representan equitativamente el 66% de la producción mundial de almidón, mientras que Europa con aproximadamente 24 empresas (representadas comercialmente por "Starch Europea")[7] ocupa el tercer lugar con un 18% en producción de almidón, seguido del Sudeste de Asia (11%) y Sur América (5%) (Halley & Avérous, 2014).

La producción mundial de almidón proviene básicamente de 8 industrias principales y su uso está destinado en un 32% en la confitería y 29% para el procesamiento de alimentos. El 29% restante es empleado para productos no alimenticios (Halley et al., 2014).

1. Cargill (USA), comercializa productos con almidón de maíz (almidón óptimo que pueden o no modificar de acuerdo con la aplicación y cualidades específicas que deseen, tales como la viscosidad, adhesividad y propiedades de formación de película)[8]
2. Ingredion – CPI (USA), con almidón de maíz, yuca, arroz, sagú y papa, que son útiles para: preparados de frutas, comidas y alimentos enlatados; agentes de recubrimiento para controlar la textura, el carácter crujiente y las características sensoriales en masas para alimentos; alto contenido de almidón de maíz resistente que añaden fibra dietética natural a una amplia gama de alimentos procesados sin cambiar su sabor, textura o apariencia; ingrediente que controla la retención de la humedad, la textura y la estructura de masa horneada y sus rellenos[9]
3. ADM (USA), almidón de maíz y trigo, empleados como espesantes, diluyentes, estabilizantes de la emulsión y portadores de ingredientes; almidones que gelatinizan a bajas temperaturas de cocción y son especialmente útiles en sistemas que requieren delicada textura, el sabor y el color de la luz; almidones de maíz hidroxietilado ideales para formar películas que presentan transparencia, flexibilidad y adhesividad a la superficie del sustrato[10]
4. Taste & Lyle (Gran Bretaña), productores de almidones de maíz, maíz ceroso, yuca y

[7] http://www.starch.eu/about-us/
[8] http://www.cargill.com/products/industrial/adhesives/starch/
[9] www.ingredion.us/applicationsingredients/Pages/default.aspx
[10] www.adm.com/en-US/products/industrial/starches-industrial/Pages/default.aspx

papa, empleados como espesantes y como control de la retención de la humedad; al ser modificados se emplean para espesar y estabilizar, con propiedades superiores como cremosidad para una excelente sensación en la boca, retención de humedad, la tolerancia al calor y ácido y la estabilidad de congelación-descongelación[11]

5. Roquette (Francia), importante productor de almidón de papa, que se caracteriza por su baja temperatura de gel (65°C), alta viscosidad y sabor neutro, por lo tanto utiliza para proporcionar viscosidad en salsas y sopas, pastas. También son importantes los productos de almidón de trigo, que se caracteriza por una alta temperatura de gel (85°C), una baja viscosidad y una corta textura, por estas propiedades gelificantes, tiene aplicaciones alimentarias en cremas de pastelería, salsas con textura corta y embutidos, también se puede emplear como agente gelificante, espesante, control para retención de agua y como promotor de textura en galletas y pasteles, además de facilitar los proceso de extrusión. El almidón de maíz se caracteriza por su temperatura de gelificación de 75°C, su viscosidad media y su textura relativamente corta, se utiliza por sus propiedades gelificantes o espesantes en muchos sectores de aplicaciones agroalimentarias como sopas, embutidos, salsas, pastas y cremas, además se puede aplicar como cubierta de alimentos; y en cuanto al almidón de guisante "Pisum sativum" que se caracteriza por su cantidad de amilosa y una baja temperatura de gel (69°C), teniendo función como texturizante con propiedades gelificantes o espesantes en muchas aplicaciones agroalimentarias en carnes, charcutería, salsas, pastas, cremas, pero específicamente por sus propiedades de formación de láminas en ciertos recubrimientos u otros alimentos con textura[12]
6. Zhucheng Xingmao (China), venden almidones de maíz, papa, yuca y de arroz, destinados a la producción de alimentos[13]
7. Global Bio-Chem (China), con almidón de maíz aplicado para la obtención de edulcorantes de maíz y como materia prima para las industrias de alimentos, papel, y textil. Maíz ceroso por sus características de claridad y textura, el cual se podría utilizar como estabilizantes y espesantes para productos alimenticios, particularmente aquellos sometidos a grandes cambios de temperatura durante el procesamiento y preparación [14]
8. Tereo Syral (Francia), almidón de trigo, maíz, papa y yuca, que tienen propiedades de dar textura y consistencia (propiedades gelificantes y de viscosidad en función de los

[11] tateandlyle.com/ingredientsandservices/chooseaningredientorservice/americas/pages/foodstarches.asp
[12] www.roquette-food.com/search/
[13] zhucheng-xingmao-corn-developing-co-ltd.imexbb.com/
[14] www.globalbiochem.com/html/bus_product_refined.php

tratamientos térmicos, mecánicos o químicos durante el procesamiento), son estabilizantes, retienen la humedad, además se emplean para la extensión de vida útil de los productos, para dar la sensación agradable en la boca, coadyuvantes de extrusión y sustrato de fermentación [15]

El almidón también es usado en la elaboración de láminas comestibles. De acuerdo con Pavlath y Orts (2009), el uso de estas láminas se ha extendido rápidamente, con una producción mundial (con respecto a los bioempaques) de aproximadamente el 85 al 90% (Vilpoux & Avérous, 2004; Bastioli, 2001). Las láminas representan una alternativa muy importante para la industria de alimentos debido a que ayudan en la preservación y protección del alimento; principalmente del daño microbiano y oxidativo. También ayudan en la extensión de la vida útil (Tharanathan, 2003) y presentan ventajas ambientales[16] sobre los plásticos a base de petróleo (Parra et al., 2004).

## 3.4 LÁMINA COMESTIBLE A BASE DE ALMIDÓN

Los recubrimientos comestibles, son aquellos materiales (formulaciones que contengan compuestos y/o aditivos permitidos para el uso alimentario) empleados en la industria de alimentos para la conservación, distribución y mercadeo, que protegen al alimento del daño mecánico, físico, químico y microbiológico, y que previenen el deterioro de la calidad al actuar como barrera para la humedad, gases, lípidos y sabores (Pastor, 2010; Falguera et al., 2011; Wong, Camirand & Pavlath, 1994).

Dentro de esos recubrimientos, están las cubiertas comestibles que son películas aplicadas a los alimentos en estado líquido (inmersión del alimento en una solución) formando una película superficial al secarse, y las láminas comestibles que son hojas pre-formadas empleadas como envoltura del producto alimenticio (Falguera et al., 2011; Pastor, 2010). Estos son dos términos que se han empleado como sinónimos, ya que hacen referencia a “una delgada capa de material que cubre la superficie del alimento, aplicada mediante inmersión, pulverización o pintado, o bien como una envoltura continua que separa distintos componentes

[15] www.tereos-syral.com/food-beverages/product-finder/native-starches
[16] en.european-bioplastics.org/environment/ y en.european-bioplastics.org/environment/sustainable-sourcing/

alimenticios y puede ser consumida como parte del producto” (Pastor, 2010).

“Las láminas comestibles generalmente no se comercializan como material ya elaborado, sino como ingredientes de pre-mezcla” (Han, 2005). Entre los ingredientes de pre-mezcla empleados en la elaboración de láminas comestibles (Figura 4), está el almidón termoplástico (TPS). Éste hace referencia al almidón que se obtiene por la disrupción (modificación irreversibles) estructural que se da dentro del gránulo cuando éste es procesado mediante acción de fuerzas térmicas y mecánicas en presencia de agua y de algún otro tipo de plastificante que no se evapore fácilmente (Mohammadi Nafchi, Moradpour, Saeidi & Alias, 2013; Bastioli, 2001; Luna & Mera, 2006). Generalmente, en la obtención del TPS el contenido de almidón varía entre 50 a 90% y de 10 a 50% en los demás aditivos, entre ellos los plastificantes (Mohammadi Nafchi et al., 2013).

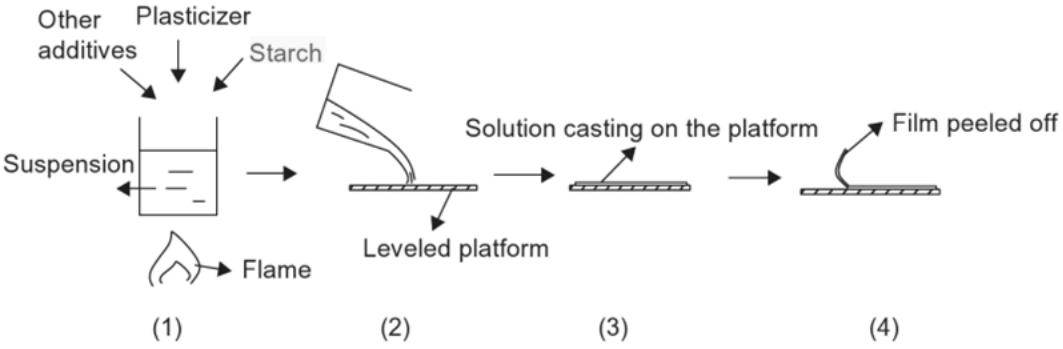



**Figura 4.** Elaboración de láminas a partir de TPS: 1) Calentamiento de la suspensión de almidón y demás componentes, 2) Moldeo en plato, 3) Enfriamiento y secado, 4) Desmoldado de la película seca (Han, 2005).

En el proceso de termoplastificación del almidón es necesaria la adición de plastificantes, ya que aumentan la flexibilidad de las películas debido a su capacidad para reducir las fuerzas intermoleculares, a quienes se les atribuye el comportamiento quebradizo de las películas (Zamudio-Flores, Bello-Pérez, Vargas-Torres, Hernández-Uribe & Romero-Bastida, 2007). Los plastificantes logran la separación de las cadenas poliméricas disminuyendo las fuerzas de atracción molecular, lo que se traduce en un aumento de la movilidad de las cadenas, mayor elongación y menor esfuerzo al momento de estirarse. Además, los plastificantes ayudan a controlar la retrogradación de los productos

termoplastificados (Mohammadi Nafchi et al., 2013; Han, 2005; Galdeano, Mali, Grossmann, Yamashita & García, 2009; Müller, Yamashita & Laurindo, 2008).

El glicerol es un plastificante ampliamente usado para dicho propósito (Mohammadi Nafchi et al., 2013). Al compararse con el agua, el glicerol tiene tres grupos de alcohol capaces de formar enlaces intramoleculares de hidrógeno con las moléculas de amilosa; lo que da una mayor resistencia al gel (McGrane et al., 2004). Sin embargo, es inevitable que con la adición de este plastificante, se aumenta la permeabilidad de la lámina al vapor de agua, debido a que se aumente la solubilidad de los componentes de la matriz (Mohammadi Nafchi et al., 2013). El aumento en permeabilidad se puede contrarrestar con la adición de surfactantes, como el monooleato de sorbitán y polioxietileno o tween 80. Este compuesto ayuda a disminuir no solo las interacciones de la lámina con el agua (estabiliza la matriz hidrofílica), sino que le permite mejorar la adhesividad con el alimento (Quezada-Gallo, 2009; Hui, 2006).

El TPS además de ser biodegradable y provenir de una fuente renovable, es un material altamente flexible que se puede acondicionar muy fácilmente a diferentes procesos de termoplastificación, tales como: moldeado en placa, extrusión por soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión y extrusión de película plana (Villada, Acosta & Velasco, 2008; Mohammadi Nafchi et al., 2013). El método de moldeado en plato (Figura 4), es comúnmente usado a escala de laboratorio con el fin de estudiar las propiedades de gelatinización y plastificación del almidón. Además, permite evaluar las propiedades físicas y mecánicas de las láminas. A gran escala, uno de los métodos más empleados es el de extrusión (Han, 2005).

Entre las propiedades a evaluar en una láminas comúnmente están la fuerza tensil (TS), porcentaje de elongación (E) y permeabilidad al vapor de agua, las cuales son afectadas significativamente por las condiciones de procesamiento (cantidad de plastificante y contenido de humedad, entre otros) (Han, 2005).

La permeabilidad al vapor de agua, es definida como el paso de vapor a través de la estructura molecular de la lámina (ASTM E-96-95, 1995). Esta ocurre mediante la adsorción de agua sobre los grupos hidroxilo de la superficie de la lámina, seguido de la difusión a través del material mediante el gradiente de concentración (depende de la temperatura y del grosor de la lámina), finalizando con la desorción de las moléculas de agua al otro lado del la lámina. Es

importante considerar que la adsorción de agua está influenciada por la naturaleza de las moléculas que componen la lámina. Por ejemplo, la presencia de polímeros hidrofílicos le darán al material una pobre propiedad de barrera ya que éstos tienen la capacidad de formar puentes de hidrógeno con moléculas de agua (Alanis, 2013; Cerón, 2013).

La propiedad de barrera es sumamente importante para un empaque, dado que la permeabilidad es un proceso de disolución y difusión (Pastor, 2010) que no sólo se relaciona con el vapor de agua, sino con la pérdida de compuestos volátiles del alimento (Abarca, 2012). Por tanto, láminas comestibles con una baja permeabilidad mejorarán el largo de vida útil del producto y conservarán las características físicas propias del alimento (entre ellas firmeza, color, brillo) (Zamudio, 2009; Trejo-Márquez & Pérez-Guillén, 2007).

La eficiencia de las láminas también está directamente influenciada por sus propiedades mecánicas, las cuales tienen como finalidad mantener la integridad física del producto. Por tal razón, las láminas deben cumplir con dos propósitos: reforzar la estructura del alimento para facilitar su manipulación, lo que está relacionado con la resistencia de la lámina a la rotura (fuerza tensil), y tener buena flexibilidad que le permita adaptarse a la forma del producto (porcentaje de elongación) (López, 2011).

# 4. MATERIALES Y MÉTODOS

## 4.1 MUESTRAS

Aproximadamente 90 kilos de cormo de la yautía (*Xanthosoma* spp) del cultivar Nazareno, fueron cosechados a los 10 meses en la Estación Experimental Agrícola de Isabela. Estos se procesaron y analizaron en los laboratorios del Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agrícolas del Recinto Universitario de Mayagüez.

## 4.2 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DEL CORMO DE LA YAUTÍA

El almidón nativo del cormo de la yautía fue obtenido mediante métodos mecánicos, iniciando con el lavado y medida de la longitud del cormo con el fin de dividirlo en tres secciones: apical (parte superior del cormo), media y distal (parte inferior donde se unen los cormelos). Seguido, la remoción de la cáscara y la piel ocurrió mediante corte manual entrando aproximadamente 5 mm en el cormo ó hasta remover puntos negros) (Figura 5c). Posteriormente se cortó en trozos y se redujo el tamaño de la pulpa empleando una licuadora (Kenmore Modelo # 205602, IL, USA) con adición de agua. La lechada de almidón se filtró de una tela fina de algodón (figura 6e) y se realizaron lavados sucesivos con agua (entre 3 a 4 veces) con el fin de extraer el almidón de la fibra. La suspensión se centrifugó a 2500 rpm (Damon/IEC HN-SII de GMI, MN, USA) durante 1 minuto, obteniéndose el almidón. Para la purificación del dicho almidón, se suspendió en agua (Figura 5g) y se centrifugó nuevamente. Finalmente el almidón se secó en un deshidratador (Excalibur® Food Dehydrator, CA, USA) a 35°C durante 24 horas y se almacenó al vacío en bolsas FoodSaver (FoodSaver® V3440 Vacuum Sealer, ON, CAN).

Cabe destacar que para la obtención de la harina del cormo de la yautía se siguieron los pasos anteriormente indicados en la Figura 5 (obtención del almidón), con excepción de aquellos mostrados en las Figura 5d a 5g. De tal forma que cuando se obtuvo la pulpa del cormo (sin cascara ni piel, Figura 5c), ésta se cortó en rodajas delgadas empleando un procesador de alimentos (R6V Robot Coupe®, MS, USA) y posteriormente se les eliminó el agua en el deshidratador a 35ºC durante 24 horas. Finalmente se obtuvo la harina, pasando las muestras secas por un molino de tornillo sin fin (Glen Mills, Inc. NJ, USA).

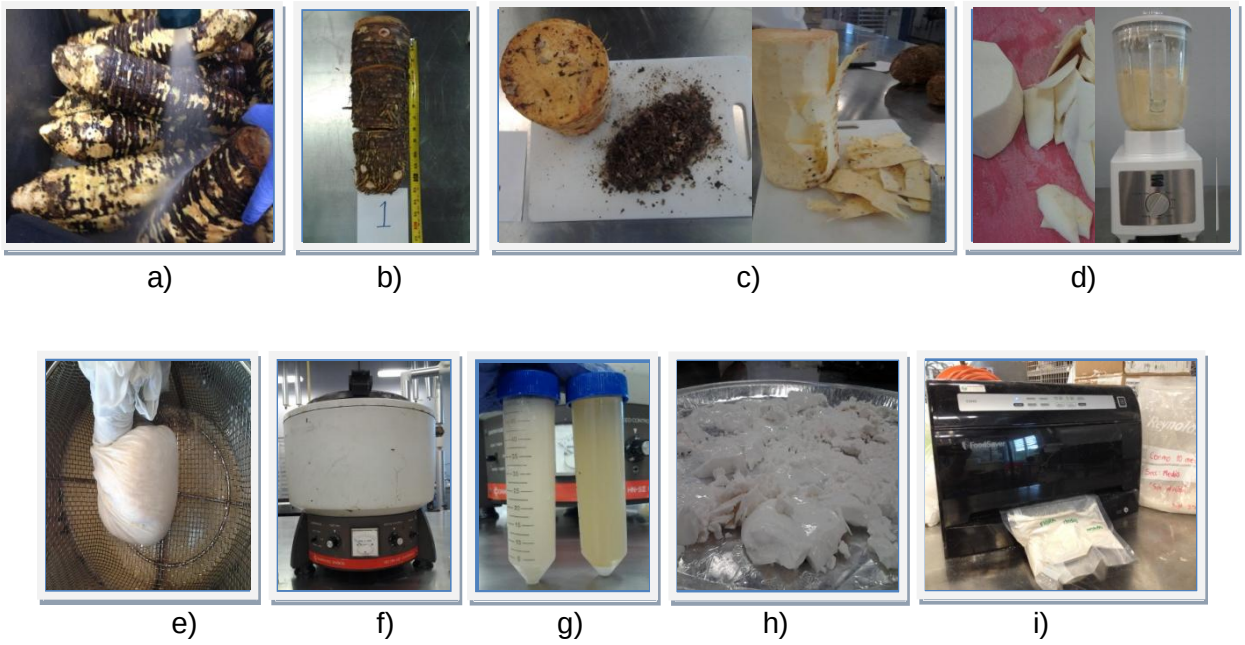



**Figura 5.** Procesamiento del cormo de yautía cultivar Nazareno para la obtención de almidón: a) lavado del cormo, b) medida y corte de las tres secciones (apical, media y distal), c) remoción de la cáscara y corte exterior (piel), d) reducción de tamaño de la pulpa, e) filtrado de la lechada, f) centrifugado, g) purificación del almidón, h) secado del almidón y g) empacado y rotulado.

### 4.2.1 Rendimiento del proceso de extracción del almidón

Con el fin de conocer el rendimiento en la extracción del almidón del cormo de la yautía del cultivar Nazareno, se llevó a cabo la determinación del contenido total de almidón en la harina de cada una de las secciones del cormo mediante el método descrito por Vatanasuchart, Niyomwit y Wongkrajang (2012). Para ello, 50.00 mg de muestra fueron dispersados en 6.00 mL de KOH 2M, con agitación magnética por 30 minutos a temperatura ambiente, seguidamente se adicionaron 60 µL de amiloglucosidasa (Sigma-Aldrich) y con la agitación constante, se incubó en un baño de agua a 60°C por 45 minutos, se centrifugó por 5 min a 3200 rpm y finalmente, se tomaron 0.50 mL del sobrenadante y se llevó a 5.00 mL en un balón aforado.

El contenido de glucosa fue cuantificado por curva de calibración mediante el método de fenol – ácido sulfúrico (Sadasivam & Manickam, 1996), para lo cual se emplearon estándares de glucosa de 0.0029 a 0.0129 mg de glucosa/mL.

Para ello, en un tubo de ensayo se adicionó una alícuota de 0.10 mL de la solución de la muestra, mientras que para la curva de calibración, se tomaron alícuotas entre 0.20 a 0.90 mL de una solución glucosa de 0.10 mg/mL (preparada a partir de una solución comercial de glucosa 1 mg/mL de Sigma-Aldrich). Seguidamente, se adicionó agua a cada uno de los tubos de ensayo (muestras y estándares) hasta completar un volumen de 1.00 mL, y también se adicionaron 1.00 mL de fenol al 5% y 5.00 mL de ácido sulfúrico al 96%. Durante 10 minutos se agitaron los tubos (con tapa) empleando un vortex (IKA® Works, PJ, MAS), para luego ponerlos en un baño de agua entre 25-30°C durante 20 minutos. Finalmente, en un espectrofotómetro (Eppendorf BioPhotometer plus, HBR, DEU) a un largo de onda de 490 nm se obtuvo la lectura de la absorbancia, la cual se empleó para determinar el porcentaje de almidón en la muestra (ecuación 1).

$$\%Almidón = \frac{\left(\left(\frac{\left(\frac{Y \pm b}{m}\right) * 7}{0.1}\right) * \frac{5\ mL}{0.5\ mL}\right) * 6mL}{mg\ muestra} * 0.9 * 100 \qquad \textbf{Ecuación (1)}$$

Siendo, Y: la absorbancia de la muestra; b y m: el intercepto y la pendiente de la curva de calibración, respectivamente y 0.9: factor para convertir de glucosa libre a glucosa anhidra (162/180).

## 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN EXTRAÍDO

Para la evaluación de las propiedades químicas, físicas y funcionales del almidón, se realizaron las siguientes pruebas:

### 4.3.1 Propiedades Químicas

#### *4.3.1.1 Análisis proximal*

Los contenidos de humedad, cenizas, grasa y proteína bruta se determinaron según los

métodos AOAC 925.10, 923.03, 920.39 y 991.20 (AOAC & Horwitz, 2003), respectivamente. El contenido de carbohidratos (extracto no nitrogenado) se determinó por diferencia entre 100 y la suma de los demás componentes.

a) b) c) d)

**Figura 6.** Determinación de la composición proximal a) Humedad (secado en horno), b) Cenizas (incineración en mufla), c) Grasa (método Soxhlet), d) Proteína cruda (método micro-Kjeldahl).

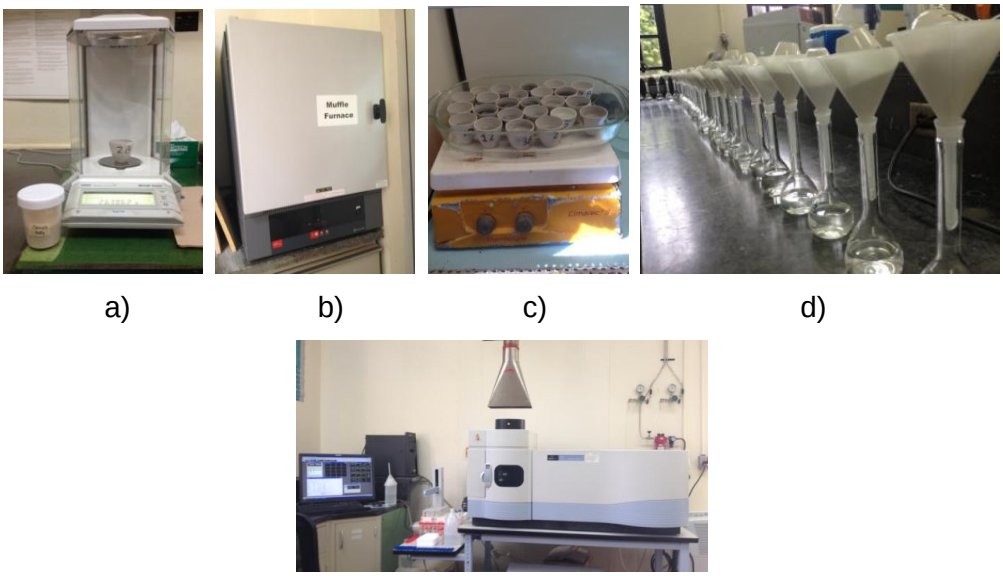
#### *4.3.1.2 Determinación del contenido de minerales*

El contenido de potasio, sodio, magnesio manganeso, molibdeno, cobre, hierro, fosforo, aluminio, boro y calcio, se determinaron por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP) con previa digestión ácida de las cenizas de las muestras (Figura 7), de acuerdo al método analítico establecido por la compañía Perkin-Elmer (1994).

Se pesó 1.0000 ± 0.0010g de muestra (previamente secada a 70°C por 24 horas en un horno convencional) en un crisol de porcelana, se incineró a 500°C durante 4 horas y se enfrío la muestra a temperatura ambiente. Posteriormente se adicionó una pequeña cantidad de agua desmineralizada con el fin de evitar pérdidas de la muestra. Seguido, se realizó la digestión ácida con adición de 20.00 mL de HCl al 33% en una plancha de calentamiento, hasta reducir aproximadamente la mitad de su volumen. Después de la digestión, las soluciones se filtraron (papel #541) directamente en balones volumétricos de 100.00 mL, haciendo varios lavados con agua desmineralizada hasta completar el volumen.

El análisis de minerales se realizó en un ICP Optical Emission Spectrometer (Perkin Elmer Optimal 7300 DV, MA, USA) y la cuantificación se llevó a cabo por el método de curva de

calibración mixta, preparando 5 estándares que contenían los siguientes elementos en determinados rangos de concentración: 300 – 37.5 ppm para potasio, 4.0 – 0.50 ppm para sodio, 60 – 7.50 ppm para magnesio, 1.0 – 0.125 ppm para manganeso, 0.5 – 0.0625 ppm para molibdeno, 0.5 – 0.0625 ppm para cobre, 6.0 – 0.75 ppm para hierro, 20.0 – 2.5 ppm para fosforo, 4.0 – 0.50 ppm para aluminio, 1.0 – 0.125 ppm para boro y 200 - 25 ppm para calcio.




a) b) c) d)

e)

**Figura 7.** Etapas en la determinación de minerales por ICP: a) Pesado de las muestras secas, b) incineración en mufla a 550°C, c) digestión ácida de las cenizas, d) filtración y b) medida por ICP.

#### *4.3.1.3 Contenido de amilosa y amilopectina*

El contenido total de amilosa se determinó mediante el método colorimétrico 61-03.01 descrito por la AACC (1999) empleando un espectrofotómetro UV-Vis Cary 50 Bio (Agilent Technologies, CA, USA) (se verificó previamente su calibración usando una celda de óxido de holmio). Se pesaron 100.00 mg de almidón desengrasado (preparada como se menciona al final de este procedimiento), seguidamente se adicionó 1.00 mL de etanol al 95% y se agitó por 1 minuto empleando un vortex. Posteriormente se adicionaron 9.00 mL de NaOH 1 M, dejando la solución de almidón a temperatura ambiente por 24 horas sin agitación para luego diluirla con agua destilada en un balón aforado de 100.00 mL. Para la preparación de las dos

soluciones madre (1 mg/mL) de amilosa y de amilopectina (Sigma-Aldrich), se pesaron 100.00 mg de cada una de ellas, y se siguió el procedimiento descrito anteriormente.

Para el desarrollo del color (complejo amilosa-yodo), en un balón volumétrico de 10.00 mL se adicionó una alícuota de 0.50 mL de la solución preparada de almidón, 5.00 mL de agua destilada, 0.10 mL de ácido acético 1N, 0.20 mL de la solución de yodo (2 g de KI y 0.2 g de $I_2$, aforados en 100.00 mL con agua) y se aforó con agua destilada.

El complejo formado después de 20 minutos entre la amilosa y el yodo, que absorbe a 620 nm, fue cuantificado por el método de curva de calibración, preparada a partir de las soluciones madre de amilosa y amilopectina como se indica en la tabla 1. El desarrollo de color en cada uno de los estándares se realizó de la misma manera que se hizo para las muestras de almidón.

$$\%Amilosa = \frac{\left(\frac{\left(\frac{Y \pm b}{m}\right) * 10\ mL}{0.5\ mL}\right) * 100mL}{mg\ muestra} * 100 \qquad \textbf{Ecuación (2)}$$

Siendo, Y: la absorbancia de la muestra; b y m: el intercepto y la pendiente de la curva de calibración, respectivamente. El contenido de amilopectina se determinó por diferencia entre el 100% y el contenido de amilosa.

**Tabla 1.** Soluciones de amilosa y amilopectina empleadas para la preparación de la curva de calibración.

| **Amilosa** (1 mg/mL) | **Amilopectina** (1 mg/mL) | **NaOH** 0.09 N | **Concentración Final de los estándares** (amilosa-yodo) |
|---|---|---|---|
| | **mL** | | **mg de amilosa /mL** |
| 0.00 | 7.00 | 3.00 | 0.0000 |
| 1.00 | 6.00 | 3.00 | 0.0050 |
| 1.50 | 5.50 | 3.00 | 0.0075 |
| 2.00 | 5.00 | 3.00 | 0.0100 |
| 2.50 | 4.50 | 3.00 | 0.0125 |
| 3.00 | 4.00 | 3.00 | 0.0150 |

*Preparación del almidón desengrasado*: 4.000 g de almidón se desengrasaron empleando 80.0 mL de metanol al 85% en un extractor soxhlet (como el indicado en la Figura 6c) por 16 horas a una razón de 6 gotas por segundo. La muestra desengrasada se dejó secar a temperatura ambiente durante dos días, para evaporar el alcohol. Finalmente, se equilibro el contenido de humedad de la muestra, secándola a 103°C durante 3 horas.

#### *4.3.1.4 Evaluación de la degradación enzimática del almidón*

La digestibilidad del almidón por acción de la α-amilasa fue determinada con modificaciones del método AOAC 2002.02 (AOAC & Horwitz, 2003). Para esto, 200.00 ± 5 mg almidón fueron suspendidos en 8.00 mL de una solución enzimática de α-amilasa pancreática porcina tipo VI-B y de amiloglucosidasa (Sigma-Aldrich) (preparada como se indica al final de este procedimiento) e incubados a 37±1°C con agitación magnética constante, tomándose una alícuota de 1.00 mL los primeros 20 minutos y luego cada hora, hasta completar 6 horas de incubación. Inmediatamente se adicionó 1.00 mL de etanol al 95% a cada alícuota para interrumpir la reacción enzimática. Posteriormente, de dicha solución se sacó una alícuota de 250 µL aforándose a 10.0 mL con agua.

Los porcentajes de hidrólisis fueron obtenidos espectrofotométricamente (IMPLEN NanoPhotometer™ 7122 v2.00, MUC, DEU) por la cantidad de glucosa liberada a 490 nm, siguiendo el método de fenol-ácido sulfúrico (Sadasivam et al., 1996). La cuantificación se realizó mediante curva de calibración empleando estándares de glucosa de 0.0029 a 0.0129 mg/mL.

*Preparación de solución enzimática - α-amilasa pancreática porcina tipo VI-B (10 mg/mL) y amiloglucosidasa (3 U/mL):* 1.0 g de α-amilasa pancreática porcina tipo VI-B en 100 mL de buffer de maleato de sodio 100 mM de pH 6.0 (cada 2 L de buffer contiene 0.6 g de $CaCl_2.2H_2O$ y 0.4 g $NaN_3$) se mezclaron por 5 minutos. Enseguida se le adicionó 1.00 mL de amiloglucosidasa (330 U/mL Sigma-Aldrich), mezclándose bien, para finalmente centrifugarse a 2500 rpm por 20 minutos y el sobrenadante se decantó cuidadosamente. Se recomienda el uso de esta solución (sobrenadante) el mismo día de su preparación.

#### *4.3.1.5 Contenido de almidón resistente (AR)*

El contenido de almidón resistente fue determinado siguiendo el método AOAC 2002.02 (AOAC & Horwitz, 2003) con algunas modificaciones. Para ello 100.00 ± 5 mg de almidón fueron solubilizados en un tubo para centrifugación e hidrolizados con 4.00 mL de la solución enzimática de α-amilasa pancreática porcina tipo VI-B y de amiloglucosidasa (AMG) (solución enzimática descrita en el método anterior) por 16 horas en un baño de agua a 37±1°C, con agitación magnética constante. La reacción se termina adicionando 4.00 mL de etanol al 95% con agitación vigorosa. Posteriormente la solución fue centrifugada a 2500 rpm por 20 minutos, descartando cuidadosamente el sobrenadante, mientras que el precipitado (AR) fue resuspendido en 8.00 mL de etanol al 50% por agitación (vortex) y centrifugado a 2500 rpm por 20 minutos. Este procedimiento de suspensión y centrifugación del AR se repitió una vez más. Al final se dejó el tubo destapado en forma invertida sobre un papel adsorbente para eliminar el exceso de alcohol del AR.

