MCA-2018/06

S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO de Tuxtepec

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN DE DOS VARIEDADES DE MALANGA *(Colocasia esculenta)*."

TESIS

Para Obtener el título de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

PRESENTA:

I.B.Q. JOHANA HERNÁNDEZ CANSECO

DIRECTOR:

DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA

CO-DIRECTOR:

DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ

TUXTEPEC, OAXACA, JUNIO 2018

COMITÉ TUTORIAL

DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA

DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ

DR. ERASMO HERMAN Y LARA

DRA. ARACELI PÉREZ SILVA

S.E.P. TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO de Tuxtepec

Estudio de las propiedades químicas, físicas y fisicoquímicas del almidón de dos variedades de malanga (*Colocasia esculenta*).

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
Maestro en Ciencias en Alimentos

PRESENTA
IBQ. Johana Hernández Canseco

DIRECTORA
Dra. Roselis Carmona García

CO-DIRECTORA:
Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez

CO-DIRECTOR EXTERNO:
Dr. Andrés Aguirre Cruz

Tuxtepec, Oax. **Junio, 2018.**

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO
Instituto Tecnológico de Tuxtepec

SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
División de Estudios Profesionales

Procedimiento para la Titulación
Autorización de Presentación del Trabajo Profesional
Referencia a la Norma ISO 9001:2015 8.5.1

SUBDIRECCION ACADÉMICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
EXPEDIENTE: DEP-ñ/18

Tuxtepec, Oaxaca. 7/JUNIO/2018
OFICIO: No. 2299

IBQ. JOHANA HERNÁNDEZ CANSECO
EGRESADA DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS EN ALIMENTOS
CON NÚMERO DE CONTROL M10350032
PRESENTE.

POR MEDIO DE LA PRESENTE ME PERMITO COMUNICARLE QUE LA COMISIÓN REVISORA INTEGRADA POR LOS C.C. **DRA. ROSELIS CARMONA GARCÍA, DRA. CECILIA EUGENIA MARTÍNEZ SÁNCHEZ, DR. ERASMO HERMAN Y LARA Y DRA. ARACELI PÉREZ SILVA** REVISÓ Y APROBÓ EN SU TOTALIDAD EL TRABAJO PROFESIONAL DENOMINADO **"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y FISICOQUÍMICAS DEL ALMIDÓN DE DOS VARIEDADES DE MALANGA *(Colocasia esculenta)*."** PRESENTADO POR USTED COMO PRODUCTO DE **TESIS** DEL LINEAMIENTO DE TITULACIÓN CORRESPONDIENTE, PARA OBTENER EL GRADO DE **MAESTRA EN CIENCAS EN ALIMENTOS.**

POR LO ANTERIOR Y DE ACUERDO A LOS LINEAMIENTOS INSTITUCIONALES, SE LE DA TRÁMITE LEGAL PARA QUE PROCEDA A LA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO PROFESIONAL.

ATENTAMENTE
EXCELENCIA EN EDUCACIÓN TECNOLÓGICA®
CIENCIA Y TECNICA PRESENTES AL FUTURO®

L.I. MARTHA MÓNICA HERNÁNDEZ CRUZ
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES.

C.c.p.-Coord. de titulación
MMHC/has

SECRETARIA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

Av. Dr. Víctor Bravo C.P. 68350 Col. 5 de Mayo Tuxtepec, Oaxaca
Teléfono: (287) 87 5 10 44 Ext. 103, Fax: (287) 87 5 18 80
e-mail: info@ittux.edu.mx

REGISTRO SGC
Código ITTUX-EG-PO-001-06
Revisión: 2
Fecha de Autorización: 26/Abril/2018

“Estudio de las propiedades químicas, físicas y fisicoquímicas del almidón de dos variedades de malanga (*Colocasia esculenta).*”

POR:

IBQ. JOHANA HERNÁNDEZ CANSECO

TESIS PROPUESTA A LA COORDINACIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN DEL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTEPEC

COMO REQUERIMIENTO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS

JUNIO 2018

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a la Dra. Roselis Carmona García, por haberme aceptado en su equipo de trabajo, por estar disponible cuando recurríamos de su tiempo, por compartirnos su valioso conocimiento, por sus consejos que siempre fueron para bien y para ser mejor persona y sobre todo le doy las gracias Doctora por apoyarme a realizar este trabajo de investigación.