Para realizar la cuantificación del almidón resistente, el precipitado se disolvió en 2.00 mL de KOH 2M con agitación magnética por 20 minutos en un baño de hielo. Sin la presencia de almidón aglomerado o emulsificado, se adicionaron 8.00 mL de buffer de acetato de sodio (1.2 M a pH 3.8) y 0.1 mL de AMG (3300 U/mL), incubándose en un baño de agua a 50°C por 30 minutos con agitación contante.

Finalmente, se centrifugó a 2500 rpm por 20 minutos y se empleó el sobrenadante del AR para cuantificar espectrofotométricamente (IMPLEN NanoPhotometer™ 7122 v2.00, MUC, DEU) el contenido de glucosa (considerando que el volumen final fue de 10.3 mL) a 540 nm mediante el método de enzimático de glucosa oxidasa / Peroxidasa GAGO-20 (kit enzimático de Sigma-Aldrich) (ecuación 5). La cuantificación se realizó mediante el uso de un estándar de glucosa (1mg/mL), con el cual se hace una relación de señales considerando que la respuesta de la reacción enzimática con la glucosa es lineal en un rango de absorbancia de 0.0 a 1.5.

Para esto se hizo reaccionar 0.05 mL del sobrenadante del AR con 2.00 mL del reactivo GAGO por 30 minutos en un baño de agua a 37°C y finalmente adicionar 0.05 mL de $H_2SO_4$ 12 N. Este procedimiento también se realizó con 0.05 mL del estándar de glucosa y con 0.05 mL del blanco que es buffer de acetato de sodio 0.1M de pH 4.5.

$$D - Glucosa \ + \ \mathrm{H_2O} \ + \ \mathrm{O_2} \xrightarrow{\text{Glucosa Oxidasa}} \text{Ác. D} - \text{Glucónico} \ + \ \mathrm{H_2O_2} \quad \textbf{Ecuaciones (3)}$$

$$\mathrm{H_2O_2} \ + \begin{matrix} \text{o} - \text{Dianisidina Reducida} \\ \text{(incoloro)} \end{matrix} \xrightarrow{\text{Peroxidasa}} \begin{matrix} \text{o} - \text{Dianisidina Oxidada} \\ \text{(color marrón)} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} \text{o} - \text{Dianisidina Oxidada} \\ \text{(color marrón)} \end{matrix} \xrightarrow{\mathrm{H_2SO_4}} \begin{matrix} \text{o} - \text{Dianisidina Oxidada} \\ \text{(color rosado)} \end{matrix}$$

$$\%\boldsymbol{AR} = A_{muestra} * F * \frac{10.3mL}{0.05mL} * \frac{100}{mg\ muestra} * 0.9 \qquad \textbf{Ecuación (4)}$$

$$F = \frac{0.05\ mL\ de\ estándar\ de\ glucosa * \frac{1mg}{mL}\ de\ estándarde\ glucosa}{A_{estándar}}$$

Donde, $A_{muestra}$: absorbancia de la muestra leída frente al blanco del reactivo; F (Factor de conversión de absorbancia): miligramos de glucosa en el estándar dividido entre su absorbancia; 10.3/0.05: factor de dilución; 100/mg de almidón: factor para expresar el porcentaje y 0.9: factor para convertir de glucosa libre a glucosa anhidra (162/180).

#### *4.3.1.6 Determinación de fibra soluble (FDS) e insoluble (FDI)*

Siguiendo el método AOAC 991.43 (AOAC & Horwitz, 2003) con algunas modificaciones, se determinó el contenido de fibra soluble e insoluble en el almidón. Se pesaron 1.000 ±.0005 gramos de almidón por duplicado en vasos de precipitado (250 mL), los cuales correspondieron a $M_1$ y $M_2$ (incluir dos blancos). A cada uno de ellos, se les adicionaron 40.00 mL de una solución amortiguadora MES-TRIS (pH 8.2). Se mezcló con un agitador magnético y se le adicionaron 50 µL de α-amilasa termoestable (Signa-Aldrich). Seguidamente los vasos se cubrieron con papel aluminio y se incubaron durante 15 minutos en un baño de agua entre 95-100°C, con agitación constante. Se retiró la muestra del baño (dejar que éstas lleguen a los 60°C) y se le adicionaron 10.0 mL de agua destilada para remover cualquier residuo que hubiese quedado sobre las paredes del vaso.

Luego se adicionaron 100 µL de una solución de proteasa (250 mg proteasa de Sigma-

Aldrich aforados a 5.00 mL con MES-TRIS), se cubrieron con papel aluminio y se incubó durante 30 minutos a 60 ± 1°C con agitación constante. Enseguida, se adicionaron 5.00 mL de HCl 0.561M y a 60 ± 1°C se ajustó el pH (pH metro accumet de Fisher Scientific, NJ, USA) entre 4.0 – 4.7 por adición de NaOH 1M ó HCl 1M. Finalmente se adicionaron 300 µL de amiloglucosidasa (Sigma-Aldrich), se cubrieron los vasos con papel aluminio y se incubaron en el baño de agua por 30 minutos 60 ± 1°C (agitación constante).

Posteriormente las soluciones digestadas enzimáticamente se filtraron. Para ello fue necesario preparar un sistema de filtración al vacío (Figura 8b), empleando un crisol de vidrio Gooch que contenía un papel filtro (Whatman 1) y sobre éste una capa de 0.2000 g de celita (tierra de diatomeas de Signa-Aldrich). Considerando el peso del papel filtro y de la celita, se adicionaron 3.00 mL de agua, con el fin de compactar el papel y la celita al crisol. Inmediatamente, las soluciones digestadas se filtraron (con el cuidado pertinente para no dejar restos de muestra fuera del papel), lavando dos veces el vaso y el residuo con 10.0 mL de agua a 70 ± 1°C.

El residuo corresponde a la Fibra Dietaria Insoluble (FDI), el cual se lavó inmediatamente con 30.0 mL de diferentes soluciones (etanol 78%, 95% y acetona), mientras que el filtrado se empleó para la obtención de la Fibra Dietaria Soluble (FDS). Para ello se transfirió a un vaso de precipitado de 250 mL (el matraz de filtración se lavó con un poco de agua) y se le adicionaron 200.0 mL etanol al 95% (previamente calentado a 60 ± 1°C), dejándolo reposar a temperatura ambiente por una hora para la obtención del precipitado FDS (Figura 8c). Posteriormente la solución se filtró y se lavó de la misma forma como se realizó la primera filtración (empleando un nuevo papel filtro con la capa de celita) incluyendo los lavados con etanol y acetona.

Finalmente, los residuos de FDI y de FDS se secaron a 105°C por 24 horas (Figura 8d), se pesaron y se emplearon para la determinación de proteína y ceniza, con el fin de hacer la debida corrección (ecuación 3 y 4).

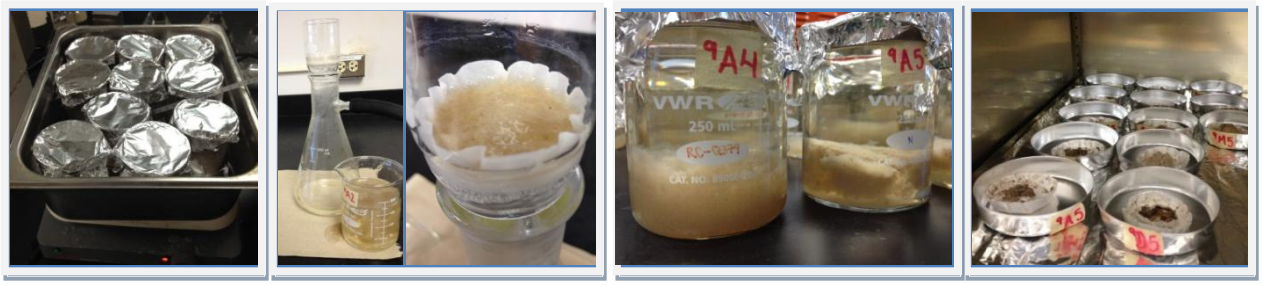
$$Blanco\ (\boldsymbol{B}) = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - P_B - A_B \qquad \textbf{Ecuación (5)}$$

Siendo $BR_1$ y $BR_2$: peso de los residuos de los duplicados del blanco (mg), $P_B$ y $A_B$:

peso en mg de proteína y ceniza, determinados respectivamente en el primer y segundo residuo del blanco.

$$\%Fibra\ Dietaria = \frac{\left((R_1 + R_2)/2\right) - P - A - \boldsymbol{B}}{(M_1 + M_2)/2} * 100 \qquad \textbf{Ecuación (6)}$$

Según corresponda a la FDI o a la FDS (calculadas independientemente), $R_1$ y $R_2$: peso de los residuos del duplicado de la muestra (mg); P y A: peso en mg de proteína y ceniza, determinados respectivamente en el primer y segundo residuo de la muestra; B: blanco (ecuación 2); y $M_1$ y $M_2$: peso en mg de los duplicados de la muestra.



a) b) c) d)

**Figura 8.** Etapas en la determinación de fibra dietaria: a) digestión enzimática con amilasa termo estable, proteasa y amiloglucosidasa, b) filtración (FDI en el residuo y FDS en el filtrado) c) precipitación con etanol (FDS en el residuo) y d) secado de los residuos.

#### *4.3.1.7 Análisis de componentes anti nutricionales*

##### *4.3.1.7.1 Determinación del contenido de fitatos*

El ácido fítico se determinó de acuerdo con el método descrito por Akinmutimi (2006). Para esto a 2 g de almidón se le adicionaron 100.00 mL de HCl al 2% y se dejaron en remojo por 3 horas. Se filtró y se tomó una alícuota de 50.00 mL, adicionándole 107.0 mL de agua y 10.0 mL de $NH_4SCN$ al 0.3% (solución indicadora). El ácido fítico se cuantificó por titulación con una solución de $FeCl_3$ (aproximadamente 0.00195 g de hierro por mL de HCl 0.375 N) hasta observar un color amarillo-marrón que perdura por 5 minutos.

$$\%\text{Ác. }\mathbf{Fitico} = \frac{(\mathrm{V} - \mathrm{V_0}\text{ en mL}) * \frac{0.00195\text{g Fe}}{1\text{mL}} * \frac{100\text{mL}}{50\text{mL}} * 2.95}{\text{g de muestra}} * 100 \qquad \textbf{Ecuación } (\mathbf{7})$$

Donde V y $V_o$ es el volumen en mL de $FeCl_3$ empleado en la titulación de la muestra y en el blanco, respectivamente; 100/50: factor de dilución; 2.95 es el factor de conversión a ácido fitico.

#### *4.3.1.7.2 Determinación de taninos*

El contenido de taninos se determinó colorimétricamente según el método indicado por Atanassova y Christova-Bagdassarian (2009). Para ello se realizó la extracción de 1.0000 g de almidón con 40.00 mL de agua deionizada por 4 horas a temperatura ambiente. Seguidamente se aforó la solución a 50.00 mL y se filtró (Whatman n°4). Tomando todo el filtrado, se cuantificó el contenido de taninos, mediante titulación con $KMNO_4$ 0.1 N (previamente estandarizado con ácido oxálico) en presencia de 0.5 mL del indicador de índigo carmín; siendo el punto final de la misma cuando se observa el cambio de color de azul a verde. El blanco fue preparado con 50.00 mL de agua deionizada y 0.5 mL de indicador.

$$\%\mathbf{Taninos} = \frac{(\mathrm{V} - \mathrm{V_0}\text{ en mL})\left(\text{N de KMnO}_4 * \frac{0.004157}{0.1\text{ N}}\right) * 50\text{mL}}{\text{g de muestra} * (\text{Vol. titulado en mL})} * 100 \qquad \textbf{Ecuación } (\mathbf{8})$$

Donde V y $V_o$ es el volumen en mL de $KMnO_4$ empleado en la titulación de la muestra y en el blanco, respectivamente; 0.004157 es el equivalente gramo de taninos en 1 mL de $KMnO_4$ 0.1N.

#### *4.3.1.7.3 Determinación de saponinas*

Esta determinación se realizó siguiendo el método de Igbabul, Amove, y Twadue (2014). Se mezclaron con agitación constante 20.0000 g de almidón con 100.0 mL de etanol al 20% durante 4 horas en un baño de agua a 55°C. Enseguida se filtró y se empleó el residuo para una segunda extracción con 200.0 mL de etanol al 20%. Se combinaron los dos extractos y se pusieron en un baño de agua a 90°C para reducir su volumen hasta 40.0 mL; transfiriéndose éste a un embudo de separación donde se le adicionaron 20.0 mL de éter dietílico. La fase del

éter se descartó, mientras que la fase acuosa fue purificada nuevamente con adición de éter dietlítico.

Posteriormente, se le adicionaron 60.0 mL de n-butanol, siendo esta fase la que se lavó con 10.0 mL de NaCl al 5% (descartando la fase acuosa). Finalmente, la fase de n-butanol se secó en un horno convencional a 60°C y se pesó el residuo. El contenido de saponinas se expresa en forma de porcentaje (peso del residuo sobre peso de muestra).

*4.3.1.7.4 Determinación de oxalato*

Esta determinación se realizó con algunas modificaciones del método descrito por Iwuoha y Kalu (1995), la cual involucra tres etapas: digestión, precipitación del oxalato y titulación permanganométrica.

Primera etapa: se digestaron 3.0000 g de almidón en 190 mL de agua destilada y 10.00 mL de HCl 6 M, en un baño de agua a 100°C por 1h (Figura 9a). Posteriormente la solución se enfrío y se llevó a un volumen de 250.00 mL con agua. Se filtró (Whatman, grado 1) y se tomó una alícuota de 125.00 mL, que en presencia del indicador rojo de metilo (4 gotas), se adicionó gota a gota hidróxido de amonio hasta observar un cambio de color del rosa al amarillo (Figura 9b). Seguidamente, las soluciones se llevaron a 90°C, se enfriaron y se filtraron para remover los precipitados que contengan iones ferrosos (Figura 10c).

Segunda etapa: el filtrado se llevó nuevamente a 90°C y se le adicionaron 10.00 mL de $CaCl_2$ al 5% con agitación constante. Para facilitar la precipitación del oxalato de calcio, la solución se dejó a 5°C durante toda la noche (Figura 9d). Esta solución se centrifugó a 2500 rpm por 5 minutos, descartando el sobrenadante. El precipitado se disolvió en 10.00 mL de una solución caliente $H_2SO_4$ al 20% (Figura 9e); llevándolo hasta 250.00 mL con agua destilada.

Tercera etapa: se tomó una alícuota de la solución anterior y se tituló con $KMnO_4$ 0.05 N (previamente estandarizado con ácido oxálico) entre 70 y 80°C, hasta observar un color rosado (primero la solución de color amarillo se torna incolora) que permanece por 30 segundos (Figura 9f).

Una vez realizada la titulación permanganométrica, donde se está llevando a cabo una

reacción química redox (ecuación 9), se realizó la cuantificación de oxalato en cada una de las muestras siguiendo la ecuación 10.

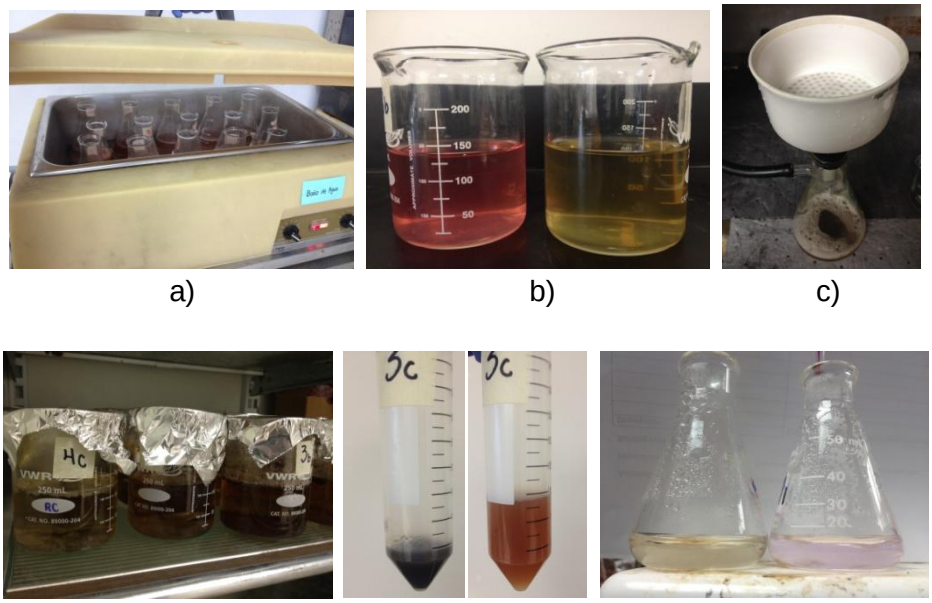



**Figura 9.** Etapas de la determinación de oxalato. a) Digestión de la muestra, b) ajuste del pH, c) filtración para eliminación de iones ferrosos, d) precipitación del oxalato, e) disolución del oxalato en ácido y f) titulación con $KMnO_4$.

$$2MnO_4^- + 5C_2O_4^{-2} + 16H^+ \rightarrow 2Mn^{2+} + 10CO_2 + 8H_2O \qquad \textbf{Ecuación (9)}$$

$$[C_2O_4]^{-2}\ \frac{mg}{g} = \frac{(V)\left(\frac{N}{5}\right)\left(\frac{5\ mol\ C_2O_4^{-2}}{2\ mol\ MnO_4^-}\right) * 0.250L * 0.250L * \left(\frac{90\ \frac{g}{mol}\ C_2O_4^{-2}}{1\ mol\ C_2O_4^{-2}}\right)\left(\frac{1000\ mg}{1\ g}\right)}{(Vol.\ \ titulado\ en\ L) * 0.125L * g\ \ muestra} \qquad \textbf{Ecuación (10)}$$

Donde V es el volumen de $KMnO_4$ empleado en la titulación (en litros) y N es la concentración de $KMnO_4$

#### *4.3.1.7.5 Determinación de presencia de rafidios por SEM*

La presencia de rafidios de oxalato en las muestras secas de almidón, fibra (residuo de la extracción del almidón) y pulpa del cormo, se determinó mediante el uso del microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM- 5410LV, TYO, JPN) en una magnificación de x500 y x3500.

#### *4.3.1.7.6 Prueba sensorial de acritud*

Con el fin de encontrar la correlación entre la acritud y el contenido de oxalato de calcio, se realizó una evaluación sensorial de acritud al almidón. Esta prueba se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis Sensorial del Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos en el Edificio Alfredo Ramírez de Arellano y Rosell, del Recinto Universitario de Mayagüez. Se contó con la participación voluntaria (ver consentimiento informado en anexos) de 64 panelistas entre estudiantes, empleados docentes y no docentes de ambos sexos, mayores de 18 años.

Este análisis se realizó mediante la prueba de valoración, en la que se evalúo el nivel de acritud usando una escala de línea de 0 (nada de acritud) a 15 (extremada acritud). El panelista recibió un adiestramiento (explicación de cómo realizar la prueba) y firmó la hoja de consentimiento antes de comenzar la prueba. Durante la prueba el panelista recibió un vaso de leche (ayudar a limpiar los receptores), la muestra de almidón (preparada en forma de maicena) codificada con tres dígitos aleatorios y la hoja de panelista (Figura 10). El tiempo de duración de esta prueba fue aproximadamente de 10 minutos por panelista. Este análisis sensorial fue sometido y aprobado por el Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación (CPSHI/IRB) (ver carta en anexos).

Preparación de la muestra: una mezcla de 36 g de almidón y 1600 mL de agua se cocinaron a 100°C durante 45 minutos, con agitación constante. Sirviendo una cucharada de la muestra (15 mL) en un vaso de 30mL.

Universidad de Puerto Rico- Recinto Universitario de Mayagüez
CITA-Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos
Prueba Sensorial

N° panelista _____ Producto: Almidón Fecha: _____

**Instrucciones:** Se le está entregando una muestra preparada de almidón del cormo de la yautía. Anote el número de las muestras en los espacios provistos abajo. Luego, pruebe la muestra y tome leche entre cada degustación con el fin de limpiar los receptores, finalmente determine la intensidad del picor (acritud) que le produce la muestra (ya sea en la garganta o en la lengua) y marque haciendo una línea vertical sobre la escala que aparece justo debajo. Incluya sus comentarios si lo desea.

**Muestra:** _____

0 — 15

**No Pica** — **Pica Extremadamente**

**Comentarios:**_____

**Figura 10.** Hoja del panelista empleada para la prueba sensorial de acritud

### 4.3.2 Propiedades Físico-Químicas

#### 4.3.2.1 Determinación de pH

Para la determinación de pH en las muestras de almidón se empleó el medidor de pH accumet (previamente calibrado con soluciones amortiguadoras de pH 4, 7 y 10). Para esto, se preparó una solución de almidón al 10%, se agitó constantemente por 30 minutos, se dejó en reposo a temperatura ambiente por 10 minutos. Finalmente, se realizaron las respectivas medidas de pH (método AOAC 943.02 de AOAC & Horwitz, 2003; Falade & Okafor, 2013).

#### *4.3.2.2 Determinación del tamaño y la forma de los gránulos de almidón*

El tamaño de los gránulos de almidón (solución de almidón al 1% en glicerol) se determinó mediante observación utilizando el microscopio de luz (LEICA DMI3000B, HES, DEU) (Figura 11a) en una magnificación de x100, reportándose como el promedio de un total de 20 medidas, mientras que su forma se determinó en muestra de almidón seco, empleando

un microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM- 5410LV, TYO, JPN) (Figura 11b) en una magnificación de x500 y x3500.

El efecto de birrefringencia (cruz de malta) se determinó en una solución de almidón al 1% en glicerol, empleando el microscopio de luz polarizada en una magnificación de x40 (Nikon ECLIPSE E200, TYO, JPN, con una cámara digital Nikon CoolPix 5400, TYO, JPN).

#### 4.3.2.3 Determinación del color del almidón

El color del almidón se determinó usando un colorímetro HunterLab (MiniScan XE, VA, USA) previamente calibrado, configurado con iluminante D65 y un ángulo de observación de 10°. Se midieron los parámetros L*, a*, b*, con el fin de calcular el índice de pardeamiento (IP) y el índice de blanco (IB) (Jimoh, Olurin, Aina, 2009; Palomino, Molina, Pérez, 2010; Chin-Lin, Wenlung, Yih-Ming, Chin-Yin, 2003).

$$\boldsymbol{IP} = 100 - L^*$$

$$\boldsymbol{IB} = 100 - ((100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \qquad \textbf{Ecuación (11)}$$

a) b) c)

**Figura 11.** Determinación las propiedades físicas del almidón, a) tamaño, b) forma y c) color.

### 4.3.3 Propiedades Funcionales del Almidón

#### *4.3.3.1 Claridad de las pastas de almidón*

Para determinar esta propiedad, se prepararon soluciones acuosas de almidón al 1% y se sumergieron en un baño de agua en un intervalo de temperaturas de 80-100°C, con agitación cada 5 minutos, hasta su gelatinización (aproximadamente 30 minutos). Posteriormente, se dejó que las pastas alcanzaran la temperatura ambiente y se determinó el porcentaje de transmitancia (usando agua como blanco) a 650 nm empleando el espectrofotómetro UV-Vis Cary 50 Bio (Agilent Technologies, CA, USA) (Craig, Maningat, Seib & Hoseney, 1989; Bello-Pérez, Agama-Acevedo, Sánchez-Hernández & Paredes-López, 1999).

#### *4.3.3.2 Solubilidad y Capacidad de hinchamiento*

La solubilidad y la capacidad de hinchamiento de los gránulos se determinaron gravimétricamente por el método de Falade y Okafor (2013) con algunas modificaciones. Para esto se calentaron soluciones acuosas de almidón (1 g en 50 mL de agua destilada) en un intervalo de temperatura de 55-95$^{o}$C durante 30 minutos con agitación. Las soluciones se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y se centrifugaron a 3000 rpm por 15 minutos. El gel se pesó para determinar la capacidad de hinchamiento, mientras que el sobrenadante se transfirió a una placa de Petri (previamente pesada) y se dejó secar a 110°C por 4 horas. Este fue empleado para la determinación del porcentaje de solubilidad.

Siendo la solubilidad el porcentaje de almidón que queda en solución (ecuación 12) y la capacidad de hinchamiento la razón entre el peso del almidón hidratado y el peso inicial del almidón seco (ecuación 13).

$$\%\,\boldsymbol{Solubilidad} = \frac{g\ sólido}{g\ de\ muestra} * 100 \qquad \textbf{Ecuación (12)}$$

$$\boldsymbol{Capacidad\ de\ Hinchamiento}\ (g/g\ muestra) = \frac{g\ gel}{g\ de\ muestra} \qquad \textbf{Ecuación (13)}$$

#### *4.3.3.3 Estabilidad de las pastas de almidón al proceso de refrigeración y congelación*

Mediante análisis de perfil de textura (TPA) y grado de sinéresis (López, 2011) se evaluó la estabilidad de las pastas de almidón bajo condiciones de refrigeración y congelación. Se preparó una solución de almidón al 7%, adicionándose 10.0 mL en varios tubos (de 12.18 mm de diámetro) para ser gelatinizadas en un baño de agua a 90°C durante 20 min. Los geles se almacenaron a 4°C y a -18°C durante 13 y 12 días, respectivamente.

Para evaluar el grado de sinéresis, los tubos que contenían el gel se dejaron a temperatura ambiente (entre 1 a 3 horas), se centrifugaron a 2500 rpm por 15 minutos y cuidadosamente se removió el líquido sobrenadante. El grado de sinéresis se expresó en forma de porcentaje (calculado por diferencia del peso del tubo con el gel antes y después de remover el líquido).

Para la obtención del TPA, se dejó el gel a temperatura ambiente (entre 1 a 3 horas), enseguida, se desmoldó y se cortó en pedazos de 24.57 mm de largo. El TPS se obtiene mediante el uso del texturómetro (Texture Analyzer-Stable Micro System Model TA-XT2, GU, UK) (Figura 12) previamente calibrado en distancia y en fuerza (empleando una pesa de 5 kg). Se configuró teniendo en cuenta los siguientes parámetros: dos ciclos de compresión, velocidad de pre y post-ensayo de 2 mm/s, velocidad de ensayo de 1 mm/s, distancia de penetración de 4.00 mm, fuerza de disparo de 10.0 g, tiempo entre ciclos de 5 s, y una sonda TA-212 (Magness-Taylor / USDA sonda conjunto de fruta (w / 3, 6 y 11 mm de diámetro)) (López, 2011).

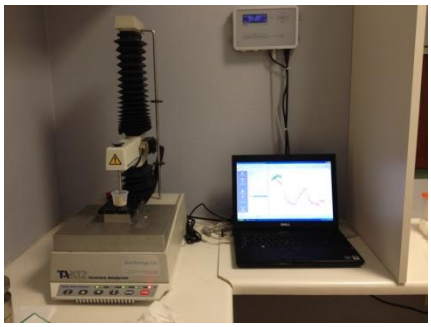


**Figura 12.** Texturómetro empleado para análisis de pasta de almidón.

#### *4.3.3.4 Caracterización Reológica del Almidón*

El perfil de gelatinización se determinó empleando un Reómetro Rotacional AR 1500ex (TA Instruments Ltd, NC, USA) (Figura 13), siguiendo el método propuesto por ICC Standard Method No. 162 (1995). Para ello se prepararon 25 mL de una suspensión en agua destilada al 8% en base seca del almidón en la celda de la cámara de empastamiento del reómetro y se procedió a efectuar la medición bajo el siguiente programa:

- ✓ Etapa de acondicionamiento: a una temperatura de 50 °C, con una velocidad de precizalla de 78.53 rad/s durante 30 segundos.
- ✓ Etapa de equilibrio: a una velocidad angular de 16.75 rad/s durante 1 minuto, a temperatura de 50 °C.
- ✓ Rampa de temperatura: desde 50 °C hasta 90 °C a una velocidad de calentamiento de 12.2 °C/min y velocidad angular de 16.75 rad/s.
- ✓ Etapa de equilibrio: a una velocidad angular de 16.75 rad/s durante 2 minutos y 30 segundos, a temperatura de 90 °C.
- ✓ Rampa de temperatura: desde 90 °C hasta 50 °C a una velocidad de enfriamiento de 12.2 °C/min y velocidad angular de 16.75 rad/s.
- ✓ Etapa de equilibrio: a una velocidad angular de 16.75 rad/s durante 2 minutos, a temperatura de 50 °C.

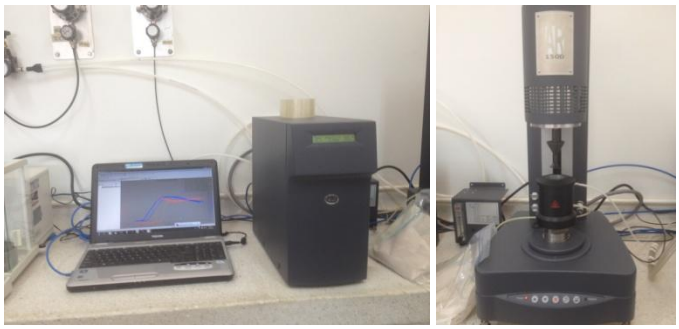
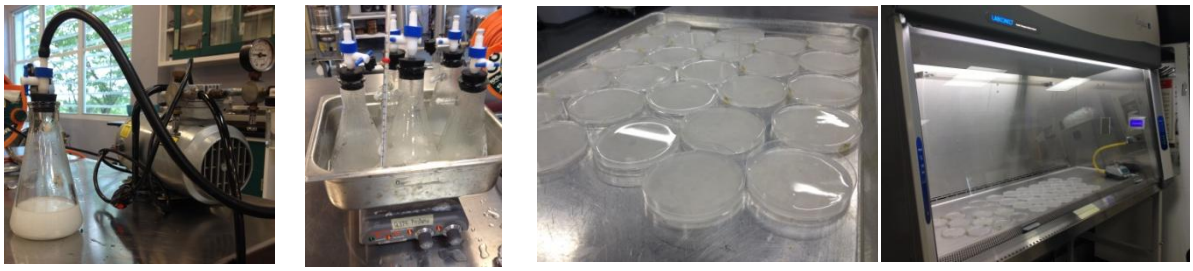


**Figura 13.** Reómetro Rotacional empleado para obtener la curva de empastamiento del almidón.

## 4.4 ELABORACIÓN DE LAS LÁMINAS COMESTIBLES

La lámina comestible se obtuvo mediante la técnica de moldeo en placa de la siguiente manera (Figura 14). En un matraz se preparó una suspensión de almidón y se sometió al vacío (Figura 14a). Seguidamente se realizó el proceso de gelatinización. Para ello, el matraz se sumergió en un baño de agua con agitación constante a 90°C por 30 minutos. Posteriormente se realizó el moldeado con la adición de 20.0 mL de la solución gelificada en la placa Petri, la cual se dejó secar a temperatura ambiente durante 2 días en una campana con flujo laminar (Labcono Purifier Biological Safety Cabinet, MO, USA) (Bourtoom, 2008; Bozdemir y Tutas, 2003).

La preparación de la suspensión del almidón se realizó siguiendo un diseño factorial 5x5, variando la cantidad de almidón (1, 2, 3, 4 y 5 g) y glicerol (0, 5, 10, 20 y 30% con respecto a la cantidad de almidón) en una cantidad constante de agua (100 mL). Un vez obtenida la mejor combinación de dichas variables (resultados de propiedades mecánicas y la permeabilidad al vapor de agua), se procedió a preparar esa suspensión de almidón y glicerol, pero con la adición de diferentes cantidades del surfactante tween 80 (0.0, 0.25, 0.5, 1 y 2% con respecto a la cantidad de almidón) y se evalúo la permeabilidad al vapor de agua.



a) b) c) d)

**Figura 14.** Etapas de la elaboración de las láminas comestibles: a) suspensión de almidón, b) gelatinización, c) moldeado en placa y d) secado de las láminas.

### 4.4.1 Propiedades de barrera y mecánicas de la lámina

Entre las propiedades funcionales de las láminas se encuentran las propiedades de barrera (permeabilidad al vapor de agua) que se evaluó gravimétricamente por el método estándar ASTM E96-95 (1995) y las propiedades mecánicas (resistencia a la tensión y porcentaje de elongación) que se evaluaron de acuerdo al método estándar ASTM 882-002 (2002), empleando un texturómetro.

Para determinar la permeabilidad al vapor de agua se empleó el método de vía desecante (Figura 15). La lámina preparada se selló (empleando papel parafina Bemis® PM996 y tiras de nylon Foxtail®) a un recipiente de cristal (celda), el cual contenía sílica gel (agente desecante de 6-12 mesh, activado a 200°C por 24 horas). Dicho montaje (celda sellada con la lámina) se colocó durante 12 horas dentro de una cámara con atmósfera controlada (solución saturada de $K_2SO_4$ que generó las condiciones de alta humedad relativa (HR) de 89.2%). Esta cámara estaba equipada con un psicrómetro giratorio digital (Amprobe® THWD-2, MA, USA) para el monitoreo del porcentaje de HR y la temperatura. Esta misma fue colocada dentro de una incubadora (Fisher Isotemp® Incubator 200 - 255D, CA, USA) a temperatura constante de 29.8°C.

Para medir la permeabilidad al vapor de agua, se tomaron varias lecturas del peso del montaje (empleando una balanza analítica Sartorius TE3, GAU, DEU) cada dos horas, de tal forma, que antes de regresar el montaje a la cámara y por ende a la incubadora, fue necesario agitar horizontalmente el montaje, para mezclar la sílica.

**Figura 15.** Método para determinar la permeabilidad de las láminas comestibles.

Considerando que la permeabilidad de la lámina al vapor de agua (PVA) está relacionada con la variación en el peso del agente desecante, se empleó la siguiente ecuación.

$$\mathbf{PVA} = \frac{\mathbf{G} * \mathbf{X}}{\mathbf{A} * \mathbf{S}(\mathbf{R_1} - \mathbf{R_2})} \qquad \textbf{Ecuación (14)}$$

donde **G**: es la razón de transferencia de vapor de agua a través de la lámina (peso vs tiempo) en g/h, **X**: es el grosor de la lámina comestible en mm (medidos con micrómetro digital Mitutoyo, IL, USA), **A:** área de la lámina expuesta en $m^2$ (0.0013 $m^2$), **S:** es la presión de vapor saturada del agua a 29.8°C (4192.6 Pa, calculada con el programa WASP for Windows 2.0.36), **R1:** es la humedad relativa dentro de la cámara (expresada como fracción 0.892) y **R2:** es la humedad relativa dentro de la celda (expresada como fracción 0.0).

Mientras que para la determinación de las propiedades mecánicas, las láminas se cortaron en tiras rectangulares, con medidas aproximadamente de 46.26 ±0.10 mm de largo y 26.06 ±0.06 mm de ancho, y se acondicionaron a una humedad relativa del 54.4% (solución saturada de NaBr) durante 72 horas a temperatura ambiente. El texturómetro se configuró en las siguientes condiciones: velocidad de test de 1.00 mm/s, velocidad de post-test de 10.00 mm/s y distancia del instrumento a la lámina de 10.00 mm. Se usó el implemento A/MTG Miniature Tensile Grips (Stable Micro System Ltd) para sujetar la lámina en cada extremo a una distancia de 15 mm (del borde al centro) (Figura 16).

La fuerza tensil (TS) y el porcentaje de elongación (%E) se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{TS(MPa)} = (Pico\ máximo\ (Fuerza\ en\ N)/área\ de\ lámina\ (m^2))/10^6 \qquad \textbf{Ecuación (15)}$$

$$\%\boldsymbol{E} = Aumento\ en\ longitud\ al\ momento\ de\ la\ ruptura\ (mm)/longitud\ original\ (mm) * 100 \qquad \textbf{Ecuación (16)}$$

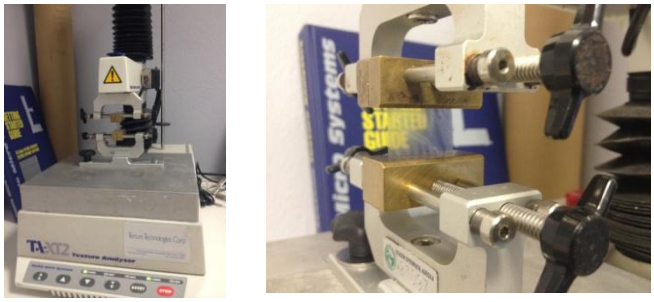



**Figura 16.** Determinación de las propiedades mecánicas de las láminas empleando el texturómetro.

## 4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis fueron realizados con 9 réplicas, reportando tanto la media como el error estándar. Los datos fueron analizados estadísticamente utilizando Infostat (versión 2011, AR), donde se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey para la comparación de medias, con una probabilidad de 0.05.

# 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

En la Tabla 2 se observa la composición proximal del cormo de la yautía, encontrándose que el principal componente es el extracto no nitrogenado el cual está constituido principalmente por carbohidratos, siendo el almidón el polisacárido más abundante con aproximadamente un 70% (Tabla 3). En este caso hay diferencia significativa entre el contenido de almidón presente en la parte distal de la apical y la media, lo que indica que la distribución del almidón en el cormo no es uniforme, lo cual concuerda con lo indicado por Milián, Xiqués, Román, González, Sánchez, Nadal, Beovides, Guerra y Guerra (2001) y por Hair, Volin y Asokan (1984).

Los porcentajes de extracción del almidón de cada una de las secciones del cormo fueron considerablemente diferentes y menores al 60% (Tabla 3). Dichas diferencias se atribuyen a que el proceso de extracción se realizó de manera manual, siendo las etapas críticas el filtrado y el licuado del cormo. La primera está relacionada con la destreza para comprimir la fibra para extraer la lechada, mientras que la segunda se relaciona con la liberación de los gránulos de almidón contenidos en los tejidos, por lo que ésto influye no sólo en la eficiencia del proceso de extracción si no también en la calidad del almidón (Torres, Pérez, Marmolejo, Ordoñez & García, 2010; Alarcón & Dufour, 1998). Cabe destacar que el porcentaje de extracción del almidón de la parte media (58.56%), si coincide con valores reportados por Torres y sus colaboradores (2010) en yuca (51 a 59%).

**Tabla 2.** Composición proximal de la harina del cormo de la yautía

| Humedad cormo (%) | Humedad harina (%) | Cenizas (%) | Proteína (%) | Grasa (%) | Fibra (%) | ENN (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 81.55 ± 1.23 | 9.98 ± 0.19 | 8.59 ± 0.24 | 5.72 ± 0.23 | 1.73 ± 0.17 | 4.14 ± 0.07 | 79.82 |

Los porcentajes están calculados en base seca. Los valores están expresados como el promedio ± error estándar.

ENN: Extracto No Nitrogenado

**Tabla 3.** Porcentaje de almidón en cada una de las secciones del cormo.

| Sección | % Almidón en el Cormo | | Cormo Procesado (g en BH) | Almidón Extraído (g) | Rendimiento Extracción (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| | BS | BH | | | |
| Apical | 72.02 ± 0.36[a] | 9.75 | 36299.8 | 1527.6 | 43.16 |
| Medio | 71.16 ± 0.36[a] | 11.37 | 38224.8 | 2544.9 | 58.56 |
| Distal | 66.68 ± 0.36[b] | 15.90 | 15025.5 | 270.2 | 11.31 |

Medias con un misma letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$). Los valores están expresados como el promedio ± error estándar. BS: Base Seca y BH: Base Húmeda.

## 5.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ALMIDÓN

### 5.2.1 Composición Proximal del almidón

En la Tabla 4 se muestra la composición proximal del almidón de cada sección del cormo, los cuales presentan un bajo contenido de humedad (entre 6.32 y 6.88%) en comparación con el almidón de la yautía (13.68%) (Muñoz, 2012) y con algunos almidones comerciales (maíz, yuca y papa) que pueden variar entre 10 a 18% (Wurzburg, 1973; Luallen & Cargill Inc., 2004). Sin embargo, la literatura también reporta que el contenido de humedad para almidones de raíces y tubérculos puede variar entre 6 a 16% dependiendo del método de secado (Moorthy, 2008 y 2002).

Los valores bajos de humedad presentados por el almidón en las tres secciones del cormo pueden contribuir a su estabilidad durante el almacenamiento. Estos valores de humedad no favorecen el crecimiento microbiano, principalmente de hongos y levaduras. Además, disminuye la susceptibilidad a generar reacciones de fermentación, las cuales afectan el pH y las propiedades del almidón (Aristizábal et al., 2007; Moorthy, 2008 y 2002).

La Tabla 4 muestra el contenido de componentes minoritarios del almidón (proteínas, grasas y minerales), cuya concentración depende principalmente de la eficiencia del proceso de extracción (Moorthy, 2002), siendo éste un indicador de la pureza del almidón (Luallen et al., 2004; (Ellis et al., 1998). En esta tabla se observa que existe una diferencia significativa en los

contenidos de proteína de las tres secciones del cormo. Estos valores son considerados bajos (0.34 a 0.47%) cuando se comparan con el cormelo de *Xanthosoma robustum* (1.21%) y altos con respecto al almidón del cormelo de Xanthosoma *sagittifolium* (0.04 a 0.16%) (Londoño-Restrepo, Rincón-Londoño, Contreras-Padilla, Acosta-Osorio, Bello-Pérez, Lucas-Aguirre & Rodríguez-García, 2014; Lu, Chen, Lin & Chang, 2005; Lawal, 2004). El contenido de proteína del almidón del cormo se encuentra dentro del rango (0.1 a 0.61%) para almidones comerciales (maíz, yuca, trigo y arroz) (Waterschoot et al., 2015; Mishra & Rai, 2006).

El porcentaje de grasa fue mayor en la parte distal (0.14% sin diferencia estadística con la parte media, 0.13%) que en parte apical (0.15%). Estos valores son comparables con los del almidón de cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (0.08 a 0.18%) y menores a los almidones de los cormelo de *Xanthosoma robustum* (1.21%) (Lu et al., 2005; Lawal, 2004; Londoño-Restrepo et al., 2014; Mepba, Eboh, Eko & Ukpabi, 2009). El contenido de grasa del almidón analizado está dentro del valor promedio de los almidones comerciales de cereales (0.6 a 1.4%), raíces y tubérculos (0.1 a 0.2%) (Pérez et al., 2009; Waterschoot et al., 2015; Zhu, 2016; Mishra et al., 2006; Londoño-Restrepo et al., 2014).

En cuanto al contenido de cenizas en el almidón del cormo (0.14 a 0.19%) está dentro de los valores promedio para almidones comerciales (0.1 a 0.3%) (Waterschoot et al., 2015; (Mishra et al., 2006; Luallen et al., 2004), comparable al del cormelo de *Xanthosoma robustum* (0.18%) y con el cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (0.20 – 2.47%) (Londoño- Restrepo et al., 2014; Pérez, Schultz & Delahaye, 2005; Lawal, 2004). Los minerales en el almidón del cormo están presentes en bajas cantidades (menores a 0.06 mg/g) y son cobre, azufre, manganeso y sodio, mientras que el fósforo y potasio se encuentran en una cantidad mayor (0.015% y 0.074%, respectivamente). Cabe resaltar que el fósforo es el mineral que afecta significativamente las propiedades funcionales del almidón ya que tiene un impacto en las propiedades reológicas del mismo, causando geles claros y de mayor viscosidad, el cual es una desventaja para muchas aplicaciones industriales (Blazek, 2009; Svihus et al., 2005; Blennow et al., 2000; Tester & Karkalas, 2004; Pérez et al., 2005; Kasemsuwan, 1995; Mozafari, 2007). El contenido de fósforo en el almidón del cormo está dentro de lo reportado para los almidones comerciales de raíces y tubérculos (0.004 a 0.021%), siendo considerablemente menor al del almidón de papa (0.06 a 0.089%) (Waterschoot, Gomand & Delcour, 2016; Waterschoot et al., 2015; Lim, Kasemsuwan & Jane, 1994; Singh & Zakiuddin Ali, 1987; Swinkels, 1985; Pérez et al., 2005).

El bajo contenido de lípidos, proteínas y cenizas en el almidón del cormo, está relacionado con el alto contenido de extracto no nitrogenado, el cual indica el porcentaje de pureza del almidón (Valcárcel et al., 2013; Rocha et al., 2008; Blazek, 2009). En este caso, los porcentajes de pureza obtenidos en los almidones de las tres secciones del cormo son superiores al 92% (Tabla 4), los cuales son considerablemente altos al compararse con otros almidones como el extraído de la yautía (85.72%) y comparable con el del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (79.8% - 99.06%) (Mepba et al., 2009; Muñoz, 2012; Pérez et al., 2005) y con algunos almidones comerciales (89.27 – 99.51% en maíz, 89.44 – 98.44% en papa, 90.99 – 93.98% en yuca, 94.52% en trigo) (Mishra et al., 2006; Li, Zhang, Wei, Zhang & Zhang, 2014). Esto indica que el proceso empleado para la extracción del almidón del cormo fue adecuado para obtener un almidón de alta pureza.

**Tabla 4.** Composición proximal de muestras de almidón extraído del cormo de la yautía

| **Parámetro** | **Almidón** | | |
|---|---|---|---|
| | **Apical** | **Medio** | **Distal** |
| Humedad (%) | 6.88 ±0.07[a] | 6.61 ±0.07[b] | 6.32 ±0.07[c] |
| Grasa (%) | 0.15 ±1.8x10$^{-3a}$ | 0.13 ±1.8x10$^{-3b}$ | 0.14 ±1.8x10$^{-3b}$ |
| Proteína (%) | 0.40 ±2.0x10$^{-3a}$ | 0.47 ±2.0x10$^{-3b}$ | 0.34 ±2.0x10$^{-3c}$ |
| Cenizas (%) | 0.14 ±1.8x10$^{-3a}$ | 0.16 ±1.8x10$^{-3b}$ | 0.19 ±1.8x10$^{-3c}$ |
| ENN (%) ** | 92.43 | 92.63 | 93.01 |
| **Minerales (mg/g)** | | | |
| B, Ca, Fe, Mg, Mo | No Detectable | | |
| Cu | 0.001 ± 0.000 | | |
| S | 0.022 ±0.001 | | |
| Mn | 0.001 ± 0.000 | | |
| Na | 0.057 ± 0.002 | | |
| P (%) | 0.015 ± 3.3X10$^{-4}$ | | |
| K (%) | 0.074 ± 0.002 | | |

Medias con un misma letra común y en una misma columna, no son significativamente diferentes (p>0.05). **Calculado por diferencia. Los valores están expresados como el promedio ± error estándar.

### 5.2.2 Contenido de Amilosa y Amilopectina

La Figura 17 representa la curva de calibración (con un $r^2$ de 0.9995) empleada para la

cuantificación de amilosa en el almidón de las tres secciones del cormo. En la Tabla 5 se muestran los contenidos de amilosa en el almidón los cuales se encuentran entre 19.93 y 21.85%. Dicho contenido es menor que el reportado para el almidón del maíz (28.3%), del trigo (26%), y de la yautía (23.42%), pero equiparable con el contenido de amilosa del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium (*16.01-33.77%) y con algunos almidones comerciales (yuca 16.8 a 21.5% y papa 20 a 22%) (Falade et al. 2013; Pérez et al., 2005; Lauzon, Shiraishi, Yamazaki, Sawayama, Sugiyama & Kawabata, 1995; Rolland-Sabaté, Sánchez, Buléon, Colonna, Jaillais, Ceballos & Dufour, 2012; Satin, 2000; Hernández-Medina et al., 2008; Muñoz, 2012). Estas diferencias encontradas en el contenido de amilosa es influenciado por la fuente biológica del almidón, por las condiciones climáticas, por el tipo de suelo y por la variación que puede ocurrir debido a la actividad de las enzimas implicadas en la biosíntesis de diversos almidones (Alvis, Vélez, Villada & Rada, 2008; Otegbayo, Oguniyan & Akinwumi, 2014; Mozafari, 2007).

El contenido de amilosa encontrado en los almidones de las tres partes del cormo, permiten catalogarlos como almidones 'normales' (amilosa entre 16-35%) (Tester et al., 2004; Perez-Rea, Rojas, Carballo, Aguilar, Bergensta & Nilsson, 2013), quienes son ampliamente utilizados en la industria gracias a su adecuada relación de amilosa/amilopectina, la cual influyen en las propiedades funcionales del almidón (viscosidad, gelatinización, estabilidad del gel, poder de hinchamiento, entre otros) (Satin, 2000; Acuña, 2012; BeMiller et al., 2009). Cabe resaltar que dichas propiedades no sólo dependen de la relación de amilosa y amilopectina, sino también de sus características estructurales y la organización de cada una de ellas dentro del gránulo (Charles, Chang, Ko, Sriroth & Huang, 2005).

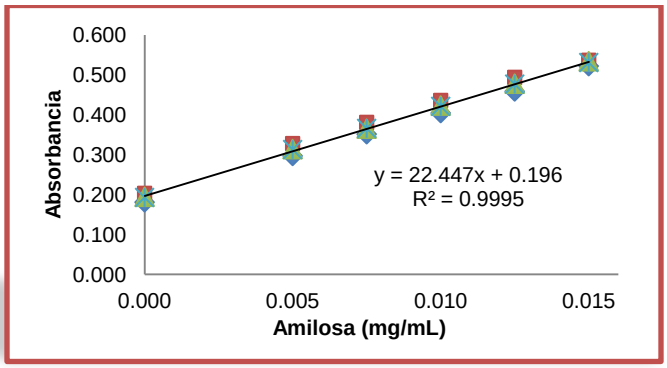



**Figura 17.** Curva de calibración empleada para la cuantificación de amilosa en las muestras de almidón

**Tabla 5.** Contenido de amilosa y amilopectina en las muestras de almidón del cormo

| Almidón | % Amilosa | % Amilopectina** |
|---|---|---|
| Apical | 19.93 ±0.23[a] | 80.07 ±0.23[a] |
| Medio | 20.15 ±0.23[a] | 79.85 ±0.23[a] |
| Distal | 21.85 ±0.23[b] | 78.15 ±0.23[b] |

Medias con un misma letra común y columna, no son significativamente diferentes (p>0.05)

Los valores están expresados como el promedio ± error estándar. **Calculado por diferencia.

### 5.2.3 Hidrólisis enzimática del almidón, fibra dietaria y almidón resistente

En la Figura 18 se muestra el comportamiento del almidón del cormo al ser hidrolizado enzimáticamente con α-amilasa pancreática y amiloglucosidasa. La primera etapa de la gráfica corresponde al rápido aumento en la degradación enzimática del almidón, la cual se da durante los primeros 20 minutos de digestión. En dicha etapa se hidrolizó 32.80 ± 0.60% del almidón, cantidad que podría corresponder al almidón de rápida digestión (ARD). La segunda etapa se determina por el aumento lento de la hidrólisis, en la gráfica se observa que éste va desde los 20 minutos hasta las 5 horas de digestión; a partir de allí se observa una leve tendencia a permanecer constante, considerando que entre 5 y 6 horas en la hidrólisis del almidón, no hay diferencia estadística. En esta etapa se ha hidrolizado el 41.50 ± 0.60% del almidón, el cual podría ser llamado como “almidón de lenta digestión (ADL)”, quien tiene la propiedad de hidrolizarse lentamente durante el transcurso de la digestión, provocando un aumento leve en la disponibilidad de glucosa en la sangre, lo que induce a una respuesta glicémica moderada. De esta forma, el ADL se caracteriza por tener efectos benéficos relacionados con la disminución del riesgo de padecer diabetes y enfermedades cardiovasculares, además produce un efecto de saciedad por lo que se espera que una dieta basado en este tipo de almidón puede inducir a un menor consumo calórico total diario, el cual podría ayudar en la prevención de la obesidad (Lehmann & Robin, 2007; Parada & Rozowski, 2008; Casarrubias et al., 2010; Ludwig, 2002).

Es importante mencionar que la variación en el tiempo de digestión del ADL del cormo con respecto a lo indicado en la literatura (20 a 120 minutos), no se atribuye al almidón sino al método empleado para hacer dicha determinación (Englyst, Quigley, Englyst, Parmar, Damant,

Elahi & Lawrance, 2013), de tal forma que no se puede hacer una comparación significativa del contenido de ARD y ADL del almidón del cormo con respecto a otros almidones, debido a las diferencias en el tiempo de reacción y a la fuente y concentración de la α-amilasa así como al tamaño del gránulo (Hoover, 2001; Perera, Meda & Tyler, 2010).

Después de las 5 horas de digestión (Figura 18), se ha hidrolizado 74.87 ± 0.60% del contenido total de almidón (92.69%), lo que indica que hay una parte del almidón que las enzimas no fueron capaces de digestar y cuya cantidad concuerda con el contenido de almidón resistente (14.11 ± 0.18%). Dicho contenido de almidón resistente es alto comparado con el almidón del cormo de *Colocasia esculenta* L. *schott* (2.2%) y del almidón de maíz (0.80%), pero menor al del almidón de papa (73.8%) (Simsek & El, 2012; McCleary, McNally & Rossiter, 2002). Estas diferencias son influenciadas por la fuente botánica, el tamaño de gránulo (área superficial), el grado de cristalinidad, la longitud de las cadenas de amilopectina y en especial a las características de la superficie de los gránulos (You, Lim, Lee & Chung, 2014; Singh, Dartois & Kaur, 2010; Perez-Rea et al., 2013).

Normalmente el contenido de almidón resistente se relaciona con el contenido de fibra dietaria (0.130 ± 0.002% de fibra soluble y 0.755 ± 0.013% de fibra insoluble), sin embargo, en éste caso la muestra de almidón no se trató bajo las mismas condiciones, siendo la temperatura el principal factor responsable de dicha variación. Durante la determinación de fibra dietaria el almidón es sometido a 100°C, temperatura a la cual se daña la estructura cristalina de los gránulos (gelatinización) y las moléculas de agua se enlazan por puentes de hidrogeno a los grupo hidroxilo de la amilosa y la amilopectina, con un incremento en el hinchamiento de los gránulos de almidón, el cual facilita el ataque enzimático (Singh et al., 2010).

Considerando lo anterior, el almidón resistente del cormo se puede clasificar como de tipo II debido a que no es estable a temperatura de ebullición, lo que indica que dicho contenido puede ser afectado por las condiciones de procesamiento. Además el contenido de fibra dietaria detectado en el almidón puede indicar la presencia de almidón que resiste tanto a la dispersión por ebullición como a la digestión enzimática, que podría relacionarse con el AR de tipo III (Singh et al., 2010; Moore, 2013; Sajilata et al., 2006; Englyst et al., 2013; Moore, Chang & Jane, 2015).

De acuerdo a todo lo expuesto, el almidón del cormo se podría clasificar como almidón de lenta digestión, sin embargo, se debe considerar que el contenido de almidón resistente es un parámetro subjetivo, por lo que cualquier generalización o categorización del mismo se tiene que hacer con precaución, como lo indica Perera y sus colaboradores (2010) en su revisión exhaustiva de las diferentes metodologías para el análisis de almidón resistente.

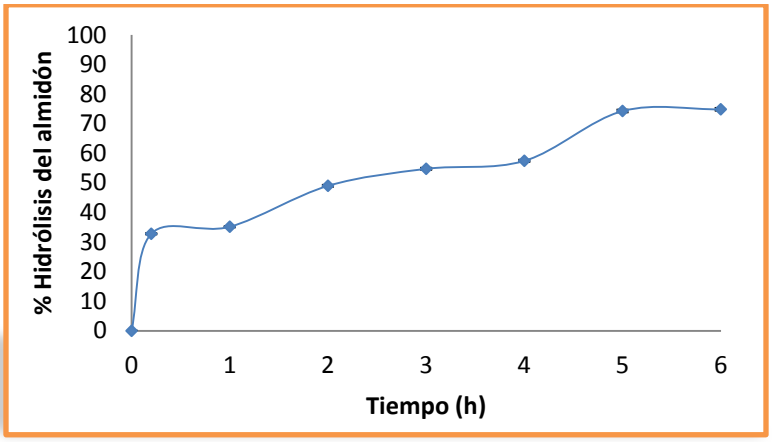



**Figura 18.** Porcentaje de hidrólisis enzimática del almidón del cormo de la yautía

### 5.2.4 Componentes antinutricionales

La determinación de los componentes antinutricionales en el almidón se realizó debido a que éstos pueden estar presentes en el planta del género *Xanthosoma* (Olajide, Akinsoyinu, Babayemi, Omojola, Abu & Afolabi, 2011; Sefa-Dedeh & Agyir-Sackey, 2004), no obstante, mediante los métodos realizados no se detectó la presencia de fitatos, taninos, ni saponinas. Sí se detectaron pequeñas cantidades de oxalato, que puede estar presentes en el interior de los granos de almidón o dentro del esqueleto del hileum sobre el cual se depositan capas de almidón (Osuji, 2013; Osuji & Ndukwu, 2005). El contenido de oxalato en el almidón del cormo fue de 0.36 a 0.78 mg/g (Tabla 6), siendo estos valores mayores a los del almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (0.021-0.024) (Ojinnaka, Akobundu & Iwe, 2009) y considerablemente menor con lo encontrado en el cultivar Nazareno (cormo y cormelo). Por otro lado, en el residuo (fibra del cormo) después del proceso de extracción del almidón quedaron atrapados la mayor cantidad de rafidios, lo cual favoreció a la disminución del contenido de oxalato en el almidón, como se observa en la micrografía de barrido electrónico

de la fibra (Figura 19b), así como también en la pulpa sin procesar (Figura 19.c), cuya forma de aguja puntiaguda corresponde con lo reportado por Crowther (2009) (Figura 19.d). En la Figura 19a, no se observan los rafidios en el almidón, debido a que estos se encuentran pulverizados.

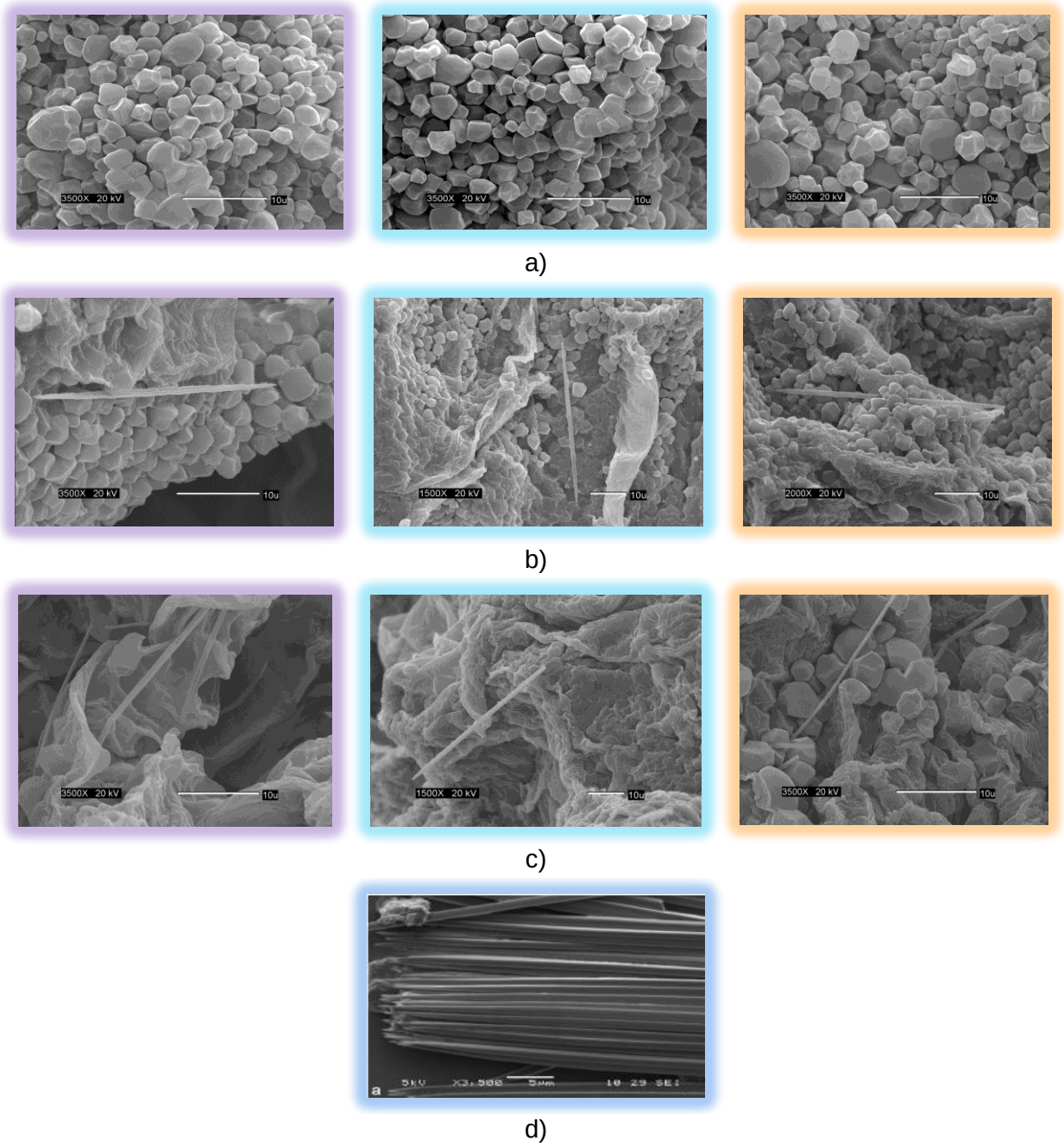



**Figura 19**. Micrografía Electrónica de Barrido de: a) gránulos de almidón, b) la fibra del cormo, c) la pulpa seca del cormo de la yautía de acuerdo a la sección apical, medio y distal (de izquierda a derecha), d) rafidios reportados por Crowther (2009).

**Tabla 6.** Contenido de oxalato en el almidón y la harina del cormo, y en el cormelo de la yautía del cultivar Nazareno

| Muestra | Sección | $[C_2O_4]^{2-}$ (mg/g) |
|---|---|---|
| Almidón del Cormo | Apical | 0.36 ±0.01[a] |
| | Medio | 0.38 ±0.01[a] |
| | Distal | 0.78 ±0.01[b] |
| Cormo | --- | 9.25 ±0.21[d] |
| Cormelo | --- | 2.42 ±0.21[c] |

Medias con un misma letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

Los valores están expresados como el promedio ± error estándar.

No obstante, el contenido de oxalato en el almidón es bajo y no representa un riesgo para la salud (Massey, 2007), motivo por el cual se midió el nivel de acritud mediante un análisis sensorial. Se solicitó la participación voluntaria de 64 panelistas, quienes detectaron una mínima acritud ($p< 0.05$), con una respuesta promedio de 0.30 ± 0.07 en la escala de 0 a 15 cm (0 = nada acritud y 15 = extremada acritud). A pesar de detectar ese nivel de acritud, ésta no se considera significativa ya que el 83% de los panelistas detecto cero acritud, es decir, no presentaron picor en la boca o garganta durante o después de haber probado el almidón cocido.

## 5.3 PROPIEDADES FÍSICO – QUÍMICAS DEL ALMIDÓN

Las micrografías electrónicas de barrio del almidón (Figura 19.a) también se emplearon para determinar la forma de los gránulos de almidón. En la figura se observa que la mayoría de los gránulos presentan formas elípticas (algunos con puntas truncadas) y poligonales con superficie lisa con ausencia de grietas y poros (Tabla 7), lo que indica que el proceso de extracción fue adecuado ya que no se causó daño a la integridad física de los gránulos, contrario a lo reportado por Juszczak, Fortuna y Krok (2003a) para los almidones de papa y yuca e incluso para almidones comerciales de cereales (maíz, trigo, avena) en los que se observaron algunas depresiones, poros y protuberancias en la superficie de los gránulos. Cabe resaltar que las depresiones y poros pueden estar presentes de forma natural, dependiendo de la fuente botánica (Juszczak et al., 2003b; Fannon, Hauber & BeMiller, 1992).

La forma de los gránulos de almidón no influye en sus propiedades funcionales, con excepción de la susceptibilidad enzimática que se ve afectada por el estado de la superficie del gránulo, pero si puede ser utilizado para la identificación de la fuente del almidón (Otegbayo et al., 2014; Fannon et al., 1992; Lindeboom, Chang & Tyler, 2004). En este caso, los gránulos del almidón del cormo son comparables con los almidones de maíz, yuca, arroz y del cormelo *Xanthosoma sagittifolium* (gránulos redondos, elipsoidales, truncados y poligonales), teniendo algunas diferencias con lo reportado para el de papa y trigo (gránulos redondos, lenticular y ovalados) (Lawal, 2004; Lauzon et al., 1995; Waterschoot et al., 2015; Vamadevan et al., 2015; Pérez et al., 2005; Mepba et al., 2009; Perez-Rea et al., 2013; Falade et al., 2013). Dichas diferencias se atribuyen principalmente a la fisiología de la planta, pero también pueden ser afectada por las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas (Wani et al., 2012).

**Tabla 7.** Tamaño y forma de los gránulos de almidón extraídos del cormo de la yautía

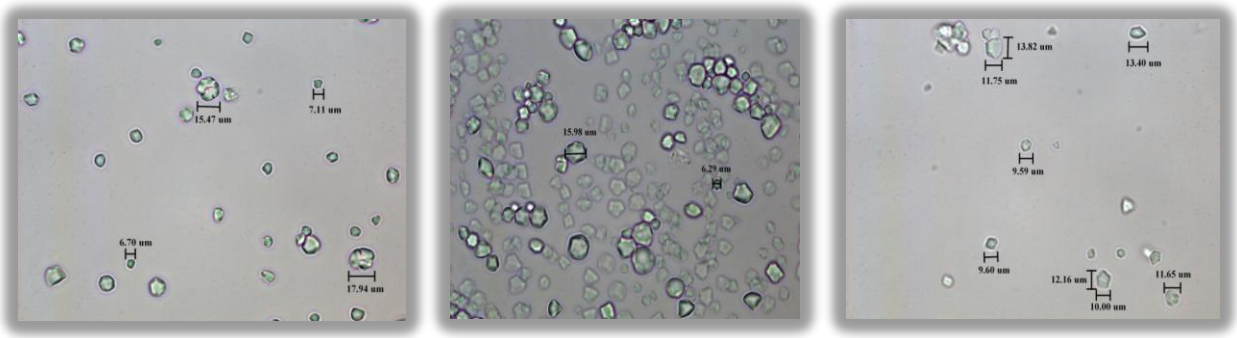
| **Almidón** | **Tamaño** | | | **Forma** |
|---|---|---|---|---|
| | Promedio (µm) | Intervalo (µm) | Categoría | |
| Apical | 11.88 ±0.66ª | 6.70 a 20.10 | Medianos y Pequeños | Elípticos (algunos con puntas truncadas) y poligonales |
| Medio | 11.83 ±0.66ª | 6.29 a 15.46 | | |
| Distal | 12.14 ±0.66ª | 9.18 a 16.80 | | |

Los valores están expresados como el promedio ± error estándar. Medias con un misma letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

En la Tabla 7 se muestra el tamaño promedio de los gránulos de almidón obtenidos mediante la micrografía de luz (Figura 20). Estos varían dentro de un intervalo siguiendo la siguiente distribución de tamaño. Para la sección apical, el 40% de gránulos en el tamaño de 6.7 a 10µm y 60% en el tamaño de 10 a 20.1µm. Para el medio, el 20% de los gránulos de 6.3 a 10µm y 80% en el tamaño de 10 a 15.5µm. Para la distal, el 20% de gránulos en tamaño de 9.2 a 10µm y 80% en el tamaño de 10 a 16.8µm. De acuerdo con lo indicado por Lindeboom y sus colaboradores (2004) los gránulos almidón del cormo se pueden categorizar como de tamaño mediano (valor predominante) y pequeño. Los mismo son comparables, aunque con algunas diferencias, con los del almidón del cormelo *Xanthosoma sagittifolium* (1 a 14.2 µm e incluso hasta los 40 µm) y con los almidones de maíz (2 a 30 µm y 13 de promedio), yuca (3 a

45 µm y 11 de promedio), arroz (3 a 8 µm y 2 de promedio) y papa (5 a 110 µm y 29 de promedio) (Lawal, 2004; Pérez et al., 2005; Lauzon et al., 1995; Mepba et al., 2009; Perez-Rea et al., 2013; Waterschoot et al., 2015; Vamadevan et al., 2015).

Al igual que en la forma de los gránulos, las diferencias en tamaño se atribuyen principalmente a la fisiología de la planta, pero también pueden ser afectadas por las condiciones climáticas y las prácticas agronómicas (Wani et al., 2012; Lindeboom et al., 2004; Bogucka, 2014). Es importante considerar que el tamaño de los gránulos de almidón puede influir en sus propiedades funcionales, como la temperatura de gelatinización, la viscosidad, el poder de solubilidad y de hinchamiento, incluso en su susceptibilidad enzimática (Wani et al., 2012; Otegbayo et al., 2014; Lindeboom et al., 2004).




a) b) c)

**Figura 20.** Micrografía de luz de los gránulos de almidón extraído del cormo de la yautía, a) Apical, b) Medio y c) Distal.

Los gránulos del almidón de las tres secciones del cormo, al ser observados en el microscopio de luz polarizada, presentaron la cruz de malta (Figura 21), evidenciado por el fenómeno de birrefringencia que presentan los gránulos de almidón. Esto indica la integridad estructural (disposición espacial y ordenada de las moléculas) de los gránulos del almidón analizado, comportamiento que es comparable con el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (Pérez et al., 2005; Perez-Rea et al., 2013; Muñoz, 2012; Caraballo, 2011).

a) b) c)

**Figura 21.** Micrografía de luz polarizada de los gránulos de almidón extraídos del cormo de la yautía, a) Apical, b) Medio y c) Distal.

En la Tabla 8 se muestra los valores de pH obtenidos en los almidones extraídos de las tres secciones del cormo (6.80 en apical, 7.28 en medio y 7.26 en distal), los cuales están cerca de la neutralidad. Esto da un indicio de la estabilidad del almidón durante el proceso de gelificación (calentamiento) en los que se puede dar la degradación parcial del almidón con la producción de dextrinas (mecanismo de conversión que involucra procesos de ruptura hidrolítica, reorganización de moléculas y repolimerización) (Velasco, Luna, Mera & Villada, 2008). Dicha estabilidad del almidón del cormo se puede comparar con la del almidón de *Xanthosoma sagittifolium* (pH entre 4.95 - 5.3), *Manihot esculenta* (pH de 6.56) y de *Colocasia esculenta* (pH entre 4.76 – 5.05) (Falade et al. 2013; Nwokocha, Aviara, Senan & Williams, 2009).

En la misma Tabla se muestran los parámetros empleados para calcular los índices de color de cada uno de los almidones extraídos del como, los cuales se determinaron como un atributo físico importante que se relaciona con la calidad de los almidones. Los índices de color de las muestras analizadas son estadísticamente diferentes entre los almidones de las tres secciones del cormo, considerándose los índices de blancura como valores altos al compararse con el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (76.85 a 93.50), de *Colocasia esculenta* (78.96), del ñame (93.14), de la yuca (95.9 a 97.4) y el de la batata (94.98); lo cual se correlaciona con los bajos valores de los índices de pardeamiento los cuales aumentan con la presencia de compuestos colorados entre tonalidades de marrón a rojo que se producen durante las reacciones de pardeamiento del almidón (Falade et al., 2013; Muñoz, 2012; García, Pinzón & Sánchez, 2013; Caraballo, 2011).

Estos resultados permiten determinar que el proceso empleado para la extracción del almidón del cormo de la yautía fue eficiente, obteniéndose un almidón de buena calidad (en términos de apariencia) por lo que puede ser ampliamente utilizado para aplicaciones industriales y para la alimentación.

**Tabla 8.** Parámetros e índices de color y pH del almidón del cormo de la yautía

| **Parámetro** | **Almidón** | | |
|---|---|---|---|
| | Apical | Medio | Distal |
| **pH** | 6.80 ±0.01[a] | 7.28 ±0.01[b] | 7.26 ±0.01[b] |
| L* | 98.76 ±0.02[a] | 97.49 ±0.02[b] | 98.58 ±0.02[c] |
| a* | 0.33 ±3.4x10$^{-3}$[b] | 0.36 ±3.4x10$^{-3}$[a] | 0.36 ±3.4x10$^{-3}$[a] |
| b* | 1.90 ±0.01[a] | 2.83 ±0.01[b] | 2.05 ±0.01[c] |
| **IP** | 1.24 ±0.02[a] | 2.52 ±0.02[b] | 1.42 ±0.02[c] |
| **IB** | 97.71 ±0.02[a] | 96.19 ±0.02[b] | 97.48 ±0.02[c] |

Medias con un misma letra común y en una misma fila no son significativamente diferentes ($p>0.05$). Los valores están expresados como el promedio ± error estándar
L: parámetro de luminosidad, a: parámetro para colores rojo y verde,
b: parámetro para colores amarillo y azul. IP: Índice de pardeamiento,
IB: Índice de blanco.

## 5.4 PROPIEDADES FUNCIONALES DEL ALMIDÓN

La importancia fundamental de los almidones está en sus características funcionales para fines alimenticios, incluyendo las aplicaciones industriales relacionadas con la capacidad que tiene para formar pastas con características deseables (claridad y estabilidad a procesos de refrigeración o congelación) y para presentar comportamientos adecuados de solubilidad e hinchamiento durante los procesos de calentamiento.

El comportamiento de la claridad de la pasta de almidón de las tres secciones del cormo a diferentes temperaturas, se muestra en la Figura 22a, el cual describe una tendencia creciente a medida que se aumenta la temperatura, lo que indica que se obtendrán pastas más claras y menos opacas al tratar el almidón a una temperatura más alta. Los valores de transmitancia obtenidos a 100°C indican que hay diferencia significativa entre la claridad de las pastas del

almidón de las tres secciones del cormo, siendo mayor en la parte distal (9.13%T) e igual en la parte apical y en el medio (8.08 y 7.98% T, respectivamente). Este comportamiento es contrario a lo que se debería esperar considerando el mayor contenido de amilosa en el almidón distal, lo cual se podría atribuir al menor contenido de proteína y posiblemente a una mayor cantidad de ramificaciones en la amilopectina que facilitan el hinchamiento del gránulo (Hwang & Kokini, 1992; Lindeboom et al., 2004; Craig et al., 1989).

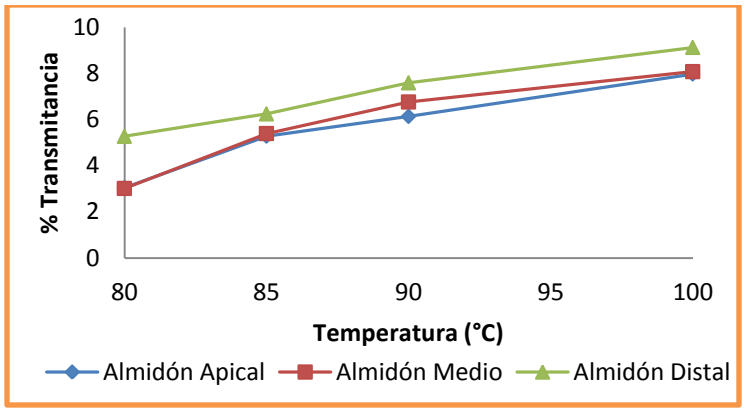
Los valores de claridad de las pastas obtenidos en los almidones del cormo, aunque son considerados bajos, son mayores que los del almidón de maíz (1.27%), menores al del almidón de yuca (15.04%) y comparables con el almidón del *Xanthosoma yucatanensis* (10.9%) (López, 2011; Hernández-Medina et al., 2008). Los bajos valores de transmitancia de las pastas del almidón se pueden atribuir a los fenómenos de refracción (a causa de gránulos hinchados remanentes) y reflexión de la luz (asociación de las moléculas de almidón que tienen una conformación colapsada), los cuales se relacionan con la dificultad de los gránulos para dispersarse y con la presencia de moléculas poco susceptibles a la retrogradación (Craig et al., 1989; López, 2011). Dicho comportamiento depende del origen botánico del almidón y podría estar influenciado por el arreglo físico de las moléculas de amilosa y amilopectina dentro del gránulo de almidón, el grado de polimerización, la cantidad de ramificaciones de las cadenas y la variación de la distribución del tamaño de los gránulos (puede estar relacionado con la presencia de gránulos hinchados remanentes en el gel) (López, 2011; Craig et al., 1989, Moorthy, 2002).

La solubilidad y el poder de hinchamiento del almidón del cormo fueron evaluadas en un rango de temperatura de 60 a 100°C (Figuras 22b y c, respectivamente). Se observa que las dos presentan un comportamiento creciente a medida que aumenta la temperatura, con un marcado aumento a los 70°C. Este aumento se debe a que la temperatura está cercana al punto de gelatinización donde los gránulos se hinchan considerablemente debido a que adsorben agua de manera irreversible. Esto facilita la lixiviación y disolución de moléculas pequeñas de amilosa, por lo que a solubilidad aumenta (Vaclavik el al., 2002; Mondragon, 2008; Álvarez, 2014; Hoover, 2001). Este comportamiento concuerda con el del almidón del cormelo de Xanthosoma sagittifolium (Mepba et al., 2009; Lauzon et al., 1995).

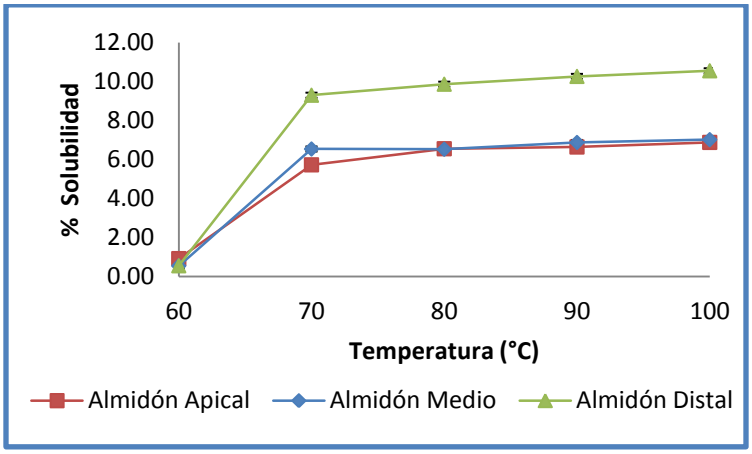
En las Figuras 22b y c, se observa que el almidón distal es quien presenta mayor solubilidad (10.26 ±0.10% a 90°C) y poder de hinchamiento (14.96 ± 0.16 g agua/g almidón a

90°C), sin embargo, en el caso de éste último, no se esperaba que fuera mayor en la parte distal debido a su contenido de amilosa (Hernández-Medina et al., 2008). Dicho comportamiento, según la literatura se podría atribuir a la combinación de múltiples factores como: menor contenido de proteína, mayor contenido de amilosa de bajo peso molecular que se puede solubilizar y mayor cantidad de ramificaciones en la amilopectina que facilitan la absorción de agua (Pomeranz, 2012; Hwang et al., 1992; Lindeboom et al., 2004; Zhu, 2015; Shimelis, Meaza & Rakshit, 2006; Liu, 2005).

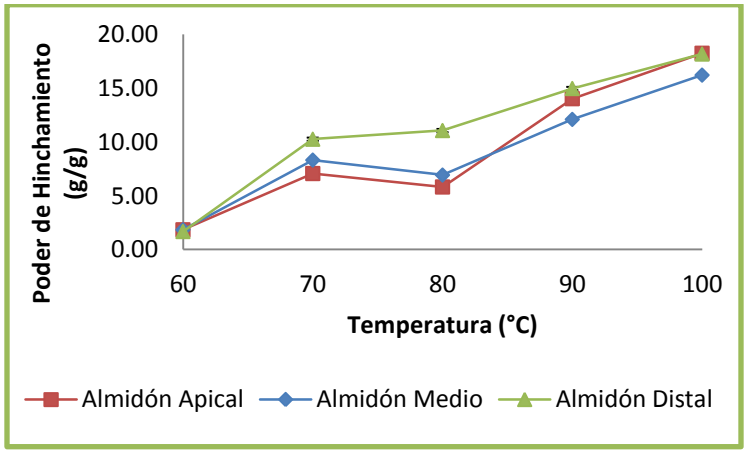
Los valores promedio de solubilidad (7.92 ± 0.10%) y poder de hinchamiento (13.69 ± 0.16 g de agua/g almidón) obtenidos para el almidón del cormo a 90°C, están dentro del rango reportado para el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (solubilidad 5.18 a 19.3%, poder de hinchamiento 8.45 a 35 g/g), pero son considerados bajos con respecto a los almidones de la papa (a 95°C, solubilidad 82%, poder de hinchamiento 82 g/g), yuca (a 95°C, solubilidad 51%, poder de hinchamiento 26 g/g) y maíz (a 95°C, poder de hinchamiento entre 20 a 25 g/g) (Oluwamukomi & Akinsola, 2015; Falade et al., 2013; Mepba et al., 2009; Lauzon et al., 1995; Moorthy, 2002; Hoover, 2001; Acosta & Blanco, 2013). Dichas diferencias evidencian la magnitud de las interacciones entre las cadenas de almidón (enlaces no covalentes entre las moléculas), las cuales están influenciadas por la fuente biológica, por el tamaño del gránulo, el arreglo físico de las moléculas de amilosa y amilopectina dentro del gránulo, por la cantidad de ramificaciones de las cadenas de amilopectina. Además son influenciados negativamente por el contenido de amilosa, lípidos, proteínas debido a que actúan como inhibidores del hinchamiento, y por la longitud de las cadenas de amilopectina. Las cadenas cortas tienen un efecto en la desestabilización de la estructura del gránulo mientras que las cadenas largas ayudan a la formación de una red cristalina fuerte dentro del gránulo de almidón (Oluwamukomi et al., 2015; Riley, Wheatley & Asemota, 2006; Lindeboom et al., 2004; Hwang et al., 1992; Mepba et al., 2009; Alvis et al., 2008; Moorthy, 2002; Hoover, 2001; Singh, Singh, Isono, Noda & Singh, 2009; Patindol, Wang & Jane, 2005; Tester et al., 1990).




a)




b)




c)

**Figura 22**. Propiedades funcionales del almidón del cormo: a) claridad de la pasta, b) solubilidad y c) poder de hinchamiento.

En la Figura 23 se muestra el comportamiento de la estabilidad de la pasta de almidón sometido al proceso de refrigeración y congelación. Se observa que se afectó la dureza,

gomosidad y masticabilidad de las pastas, mientras que la cohesividad y elasticidad variaron significativamente durante la congelación.

La cohesividad indica la capacidad de las pastas a deformarse sin romperse, por lo que ésta es una medida que representa la fuerza con la que están unidas las moléculas de almidón (González, Alvis & Arrázola, 2015). La elasticidad indica la habilidad de la muestra para recuperar su forma original. Los valores de cohesividad fueron menores que los reportados para las pastas de almidón de maíz y yuca, mientras que los de elasticidad fueron mayores (López, 2011; Liu, 2005). En las condiciones de refrigeración, la dureza de las pastas aumentó progresivamente hasta el día 11, en el cual no hay diferencia con el día 12 de almacenamiento en congelación. Estos cambios en la dureza de las pastas (influenciado por el origen botánico del almidón) se atribuye al aumento de la rigidez debido a la retrogradación de la amilosa y la amilopectina. En el caso del almidón de maíz se ha reportado que se atribuye a la presencia de gránulos remanentes de almidón que refuerzan la red de amilosa (López, 2011). La gomosidad y la masticabilidad en las pastas también aumentaron progresivamente, siendo considerablemente mayor cuando éstas son almacenadas en condiciones de congelación. Estos dos parámetros se relacionan con el aumento de la energía requerida para masticar y desintegrar la pasta de almidón para que ésta pueda ser tragada, cuyos valores son considerablemente mayores a los reportados para pasta de almidón de maíz y yuca (López, 2011). Dichas diferencias también se relacionan con los factores que influyen en la dureza de las pastas.

Además se observó que hay diferencias significativas entre las secciones del cormo en la masticabilidad, la elasticidad y la dureza, siendo éstas mayor en la parte distal, lo cual se correlaciona con su mayor contenido de amilosa y posiblemente con una mayor cantidad de cadenas largas de amilopectina (Sandhu & Singh, 2007; Liu, 2005; Bello-Perez, Contreras-Ramos, Romero-Manilla, Solorza-Feria y Jimenez-Aparicio, 2002). Cabe resaltar que durante los primeros 6 días de refrigeración la pasta del almidón distal no presentó cambios en las propiedades mecánicas de dureza, gomosidad y masticabilidad, lo que indica que éste almidón es estable a dichas condiciones de almacenamiento. Estabilidad que se puede atribuir al menor contenido de amilopectina, quien es la principal responsable del proceso de retrogradación bajo condiciones prolongadas de almacenamiento (Liu, 2005).

El seguimiento de las propiedades texturales se realizó como una medida para

determinar el comportamiento de la estabilidad de la pasta de almidón cuando éste fue sometido al proceso de refrigeración y congelación. Sin embargo, también existen otros métodos para la evaluación de dicha estabilidad (calorimetría diferencial de barrido y grado de sinéresis) (López, 2011). En este caso se realizó la determinación del porcentaje de sinéresis en la pasta de almidón (Figura 23d) durante 12 días en refrigeración y en congelación, en la cual se obtuvieron valores de 2.97 ± 0.02% y 3.04 ± 0.01%, respectivamente. Dichos valores son considerados bajos con respecto a los reportados para pastas de almidón de *Xanthosoma yucatanensis* (18.6% a 4°C y 21.73% a -10°C), de maíz (40.09% a 4°C) y comparables con el de yuca (4.07% a 4°C y 3.2% a -10°C) (Hernández-Medina et al., 2008; López, 2011).

En la Figura 23d, también se observa una tendencia creciente en el grado se sinéresis a medida que aumenta el tiempo de almacenamiento, comportamiento que ocurre como parte de la re-asociación de amilosa y amilopectina mediante la formación de puentes de hidrógeno entre las moléculas adyacentes, dando lugar a la lixiviación de moléculas de agua (Hoover, 2001; Hernández-Medina et al., 2008). Sin embargo, los porcentajes de sinéresis son considerados bajos, lo que permite indicar que el almidón del cormo, puede presentar una alta estabilidad durante los procesos de almacenamiento. Cabe destacar que los valores más bajos de sinéresis se obtuvieron durante los primeros 6 días de refrigeración de las pastas, resultado que se relaciona con la estabilidad de la pasta de almidón de acuerdo a sus propiedades texturales.

Adicionalmente a la presencia de agua sobre el gel durante el almacenamiento (refrigeración y congelamiento), en las pastas congeladas se observó una textura tipo esponja comportamiento similar al reportado para pastas de almidón de maíz y yuca (López, 2011). Estos cambios ocurridos en la pasta del almidón del cormo dan un indicio del proceso normal de retrogradación de los almidones, por lo que cabe destacar que los cambios observados en la textura del gel almacenado en congelación se deben principalmente al proceso de crecimiento y disolución de los cristales de hielo. Estos afectan la estructura de la pasta de almidón debido a la redistribución de las pastas (Fairlie, Bermúdez & Holle, 1999; Hernández-Medina et al., 2008).

Considerando lo anterior, el almidón del cormo puede ser empleado en formulaciones de alimentos que requieran ser almacenados en condiciones de refrigeración hasta por 6 días. Sin embargo, la estabilidad de las pastas se puede mejorar mediante modificaciones químicas

del almidón y que tengan como finalidad limitar las interacciones de las cadenas, reduciendo así el proceso de retrogradación (López, 2011; Saartrat, Puttanlek, Rungsardthong & Uttapap, 2005; Carrascal, 2013).

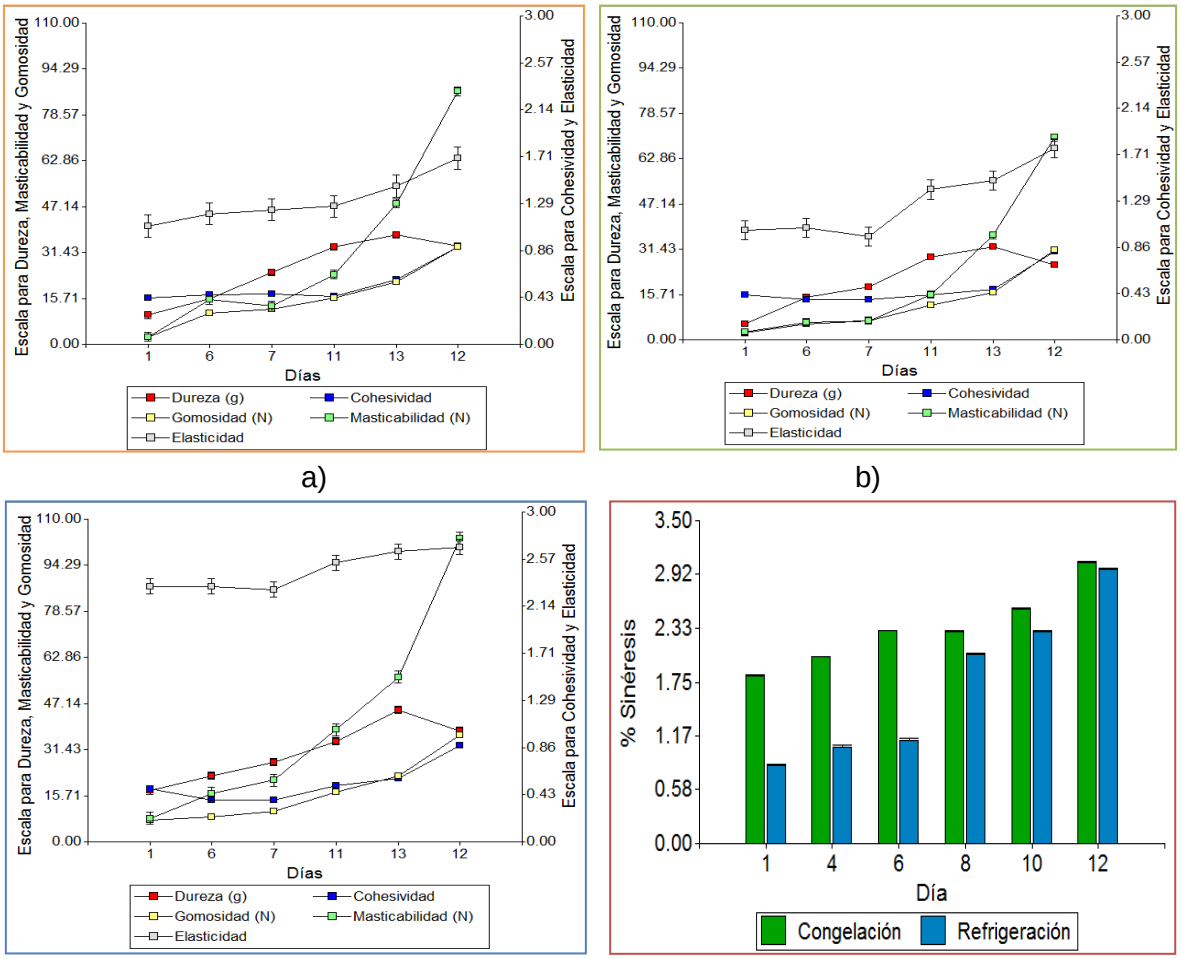



**Figura 23.** Estabilidad bajo condiciones de refrigeración y congelación de la pasta de almidón a) apical, b) medio, c) distal y d) mezcla de almidón de las tres secciones del cormo.

En la Figura 24 se observa el perfil amilográfico del almidón extraído de cada una de las secciones del cormo, que se emplearon para obtener las propiedades de empastamiento de dichos almidones (Tabla 9). Entre ellas está la temperatura en la cual empieza a ocurrir el proceso de gelatinización (apical a 78.8 ±0.3, medio a 76.5 ±0.3 y distal 75.6 ±0.3°C). Estas temperaturas están dentro de las reportadas para el almidón del cormo de *Xanthosoma sagittifolium* (72.6 - 95°C) (Pérez, Breene & Bahnassey, 1998; Pérez et al., 2005; Falade et al., 2013; Lawal, 2004; Mepba et al., 2009; Lauzon et al, 1995; You, Oh, Kim, & Chung, 2015),

siendo comparable con el almidón comercial de maíz (70.8 a 76.7°C), mayores al de papa y la yuca (63.8 a 65.6 °C y 65.23 a 70.22°C, respectivamente) y menores al de trigo y el arroz (85 a 85.5°C y 89.2°C, respectivamente)[17] (Liu, 2005; Li et al., 2014; Raphael, Yona, Stephe, Ephraim, Patrick, Settumba & Samuel, 2011). Dichas diferencias en temperatura pueden ser atribuidas al tamaño del gránulo, la composición del almidón (proteínas, lípidos, amilosa/amilopectina), la distribución y estructura de las cadenas de amilopectina (Zhou et al., 1998; Espinosa, 2009; Hoover, 2001).

La temperatura de gelatinización entre las secciones del cormo mostró ser significativamente diferente, siendo mayor en la parte apical. Dicho comportamiento se compara con el presentado por el almidón de *Colocasia* spp. y *Xanthosoma* spp. Según Falade y colaboradores (2013) éste se podría atribuir al menor tamaño del gránulo del almidón de *Colocasia*, quien presenta mayor temperatura de gelatinización. Este comportamiento se relaciona con la mayor resistencia a la ruptura del gránulo y a la pérdida de su orden molecular (Dreher, Tinsley, Scheerens, & Berry, 1983). En adición, el mayor contenido de proteína en el almidón de la parte apical y media podría tener un gran efecto negativo en la temperatura de gelatinización. Estas interactúan con el almidón (mediante atracción de cargas opuestas) formando complejos sobre la superficie del gránulo (almidón-proteína), lo que dificulta la lixiviación de moléculas y, por ende, interfiere con la viscosidad (Pomeranz, 2012).

**Tabla 9.** Propiedades de empastamiento del almidón de las tres secciones del cormo

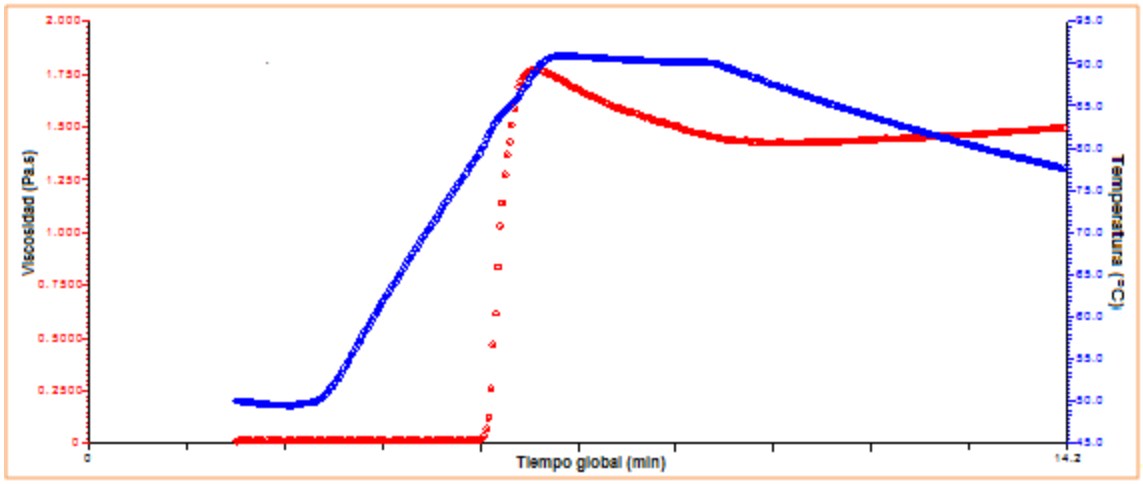
| **Parámetro** | **Almidón** | | |
|---|---|---|---|
| | Apical | Medio | Distal |
| Temperatura de gelatinización (°C) | 78.8 ±0.3[b] | 76.5 ±0.3[a] | 75.6 ±0.3[a] |
| Pico de viscosidad (RVU) | 170.23 ±2.82[b] | 125.87 ±2.82[a] | 149.73 ±2.82[a] |
| Viscosidad mínima (RVU) | 136.77 ±3.09[b] | 124.27 ±3.09[ab] | 119.0 ±3.09[a] |
| Viscosidad final (RVU) | 153.30 ±3.10[b] | 133.23 ±3.10[a] | 126.03 ±3.10[a] |
| Breakdown (RVU) * | 33.47 ±0.93[b] | 28.60 ±0.93[a] | 30.73 ±0.93[ab] |
| *Setback* (RVU) ** | 16.93 ±0.69[a] | 19.63 ±0.69[a] | 23.70 ±0.69[b] |

**Breakdown*: Pico de viscosidad – viscosidad mínima, ***Setback*: Viscosidad final – pico de viscosidad.

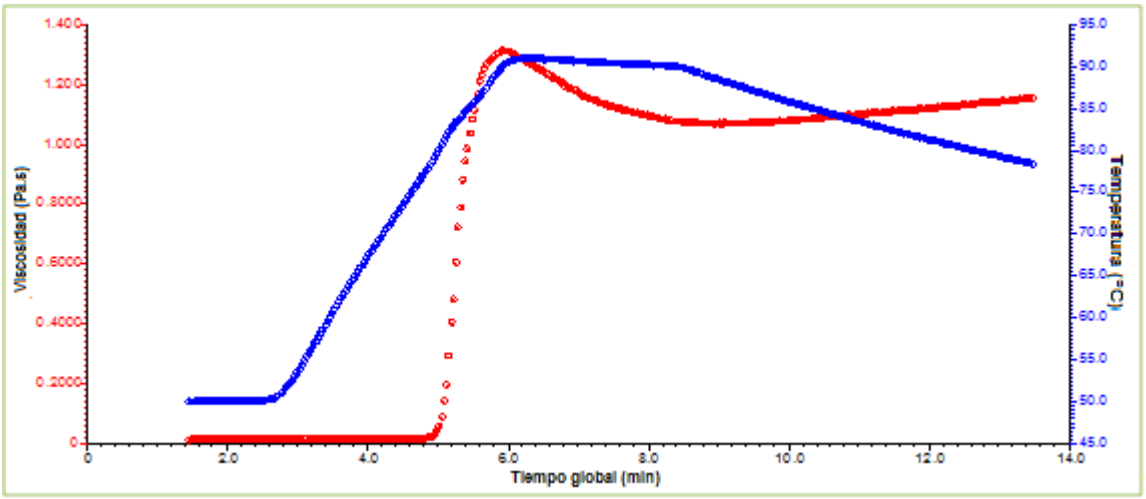
A modo de comparación, unidad viscosidad: 1 RVU = 0.01 Pa.s, 720 BU = 170 RVU, 1 Pa.s = 1000 cP

Medias con un misma letra común y en una misma fila no son significativamente diferentes (p>0.05). Los valores están expresados como el promedio ± error estándar.

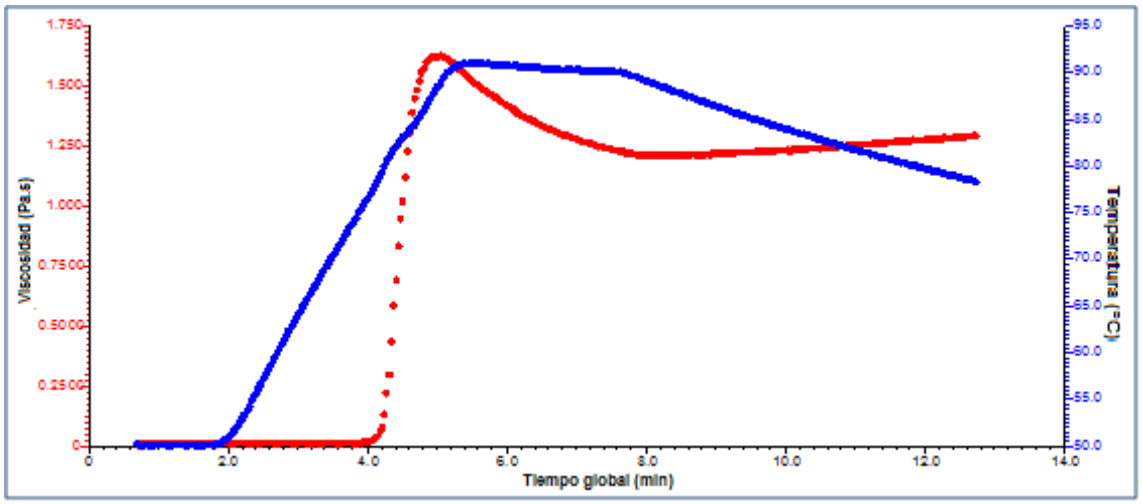
[17] http://www.roquette-food.com/wheat-starch-gelling-pastry-sauces-salting-water-retention/#




a)




b)




c)

**Figura 24**. Curva de empastamiento del almidón del cormo de la sección, a) apical, b) medio y c) distal.

El pico de viscosidad máxima del almidón está entre 149.73 y 170.23 RVU, la cual se alcanza en el momento que se da un equilibrio entre el máximo hinchamiento de los gránulos y el "b*reakdown*". Este término hace referencia a la disminución de la viscosidad provocada por el rompimiento de algunos gránulos de almidón (Falade et al., 2013). Dicho rango de viscosidad está dentro de los reportados para el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (88.3 a 481.7 RVU), siendo menores a los almidones comerciales (maíz normal 170.8-297.4 RVU, papa 552.3 RVU, yuca 224.9-285.2 RVU, trigo 249.9 RVU y arroz 200.0 RVU) (Pérez et al., 1998; Pérez et al., 2005; Falade et al., 2013; Lu et al., 2005; Lawal, 2004; Mepba et al., 2009; Liu, 2005; Raphael et al., 2011). Dicho comportamiento se podría atribuir a un mayor contenido de cadenas largas de amilopectina en el almidón del cormo, las cuales restringirían el poder de hinchamiento, por lo que se obtendría un bajo pico de viscosidad. Este comportamiento fue observado en los almidones de arroz y manzana (Park, Kim, Chung & Shoemaker, 2013; Stevenson, Domoto & Jane, 2006).

El *breakdown*, es una medida de la resistencia al calor y al cizallamiento que presentan los gránulos hinchados de almidón (Falade et al., 2013) y se determina por la disminución de la viscosidad de la pasta (Figura 23). De acuerdo a esto, se observa que hay una diferencia significativa entre el almidón de las tres secciones del cormo, apical 33.47 RVU, distal 30.73 y medio 28.60 RVU. Dichos valores son comparables con los del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (12.6 a 133.29 RVU) y menores a los indicados para almidones comerciales de papa (138.5 RVU), yuca (73.2 – 157.4 RVU) y maíz (34.2 - 42.7 RVU) (Falade et al., 2013; Lu et al., 2005; Lawal, 2004; Mepba et al., 2009; Raphael et al., 2011; Li et al., 2014). Esto permite indicar que los valores de *breakdown* del almidón del cormo son bajos, por lo que presenta una alta estabilidad durante los procesos de calentamiento. Dicho comportamiento se podría relacionar con la presencia de cadenas largas de amilopectina, las cuales proporcionarían interacciones fuertes que mantienen la integridad de los gránulos hinchados al continuar el calentamiento (Ketthaisong, Suriharn, Tangwongchai & Lertrat, 2014; Espinosa, 2009; Han & Hamaker, 2001; Patindol et al., 2005; Singh et al., 2009).

Mientras tanto la viscosidad de *setback*, indica la tendencia del almidón a retrogradarse por la disminución de la temperatura, proceso en el cual se da la reorganización de las moléculas, principalmente las de amilosa (Falade et al., 2013; Lawal, 2004; Hoover, 2001), lo que conlleva finalmente a un incremento de la viscosidad de la pasta. En el caso del almidón del cormo (Tabla 10), se observa que hay una mayor tendencia a la retrogradación en el

almidón distal, quien presentó mayor *setback* (23.70 RVU) con respecto al almidón de la parte apical (16.90 RVU) y media (19.63 RVU). Esto se puede atribuir a su mayor contenido de amilosa y posiblemente a la mayor cantidad de cadenas largas de amilopectina (Espinosa, 2009). Aun así, dicha tendencia es menor a la presentada en el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (44.86 a 130.46 RVU) y en los almidones comerciales (maíz normal 35.4 - 130.8 RVU, papa 48.0 – 95.0 RVU, yuca 41.3 – 78.9 RVU, trigo 26.3 - 130.2 RVU y arroz 76.7 RVU) (Falade et al., 2013¸ Lu et al., 2005; Pérez et al., 2005; Lawal, 2004; Liu, 2005; Raphael et al., 2011; Li et al., 2014). Esto indica que no sólo el contenido de amilosa/amilopectina contribuye este proceso, sino que también es afectado por la estructura y distribución de las cadenas de amilopectina (Stevenson et al,. 2006; Espinosa, 2009; Alvis et al., 2008).

La viscosidad final indica la habilidad del almidón a formar una pasta (Sandhu et al., 2007). En el caso del almidón del cormo éste valor fue de 153.3 RVU en la parte apical, 133.23 RVU en la media y 126.03 RVU en la parte distal; valores que están dentro de lo indicado para el almidón del cormelo de *Xanthosoma sagittifolium* (115.69 a 327.42 RVU) y menores a los almidones comerciales de maíz normal (157.6 - 315.7 RVU), papa (235.2 RVU), trigo (327.2 RVU) y arroz (200.0 RVU), pudiendo ser equiparables con el de yuca (143.7 – 247.8 RVU) (Falade et al., 2013; Lu et al., 2005; Pérez et al., 2005; Lawal, 2004; Liu, 2005; Raphael et al., 2011). La variación en los valores de viscosidad final se atribuye principalmente al contenido de amilosa, siendo influenciado también por la estructura y distribución de las cadenas de amilopectina (Oke et al., 2011). La viscosidad final del almidón del cormo se podría considerar baja, por lo que puede ser ampliamente usado para la elaboración de empaques debido a su buena capacidad de formación de película (Moorthy, 2002); comportamiento que concuerda con lo reportado para el almidón comercial de yuca (Raphael et a., 2011).

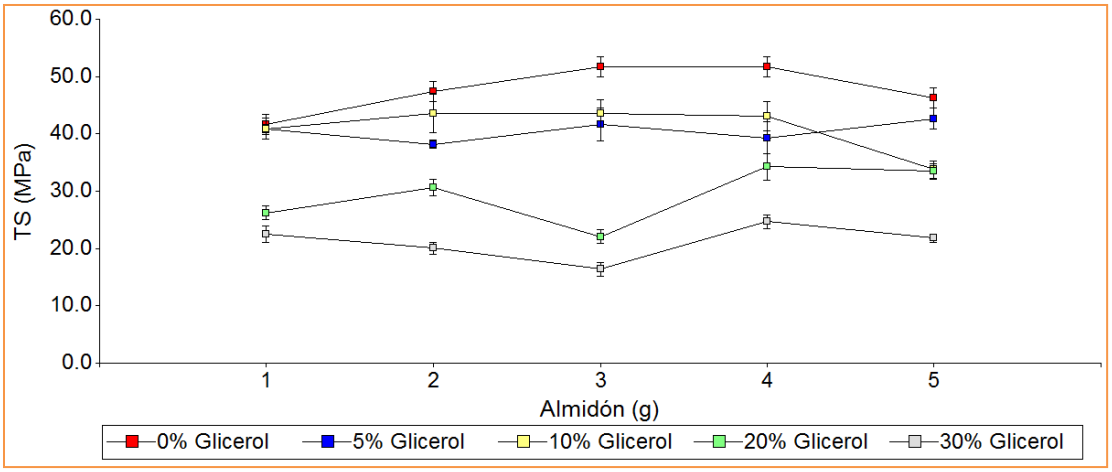
De acuerdo a lo indicado anteriormente, a una temperatura relativamente alta el almidón del cormo es capaz de formar pastas de baja viscosidad pero estables tanto a procesos de cocción y de enfriamiento, presentando un bajo grado de retrogradación. Incluso el almidón puede ser incorporado a productos que necesiten ser almacenados en refrigeración de hasta por 6 días, sin que se observe cambios significativos en la textura de la pasta.

## 5.5 LAMINAS COMESTIBLES ELABORADAS CON EL ALMIDÓN DEL CORMO

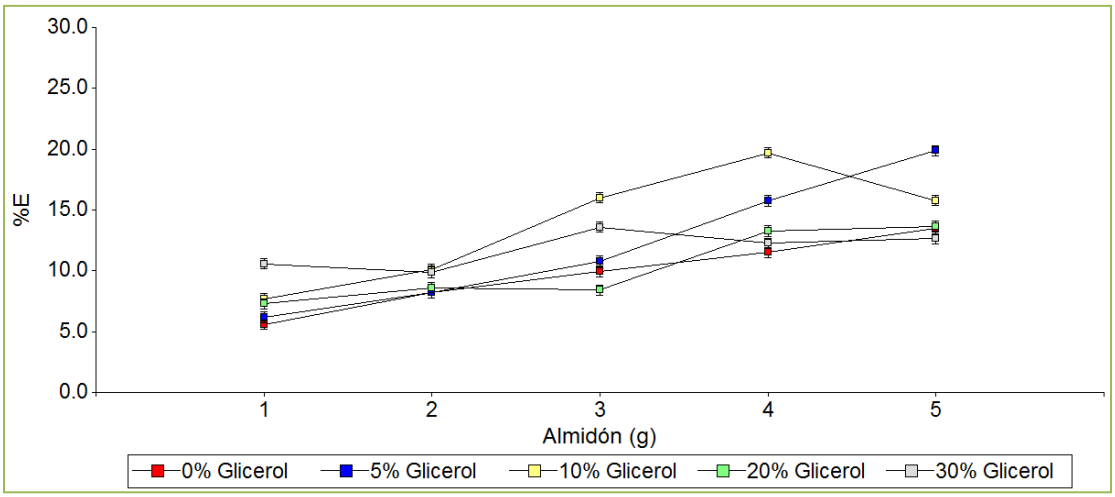
Las láminas comestibles a base de almidón del cormo se elaboraron siguiendo el diseño factorial 5x5, el cual fue planteado con el fin de determinar el efecto de la concentración de almidón (1, 2, 3, 4 y 5 g) y del plastificante (0, 5, 10, 20 y 30% glicerol con respecto a la cantidad de almidón) en la permeabilidad al vapor de agua y a las propiedades mecánicas de las láminas, las cuales son primordiales para determinar su posible uso como material de empaque (Alanis, 2013; Zamudio, 2009; Sirausa, 2012; Smith & Hui, 2008).

Mediante el análisis estadístico del diseño factorial, se encontró que hay interacción entre la cantidad de almidón y de plastificante, de modo que los dos tienen un efecto combinado en las propiedades evaluadas de la lámina. De acuerdo a la Figura 25, se observa que las líneas de interacción están cruzadas, lo que indica que dicha interacción es desordenada y por tanto, se debe evaluar la permeabilidad al vapor de agua, la fuerza tensil y la elongación considerando todos los factores (almidón y glicerol).

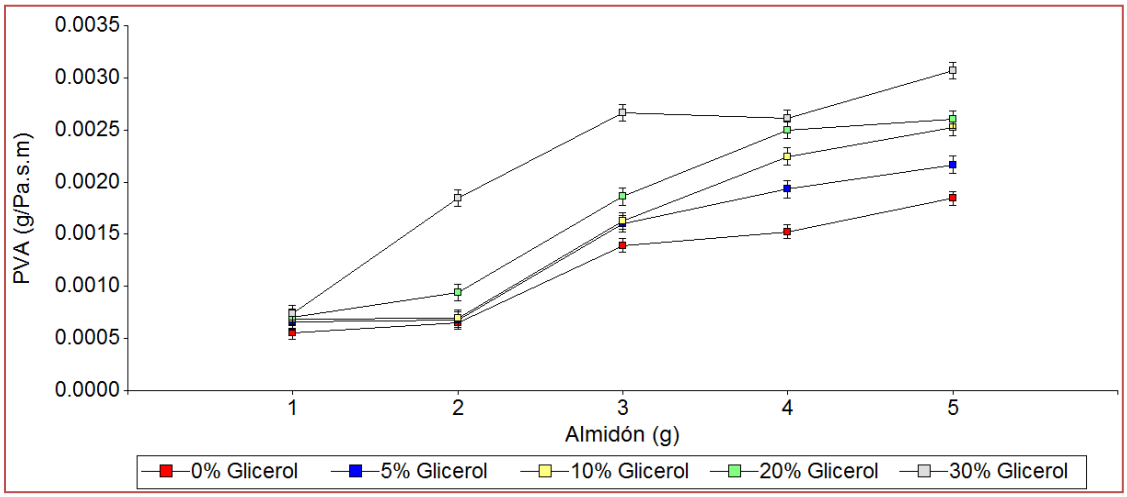
En la Figura 25a, se observa que la menor fuerza tensil fue obtenida con las concentraciones más altas de glicerol, siendo considerablemente menor para la lámina elaborada con 3g de almidón del cormo y 30% de glicerol (16.42 ± 1.79 MPa). En la Figura 25b, se obtiene que el mayor porcentaje de elongación (19.87 ± 0.42%) se da para la lámina elaborada con 5g de almidón y 5% de glicerol, mientras que en la Figura 25c se muestra que la menor permeabilidad al vapor de agua es obtenida con la lámina de 1% de almidón y 0% de glicerol ($5.6 \times 10^{-4} \pm 6.9 \times 10^{-5}$ g/Pa.s.m). Al comparar dichos resultados con los reportados para las láminas de almidones de *Xathosomas sagittifolium* y *mafaffa schott*, de plátano y de trigo, se obtiene que las láminas del almidón del cormo tienen un alargamiento comparable y mayor resistencia antes de romperse, pero presentan una pobre barrera para la humedad (De Oliveira, Ascheri, & Ascheri, 2011; Tapia, Pérez, Rodríguez, Guzmán, Ducamp-Collin, Tran & Rolland-Sabaté, 2012; Zamudio, 2009; Salgado, 2013).




a)




b)




c)

**Figura 25.** Influencia del contenido de almidón y glicerol en las propiedades de las láminas, a) Tensión a la fractura, b) Elongación, c) Permeabilidad al Vapor de Agua.

Dichas diferencias se podrían atribuir principalmente a la variación del contenido de glicerol, el cual se adiciona con el fin de aumentar la flexibilidad de las láminas debido a su capacidad para reducir las fuerzas de atracción molecular (puentes de hidrógeno internos) entre las cadenas poliméricas de amilosa y amilopectina, incrementando así el espacio molecular. Este comportamiento le da a la lámina un mayor porcentaje de elongación y menor valor de fuerza tensil. En adición el glicerol también afecta la permeabilidad al vapor de agua de las láminas de almidón, lo cual se atribuye a su alta afinidad por el agua, comportamiento que se suma al carácter hidrófilo de las moléculas de amilosa y amilopectina (Tapia et al., 2012; Müller et al., 2008; Alves, Mali, Beléia & Grossmann, 2007; Mali, Sakanaka, Yamashita & Grossmann, 2005; Bertuzzi, Gottifredi, & Armada, 2012; Galdeano et al., 2009; Zamudio-Flores et al., 2007). Esta tendencia se observó al aumentar el contenido de glicerol en las láminas del almidón del cormo (Figura 25).

Analizando el comportamiento del porcentaje de elongación de las láminas de almidón del cormo (Figura 25b) a 5, 10, 20 y 30% de glicerol, se observa un incremento en la elongación con respecto a la lámina que no contenía plastificante. Sin embargo se observa que en las láminas con 3 a 5 g de almidón con 20 y 30% de glicerol, el valor de elongación es menor a lo esperado con respecto a las demás. Esto indicaría que se podría obtener una alta elongación de la lámina con poca cantidad de glicerol; lo cual contradice la teoría (mayor glicerol, mayor elongación). Por tal motivo se repetirá nuevamente el experimento a la concentración de 10, 20 y 30% de glicerol. Con relación a la permeabilidad al vapor de agua, la tendencia general coincide con lo reportado en la literatura, siendo que a mayores valores de glicerol, mayor permeabilidad de agua.

Por otro lado, la diferencia en la fuerza tensil (resistencia a la ruptura) y permeabilidad al vapor de agua de la lámina del almidón del cormo con respecto a las reportadas en la literatura, se podría atribuir a las diferencias en la relación amilosa/amilopectina y a la naturaleza de las cadenas de amilosa y amilopectina (peso molecular y longitud de las cadenas). Según lo mencionado por Han (2005), la amilopectina es responsable por la permeabilidad al vapor de agua en las láminas, siendo que ésta permanece en forma amorfa (conformación que facilita el paso de humedad) mientras que la amilosa se recristaliza. También cabe mencionar que la fragilidad de la lámina podría estar relacionada directamente con el alto grado de entrelazamiento causado por las extensas ramificaciones y la corta longitud de las cadenas de amilopectina. Se puede decir que los valores de fuerza tensil de la lámina con 2g de almidón

del cormo sin plastificante (47.40 MPa) están dentro de los valores reportados para una mezcla de 20% de amilosa y 80% de amilopectina (aproximadamente 45 MPa), lo que indica que no hay presencia de ningún residuo estructural o gránulos fantasmas después de la solubilización del almidón, por lo que el proceso de dispersión puede ser considerado satisfactorio (Galdeano et al., 2009; Wittaya, 2012; Lourdin, Della Valle & Colonna, 1995).

Los altos valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA) presentado por las láminas del almidón del cormo, se considera que es uno de los principales inconvenientes encontrados para las aplicaciones de dichas películas comestibles. Sin embargo, esta propiedad podría ser modificada mediante la adición de lípidos (Tapia et al., 2012), comportamiento que no se consigue con la adición del polisorbato tween 80. Esto último fue corroborado en las láminas del almidón del cormo para diferentes cantidades de tween 80 (0.25, 0.5, 1 y 2% con respecto a la cantidad de almidón) (Tabla 10) e incluso se obtuvieron valores más altos de PVA. Esto se puede atribuir no solo a la interacción de las moléculas de agua con la parte hidrófoba del surfactante, sino que también éste puede actuar como un plastificante, incrementando el volumen libre entre las cadenas de almidón, lo cual favorece la difusión de vapor de agua a través de la lámina (Brandelero, Yamashita & Grossmann, 2010).

**Tabla 10.** Efecto del tween 80 en la permeabilidad al vapor de agua de la lámina elaborada con 2g de almidón y 5% de glicerol (con respecto al contenido de almidón).

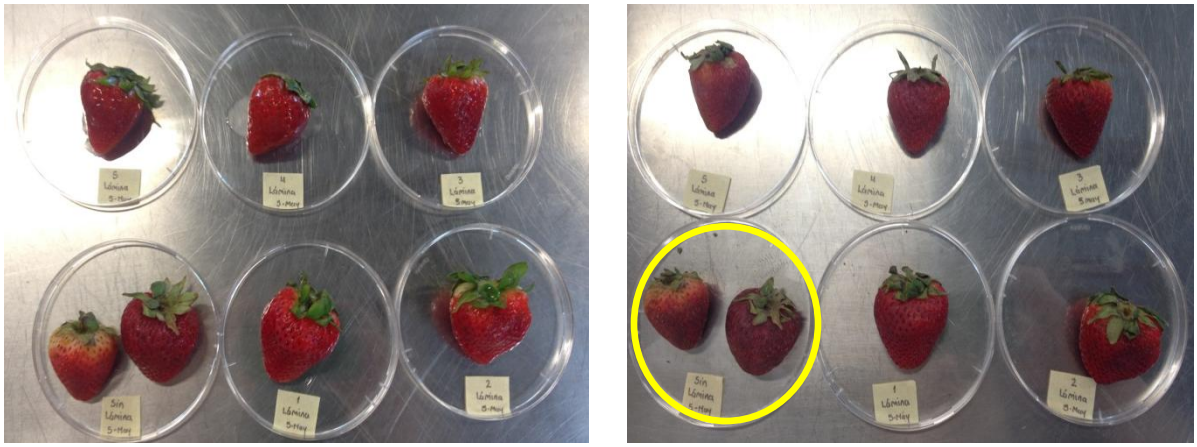
| Tween 80 (%) | PVA ($10^{-4}$ g/Pa.s.m) |
|---|---|
| 0.00 | 6.70 ±0.00[d] |
| 0.25 | 6.80 ±0.00[a] |
| 0.50 | 7.60 ±0.00[a] |
| 1.00 | 9.90 ±0.00[b] |
| 2.00 | 12.00 ±0.00[c] |

Medias con un misma letra común no son significativamente diferentes ($p>0.05$).
Los valores están expresados como el promedio ± error estándar.

En la Figura 26 se muestra las fresas cubiertas con la lámina de almidón del cormo, las cuales fueron almacenadas durante dos días a temperatura ambiente. Se observó que en las fresas cubiertas se mantuvo el color, el brillo, la textura, la humedad y el aroma, hasta el segundo día, en comparación con la fresa sin cubierta (circulo amarillo en la Figura 26). Cabe

mencionar, que dicha cubierta no afectó el sabor de la fruta.

Por tanto, se podría decir que el almidón del cormo es útil para la elaboración de láminas comestibles que podrían tener como finalidad aumentar el largo de vida útil de productos altamente perecederos como las fresas. Sin embargo se requieren estudios posteriores para conseguir una optimización de las condiciones de elaboración de las láminas. De igual manera, es importante considerar que las condiciones óptimas de la lámina dependerán del uso específico que se le dará a la misma.



a) b)

**Figura 26.** Fresas cubiertas con la lámina elaborada a partir de almidón del cormo, a) día cero y b) día dos.

.

# 6. CONCLUSIONES

1. El alto contenido de almidón presente en el cormo de la yautía del cultivar Nazareno (70%), indica que éste es una fuente importante de carbohidrato, comparándose con el contenido de fuentes convencionales de almidón como el maíz y la papa.

2. El bajo contenido de lípidos, proteínas, cenizas en el almidón, incluyendo el alto índice de blancura promedio (97.0), indican que el proceso empleado para la extracción del almidón del cormo fue adecuado para obtener un almidón de alta pureza, con un contenido promedio de amilosa de 21%.

3. El proceso de extracción favoreció la disminución del contenido de oxalato en el almidón, quedando con una concentración baja promedio (0.57 mg/g) en comparación con el encontrado en el cormo y el cormelo del cultivar Nazareno, por lo que el almidón no representa un riesgo a la salud.

4. El almidón del cormo se podría clasificar como almidón de lenta digestión, con un contenido de 14% de almidón resistente tipo II, por lo que puede ser empleado para la elaboración de productos alimenticios donde no se dé una completa gelatinización del almidón, con el fin de provocar efectos beneficiosos para la salud.

5. Las propiedades físico químicas y funcionales del almidón del cormo, sugieren que éste almidón puede ser ampliamente utilizado en la industria alimentaria, en productos que requieran alta temperatura y baja viscosidad. El almidón presenta una alta estabilidad a los procesos de cocción y de enfriamiento, pudiéndose emplear en productos que requieran refrigeración pero no congelación. El almidón del cormo también presentó un alto potencial para la elaboración de láminas comestibles, sin embargo se requieren más estudios para disminuir su permeabilidad al vapor de agua y mejorar sus propiedades mecánicas.

El almidón del cormo de la yautía del cultivar Nazareno se puede catalogar como un almidón de buena calidad, por lo que se espera que los resultados de este estudio ayuden a incentivar a la utilización e investigación del almidón del cormo, buscando una amplia aplicación en la industria alimentaria.

# 7. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para tener una caracterización más exacta de dicho almidón, se determine:

- ✓ El peso molecular y la distribución de las cadenas que se puede realizar por la técnica de dispersión de luz multi-ángulos combinada con CLARET (Cromatografía Líquida de Alta Resolución por Exclusión de Tamaño).

- ✓ La longitud y el grado de polimerización de las cadenas de amilopectina se pueden determinar por la técnica CLARIA (Cromatografía de Alta Resolución por Intercambio Aniónico), empleando un detector de pulsos amperométricos (DPA).

- ✓ El tipo de cristalinidad (A, B y C) se puede determinar mediante el patrón de difracción de rayos x.

- ✓ Se recomienda la incorporación de polímeros (Quitosano, Kefiran, Ácido Polilactico, entre otros), proteína, lípidos o incluso hacer modificaciones químicas o enzimáticas del almidón, con el fin de mejorar las propiedades fisicoquímicas y mecánicas del almidón.

# 8. BIBLIOGRAFIA


AAF, (2013). AAF position on Trade and Competitiveness. Association des Amidonniers et Féculiers / European Starch Industry Association.

Abarca, L.P. (2012). Incorporación de nanopartículas de arcilla en películas comestibles de quitosano-quínoa (*Chenopodium quinoa Willd*.). Tesis de pregrado. Universidad de Chile.

Acosta A.P. & Blanco, C. (2013). Obtención y caracterización de almidones nativos colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Tesis de pregrado. Universidad de Cartagena.

Acosta, O.R.G., Fandiño, M. I.P., & Ante, L.T.S. (2012). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, Manihot esculenta, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @ limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 11(1).

Acuña, H.M. (2012). Extracción, caracterización y aplicación de almidón de ñame variedad blanco (*Dioscorea trifida*) originario de la región amazónica colombiana para la elaboración de productos horneados. Tesis maestría, Universidad Nacional de Colombia.

Akpan, E.J., Umoh, I.B. (2004). Effect of heat and tetracycline treatments on the food quality and acridity factors in Cocoyam [*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott], *Pakistan Journal of Nutrition*, 3 (4)240 – 243.

Akinmutimi, A.H. (2006). Nutritive Value of Raw and Processed Jack Fruit Seeds (Artocarpus heterophyllus): Chemical Analysis. Agricultural Journal, 1: 266–271.

Alanis, P.C. (2013). Efecto de la fibra de Agave tequilana Weber en las características de películas de gelatina y nanopartículas minerales. Tesis de maestría. Universidad de São Paulo. Brasil.

Alarcón, F., & Dufour, D. (1998). Almidón agrio de yuca en Colombia: Producción y recomendaciones. Centro Internacional de Agricultura Tropical–CIAT, Cali.

Álvarez, C. (2014). Propiedades reológicas de frutos y masas de plátanos procesados por cocción y su relación con la modificación del almidón. Doctoral. Universidad del Valle.

Alves, V.D., Mali, S., Beléia, A., & Grossmann, M.V.E. (2007). Effect of glycerol and amylose enrichment on cassava starch film properties. Journal of Food Engineering, 78(3), 941-946.

Alvis, A., Vélez, C.A., Villada, H.S. & Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. Información tecnológica, 19(1), 19-28.

Aregheore, E.M. & Perera, D. (2003). Dry Matter, Nutrient Composition and Palatability/Acridity of Eight Exotic Cultivars of Cocoyams–Taro (*Colocassia esculenta*) in Samoa. Plant Foods for Human Nutrition 58: 1–8.

Aristizábal, J., Sánchez, T. & Mejía-Lorío, D. J. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 163.Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Association of Official Analytical Chemists & Horwitz, W. (2003). Official methods of analysis of the AOAC International (17th ed.). Gaithersburg, MD, USA: AOAC

Association of Official Analytical Chemists. International Approved Methods. (1999). Amylose Content of Milled Rice. Method 61-03.01. 1-4 p. AACC.

American Society for Testing and Materials D-882-02. 2002. Standard Test Methods for Tensile Properties of thin plastic sheeting. Philadelphia, PA: A.S.T.M.

American Society for Testing and Materials E-96-95. 1995. Standard methods of test for water vapor transmission of materials in sheet form. Philadelphia, PA: A.S.T.M.

Atanassova, M. & Christova-Bagdassarian, V. (2009). Determination of tannins content by titrimetric method for comparison of different plant species. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 44(4), 413-415.

Bastioli, C. (2001). Global status of the production of biobased packaging materials. Starch-Stärke, 53(8), 351-355.

Bello-Perez, L.A., Contreras-Ramos, S.M., Romero-Manilla, R., Solorza-Feria, J., & Jimenez-Aparicio, A. (2002). Chemical and functional properties of modified starch from banana Musa paradisiacal L (var. Macho). Agrociencia, 36(2), 169-180.

Bello-Pérez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sánchez-Hernández, L., & Paredes-López, O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47(3), 854-857.

Bello-Pérez, L., González-Soto, R., Sánchez-Rivero, M., Gutiérrez-Meraz, F., & Vargas-Torres, A. (2006). Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidones resistentes. Agrociencia, 40, 441-448.

BeMiller, J.J., & Whistler, R.L. (2009). Starch: Chemistry and Technology. 3 Ed. Food Science and Technology. Academic Press. En: https://books.google.com

Bermejo, R.A. (2014). Células del mesófilo de plantas de arabidopsis que no poseen fosfoglucoisomerasa plastidial acumulan almidón. Tesis maestría. Universidad Pública de Navarro.

Bertoft, E. (2004). Analysing starch structure. En: Eliasson, A.C. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.

Bertuzzi, M.A., Gottifredi, J.C., & Armada, M. (2012). Mechanical properties of a high amylose content corn starch based film, gelatinized at low temperature. Brazilian Journal of Food Technology, 15(3), 219-227.

Blazek, J. (2009). Role of amylose in structure-function relationship in starches from Australian wheat varieties. Tesis doctoral. The University of Sydney

Blennow, A., Bay-Smidt, A.M., Olsen, C.E., & Møller, B.L. (2000). The distribution of covalently bound phosphate in the starch granule in relation to starch crystallinity. International Journal of Biological Macromolecules, 27(3), 211-218.

Bogucka, B. (2014). Effect of different mineral fertilization technologies on the size of starch granules in potato. Starch-Stärke, 66(7-8), 685-690.

Bosques-Vega, A. (2014). Revisión Conjunto Tecnológico para la producción de Raíces y Tubérculos. Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez - Estación Experimental Agrícola. Material no publicado.

Boudries, N., Belhaneche, N., Nadjemi, B., Deroanne, C., Mathlouthi, M., Roger, B., & Sindic, M. (2009). Physicochemical and functional properties of starches from sorghum cultivated in the Sahara of Algeria. Carbohydrate Polymers, 78(3): 475-480.

Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3): 1-12.

Bozdemir, O.A., Tutas, M. (2003). Plasticiser effect on water vapor permeability on locust bean gum based edible films. Turkish Journal Chemistry, 27(6), 773-782.

Brabender CWB. (2011). Characterizing starch with the Micro Visco-Amylo-Graph®- Part I. Technical Notes: Vol. 1, Issue 11. 5 p.

Brandelero, R.P.H., Yamashita, F., & Grossmann, M.V.E. (2010). The effect of surfactant Tween 80 on the hydrophilicity, water vapor permeation, and the mechanical properties of cassava starch and poly (butylene adipate-co-terephthalate)(PBAT) blend films. Carbohydrate Polymers, 82(4), 1102-1109.

Breuninger, W., Piyachomkwan, K., & Sriroth, K. (2009).Tapioca/Cassava Starch: Production and Use. En: BeMiller, J.J., y Whistler, R.L. Starch: Chemistry and Technology. 3 Ed. Food Science and Technology. Academic Press. 541-564 p.

Burešová, I., Sedláčková, I., Faměra, O., & Lipavský, J. (2010). Effect of growing conditions on starch and protein content in triticale grain and amylose content in starch. Plant Soil Environ, 56, 99-104.

Campos, R.P., Kwiatkowski, A., & Clemente, E. (2011). Post-harvest conservation of organic strawberries coated with cassava starch and chitosan. Revista Ceres, 58(5), 554-560.

Caraballo, D. (2011). Modificación del almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) por metilación para aplicaciones en alimentos y biomedicina. Tesis de pregrado. Universidad Central De Venezuela Facultad De Ciencias Escuela De Biología. Venezuela.

Cardoso, M.B., Samios, D., & Silveira, N.P. (2006). Study of protein detection and ultrastructure of Brazilian rice starch during alkaline extraction. Starch-Stärke, 58(7), 345-352.

Carrascal Sánchez, J.J. (2013). Acetilación del almidón de *Arracacia xanthorrhiza* y evaluación de su aplicación como posible auxiliar farmacéutico. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia).

Casarrubias, M., Bello, L., & Hamaker, B. (2010). Preparación de almidón de digestión lenta a partir de almidón de plátano y mango usando tratamientos enzimáticos. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Guanajuato, México.

Cerón, A. 2013. El problema de la hidrofilicidad en materiales plásticos derivados de almidón. Rev. Bio. Agro.11(spe)41-48

Charles, A.L., Chang, Y.H., Ko, W.C., Sriroth, K., & Huang, T.C. (2005). Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53(7), 2717-2725.

Chin-Lin, H., Wenlung, C., Yih-Ming, W., Chin-Yin, T. (2003). Chemical composition, physical properties, and antioxidant activities of yam flours as affected by different drying methods. Food Chemistry, 83(1): 85-92.

Chiumarelli, M., & Hubinger, M.D. (2014). Evaluation of edible films and coatings formulated with cassava starch, glycerol, carnauba wax and stearic acid. Food Hydrocolloids, 38, 20-27.

Chun, A., Lee, H.J., Hamaker, B.R., & Janaswamy, S. (2015). Effects of Ripening Temperature on Starch Structure and Gelatinization, Pasting, and Cooking Properties in Rice (*Oryza sativa*). Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63(12), 3085-3093.

Cornell, H. (2004). The functionality of wheat starch. En: Eliasson, A.C. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.

Cottrell, J.E., Duffus, C.M., Paterson, L., & Mackay, G.R. (1995). Properties of potato starch: effects of genotype and growing conditions. Phytochemistry,*40*(4), 1057-1064.

Craig, S.A., Maningat, C.C., Seib, P.A., Hoseney, R.C. (1989). Starch paste clarity. Cereal Chemistry (USA).

Crowther, A. (2009). Re-viewing raphides: Issues with the identification and interpretation of calcium oxalate crystals in microfossil assemblages. In Proceedings of the 2005 Australasian Archaeometry Conference, Terra Australis, (28):105-118.

Cuebas, D. (1983). Studies of the content, distribution and accumulation of oxalic acid and oxalates in the corms, cormels and leaf tissue of cocoyam (*Xanthosoma* spp.). Tesis de maestría. Universidad de Puerto Rico.

Dávila, Y., Cerda, A,. Pacheco, K., Barreto, I., Berrios, A.,Chávez-Jáuregui, R. (2013). Physical and chemical characterization of starch in “yautía” (*Xanthosoma* spp.) corm. Undergraduate 9th Scientific Meeting, College of Agricultural Science. May 9, Mayaguez, Puerto Rico.

Da Silva, T.M. (2013). Fungal Amylases: Applications and Funtional Properties. En: Polizeli, T.M., & Rai, M. Fungal Enzymes. CRC Press. 152-172 p.

De Oliveira, L.F., Ascheri, D.P.R., & Ascheri, J.L.R. (2011). Desenvolvimento, caracterização de filmes comestíveis de fécula de mangarito (Xanthosoma mafaffa schott) e sua aplicação em frutos de jabuticaba. Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos, 29(2): 265-280.

Dreher, M.L., Tinsley, A.M., Scheerens, J.C., & Berry, J.W. (1983). Buffalo Gourd Root Starch. Part II. Rheologic Behavior, Freeze-thaw Stability and Suitability for Use in Food Products. Starch-Stärke, 35(5), 157-162.

Eckhoff, S., Watson, S. (2009). Corn and Sorghum Starches: Production. Uses. En: BeMiller, J.J., y Whistler, R.L. Starch: Chemistry and Technology. 3 Ed. Food Science and Technology. Academic Press. 374-431 p.

Eliasson, AC., Wahlgren, M. (2004). Starch-liped interactions and their relevance in food products. En: Eliasson, A.C. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.

Ellis, R.P., Cochrane, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Tiller, S.A. (1998). Starch production and industrial use. Journal of the Science of Food and Agriculture, 77(3), 289-311.

Englyst H.N, Kingman S.M, Cummings J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. European Journal of Clinical Nutrition, 46 (Suppl. 2): S33-S50.

Englyst, K., Quigley, M., Englyst, H., Parmar, B., Damant, A., Elahi, S., & Lawrance, P. (2013). Evaluation of methods of analysis for dietary fibre using real foods and model foods. Food Chemistry, 140(3), 568-573.

Espinosa, V. (2009). Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Mangifera indica L*.) y plátano (*Musa paradisiaca L*.) Tesis Doctoral. Instituto Politécnico Nacional.

Fairlie, T., Bermúdez, M.M., & Holle, M. (1999). Raíces y tubérculos andinos: avances de investigación. International Potato Center.

Falade, K.O., & Okafor, C.A. (2013). Physicochemical properties of five cocoyam (*Colocasia* esculenta and *Xanthosoma sagittifolium*) starches. Food Hydrocolloids, 30(1), 173-181.

Falguera, V., Quintero, J.P., Jiménez, A., Muñoz, J.A. & Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology,* 22(6), 292-303.

Fannon, J.E., Hauber, R.J., & BeMiller, J.N. (1992). Surface pores of starch granules. Cereal Chemistry, 69(3), 284-288.

FAO Dirección de Estadística. (2015). Accedido el: 03 septiembre 2015. En: http://faostat.fao.org/site/616/DesktopDefault.aspx?PageID=616#ancor.

FAO Dirección de Estadística. (2015a). Accedido el: 03 septiembre 2015.http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S.

FAO Dirección de Estadística. (2015b). Accedido el: 03 septiembre 2015. En: FAOSTAT, 2015b. http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E.

FAO, I. (2013). WFP: The State of Food Insecurity in the World 2013. The multiple dimensions of food security. FAO, Rome.

FAO. (2002). FAO urges increased research on functional properties of starch to help developing countries compete in world markets. Satin, M. Press Release 00/02. Roma. En: http://www.fao.org/waicent/ois/press_ne/presseng/2000/pren0002.htm

FAO. (2000). Inseguridad alimentaria: la población se ve obligada a convivir con el hambre y teme morir de inanición, el estado de la inseguridad alimentaria en el mundo. Roma. 40 p.

FAO y OMS. (1999). Los carbohidratos en la nutrición humana: informe de una consulta mixta FAO/OMS de expertos, Roma. En: https://books.google.com.

Galdeano, M.C., Mali, S., Grossmann, M.V.E., Yamashita, F., & García, M.A. (2009). Effects of plasticizers on the properties of oat starch films. Materials Science and Engineering: C, 29(2), 532-538.

García, M. (1986). Origen, distribución, clasificación y botánica de la Yautía. En: FAO, CATIE-CENDA. Curso de adiestramiento en el cultivo de yautía. (1-5p.). República Dominicana.

García, A., Pinzón, F., & Sánchez, A. (2013). Extracción y propiedades funcionales del almidón de yuca, *Manihot esculenta*, variedad ICA, como materia prima para la elaboración de películas comestibles. @ limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 11(1):13-21.

Gill, J; Bosques, A. (2009). El uso de glifosato para reducir la dominancia apical o alargamiento de la yema apical en yautía. Reunión Científica Anual SOPCA. En: http://hdl.handle.net/10476/125

Gontard, N., Guilbert, S., & Cuq, J.L. (1993). Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. Journal of Food Science, 58(1), 206–211.

González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del Recubrimiento Comestible en las Propiedades de Trozos de Batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión: Parte 1: Textura. Información tecnológica, 26(1), 95-102.

Gott, B., Barton, H., Samuel, D., & Torrence, R. (2006). Biology of starch. Ancient starch research, 35-45.

Grommers, H., Van der Krogt, D. 2009. Potato Starch: Production, Modifications and Uses. En: BeMiller, J.J., & Whistler, R.L. Starch: Chemistry and Technology. 3 Ed. Food Science and Technology. Academic Press. 512-538 p.

Halley, P., & Avérous, L. (2014). Starch polymers: from genetic engineering to green applications. Newnes. Elsevier. En: https://books.google.com

Hair, S.K., Volin, R.B., & Asokan, M.P. (1984). Starch distribution in cocoyam (*Xanthosoma* spp.) corms and cormels. In Proceedings, Sixth Symposium of the International Society for Tropical Root Crops/hosted by CIP in Lima, Peru, 21-26 February 1983. Lima, Peru: International Potato Center (CIP), 1984.

Han, Z.X., & Hamaker, R.B. (2001). Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. Journal of Cereal Science, 34, 279–284.

Han, J.H. (2005). Innovations in food packaging. Academic Press. En: https://books.google.com

Hernández, R. (1996). Cultivo de Yautía. Guía Técnica No. 27. República Dominicana: Fundación de Desarrollo Agropecuario, Inc.

Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J.G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. Food Science and Technology (Campinas), 28(3), 718-726.

Holloway, W.D., Argall, M.E., Jealous, W.T., Lee, J.A., & Bradbury, J.H. (1989). Organic acids and calcium oxalate in tropical root crops. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 37(2), 337-341.

Hoseney, R.C., Zeleznak, K.J., & Yost, D.A. (1986). A note on the gelatinization of starch. Starch-Stärke, 38(12), 407-409.

Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. Carbohydrate polymers, 45(3), 253-267.
Hui, Y.H. (2006). Handbook of food science, technology, and engineering (149). CRC press.

Hwang, J., & Kokini, J.L. (1992). Contribution of the side branches to rheological properties of pectins. Carbohydrate Polymers, 19(1), 41-50.

ICC Standard Method No. 162. 1995. Rapid pasting method using the newport rapid visco analyser. International Association of Cereal Science and Technologists. 58.

Igbabul, B.D., Amove, J., & Twadue, L. (2014). Effect of fermentation on the proximate composition, antinutritional factors and functional properties of cocoyam (*Colocasia esculenta*) flour. African Journal of Food Science and Technology, 5(3), 67-74.

Iwuoha, C., Kalu, F.A. (1995). Calcium oxalate and physicochemical properties of cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) tuber flours as affected by processing. *Food Chemistry*, 54,61–66 p.

James, M.G., Denyer, K., & Myers, A.M. (2003). Starch synthesis in the cereal endosperm. Current Opinion in Plant Biology, 6(3), 215-222.

Janes, J.L. (2009). Structure Features of Starch Granules II. En: BeMiller, J., Whistler, R. Starch. Chemistry and Technology. 193-227 p.

Jane, J.L., Kasemuwan, T., Leas, S., Zobel, H., & Robyt, F. (1994). Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy. Starch-Starke, 46(4), 121-128.

Jayeola, A.A., & Akinsebikan, O.A. (2013). Micromorphological studies of starch granules in selected processed indigenous flour of South Western Nigeria. Annals of West University of Timişoara, ser. Biology, 2013, vol XVI(1),1-10

Jimoh, K.O., Olurin, T.O. & Aina, J.O. (2009). Effet of drying methods on the rheological characteristics and colour of yam flours. African Journal of Biotechnology, 8(10), 2325-2328.

Jobling, S. (2004). Improving starch for food and industrial applications. Current opinion in plant biology, 7(2), 210-218.

Juszczak, L., Fortuna, T., & Krok, F. (2003a). Non-contact Atomic Force Microscopy of Starch Granules Surface. Part I. Potato and Tapioca Starches. Starch-Stärke, 55(1), 1-7.

Juszczak, L., Fortuna, T., & Krok, F. (2003b). Non-contact Atomic Force Microscopy of Starch Granules Surface. Part II. Selected Cereal Starches. Starch-Stärke, 55(1), 8-16.

Kasemsuwan, T. (1995). Characterization and food applications of high amylose and other varieties of starch. Iowa State Univertity. Gatuate Theses and Dissertations.

Ketthaisong, D., Suriharn, B., Tangwongchai, R., & Lertrat, K. (2014). Changes in physicochemical properties of waxy corn starches after harvest, and in mechanical properties of fresh cooked kernels during storage. Food Chemistry, 151, 561-567.

Kramer, M.E. (2009). Structure and Function of starch-Based Edible films and coatings. En: Edible films and coatings for food applications. Springer New York. 113-134 p.

Kumoro, A.C. (2012). Development of efficient calcium oxalate removal techniques from taro corms. Faculty of Engineering. Diponegoro University. Prosiding SNST ke-3 Tahun. ISBN 978-602-99334-1-3.

Lauzon, R.D., Shiraishi, K., Yamazaki, M., Sawayama, S., Sugiyama, N., & Kawabata, A. (1995). Physicochemical properties of cocoyam starch. Food Hydrocolloids, 9(2), 77-81.

Lawal, O.S. (2004). Composition, physicochemical properties and retrogradation characteristics of native, oxidised, acetylated and acid-thinned new cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) starch. Food Chemistry, 87(2), 205-218.

Lehmann, U., & Robin, F. (2007). Slowly digestible starch–its structure and health implications: a review. Trends in Food Science & Technology, 18(7), 346-355.

Li, S., Zhang, Y., Wei, Y., Zhang, W., & Zhang, B. (2014). Thermal, pasting and gel textural properties of commercial starches from different botanical sources. Journal of Bioprocessing & Biotechniques, 4(4):1-6.

Lii, C.Y., Tsai, M.L., & Tseng, K.H. (1996). Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. Cereal Chemistry, 73(4), 415-420.

Libert, B., & Franceschi, V.R. (1987). Oxalate in crop plants. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 35(6), 926-938.

Lim, S.T., Kasemsuwan, T., & Jane, J.L. (1994). Characterization of phosphorus in starch by 31P-nuclear magnetic resonance spectroscopy. Cereal Chemistry 71(5), 488-493.

Lindeboom, N., Chang, P.R., & Tyler, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch-Starke, 56(3), 89-99.

Liu, Q. (2005). Understanding Starches and Their Role in Foods. En: Cui, S. W. Food carbohydrates: chemistry, physical properties, and applications. CRC Press. 309-355p.

Loftas, T., & Ross, J. (1995). Dimensions of need: an atlas of food and agriculture. Food & Agriculture Org. En: http://www.fao.org/.

Londoño-Restrepo, S.M., Rincón-Londoño, N., Contreras-Padilla, M., Acosta-Osorio, AA., Bello-Pérez, L.A., Lucas-Aguirre, J.C., & Rodríguez-García, M.E., (2014). Physicochemical, morphological, and rheological characterization of *Xanthosoma robustum* Lego-like starch. International Journal of Biological Macromolecules, 65, 222-228.

López, O.V. (2011). Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. - 1a ed. – Doctotado. Universidad Nacional de La Plata. La Plata.

Lourdin, D.; Della Valle, G., & Colonna, P. (1995). Influence of amylose content on starch films and foams. Carbohydrate Polymer, 27(4), 261-270.

Lu, D.R., Xiao, C.M., & Xu, S.J. (2009). Starch-based completely biodegradable polymer materials. Express Polymer Letters, 3(6), 366-375.

Lu, T.J., Chen, J.C., Lin, C.L., & Chang, Y.H. (2005). Properties of starches from cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) tubers planted in different seasons. Food Chemistry, 91(1), 69-77.

Luallen, T. & Cargil Inc. 2004. Utilizing starches in product development. En: Eliasson, A.C. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.

Ludwig, D.S. (2002). The glycemic index: physiological mechanisms relating to obesity, diabetes, and cardiovascular disease. Jama, 287(18): 2414-2423.

Luna, W. Mera, J. (2006). Producción de dextrinas de yuca a partir de almidón nativo en la rallandaría Todoyuca ubicada en el corregimiento pescador (municipio de Caldono, departamento del Cauca). Clayuca. Tesis Pregrado. Popayán: Universidad del Cauca.

Mali, S.L.S. Sakanaka, F. Yamashita, & M.V.E. Grossmann. (2005). Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. Carbohydrates Polymer, 60, 283-289.

Massey, L.K. (2007). Food oxalate: factors affecting measurement, biological variation, and bioavailability. Journal of the American Dietetic Association, 107(7), 1191-1194.

McCleary, B.V., McNally, M., & Rossiter, P. (2002). Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant materials: collaborative study. Journal of AOAC International, 85(5), 1103-1111.

McGrane, S.J., Mainwaring, D.E., Cornell, H.J., & Rix, C.J. (2004). The role of hydrogen bonding in amylose gelation. Starch-Stärke, 56(3-4), 122-131.

Méndez, J.P., Hinojosa, C.R., Gutiérrez, A.R., Marzo, M.M., Ramírez, C. G., & García, F. P. (2009). Degradación física del almidón de cebada (*Hordeum sativun Jess*). Correlación entre la gelatinización y el tamaño de gránulos. Multiciencias, 9(2).

Meneses, J., Corrales, C. & Valencia, M. (2007). Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237(8), 57-67.

Mepba, H., Eboh, L., Eko, C. B., & Ukpabi, U. J. (2009). Composition and pasting properties of starch from two cocoyam cultivars. Journal of Food Quality, 32(4), 522-537.

Milián, M., Xiqués, X., Román, M., González, C., Sánchez, I., Nadal, M., Beovides, Y. & Guerra, D., Guerra, D. (2001). Caracterización de la variabilidad del género *Xanthosoma* en Cuba, con el uso de descriptores morfoagronómicos, citogenéticos e isoenzimáticos. Tesis de Maestría. Universidad de La Habana, Facultad de Biología. Cuba.

Mishra, S., & Rai, T. (2006). Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. Food Hydrocolloids, 20(5); 557-566.

Mitolo, J.J. (2005). Starch Selection and Interaction in Foods. En: Gaonkar, A. G., & McPherson, A. Ingredient interactions: effects on food quality. Ed 2. CRC Press. 140-165 p. https://books.google.com.

Mohammadi Nafchi, A., Moradpour, M., Saeidi, M., & Alias, A.K. (2013). Thermoplastic starches: Properties, challenges, and prospects. Starch-Stärke, 65(1-2), 61-72.

Mondragon, M. (2004). Estudio comparativo de cambios estructurales funcionales en almidones de maiz nixtamalizado. Tesis doctoral. Instituto Politécnico Nacional.

Moore, S.A., Ai, Y., Chang, F., & Jane, J.L. (2015). Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. Carbohydrate Polymers, 115, 465-471.

Moore, S.A. (2013). Studies on mechanisms of resistant starch analytical methods. Iowa State Univertity. Gatuate Theses and Dissertations. Paper. 13568.

Moorthy, S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. Starch-Stärke, 54(12), 559-592.

Moorthy, S.N. (2008). Tuber Crops Starches. En: Peter, K.V. Tuber & Root Crops (Vol. 9). New India Publishing. 281-232 p.

Mozafari. M. (2007). Nanomaterials and Nanosystems for Biomedical Applications. Springer. Australia.

Müller, C. Yamashita, F. Laurindo, J. (2008). Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. En: Carbohydrate Polymers. vol. 72, p. 82-87.

Muñoz, N.E. (2012). Formulación de una lámina comestible a base de almidón de farináceos con adición de bacteriófagos. Maestría, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez

Nwokocha, L.M., Aviara, N.A., Senan, C., Williams, P.A. (2009). A comparative study of some properties of cassava (*Manihot esculenta, Crantz*) and cocoyam (*Colocasia esculenta*, Linn) starches. Carbohydrate Polymers, 76(3), 362-367.

Ojinnaka, M.C., Akobundu, E.N.T., & Iwe, M.O. (2009). Cocoyam starch modification effects on functional, sensory and cookies qualities. Pakistan Journal of Nutrition, 8(5), 558-567.

Oke, M.O., & Bolarinwa, I. F. (2011). Effect of fermentation on physicochemical properties and oxalate content of cocoyam (*Colocasia esculenta*) flour. ISRN Agronomy.

Olajide, R., Akinsoyinu, A. O., Babayemi, O. J., Omojola, A. B., Abu, A. O., & Afolabi, K. D. (2011). Effect of processing on energy values, nutrient and anti-nutrient components of wild cocoyam (*Colocasia esculenta (L.) Schott*) corm. Pakistan Journal of Nutrition, 10(1), 29-34.

Oluwamukomi, MO., & Akinsola, O.O. (2015). Thermal and Physicochemical Properties of Some Starchy Foods: Yam (*Dioscorea rotundata*), Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium)* and Plantain (*Musa paradisiaca*). Food Science and Technology, 3(1), 9-17.

Onwueme, I.C., (1994), Tropical root and tuber crops - Production, perspectives and future prospects. *FAO Plant Production & Protection Paper 126*, FAO, Rome, Italia, 228.

Osuji, J.O. (2013). Probable functions of calcium oxalate crystals in different tissues of the edible aroids (*Xanthosoma* and *Colocasia* spp.) in Nigeria. African Journal of Biotechnology. Vol. 12(25), 3952-3956

Osuji, J.O. & Ndukwu, B.C. (2005). Probable functions and remobilisation of calcium oxalates in Musa L . African Journal of Biotechnology Vol. 4 (10), 1139-1141

Otegbayo, B., Oguniyan, D. & Akinwumi, O. (2014). Physicochemical and functional characterization of yam starch for potential industrial applications. Starch-Stärke, 66(3-4), 235-250.

Owusu-Darko, P.G., Paterson, A., & Omenyo, E.L. (2014). Cocoyam (corms and cormels)—An underexploited food and feed resource. Journal of Agricultural Chemistry and Environment.

Palomino, C., Molina, Y. & Pérez, E. (2010). Atributos físicos y composición química de harina y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthosoma sagittifalium* (L.) Schott. Revista Facultad de Agronomía, 36(2), 58-66.

Parada, J.A., & Rozowski, J. (2008). Relación entre la respuesta glicémica del almidón y su estado microestructural. Revista Chilena de Nutrición, 35(2), 84-92.

Park, I., Kim, S., Chung, I.M., & Shoemaker, C.F. (2013). Effect of amylopectin long chains ob measured amylose content and their correction with pasting properties. Starch-Starke, 65(3-4), 227-235

Parra, D.F., Tadini, C.C., Ponce, P. & Lugão, A.B. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers,* 58(4), 475-481.

Pastor, C. (2010). Recubrimientos comestibles a base de hidroxipropil metilcelulosa: caracterización y aplicación. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Patindol, J., Wang, Y., & Jane, J. (2005). Structure–functionality changes in starch following rough rice storage. Starch/Stärke, 57, 197–207.

Pavlath, A.E., & Orts, W. (2009). Edible films and coatings: why, what, and how?. In Edible films and coatings for food applications. Springer New York. 1-23 p.

Perera, A., Meda, V., & Tyler, R.T. (2010). Resistant starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. Food Research International, 43(8), 1959-1974.

Pérez, S,. Baldwin, P. & Gallant, D. (2009). Structural Features of starch Granule I. En: BeMiller, J., Whistler, R. Starch. Chemistry and Technology. 149-188 p.

Pérez, E., Schultz, F. S., & de Delahaye, E.P. (2005). Characterization of some properties of starches isolated from *Xanthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocassia esculenta* (taro). Carbohydrate Polymers, 60(2), 139-145.

Pérez, E.E., Breene, W.M., & Bahnassey, Y.A. (1998). Gelatinization Profiles of Peruvian Carrot, Cocoyam and Potato Starches as Measured with the Brabender Viscoamylograph, Rapid Visco-Analyzer, and Differential Scanning Calorimeter. Starch-Stärke, 50(1), 14-16.

Perez-Rea, D., Rojas, C., Carballo, S., Aguilar, W., Bergensta, B. & Nilsson, L. (2013). Enzymatic hydrolysis of Canna indica, Manihot esculenta and Xanthosoma sagittifolium native starches below the gelatinization temperature. Starch/Starke 65, 151–161.

Perkin-Elmer. (1994). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. The Perkin-Elmer Corporation, Norwalk, Connecticut, USA. 300 p.

Pomeranz, Y. (2012). Functional properties of food components. Academic Press. https://books.google.com

Preiss, J. (2004). Plant starch synthesis. En: Eliasson, A.C. Starch in food: Structure, function and applications. CRC Press.

Quezada-Gallo, J.A. (2009). Delivery of food additives and antimicrobials using edible films and coatings. En: Edible films and coatings for food applications. Springer New York. 135-134p.

Raphael, M., Yona, B., Stephe, K., Ephraim, N., Patrick, R., Settumba, M., & Samuel, K. (2011). Functional properties of starches on the East African market. African Journal of Food Science, 5(10), 594-602.

Riley, C.K., Wheatley, A.O., Asemota, H.N. (2006). Isolation and characterization of starches from eight Dioscorea alata cultivars grown in Jamaica. African Journal of Biotechnology, 5(17).

Rodríguez, M. (1986). Sección, Mejoramiento y Variedades de Yautía. En: FAO, CATIE-CENDA. Curso de adiestramiento en el cultivo de yautía. (10-17p.). República Dominicana.

Rocha, T.S., Demiate, I.M., & Franco, C.M.L. (2008). Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, 28(3), 620-628.

Rolland-Sabaté, A., Sánchez, T., Buléon, A., Colonna, P., Jaillais, B., Ceballos, H., & Dufour, D. (2012). Structural characterization of novel cassava starches with low and high-amylose contents in comparison with other commercial sources. Food Hydrocolloids, 27(1), 161-174.

Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., & Uttapap, D. (2005). Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. Carbohydrate Polymers, 61(2), 211-221.

Saavedra, N., & Algecira, N. A. (2010). Evaluación de películas comestibles de almidón de yuca y proteína aislada de soya en la conservación de fresas. Nova, 8(14).

Sadasivam, S., & Manickam, A. (1996). Biochemical methods. New Age International. 1-21 p.

Sajilata, M.G., Singhal, R.S., & Kulkarni, P.R. (2006). Resistant starch–a review. Comprehensive reviews in food science and food safety, 5(1), 1-17.

Salgado I.D. (2013). Efecto de la adición de quitosano en las propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua y oxígeno, brillo y microestructura en films comestibles a base de almidón de trigo. Tesis Maestría.Universidad Politécnica de Valencia.

Sandhu, K.S., & Singh, N. (2007). Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. Food Chemistry, 101(4), 1499-1507.

Satin, M. (2000). Functional properties of starches. In Third Intern. Symp. on Tropical Tuber Crops, held in Thiruvananthapuram, Kerala, India. En: http://www.fao.org/ag/magazine/pdf/starches.pdf

Sefa-Dedeh, S., & Agyir-Sackey, E.K. (2004). Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels. Food Chemistry, 85(4), 479-487.

Shannon, J.C., Garwood, D.L., & Boyer, C.D. (2009). Genetics and physiology of starch development. En: BeMiller, J., Whistler, R. Starch. Chemistry and Technology. 23-82 p.

Shimelis, E.A., Meaza, M., & Rakshit, S. (2006). Physico-chemical properties, pasting behavior and functional characteristics of flours and starches from improved bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript FP 05 015. Vol. VIII.

Smith, J.S., & Hui, Y.H. (2008). Food processing: principles and applications. John Wiley & Sons. 524 p.

Simsek, S., & El, S.N. (2012). Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by in vitro methods. Carbohydrate Polymers, 90(3), 1204-1209.

Singh, B.P. (2010). Industrial crops and uses. Cabi. https://books.google.com

Singh, J., Dartois, A., & Kaur, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: a review. Trends in Food Science & Technology, 21(4), 168-180.

Singh, J., Kaur, L., & McCarthy, O.J. (2007). Factors influencing the physico-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications—A review. Food Hydrocolloids, 21(1), 1-22.

Singh, N., Singh, S., Isono, N., Noda, T., & Singh, M.A. (2009). Diversity in amylopectin structure, thermal and pasting properties of starches from wheat varieties/lines. International Journal of Biological Macromolecules, 45, 298–304.

Singh, V., & Zakiuddin Ali, S. (1987). Estimation of phosphorus in native and modified starches. Improvement in the molybdovanadophosphoric acid method. Starch-Stärke, 39(8), 277-279.

Sirausa, V. (2012). Food packaging permeability behavior: A report. International Journal of Polymer Science. vol. 2012. 11.

Sivoli, L. Pérez, E., Rodríguez, P., Raymúndo, M. & Ayesta, C. (2009). Técnicas microscópicas y de dispersión de luz empleadas en la evaluación de la estructura del almidón nativo de yuca (*Manihot esculenta* C). Acta Microscópica, 18(3), 195-203.

Stevenson, D.G., Domoto, P.A., & Jane, J.L. (2006). Structures and functional properties of apple (*Malus domestica Borkh*) fruit starch. Carbohydrate Polymers, 63(3), 432-441.

Svihus, B., Uhlen, A.K., & Harstad, O.M. (2005). Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Animal Feed Science and Technology, 122(3), 303-320.

Swinkels, J.J.M. (1985). Composition and properties of commercial native starches. Starch-Stärke, 37(1), 1-5.

Tang, H., Watanabe, K., & Mitsunaga, T. (2002). Characterization of storage starches from quinoa, barley and adzuki seeds. Carbohydrate Polymers, 49(1), 13-22.

Tapia, M.S., Pérez, E., Rodríguez, P.E., Guzmán, R., Ducamp-Collin, M.N., Tran, T., & Rolland-Sabaté, A. (2012). Some properties of starch and starch edible films from under-utilized roots and tubers from the Venezuelan Amazons. Journal of Cellular Plastics, 48(6), 526-544.

Tester, R.F., Karkalas, J., & Qi, X. (2004). Starch—composition, fine structure and architecture. Journal of Cereal Science, 39(2), 151-165.

Tester, R.F., & Morrison, W.R. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. Cereal Chemistry, 67(6): 551-557.

Tharanathan, R.N. (2003). Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends in Food Science & Technology, 14(3), 71-78.

Torres, P., Pérez, A., Marmolejo, L., Ordoñez, J., & García, R. (2010). Una mirada a la agroindustria de extracción de almidón de yuca, desde la estandarización de procesos. Revista EIA, (14), 23-38.

Tovar, T. (2013). Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*zea mays l*) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis de pregrado. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Trejo-Márquez, A., & Pérez-Guillén, C. (2007). Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de gelatina sobre la calidad de fresa (*Fragaria Vesca* L.) almacenada en refrigeración. Cartagena, España: Grupo Postrecolección y Refrigeración UPCT, 978-984.

Utrilla, G. (2010). Caracterizacion fisicoquimica, morfologica y bioquimica de los granulos del almidon de maiz azul. Tesis maestria. Instituto Politecnico Nacional.

Vaclavik, V.A., Christian, E.W. (2002). Fundamentos de Ciencia de los Alimentos. Cap. 4. Almidones en los alimentos. Acribia.

Valcárcel-Yamani, B., Rondán-Sanabria, G.G., & Finardi-Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: oca (*Oxalis tuberosa Molina*), olluco (*Ullucus tuberosus Caldas*) and mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruiz & Pavón*). Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 49(3), 453-464.

Vamadevan, V., & Bertoft, E. (2015). Structure-function relationships of starch components. Starch-Stärke, 67(1-2), 55-68.

Vasanthan, T., & Hoover, R. (1992). Effect of defatting on starch structure and physicochemical properties. Food Chemistry, 45(5), 337-347.

Vatanasuchart, N. Niyomwit, B. & Wongkrajang, K. (2012). Resistant starch content, in vitro starch digestibility and physico-chemical properties of flour and starch from Thai bananas. Maejo International Journal Science & Technology, 6(02), 259-271.

Velasco, R.J., Luna, W.A., Mera, J.A., & Villada, H S. (2008). Producción de Dextrinas a partir de Almidón Nativo de Yuca por Ruta Seca en una Agroindustria Rural. Información tecnológica, 19(2), 15-22.

Verdú, J., & Gassull, M.A. (2002). Fibra alimentaria. Nutrición y alimentación humana. Ergon, Madrid, 119-135.

Villada, H. Acosta, H., & Velasco, R. (2008). Investigación de Almidones Termoplásticos, Precursores de Productos Biodegradables. En: Información Tecnológica. 19(2), 3-14.

Vilpoux, O., & Averous, L. (2004). Starch-based plastics. Technology, use and potentialities of Latin American starchy tubers, 521-553.

Wani, A.A., Singh, P., Shah, M.A., Schweiggert-Weisz, U., Gul, K., & Wani, I.A. (2012). Rice starch diversity: effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties—A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 11(5), 417-436.

Wang, S., Li, C., Copeland, L., Niu, Q., & Wang, S. (2015). Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 14(5), 568-585.

Wang, T.L., Bogracheva, T.Y., & Hedley, C.L. (1998). Starch: as simple as A, B, C. Journal of Experimental Botany, 49(320), 481-502.

Waterschoot, J., Gomand, S.V., & Delcour, J.A. (2016). Impact of swelling power and granule size on pasting of blends of potato, waxy rice and maize starches. Food Hydrocolloids, 52, 69-77.

Waterschoot, J., Gomand, S.V., Fierens, E., & Delcour, J.A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. Starch-Stärke, 67(1-2), 14-29.

Wittaya, T. (2012). Rice Starch-Based Biodegradable Films: Properties Enhancement. En: Eissa, A.A. Structure and Function of Food Engineering. INTECH Open Access Publisher. 103-134 p.

Wong, D.W., Camirand, W.M., & Pavlath, A.E. (1994). Development of edible coatings for minimally processed fruits and vegetables. En: Baldwin, E., Hagenmaier, R., Bai, J., Krochta, J.,Edible coatings and films to improve food quality, 65-88. En: https://books.google.es

Wurzburg, O.B. (1973). Industrial starch chemistry. En: Furia, T. E. CRC handbook of food additives (Vol. 1). CRC Press. 361- 396 p.

Xu, Y.X., Kim, K.M., Hanna, M.A., & Nag, D. (2005). Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. Industrial Crops and Products, 21(2), 185-192.

You, S.Y., Oh, S.K., Kim, H.S., & Chung, H.J. (2015). Influence of molecular structure on physicochemical properties and digestibility of normal rice starches. International Journal of Biological Macromolecules, 77, 375-382.

You, S.Y., Lim, S.T., Lee, J.H., & Chung, H.J. (2014). Impact of molecular and crystalline structures on in vitro digestibility of waxy rice starches. Carbohydrate Polymers, 112, 729-735.

Zamudio, P.B. (2009). Elaboración de películas degradables de almidón de plátano: evaluación de sus propiedades mecánicas y de barrera. Tesis maestría. Instituto Politécnico Nacional.

Zamudio-Flores, P.B., Bello-Pérez, L.A., Vargas-Torres, A., Hernández-Uribe, J.P., & Romero-Bastida, C.A. (2007). Caracterización parcial de películas preparadas con almidón oxidado de plátano. Agrociencia, 41(8), 837-844.

Zapata, M., Bosques, A. (2015). Efecto del control de enfermedades en los rendimientos de la yautía sel. Nazareno cultivada en dos suelos distintos. Cultivos y Ciencias Agroambientales. 1er. Congreso Internacional de Economía Ecológica en Puerto Rico. Universidad de Puerto Rico. En: http://cohemis.uprm.edu/conecec/presentaciones.html

Zhou, M., Robards, K., Glennie-Holmes, M., & Helliwell, S. (1998). Structure and pasting properties of oat starch. Cereal Chemistry, 75(3), 273-281.

Zhu, F. (2016). Structure, properties, and applications of aroid starch. Food Hydrocolloids 52, 378-392

Zhu, F. (2015). Composition, structure, physicochemical properties, and modifications of cassava starch. Carbohydrate Polymers, 122, 456-480.

# 9. ANEXOS

**Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación**
**CPSHI/IRB 00002053**
Universidad de Puerto Rico – Recinto Universitario de Mayagüez
Decanato de Asuntos Académicos
Call Box 9000
Mayagüez, PR 00681-9000

31 de octubre de 2014

Srta. Leidy F. Alvira Manios
Programa de Ciencias y Tecnología de Alimentos
Call Box 9000
Mayagüez, PR 00681

Estimada Srta. Alvira Manios:

Como presidente del Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación (IRB) he considerado la Solicitud de Revisión y demás documentación para el proyecto titulado *Obtención y caracterización del almidón del cormo de la yautía (Xanthosoma spp.) del cultivar Nazareno para la elaboración de láminas comestibles.* (Protocolo núm. 20141016). Luego de evaluar su protocolo y demás documentación, he determinado que el mismo está considerado exento bajo la Categoría 5 de la cláusula 45 CFR 46.101(b).

Aprovecho la oportunidad para indicarle que la solicitud que sometió no es la actualizada. Por tratarse de un estudio exento, voy a aceptar la que sometió durante el día de hoy. Para futuras ocasiones deberá utilizar la versión que se encuentra en nuestra página web. Además, cualquier cambio al protocolo o a la metodología deberá ser revisado y aprobado por el IRB antes de su implantación. Finalmente, el IRB deberá ser informado de inmediato de cualquier efecto adverso o problema inesperado que surgiera con relación al riesgo de los seres humanos, de cualquier queja sobre la conducción de esta investigación y de cualquier violación a la confidencialidad de los participantes.

Agradecemos su compromiso con los más altos estándares de protección de los seres humanos en la investigación y le deseamos éxito en su proyecto.

Atentamente,

Aidsa I. Santiago Román, PhD
Presidente, Institutional Review Board (IRB)
Universidad de Puerto Rico,
Recinto Universitario de Mayagüez
Oficina: Celis 108
Tel.: (787) 832-4040 Ext. 6277
Página Web: http://www.uprm.edu/cpshi/

**Teléfono:** (787) 832 - 4040 x 6277, 3807, 3808 – **Fax:** (787) 831-2085 – **Página Web:** www.uprm.edu/cpshi
**Email:** cpshi@uprm.edu

**Figura 27.** Carta del Comité para la Protección de los Seres Humanos en la Investigación para el análisis Sensorial

**Tabla 11.** Análisis estadístico del contenido proximal del cormo y del contenido de minerales.

Medidas resumen

| Variable | n | Media | E.E. |
|---|---|---|---|
| Cenizas (%) | 27 | 8.59 | 0.24 |
| Proteína (%) | 27 | 5.72 | 0.23 |
| Grasa (%) | 27 | 1.73 | 0.17 |
| Fibra (%) | 27 | 4.14 | 0.07 |
| Humedad (%) | 15 | 82.21 | 1.23 |

| Variable | n | Media | E.E. |
|---|---|---|---|
| Humedad (%) | 18 | 9.98 | 0.19 |

| Mineral | Variable | n | Media | E.E. |
|---|---|---|---|---|
| K | % | 3 | 0.074 | 0.002 |
| P | % | 3 | 0.015 | 3.3E-04 |

Análisis de la varianza

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Almidón | 27 | 0.84 | 0.83 | 1.54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 147.94 | 2 | 73.97 | 63.98 | <0.0001 |
| Sección | 147.94 | 2 | 73.97 | 63.98 | <0.0001 |
| Error | 27.75 | 24 | 1.16 | | |
| Total | 175.69 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.26579

*Error: 1.1561 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 66.68 | 9 | 0.36 | A | |
| Medio | 71.16 | 9 | 0.36 | | B |
| Apical | 72.02 | 9 | 0.36 | | B |

Medidas resumen

| Mineral | Variable | n | Media | E.E. |
|---|---|---|---|---|
| B | mg/g | 3 | 0.000 | 0.000 |
| Ca | mg/g | 3 | 0.000 | 0.000 |
| Cu | mg/g | 3 | 0.001 | 0.000 |
| Fe | mg/g | 3 | 0.000 | 0.000 |
| K | mg/g | 3 | 0.737 | 0.017 |
| Mg | mg/g | 3 | 0.000 | 0.000 |
| Mn | mg/g | 3 | 0.001 | 0.000 |
| Mo | mg/g | 3 | 0.000 | 0.000 |
| Na | mg/g | 3 | 0.057 | 0.002 |
| P | mg/g | 3 | 0.153 | 0.003 |
| S | mg/g | 3 | 0.022 | 0.001 |

% Humedad

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Humedad | 30 | 0.54 | 0.50 | 3.38 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.56 | 2 | 0.78 | 15.65 | <0.0001 |
| Sección | 1.56 | 2 | 0.78 | 15.65 | <0.0001 |
| Error | 1.34 | 27 | 0.05 | | |
| Total | 2.90 | 29 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.24737

*Error: 0.0498 gl: 27*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 6.32 | 10 | 0.07 | A | | |
| Medio | 6.61 | 10 | 0.07 | | B | |
| Apical | 6.88 | 10 | 0.07 | | | C |

% Grasa

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Grasa | 27 | 0.68 | 0.65 | 3.76 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.4E-03 | 2 | 7.0E-04 | 25.12 | <0.0001 |
| Sección | 1.4E-03 | 2 | 7.0E-04 | 25.12 | <0.0001 |
| Error | 6.6E-04 | 24 | 2.8E-05 | | |
| Total | 2.1E-03 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00620

*Error: 0.0000 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 0.13 | 9 | 1.8E-03 | A | |
| Distal | 0.14 | 9 | 1.8E-03 | A | |
| Apical | 0.15 | 9 | 1.8E-03 | | B |

% Proteína

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Proteína | 27 | 0.99 | 0.99 | 1.48 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.07 | 2 | 0.04 | 1046.21 | <0.0001 |
| Sección | 0.07 | 2 | 0.04 | 1046.21 | <0.0001 |
| Error | 8.4E-04 | 24 | 3.5E-05 | | |
| Total | 0.07 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00698

*Error: 0.0000 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 0.34 | 9 | 2.0E-03 | A | | |
| Apical | 0.40 | 9 | 2.0E-03 | | B | |
| Medio | 0.47 | 9 | 2.0E-03 | | | C |

% Cenizas

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Cenizas | 27 | 0.92 | 0.92 | 3.42 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.01 | 2 | 4.3E-03 | 141.94 | <0.0001 |
| Sección | 0.01 | 2 | 4.3E-03 | 141.94 | <0.0001 |
| Error | 7.3E-04 | 24 | 3.1E-05 | | |
| Total | 0.01 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00651

*Error: 0.0000 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 0.14 | 9 | 1.8E-03 | A | | |
| Medio | 0.16 | 9 | 1.8E-03 | | B | |
| Distal | 0.19 | 9 | 1.8E-03 | | | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 12.** Análisis estadístico del contenido amilosa y amilopectina del cormo

% Amilosa

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Amilosa | 51 | 0.46 | 0.43 | 4.68 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 37.60 | 2 | 18.80 | 20.16 | <0.0001 |
| Sección | 37.60 | 2 | 18.80 | 20.16 | <0.0001 |
| Error | 44.76 | 48 | 0.93 | | |
| Total | 82.37 | 50 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.80108

*Error: 0.9326 gl: 48*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 19.93 | 17 | 0.23 | A | |
| Medio | 20.15 | 17 | 0.23 | A | |
| Distal | 21.85 | 17 | 0.23 | | B |

% Amilopectina

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Amilopectina | 51 | 0.46 | 0.43 | 1.22 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 37.60 | 2 | 18.80 | 20.16 | <0.0001 |
| Sección | 37.60 | 2 | 18.80 | 20.16 | <0.0001 |
| Error | 44.76 | 48 | 0.93 | | |
| Total | 82.37 | 50 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.80108

*Error: 0.9326 gl: 48*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 78.15 | 17 | 0.23 | A | |
| Medio | 79.85 | 17 | 0.23 | | B |
| Apical | 80.07 | 17 | 0.23 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 13.** Análisis estadístico de la hidrólisis del almidón del cormo

Análisis de la varianza

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Hidrólisis del Almidón | 63 | 0.99 | 0.99 | 3.35 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 15195.44 | 6 | 2532.57 | 770.87 | <0.0001 |
| Tiempo (h) | 15195.44 | 6 | 2532.57 | 770.87 | <0.0001 |
| Error | 183.98 | 56 | 3.29 | | |
| Total | 15379.42 | 62 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.61290

*Error: 3.2853 gl: 56*

| Tiempo (h) | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | 32.80 | 9 | 0.60 | A | | | | |
| 1.0 | 35.19 | 9 | 0.60 | A | | | | |
| 2.0 | 49.02 | 9 | 0.60 | | B | | | |
| 3.0 | 54.76 | 9 | 0.60 | | | C | | |
| 4.0 | 57.47 | 9 | 0.60 | | | | D | |
| 5.0 | 74.30 | 9 | 0.60 | | | | | E |
| 6.0 | 74.87 | 9 | 0.60 | | | | | E |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

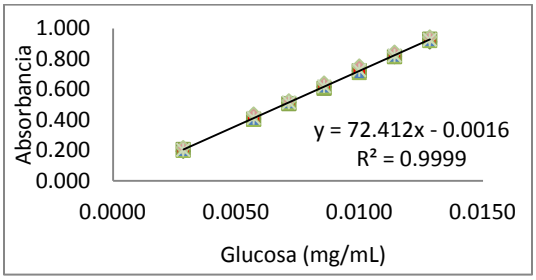



**Figura 28.** Curva de calibración de glucosa empleada para la determinación almidón

**Tabla 14.** Medidas de resumen del contenido del almidón resistente y de fibra dietaría del almidón del cormo

| Variable | n | Media | E.E. | CV |
|---|---|---|---|---|
| % Almidón Resistente | 9 | 14.11 | 0.18 | 3.83 |

| Variable | n | Media | E.E. |
|---|---|---|---|
| Fibra Dietaria Insoluble | 6 | 0.755 | 0.013 |
| Fibra Dietaria Soluble | 6 | 0.130 | 0.002 |

**Tabla 15.** Análisis estadístico del contenido de oxalato en el almidón del cormo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Oxalato (mg/g muestra) | 30 | 0.99 | 0.99 | 3.94 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.12 | 2 | 0.56 | 1384.97 | <0.0001 |
| Sección | 1.12 | 2 | 0.56 | 1384.97 | <0.0001 |
| Error | 0.01 | 27 | 4.0E-04 | | |
| Total | 1.13 | 29 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02227

*Error: 0.0004 gl: 27*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 0.36 | 10 | 0.01 | A | |
| Medio | 0.38 | 10 | 0.01 | A | |
| Distal | 0.78 | 10 | 0.01 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 16.** Análisis estadístico de los resultados del análisis sensorial de acritud realizado al almidón del cormo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Respuesta | 128 | 0.07 | 0.06 | 375.85 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 2.97 | 1 | 2.97 | 9.06 | 0.0032 |
| Columna1 | 2.97 | 1 | 2.97 | 9.06 | 0.0032 |
| Error | 41.31 | 126 | 0.33 | | |
| Total | 44.28 | 127 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.19863

*Error: 0.3278 gl: 126*

| Columna1 | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 0.00 | 64 | 0.07 | A | |
| 1 | 0.30 | 64 | 0.07 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

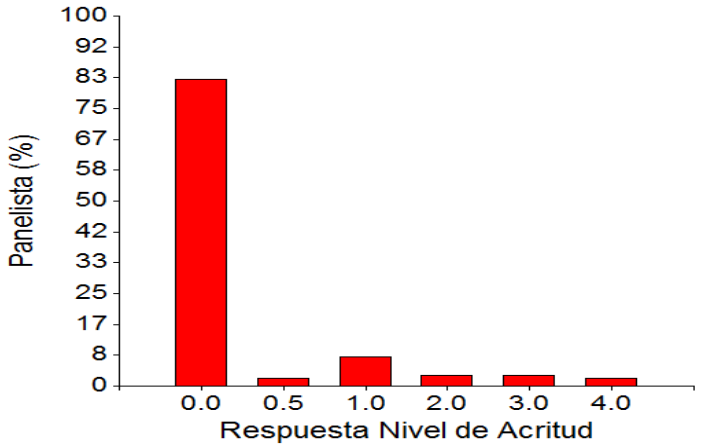


**Figura 29**. Gráfica de barras para el análisis sensorial de acritud realizado al almidón

**Tabla 17.** Análisis estadístico para la distribución del tamaño de los gránulos de almidón

Medidas resumen

| Sección | Variable | n | Media | Mín | Máx |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Tamaño (µm) | 20 | 11.88 | 6.70 | 20.10 |
| Distal | Tamaño (µm) | 20 | 12.14 | 9.18 | 16.80 |
| Medio | Tamaño (µm) | 20 | 11.83 | 6.29 | 15.46 |

Tablas de frecuencias

| Sección | Variable | Clase | LI | LS | FA | FR | FAA | FRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Tamaño (µm) | 1 | [ 5.00 | 10.00 ) | 8 | 0.40 | 8 | 0.40 |
| Apical | Tamaño (µm) | 2 | [ 10.00 | 15.00 ) | 8 | 0.40 | 16 | 0.80 |
| Apical | Tamaño (µm) | 3 | [ 15.00 | 20.00 ) | 3 | 0.15 | 19 | 0.95 |
| Apical | Tamaño (µm) | 4 | [ 20.00 | 25.00 ] | 1 | 0.05 | 20 | 1.00 |

| Sección | Variable | Clase | LI | LS | FA | FR | FAA | FRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Tamaño (µm) | 1 | [ 5.00 | 10.00 ) | 4 | 0.20 | 4 | 0.20 |
| Distal | Tamaño (µm) | 2 | [ 10.00 | 15.00 ) | 14 | 0.70 | 18 | 0.90 |
| Distal | Tamaño (µm) | 3 | [ 15.00 | 20.00 ) | 2 | 0.10 | 20 | 1.00 |
| Distal | Tamaño (µm) | 4 | [ 20.00 | 25.00 ] | 0 | 0.00 | 20 | 1.00 |

| Sección | Variable | Clase | LI | LS | FA | FR | FAA | FRA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Tamaño (µm) | 1 | [ 5.00 | 10.00 ) | 4 | 0.20 | 4 | 0.20 |
| Medio | Tamaño (µm) | 2 | [ 10.00 | 15.00 ) | 12 | 0.60 | 16 | 0.80 |
| Medio | Tamaño (µm) | 3 | [ 15.00 | 20.00 ) | 4 | 0.20 | 20 | 1.00 |
| Medio | Tamaño (µm) | 4 | [ 20.00 | 25.00 ] | 0 | 0.00 | 20 | 1.00 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.11 | 2 | 0.56 | 0.06 | 0.9386 |
| Sección | 1.11 | 2 | 0.56 | 0.06 | 0.9386 |
| Error | 498.76 | 57 | 8.75 | | |
| Total | 499.87 | 59 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.25102

*Error: 8.7502 gl: 57*

| Sección | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Medio | 11.83 | 20 | 0.66 | A |
| Apical | 11.88 | 20 | 0.66 | A |
| Distal | 12.14 | 20 | 0.66 | A |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 18.** Análisis estadístico para los parámetros, índices de color y pH de almidón del cormo

L*

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| L* | 27 | 0.99 | 0.99 | 0.06 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 8.55 | 2 | 4.28 | 1086.92 | <0.0001 |
| Sección | 8.55 | 2 | 4.28 | 1086.92 | <0.0001 |
| Error | 0.09 | 24 | 3.9E-03 | | |
| Total | 8.65 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07384

*Error: 0.0039 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 97.49 | 9 | 0.02 | A | | |
| Distal | 98.58 | 9 | 0.02 | | B | |
| Apical | 98.76 | 9 | 0.02 | | | C |

a*

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| a* | 27 | 0.70 | 0.68 | 2.90 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.01 | 2 | 2.9E-03 | 28.43 | <0.0001 |
| Sección | 0.01 | 2 | 2.9E-03 | 28.43 | <0.0001 |
| Error | 2.5E-03 | 24 | 1.0E-04 | | |
| Total | 0.01 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01199

*Error: 0.0001 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 0.33 | 9 | 3.4E-03 | A | | |
| Medio | 0.36 | 9 | 3.4E-03 | | B | |
| Distal | 0.36 | 9 | 3.4E-03 | | B | |

b*

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| b* | 27 | 0.99 | 0.99 | 1.50 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4.54 | 2 | 2.27 | 1983.41 | <0.0001 |
| Sección | 4.54 | 2 | 2.27 | 1983.41 | <0.0001 |
| Error | 0.03 | 24 | 1.1E-03 | | |
| Total | 4.56 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03981

*Error: 0.0011 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 1.90 | 9 | 0.01 | A | | |
| Distal | 2.05 | 9 | 0.01 | | B | |
| Medio | 2.83 | 9 | 0.01 | | | C |

IP

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| IP | 27 | 0.99 | 0.99 | 3.64 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 8.57 | 2 | 4.29 | 1085.35 | <0.0001 |
| Sección | 8.57 | 2 | 4.29 | 1085.35 | <0.0001 |
| Error | 0.09 | 24 | 3.9E-03 | | |
| Total | 8.67 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07399

*Error: 0.0039 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 1.24 | 9 | 0.02 | A | | |
| Distal | 1.42 | 9 | 0.02 | | B | |
| Medio | 2.52 | 9 | 0.02 | | | C |

IB

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| IB | 27 | 0.99 | 0.99 | 0.05 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 12.02 | 2 | 6.01 | 2252.09 | <0.0001 |
| Sección | 12.02 | 2 | 6.01 | 2252.09 | <0.0001 |
| Error | 0.06 | 24 | 2.7E-03 | | |
| Total | 12.09 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.06082

*Error: 0.0027 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 96.19 | 9 | 0.02 | A | | |
| Distal | 97.48 | 9 | 0.02 | | B | |
| Apical | 97.71 | 9 | 0.02 | | | C |

pH

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| pH | 30 | 0.97 | 0.97 | 0.58 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.48 | 2 | 0.74 | 435.67 | <0.0001 |
| Sección | 1.48 | 2 | 0.74 | 435.67 | <0.0001 |
| Error | 0.05 | 27 | 1.7E-03 | | |
| Total | 1.53 | 29 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.04575

*Error: 0.0017 gl: 27*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 6.80 | 10 | 0.01 | A | | |
| Distal | 7.26 | 10 | 0.01 | | B | |
| Medio | 7.28 | 10 | 0.01 | | B | |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 19.** Análisis estadístico de la claridad de la pasta del almidón a diferentes temperaturas

80

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 27 | 0.98 | 0.98 | 4.48 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 30.10 | 2 | 15.05 | 526.12 | <0.0001 |
| Sección | 30.10 | 2 | 15.05 | 526.12 | <0.0001 |
| Error | 0.69 | 24 | 0.03 | | |
| Total | 30.79 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.19911

*Error: 0.0286 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 3.02 | 9 | 0.06 | A | |
| Apical | 3.05 | 9 | 0.06 | A | |
| Distal | 5.27 | 9 | 0.06 | | B |

85

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 85 | 27 | 0.77 | 0.75 | 4.40 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4.99 | 2 | 2.49 | 40.53 | <0.0001 |
| Sección | 4.99 | 2 | 2.49 | 40.53 | <0.0001 |
| Error | 1.48 | 24 | 0.06 | | |
| Total | 6.46 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29198

*Error: 0.0615 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 5.28 | 9 | 0.08 | A | |
| Medio | 5.39 | 9 | 0.08 | A | |
| Distal | 6.25 | 9 | 0.08 | | B |

90

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 90 | 27 | 0.81 | 0.79 | 4.51 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 9.59 | 2 | 4.79 | 50.54 | <0.0001 |
| Sección | 9.59 | 2 | 4.79 | 50.54 | <0.0001 |
| Error | 2.28 | 24 | 0.09 | | |
| Total | 11.87 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.36260

*Error: 0.0949 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 6.14 | 9 | 0.10 | A | | |
| Medio | 6.76 | 9 | 0.10 | | B | |
| Distal | 7.59 | 9 | 0.10 | | | C |

100

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 27 | 0.75 | 0.73 | 3.79 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 7.31 | 2 | 3.65 | 36.09 | <0.0001 |
| Sección | 7.31 | 2 | 3.65 | 36.09 | <0.0001 |
| Error | 2.43 | 24 | 0.10 | | |
| Total | 9.74 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37462

*Error: 0.1013 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 7.98 | 9 | 0.11 | A | |
| Medio | 8.08 | 9 | 0.11 | A | |
| Distal | 9.13 | 9 | 0.11 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 20.** Análisis estadístico del poder de hinchamiento del almidón a diferentes temperaturas

60

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 60 | 27 | 0.57 | 0.53 | 3.95 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.16 | 2 | 0.08 | 15.90 | <0.0001 |
| Sección | 0.16 | 2 | 0.08 | 15.90 | <0.0001 |
| Error | 0.12 | 24 | 5.0E-03 | | |
| Total | 0.28 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08297

*Error: 0.0050 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 1.68 | 9 | 0.02 | A | |
| Medio | 1.84 | 9 | 0.02 | | B |
| Apical | 1.84 | 9 | 0.02 | | B |

70

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 27 | 0.96 | 0.95 | 3.52 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 46.46 | 2 | 23.23 | 257.51 | <0.0001 |
| Sección | 46.46 | 2 | 23.23 | 257.51 | <0.0001 |
| Error | 2.17 | 24 | 0.09 | | |
| Total | 48.63 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.35359

*Error: 0.0902 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 7.06 | 9 | 0.10 | A | | |
| Medio | 8.31 | 9 | 0.10 | | B | |
| Distal | 10.25 | 9 | 0.10 | | | C |

**Continuación Tabla 20.** Análisis estadístico del poder de hinchamiento del almidón a diferentes temperaturas

80

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 27 | 0.98 | 0.98 | 4.54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 137.37 | 2 | 68.68 | 529.24 | <0.0001 |
| Sección | 137.37 | 2 | 68.68 | 529.24 | <0.0001 |
| Error | 3.11 | 24 | 0.13 | | |
| Total | 140.48 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.42409

*Error: 0.1298 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 5.82 | 9 | 0.12 | A | | |
| Medio | 6.92 | 9 | 0.12 | | B | |
| Distal | 11.06 | 9 | 0.12 | | | C |

100

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 27 | 0.80 | 0.78 | 2.84 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 23.86 | 2 | 11.93 | 47.95 | <0.0001 |
| Sección | 23.86 | 2 | 11.93 | 47.95 | <0.0001 |
| Error | 5.97 | 24 | 0.25 | | |
| Total | 29.83 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.58719

*Error: 0.2488 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 16.21 | 9 | 0.17 | A | |
| Distal | 18.17 | 9 | 0.17 | | B |
| Apical | 18.24 | 9 | 0.17 | | B |

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Poder de Hinchamiento | 45 | 0.99 | 0.99 | 4.12 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1388.94 | 4 | 347.23 | 1627.46 | <0.0001 |
| Temperatura | 1388.94 | 4 | 347.23 | 1627.46 | <0.0001 |
| Error | 8.53 | 40 | 0.21 | | |
| Total | 1397.47 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.62190

*Error: 0.2134 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 1.68 | 9 | 0.15 | A | | | | |
| 70 | 10.25 | 9 | 0.15 | | B | | | |
| 80 | 11.06 | 9 | 0.15 | | | C | | |
| 90 | 14.96 | 9 | 0.15 | | | | D | |
| 100 | 18.17 | 9 | 0.15 | | | | | E |

90

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 90 | 27 | 0.88 | 0.87 | 3.42 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 38.51 | 2 | 19.26 | 87.96 | <0.0001 |
| Sección | 38.51 | 2 | 19.26 | 87.96 | <0.0001 |
| Error | 5.25 | 24 | 0.22 | | |
| Total | 43.77 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.55080

*Error: 0.2189 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 12.09 | 9 | 0.16 | A | | |
| Apical | 14.02 | 9 | 0.16 | | B | |
| Distal | 14.96 | 9 | 0.16 | | | C |

Análisis de la varianza

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Poder de Hinchamiento | 45 | 1.00 | 1.00 | 2.99 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1574.32 | 4 | 393.58 | 4980.04 | <0.0001 |
| Temperatura | 1574.32 | 4 | 393.58 | 4980.04 | <0.0001 |
| Error | 3.16 | 40 | 0.08 | | |
| Total | 1577.48 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.37850

*Error: 0.0790 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 1.84 | 9 | 0.09 | A | | | |
| 80 | 5.82 | 9 | 0.09 | | B | | |
| 70 | 7.06 | 9 | 0.09 | | | C | |
| 90 | 14.02 | 9 | 0.09 | | | | D |
| 100 | 18.24 | 9 | 0.09 | | | | | E |

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Poder de Hinchamiento | 45 | 1.00 | 0.99 | 3.87 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1058.39 | 4 | 264.60 | 2147.64 | <0.0001 |
| Temperatura | 1058.39 | 4 | 264.60 | 2147.64 | <0.0001 |
| Error | 4.93 | 40 | 0.12 | | |
| Total | 1063.32 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.47258

*Error: 0.1232 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 1.84 | 9 | 0.12 | A | | | |
| 80 | 6.92 | 9 | 0.12 | | B | | |
| 70 | 8.31 | 9 | 0.12 | | | C | |
| 90 | 12.09 | 9 | 0.12 | | | | D |
| 100 | 16.21 | 9 | 0.12 | | | | | E |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 21.** Análisis estadístico del poder de solubilidad del almidón a diferentes temperaturas

60

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 60 | 27 | 0.98 | 0.98 | 4.14 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.82 | 2 | 0.41 | 540.48 | <0.0001 |
| Sección | 0.82 | 2 | 0.41 | 540.48 | <0.0001 |
| Error | 0.02 | 24 | 7.6E-04 | | |
| Total | 0.84 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.03238

*Error: 0.0008 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 0.54 | 9 | 0.01 | A | |
| Distal | 0.54 | 9 | 0.01 | A | |
| Apical | 0.91 | 9 | 0.01 | | B |

80

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 80 | 27 | 0.97 | 0.97 | 3.93 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 66.33 | 2 | 33.16 | 366.93 | <0.0001 |
| Sección | 66.33 | 2 | 33.16 | 366.93 | <0.0001 |
| Error | 2.17 | 24 | 0.09 | | |
| Total | 68.50 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.35391

*Error: 0.0904 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 6.52 | 9 | 0.10 | A | |
| Apical | 6.55 | 9 | 0.10 | A | |
| Distal | 9.86 | 9 | 0.10 | | B |

100

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 100 | 27 | 0.96 | 0.95 | 4.77 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 78.00 | 2 | 39.00 | 258.66 | <0.0001 |
| Sección | 78.00 | 2 | 39.00 | 258.66 | <0.0001 |
| Error | 3.62 | 24 | 0.15 | | |
| Total | 81.62 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45712

*Error: 0.1508 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 6.87 | 9 | 0.13 | A | |
| Medio | 7.01 | 9 | 0.13 | A | |
| Distal | 10.55 | 9 | 0.13 | | B |

70

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 70 | 27 | 0.96 | 0.95 | 4.81 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 63.09 | 2 | 31.54 | 263.77 | <0.0001 |
| Sección | 63.09 | 2 | 31.54 | 263.77 | <0.0001 |
| Error | 2.87 | 24 | 0.12 | | |
| Total | 65.95 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.40710

*Error: 0.1196 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 5.72 | 9 | 0.12 | A | | |
| Medio | 6.54 | 9 | 0.12 | | B | |
| Distal | 9.29 | 9 | 0.12 | | | C |

90

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| 90 | 27 | 0.97 | 0.97 | 3.90 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 73.92 | 2 | 36.96 | 387.83 | <0.0001 |
| Sección | 73.92 | 2 | 36.96 | 387.83 | <0.0001 |
| Error | 2.29 | 24 | 0.10 | | |
| Total | 76.21 | 26 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.36343

*Error: 0.0953 gl: 24*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 6.64 | 9 | 0.10 | A | |
| Medio | 6.87 | 9 | 0.10 | A | |
| Distal | 10.26 | 9 | 0.10 | | B |

Análisis de la varianza

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | % Solubilidad | 45 | 0.99 | 0.99 | 3.69 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 227.31 | 4 | 56.83 | 1466.89 | <0.0001 |
| Temperatura | 227.31 | 4 | 56.83 | 1466.89 | <0.0001 |
| Error | 1.55 | 40 | 0.04 | | |
| Total | 228.86 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26500

*Error: 0.0387 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 0.91 | 9 | 0.07 | A | | | |
| 70 | 5.72 | 9 | 0.07 | | B | | |
| 80 | 6.55 | 9 | 0.07 | | | C | |
| 90 | 6.64 | 9 | 0.07 | | | C | D |
| 100 | 6.87 | 9 | 0.07 | | | | D |

**Continuación Tabla 21** Análisis estadístico del poder de solubilidad del almidón a diferentes temperaturas.

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | % Solubilidad | 45 | 0.99 | 0.99 | 4.99 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 650.19 | 4 | 162.55 | 993.08 | <0.0001 |
| Temperatura | 650.19 | 4 | 162.55 | 993.08 | <0.0001 |
| Error | 6.55 | 40 | 0.16 | | |
| Total | 656.74 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.54471

*Error: 0.1637 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 0.54 | 9 | 0.13 | A | | |
| 70 | 9.29 | 9 | 0.13 | | B | |
| 80 | 9.86 | 9 | 0.13 | | | C |
| 90 | 10.26 | 9 | 0.13 | | | C D |
| 100 | 10.55 | 9 | 0.13 | | | D |

| Sección | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | % Solubilidad | 45 | 0.99 | 0.99 | 4.87 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 278.08 | 4 | 69.52 | 970.19 | <0.0001 |
| Temperatura | 278.08 | 4 | 69.52 | 970.19 | <0.0001 |
| Error | 2.87 | 40 | 0.07 | | |
| Total | 280.95 | 44 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.36041

*Error: 0.0717 gl: 40*

| Temperatura | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | 0.54 | 9 | 0.09 | A | | |
| 80 | 6.52 | 9 | 0.09 | | B | |
| 70 | 6.54 | 9 | 0.09 | | B | |
| 90 | 6.87 | 9 | 0.09 | | B | C |
| 100 | 7.01 | 9 | 0.09 | | | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

Cohesividad

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Cohesividad | 54 | 0.89 | 0.88 | 11.06 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.46 | 5 | 0.29 | 80.81 | <0.0001 |
| Día | 1.46 | 5 | 0.29 | 80.81 | <0.0001 |
| Error | 0.17 | 48 | 3.6E-03 | | |
| Total | 1.63 | 53 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08403

*Error: 0.0036 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.42 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 11 | 0.44 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 6 | 0.45 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 7 | 0.46 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 13 | 0.59 | 9 | 0.02 | | B | | |
| 12 | 0.89 | 9 | 0.02 | | | C | |

Gomosidad (N)

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Gomosidad (N) | 54 | 0.98 | 0.98 | 9.54 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4812.15 | 5 | 962.43 | 433.63 | <0.0001 |
| Día | 4812.15 | 5 | 962.43 | 433.63 | <0.0001 |
| Error | 106.53 | 48 | 2.22 | | |
| Total | 4918.69 | 53 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.08433

*Error: 2.2195 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.29 | 9 | 0.50 | A | | | | |
| 6 | 10.46 | 9 | 0.50 | | B | | | |
| 7 | 11.82 | 9 | 0.50 | | B | | | |
| 11 | 15.64 | 9 | 0.50 | | | C | | |
| 13 | 20.84 | 9 | 0.50 | | | | D | |
| 12 | 32.61 | 9 | 0.50 | | | | | E |

**Continuación Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

**Masticabilidad (N)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Masticabilidad (N) | 54 | 0.98 | 0.97 | 14.90 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 41436.58 | 5 | 8287.32 | 389.22 | <0.0001 |
| Día | 41436.58 | 5 | 8287.32 | 389.22 | <0.0001 |
| Error | 1022.01 | 48 | 21.29 | | |
| Total | 42458.59 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=6.45578**

*Error: 21.2919 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.52 | 9 | 1.54 | A | | | |
| 7 | 12.95 | 9 | 1.54 | | B | | |
| 6 | 14.91 | 9 | 1.54 | | B | | |
| 11 | 23.40 | 9 | 1.54 | | | C | |
| 13 | 47.24 | 9 | 1.54 | | | | D |
| 12 | 84.73 | 9 | 1.54 | | | | E |

**Elasticidad**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Elasticidad | 54 | 0.36 | 0.29 | 21.92 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 2.23 | 5 | 0.45 | 5.35 | 0.0005 |
| Día | 2.23 | 5 | 0.45 | 5.35 | 0.0005 |
| Error | 4.01 | 48 | 0.08 | | |
| Total | 6.24 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.40421**

*Error: 0.0835 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.08 | 9 | 0.10 | A | |
| 6 | 1.19 | 9 | 0.10 | A | |
| 7 | 1.23 | 9 | 0.10 | A | |
| 11 | 1.26 | 9 | 0.10 | A | |
| 13 | 1.45 | 9 | 0.10 | A | B |
| 12 | 1.70 | 9 | 0.10 | | B |

**Dureza (g)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | Dureza (g) | 54 | 0.90 | 0.89 | 13.54 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 5275.70 | 5 | 1055.14 | 90.38 | <0.0001 |
| Día | 5275.70 | 5 | 1055.14 | 90.38 | <0.0001 |
| Error | 560.36 | 48 | 11.67 | | |
| Total | 5836.06 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.78030**

*Error: 11.6742 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 9.81 | 9 | 1.14 | A | | | |
| 6 | 15.19 | 9 | 1.14 | | B | | |
| 7 | 24.08 | 9 | 1.14 | | | C | |
| 11 | 32.69 | 9 | 1.14 | | | | D |
| 12 | 32.98 | 9 | 1.14 | | | | D |
| 13 | 36.66 | 9 | 1.14 | | | | D |

**Cohesividad**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Cohesividad | 54 | 0.92 | 0.91 | 9.77 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.54 | 5 | 0.31 | 113.85 | <0.0001 |
| Día | 1.54 | 5 | 0.31 | 113.85 | <0.0001 |
| Error | 0.13 | 48 | 2.7E-03 | | |
| Total | 1.68 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07289**

*Error: 0.0027 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0.38 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 6 | 0.38 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 1 | 0.48 | 9 | 0.02 | | B | | |
| 11 | 0.51 | 9 | 0.02 | | B | C | |
| 13 | 0.58 | 9 | 0.02 | | | C | |
| 12 | 0.88 | 9 | 0.02 | | | | D |

**Continuación Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

**Gomosidad (N)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Gomosidad (N) | 54 | 0.98 | 0.97 | 9.64 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 5276.07 | 5 | 1055.21 | 410.34 | <0.0001 |
| Día | 5276.07 | 5 | 1055.21 | 410.34 | <0.0001 |
| Error | 123.43 | 48 | 2.57 | | |
| Total | 5399.50 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.24356**

*Error: 2.5715 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.30 | 9 | 0.53 | A | | | | |
| 6 | 8.34 | 9 | 0.53 | A | B | | | |
| 7 | 10.10 | 9 | 0.53 | | B | | | |
| 11 | 16.49 | 9 | 0.53 | | | C | | |
| 13 | 22.01 | 9 | 0.53 | | | | D | |
| 12 | 35.57 | 9 | 0.53 | | | | | E |

**Masticabilidad (N)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Masticabilidad (N) | 54 | 0.97 | 0.96 | 15.52 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 53662.95 | 5 | 10732.59 | 283.08 | <0.0001 |
| Día | 53662.95 | 5 | 10732.59 | 283.08 | <0.0001 |
| Error | 1819.85 | 48 | 37.91 | | |
| Total | 55482.79 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=8.61468**

*Error: 37.9135 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 7.85 | 9 | 2.05 | A | | | | |
| 6 | 16.07 | 9 | 2.05 | A | B | | | |
| 7 | 20.53 | 9 | 2.05 | | B | | | |
| 11 | 37.42 | 9 | 2.05 | | | C | | |
| 13 | 54.91 | 9 | 2.05 | | | | D | |
| 12 | 101.23 | 9 | 2.05 | | | | | E |

**Elasticidad**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Elasticidad | 54 | 0.40 | 0.33 | 8.45 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.38 | 5 | 0.28 | 6.33 | 0.0001 |
| Día | 1.38 | 5 | 0.28 | 6.33 | 0.0001 |
| Error | 2.09 | 48 | 0.04 | | |
| Total | 3.46 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29175**

*Error: 0.0435 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 2.29 | 9 | 0.07 | A | |
| 6 | 2.32 | 9 | 0.07 | A | |
| 1 | 2.32 | 9 | 0.07 | A | |
| 11 | 2.54 | 9 | 0.07 | A | B |
| 13 | 2.64 | 9 | 0.07 | | B |
| 12 | 2.68 | 9 | 0.07 | | B |

**Dureza (g)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | Dureza (g) | 54 | 0.88 | 0.87 | 11.79 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4523.67 | 5 | 904.73 | 72.20 | <0.0001 |
| Día | 4523.67 | 5 | 904.73 | 72.20 | <0.0001 |
| Error | 601.49 | 48 | 12.53 | | |
| Total | 5125.16 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.95262**

*Error: 12.5310 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 17.03 | 9 | 1.18 | A | | | |
| 6 | 21.97 | 9 | 1.18 | A | B | | |
| 7 | 26.55 | 9 | 1.18 | | B | | |
| 11 | 33.51 | 9 | 1.18 | | | C | |
| 12 | 37.01 | 9 | 1.18 | | | C | |
| 13 | 44.02 | 9 | 1.18 | | | | D |

**Continuación Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

**Cohesividad**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Cohesividad | 54 | 0.87 | 0.85 | 13.54 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.36 | 5 | 0.27 | 62.58 | <0.0001 |
| Día | 1.36 | 5 | 0.27 | 62.58 | <0.0001 |
| Error | 0.21 | 48 | 4.4E-03 | | |
| Total | 1.57 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.09234**

*Error: 0.0044 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0.38 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 6 | 0.38 | 9 | 0.02 | A | | | |
| 1 | 0.42 | 9 | 0.02 | A | B | | |
| 11 | 0.42 | 9 | 0.02 | A | B | | |
| 13 | 0.48 | 9 | 0.02 | | B | | |
| 12 | 0.84 | 9 | 0.02 | | | C | |

**Gomosidad (N)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Gomosidad (N) | 54 | 0.97 | 0.96 | 15.17 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4992.11 | 5 | 998.42 | 284.50 | <0.0001 |
| Día | 4992.11 | 5 | 998.42 | 284.50 | <0.0001 |
| Error | 168.45 | 48 | 3.51 | | |
| Total | 5160.56 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.62093**

*Error: 3.5093 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.45 | 9 | 0.62 | A | | | | |
| 6 | 5.53 | 9 | 0.62 | | B | | | |
| 7 | 6.46 | 9 | 0.62 | | B | | | |
| 11 | 11.97 | 9 | 0.62 | | | C | | |
| 13 | 16.36 | 9 | 0.62 | | | | D | |
| 12 | 31.30 | 9 | 0.62 | | | | | E |

**Masticabilidad (N)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Masticabilidad (N) | 54 | 0.98 | 0.98 | 16.03 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 30810.42 | 5 | 6162.08 | 455.73 | <0.0001 |
| Día | 30810.42 | 5 | 6162.08 | 455.73 | <0.0001 |
| Error | 649.02 | 48 | 13.52 | | |
| Total | 31459.45 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.14459**

*Error: 13.5213 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2.67 | 9 | 1.23 | A | | | |
| 6 | 6.11 | 9 | 1.23 | A | | | |
| 7 | 6.63 | 9 | 1.23 | A | | | |
| 11 | 15.73 | 9 | 1.23 | | B | | |
| 13 | 36.26 | 9 | 1.23 | | | C | |
| 12 | 70.20 | 9 | 1.23 | | | | D |

**Elasticidad**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Elasticidad | 54 | 0.56 | 0.52 | 21.76 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4.92 | 5 | 0.98 | 12.26 | <0.0001 |
| Día | 4.92 | 5 | 0.98 | 12.26 | <0.0001 |
| Error | 3.86 | 48 | 0.08 | | |
| Total | 8.78 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.39655**

*Error: 0.0803 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 0.98 | 9 | 0.09 | A | | |
| 1 | 1.04 | 9 | 0.09 | A | B | |
| 6 | 1.06 | 9 | 0.09 | A | B | |
| 11 | 1.42 | 9 | 0.09 | | B | C |
| 13 | 1.51 | 9 | 0.09 | | | C |
| 12 | 1.81 | 9 | 0.09 | | | C |

**Continuación Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

**Dureza (g)**

| Almidón | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | Dureza (g) | 54 | 0.95 | 0.95 | 10.31 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 4435.29 | 5 | 887.06 | 189.93 | <0.0001 |
| Día | 4435.29 | 5 | 887.06 | 189.93 | <0.0001 |
| Error | 224.18 | 48 | 4.67 | | |
| Total | 4659.47 | 53 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.02358**

*Error: 4.6704 gl: 48*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.58 | 9 | 0.72 | A | | | | |
| 6 | 14.80 | 9 | 0.72 | | B | | | |
| 7 | 18.45 | 9 | 0.72 | | | C | | |
| 12 | 25.93 | 9 | 0.72 | | | | D | |
| 11 | 28.77 | 9 | 0.72 | | | | D | |
| 13 | 32.20 | 9 | 0.72 | | | | | E |

**Gomosidad (N)**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Gomosidad (N) | 162 | 0.03 | 0.02 | 66.38 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 541.85 | 2 | 270.93 | 2.78 | 0.0649 |
| Almidón | 541.85 | 2 | 270.93 | 2.78 | 0.0649 |
| Error | 15478.74 | 159 | 97.35 | | |
| Total | 16020.60 | 161 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.45695**

*Error: 97.3506 gl: 159*

| Almidón | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Medio | 12.35 | 54 | 1.34 | A |
| Apical | 15.61 | 54 | 1.34 | A |
| Distal | 16.63 | 54 | 1.34 | A |

**Elasticidad**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Elasticidad | 162 | 0.72 | 0.72 | 20.11 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 48.13 | 2 | 24.06 | 207.02 | <0.0001 |
| Almidón | 48.13 | 2 | 24.06 | 207.02 | <0.0001 |
| Error | 18.48 | 159 | 0.12 | | |
| Total | 66.61 | 161 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15401**

*Error: 0.1162 gl: 159*

| Almidón | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 1.30 | 54 | 0.05 | A | |
| Apical | 1.32 | 54 | 0.05 | A | |
| Distal | 2.47 | 54 | 0.05 | | B |

**Cohesividad**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Cohesividad | 162 | 0.02 | 0.01 | 33.60 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 0.10 | 2 | 0.05 | 1.56 | 0.2126 |
| Almidón | 0.10 | 2 | 0.05 | 1.56 | 0.2126 |
| Error | 4.88 | 159 | 0.03 | | |
| Total | 4.97 | 161 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07912**

*Error: 0.0307 gl: 159*

| Almidón | Medias | n | E.E. | |
|---|---|---|---|---|
| Medio | 0.49 | 54 | 0.02 | A |
| Distal | 0.53 | 54 | 0.02 | A |
| Apical | 0.54 | 54 | 0.02 | A |

**Masticabilidad (N)**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Masticabilidad (N) | 162 | 0.06 | 0.04 | 91.47 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 7565.05 | 2 | 3782.53 | 4.65 | 0.0109 |
| Almidón | 7565.05 | 2 | 3782.53 | 4.65 | 0.0109 |
| Error | 129400.83 | 159 | 813.84 | | |
| Total | 136965.88 | 161 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.88661**

*Error: 813.8417 gl: 159*

| Almidón | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 22.93 | 54 | 3.88 | A | |
| Apical | 30.96 | 54 | 3.88 | A | B |
| Distal | 39.67 | 54 | 3.88 | | B |

**Dureza (g)**

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Dureza (g) | 162 | 0.12 | 0.11 | 39.02 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 2217.75 | 2 | 1108.87 | 11.29 | <0.0001 |
| Almidón | 2217.75 | 2 | 1108.87 | 11.29 | <0.0001 |
| Error | 15620.69 | 159 | 98.24 | | |
| Total | 17838.44 | 161 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.47734**

*Error: 98.2433 gl: 159*

| Almidón | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 20.96 | 54 | 1.35 | A | |
| Apical | 25.23 | 54 | 1.35 | A | |
| Distal | 30.01 | 54 | 1.35 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Continuación Tabla 22.** Análisis estadístico de la estabilidad de la pasta de almidón del cormo bajo condiciones de refrigeración y congelación

Análisis de la varianza

| Almacenamiento | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Congelación | % Sinéresis | 36 | 0.99 | 0.99 | 1.33 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 5.49 | 5 | 1.10 | 1142.11 | <0.0001 |
| Día | 5.49 | 5 | 1.10 | 1142.11 | <0.0001 |
| Error | 0.03 | 30 | 9.6E-04 | | |
| Total | 5.52 | 35 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05445

*Error: 0.0010 gl: 30*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.82 | 6 | 0.01 | A | | | | |
| 4 | 2.02 | 6 | 0.01 | | B | | | |
| 8 | 2.30 | 6 | 0.01 | | | C | | |
| 6 | 2.30 | 6 | 0.01 | | | C | | |
| 10 | 2.55 | 6 | 0.01 | | | | D | |
| 12 | 3.04 | 6 | 0.01 | | | | | E |

| Almacenamiento | Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|---|
| Refrigeración | % Sinéresis | 36 | 1.00 | 1.00 | 2.53 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 21.46 | 5 | 4.29 | 2266.37 | <0.0001 |
| Día | 21.46 | 5 | 4.29 | 2266.37 | <0.0001 |
| Error | 0.06 | 30 | 1.9E-03 | | |
| Total | 21.52 | 35 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07642

*Error: 0.0019 gl: 30*

| Día | Medias | n | E.E. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.85 | 6 | 0.02 | A | | | | | |
| 4 | 1.04 | 6 | 0.02 | | B | | | | |
| 6 | 1.12 | 6 | 0.02 | | | C | | | |
| 8 | 2.05 | 6 | 0.02 | | | | D | | |
| 10 | 2.29 | 6 | 0.02 | | | | | E | |
| 12 | 2.97 | 6 | 0.02 | | | | | | F |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 23.** Análisis estadístico de de las propiedades reológicas del almidón del cormo

Temperatura de inicio de gelatiniza

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Temperatura de inicio de g.. | 9 | 0.93 | 0.91 | 0.58 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 16.62 | 2 | 8.31 | 41.31 | 0.0003 |
| Sección | 16.62 | 2 | 8.31 | 41.31 | 0.0003 |
| Error | 1.21 | 6 | 0.20 | | |
| Total | 17.82 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.12348

*Error: 0.2011 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 75.57 | 3 | 0.26 | A | |
| Medio | 76.50 | 3 | 0.26 | A | |
| Apical | 78.80 | 3 | 0.26 | | B |

Pico de viscosidad (RVU)

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Pico de viscosidad (RVU) | 9 | 0.84 | 0.78 | 3.10 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 731.67 | 2 | 365.83 | 15.33 | 0.0044 |
| Sección | 731.67 | 2 | 365.83 | 15.33 | 0.0044 |
| Error | 143.22 | 6 | 23.87 | | |
| Total | 874.89 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=12.23981

*Error: 23.8700 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 149.73 | 3 | 2.82 | A | |
| Medio | 152.87 | 3 | 2.82 | A | |
| Apical | 170.23 | 3 | 2.82 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Continuación Tabla 23.** Análisis estadístico de de las propiedades reológicas del almidón del cormo

Viscosidad mínima (RVU)

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Viscosidad mínima (RVU) | 9 | 0.74 | 0.66 | 4.23 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 499.64 | 2 | 249.82 | 8.70 | 0.0169 |
| Sección | 499.64 | 2 | 249.82 | 8.70 | 0.0169 |
| Error | 172.27 | 6 | 28.71 | | |
| Total | 671.92 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=13.42400

*Error: 28.7122 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 119.00 | 3 | 3.09 | A | |
| Medio | 124.27 | 3 | 3.09 | A | B |
| Apical | 136.77 | 3 | 3.09 | | B |

Viscosidad final (RVU)

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Viscosidad final (RVU) | 9 | 0.87 | 0.83 | 3.90 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1197.98 | 2 | 598.99 | 20.84 | 0.0020 |
| Sección | 1197.98 | 2 | 598.99 | 20.84 | 0.0020 |
| Error | 172.43 | 6 | 28.74 | | |
| Total | 1370.42 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=13.43023

*Error: 28.7389 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Distal | 126.03 | 3 | 3.10 | A | |
| Medio | 133.23 | 3 | 3.10 | A | |
| Apical | 153.30 | 3 | 3.10 | | B |

Breakdown (RVU)

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Breakdown (RVU) | 9 | 0.69 | 0.59 | 5.23 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 35.71 | 2 | 17.85 | 6.81 | 0.0286 |
| Sección | 35.71 | 2 | 17.85 | 6.81 | 0.0286 |
| Error | 15.73 | 6 | 2.62 | | |
| Total | 51.44 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=4.05680

*Error: 2.6222 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Medio | 28.60 | 3 | 0.93 | A | |
| Distal | 30.73 | 3 | 0.93 | A | B |
| Apical | 33.47 | 3 | 0.93 | | B |

Setback (RVU)

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| Setback (RVU) | 9 | 0.89 | 0.86 | 5.91 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 69.62 | 2 | 34.81 | 24.71 | 0.0013 |
| Sección | 69.62 | 2 | 34.81 | 24.71 | 0.0013 |
| Error | 8.45 | 6 | 1.41 | | |
| Total | 78.07 | 8 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.97363

*Error: 1.4089 gl: 6*

| Sección | Medias | n | E.E. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Apical | 16.93 | 3 | 0.69 | A | |
| Medio | 19.63 | 3 | 0.69 | A | |
| Distal | 23.70 | 3 | 0.69 | | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

## Análisis Factorial de las láminas de almidón del cormo de yautía

### Modelo lineal para este experimento – Diseño Factorial 5 x 5

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde $\mu$ es la media, $\boldsymbol{i}$ representa los niveles de la lactosa, $\boldsymbol{j}$ los niveles de la levadura, $\boldsymbol{k}$ representa las repeticiones, $\alpha_i$ el efecto del almidón, $\beta_j$ es el efecto del glicerol y $\alpha\beta_{ij}$ es el efecto de la interacción entre ellos y $\varepsilon_{ij}$ el error experimental

**Hipótesis**

Interacción

$$H_o: \alpha\beta = 0 \ \ (no\ hay\ interacción) \qquad H_a: \alpha\beta \neq 0$$

Efecto del Almidón

$$H_o: \alpha = 0 \ \ (no\ hay\ efecto\ principal) \qquad H_a: \alpha \neq 0$$

Efecto del Glicerol

$$H_o: \beta = 0 \ \ (no\ hay\ efecto\ principal) \qquad H_a: \beta \neq 0$$

## Estadísticos de las pruebas

Fuerza tensil (TS): $F = 4.75$

Elongación (E): $F = 28.73$

Permeabilidad al vapor de agua (PVA): $F = 9.01$

## Región de rechazo:

$F_{0.05,16.140}$ y $F_{0.05,16,200} = 1.67$, así que se tiene que: $F > F_{Tab}$

**Conclusión:**

**Se rechazan las $H_0$,**
Por tal motivo si hay interacción de los dos factores en el TS, %E y en la PVA

**Tabla 24.** Análisis estadístico del diseño factorial para la elaboración de las láminas comestibles con el almidón del cormo

**TS (MPa)**

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| TS (MPa) | 225 | 0.80 | 0.77 | 14.98 |

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 22940.36 | 24 | 955.85 | 32.97 | <0.0001 |
| Almidón (%) | 463.09 | 4 | 115.77 | 3.99 | 0.0039 |
| Glicerol (%) | 20274.45 | 4 | 5068.61 | 174.82 | <0.0001 |
| Almidón (%)*Glicerol (%) | 2202.82 | 16 | 137.68 | 4.75 | <0.0001 |
| Error | 5798.71 | 200 | 28.99 | | |
| Total | 28739.07 | 224 | | | |

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=9.31144**

*Error: 28.9936 gl: 200*

| Almidón (%) | Glicerol (%) | Medias | n | E.E. | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 30 | 16.42 | 9 | 1.79 | A | | | | | | | | |
| 2 | 30 | 20.04 | 9 | 1.79 | A | B | | | | | | | |
| 5 | 30 | 21.84 | 9 | 1.79 | A | B | C | | | | | | |
| 3 | 20 | 22.08 | 9 | 1.79 | A | B | C | | | | | | |
| 1 | 30 | 22.45 | 9 | 1.79 | A | B | C | | | | | | |
| 4 | 30 | 24.68 | 9 | 1.79 | A | B | C | D | | | | | |
| 1 | 20 | 26.21 | 9 | 1.79 | | B | C | D | E | | | | |
| 2 | 20 | 30.65 | 9 | 1.79 | | | C | D | E | F | | | |
| 5 | 20 | 33.43 | 9 | 1.79 | | | | D | E | F | G | | |
| 5 | 10 | 33.77 | 9 | 1.79 | | | | D | E | F | G | H | |
| 4 | 20 | 34.27 | 9 | 1.79 | | | | | E | F | G | H | I | |
| 2 | 5 | 38.21 | 9 | 1.79 | | | | | | F | G | H | I | J |
| 4 | 5 | 39.33 | 9 | 1.79 | | | | | | F | G | H | I | J |
| 1 | 5 | 40.86 | 9 | 1.79 | | | | | | | G | H | I | J |
| 1 | 10 | 40.93 | 9 | 1.79 | | | | | | | G | H | I | J |
| 3 | 5 | 41.60 | 9 | 1.79 | | | | | | | G | H | I | J |
| 1 | 0 | 41.67 | 9 | 1.79 | | | | | | | G | H | I | J |
| 5 | 5 | 42.64 | 9 | 1.79 | | | | | | | G | H | I | J | K |
| 4 | 10 | 43.05 | 9 | 1.79 | | | | | | | | H | I | J | K |
| 3 | 10 | 43.57 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | I | J | K |
| 2 | 10 | 43.62 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | | J | K |
| 5 | 0 | 46.32 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | | J | K |
| 2 | 0 | 47.40 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | | J | K |
| 3 | 0 | 51.69 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | | | K |
| 4 | 0 | 51.71 | 9 | 1.79 | | | | | | | | | | | K |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Continuación Tabla 24.** Análisis estadístico del diseño factorial para la elaboración de las láminas comestibles con el almidón del cormo

Análisis de la varianza

| Variable | N | R² | R² Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| %E | 225 | 0.91 | 0.90 | 10.80 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 3197.42 | 24 | 133.23 | 85.45 | <0.0001 |
| Almidón (g) | 1998.72 | 4 | 499.68 | 320.48 | <0.0001 |
| Glicerol (%) | 482.05 | 4 | 120.51 | 77.29 | <0.0001 |
| Almidón (g)*Glicerol (%) | 716.66 | 16 | 44.79 | 28.73 | <0.0001 |
| Error | 311.83 | 200 | 1.56 | | |
| Total | 3509.25 | 224 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.15929

*Error: 1.5592 gl: 200*

| Almidón (g) | Glicerol (%) | Medias | n | E.E. | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 5.58 | 9 | 0.42 | A | | | | | | | | | | |
| 1 | 5 | 6.18 | 9 | 0.42 | A | B | | | | | | | | | |
| 1 | 20 | 7.29 | 9 | 0.42 | A | B | C | | | | | | | | |
| 1 | 10 | 7.70 | 9 | 0.42 | A | B | C | | | | | | | | |
| 2 | 5 | 8.18 | 9 | 0.42 | | B | C | D | | | | | | | |
| 2 | 0 | 8.21 | 9 | 0.42 | | B | C | D | | | | | | | |
| 3 | 20 | 8.42 | 9 | 0.42 | | | C | D | E | | | | | | |
| 2 | 20 | 8.60 | 9 | 0.42 | | | C | D | E | | | | | | |
| 2 | 30 | 9.87 | 9 | 0.42 | | | | D | E | F | | | | | |
| 3 | 0 | 9.94 | 9 | 0.42 | | | | D | E | F | | | | | |
| 2 | 10 | 10.12 | 9 | 0.42 | | | | D | E | F | G | | | | |
| 1 | 30 | 10.58 | 9 | 0.42 | | | | | E | F | G | H | | | |
| 3 | 5 | 10.81 | 9 | 0.42 | | | | | | F | G | H | | | |
| 4 | 0 | 11.51 | 9 | 0.42 | | | | | | F | G | H | I | | |
| 4 | 30 | 12.26 | 9 | 0.42 | | | | | | | G | H | I | | |
| 5 | 30 | 12.65 | 9 | 0.42 | | | | | | | | H | I | | |
| 4 | 20 | 13.26 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | I | | |
| 5 | 0 | 13.49 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | I | | |
| 3 | 30 | 13.58 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | I | | |
| 5 | 20 | 13.65 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | I | J | |
| 4 | 5 | 15.75 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | | J | K | |
| 5 | 10 | 15.77 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | | J | K | |
| 3 | 10 | 16.01 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | | | K | |
| 4 | 10 | 19.70 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | | | | L |
| 5 | 5 | 19.87 | 9 | 0.42 | | | | | | | | | | | | L |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Continuación Tabla 24.** Análisis estadístico del diseño factorial para la elaboración de las láminas comestibles con el almidón del cormo

Análisis de la varianza

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| PVA (g/Pa.s.m) | 165 | 0.95 | 0.94 | 12.64 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 9.9E-05 | 24 | 4.1E-06 | 103.89 | <0.0001 |
| Almidón (g) | 7.5E-05 | 4 | 1.9E-05 | 476.66 | <0.0001 |
| Glicerol (%) | 1.9E-05 | 4 | 4.8E-06 | 121.51 | <0.0001 |
| Almidón (g)*Glicerol (%) | 5.7E-06 | 16 | 3.6E-07 | 9.01 | <0.0001 |
| Error | 5.5E-06 | 140 | 4.0E-08 | | |
| Total | 1.0E-04 | 164 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00040

*Error: 0.0000 gl: 140*

| Almidón (g) | Glicerol (%) | Medias | n | E.E. | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 5.6E-04 | 9 | 6.6E-05 | A | | | | | | |
| 2 | 0 | 6.5E-04 | 9 | 6.6E-05 | A | | | | | | |
| 1 | 5 | 6.6E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 2 | 5 | 6.7E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 1 | 10 | 6.8E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 2 | 10 | 6.9E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 1 | 20 | 7.0E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 1 | 30 | 7.4E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 2 | 20 | 9.4E-04 | 6 | 8.1E-05 | A | | | | | | |
| 3 | 0 | 1.4E-03 | 9 | 6.6E-05 | | B | | | | | |
| 4 | 0 | 1.5E-03 | 9 | 6.6E-05 | | B | C | | | | |
| 3 | 5 | 1.6E-03 | 6 | 8.1E-05 | | B | C | D | | | |
| 3 | 10 | 1.6E-03 | 6 | 8.1E-05 | | B | C | D | | | |
| 5 | 0 | 1.8E-03 | 9 | 6.6E-05 | | | C | D | E | | |
| 2 | 30 | 1.8E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | C | D | E | | |
| 3 | 20 | 1.9E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | C | D | E | | |
| 4 | 5 | 1.9E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | D | E | | |
| 5 | 5 | 2.2E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | E | F | |
| 4 | 10 | 2.2E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | E | F | G | |
| 4 | 20 | 2.5E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | F | G | H | |
| 5 | 10 | 2.5E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | F | G | H | |
| 5 | 20 | 2.6E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | | G | H | |
| 4 | 30 | 2.6E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | | G | H | |
| 3 | 30 | 2.7E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | | | H | I |
| 5 | 30 | 3.1E-03 | 6 | 8.1E-05 | | | | | | | | | I |

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)

**Tabla 25.** Análisis estadístico del efecto de Tween 80 en la permeabilidad al vapor de agua de las láminas de almidón del cormo.

Análisis de la varianza

| Variable | N | $R^2$ | $R^2$ Aj | CV |
|---|---|---|---|---|
| PVA | 42 | 0.84 | 0.82 | 10.78 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---|---|---|---|---|---|
| Modelo. | 1.7E-06 | 4 | 4.2E-07 | 47.74 | <0.0001 |
| Tween 80 (%) | 1.7E-06 | 4 | 4.2E-07 | 47.74 | <0.0001 |
| Error | 3.2E-07 | 37 | 8.8E-09 | | |
| Total | 2.0E-06 | 41 | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00013

*Error: 0.0000 gl: 37*

| Tween 80 (%) | Medias | n | E.E. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.00 | 6.7E-04 | 6 | 3.8E-05 | A | | |
| 0.25 | 6.8E-04 | 9 | 3.1E-05 | A | | |
| 0.50 | 7.6E-04 | 9 | 3.1E-05 | A | | |
| 1.00 | 9.9E-04 | 9 | 3.1E-05 | | B | |
| 2.00 | 1.2E-03 | 9 | 3.1E-05 | | | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p>0.05)