Al Dr. Andrés Aguirre Cruz, por su interés en este trabajo, por su disponibilidad de tiempo con nosotros cuando íbamos a trabajar en la UNPA, por hacernos sentir en casa y sobre todo por la confianza que nos transmitía para preguntarle nuestras dudas, muchas gracias por habernos compartido sus conocimientos y su amistad doctor.

A mi comité revisor, integrado por la Dra. Roselis Carmona García, Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Dr. Erasmo Herman y Lara y al Dr. Andrés Aguirre Cruz, por compartirme sus conocimientos haciéndome sugerencias y observaciones en un ambiente de confianza, para el mejoramiento de este trabajo de investigación.

Al cuerpo Académico de la Maestría en Ciencias en Alimentos, por haberme ayudado a mi formación académica, compartiéndome sus conocimientos en un marco de confianza y amistad.

A mi casa desde la licenciatura el Instituto Tecnológico de Tuxtepec, por haberme abierto sus puertas, facilitándome sus instalaciones para poder desarrollar este trabajo de investigación, estoy contenta de poder decir que ¡SOY ORGULLOSAMENTE DEL TEC!

A la Universidad del Papaloapan (UNPA), por habernos facilitado sus instalaciones y hacer uso de sus equipos de laboratorio, para la realización de este trabajo de investigación

Agradezco al Ing. Juan, que es el encargado del Taller de Alimentos de la UNPA, que al principio nos daba miedo que siempre nos tenía vigilados, pero que poco a poco se fue convirtiendo en nuestro amigo, gracias por su apoyo.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por proporcionarme la beca de Maestría, para que pudiera realizar mis estudios de Maestría en Ciencias en Alimentos en el Instituto Tecnológico de Tuxtepec, y que ojalá siga ayudando a muchos jóvenes que anhelan seguir estudiando.

A mi equipo de trabajo (TEAMALANGA) a Eliud, Edaly, Sajith y Jonathan, por su apoyo para la realización de esta tesis y sobre todo por los momentos compartidos y la amistad incondicional que me llevo de ustedes.

A mis compañeros de laboratorio del Tecnológico y de la UNPA: Abelito, Fátima, David, Josué, Coral, Dhorle, Tito, Jannis, Rocío y Anita, con quienes compartí momentos inolvidables.

DEDICATORIAS

A Dios, por estar siempre conmigo y por ser la niña de sus ojos, dándome amor, fuerzas, ánimo, fortaleza y sabiduría para lograr una meta más en mi vida.

A mis padres: mamá Alejandra Canseco Victoriano y papá Joel Hernández Bautista, gracias por darme la vida y guiarme por el camino del bien siempre, a pesar de lo que hemos vivido, les prometo que ahora yo cuidaré de ustedes y seguiré superándome por darles lo mejor, así como ustedes lo hicieron conmigo.

A mis padres, lo vuelvo a escribir porque eso es lo que ustedes son para mí, Sr. Rosendo Urbina y Tomasa Urbina, le doy gracias a Dios siempre por haberlos puesto en mi camino, gracias por haberme apoyado con mis estudios de licenciatura cuando eran Embajadores de Belice en México, sin pedir nada a cambio, esto es para ustedes, quiero que estén orgullosos de mí.

A mi querido y amado esposo, que, sin ti no lo hubiera logrado, gracias por estar siempre a mi lado en todo momento, por animarme y apoyarme a realizar esta meta, que no es solo mía, sino de los dos. Gracias a Dios por haberte puesto mi lado, Te amo.

A mis hermanos y cuñados, por mostrarme amor y alentarme en los momentos difíciles.

A mis sobrinos, que siempre me recibían cuando llegaba de la escuela con una alegría contagiosa.

A mis amigos y familiares, por sus consejos, ánimos, y palabras para seguir luchando por mis sueños.

RESUMEN

Hernández Canseco, Johana. M.C. en A. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Junio, 2018. **Estudio de las propiedades químicas, físicas y fisicoquímicas del almidón de dos variedades de malanga (*Colocasia esculenta*).** Director: Dra. Roselis Carmona García, Co-Director: Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez y Co-Director externo: Dr. Andrés Aguirre Cruz.

El almidón es la principal fuente de energía para muchos organismos y en algunos casos es un carbohidrato de reserva de las plantas superiores. Es extraído comúnmente de algunos cereales o tubérculos como el maíz y la papa. Sin embargo, para contrarrestar algunas problemáticas como; el desabasto, encarecimiento y gran demanda de diversas industrias (Alimentarias, del papel y adhesivos, cosmética, farmacéutica y textil), se buscan nuevas fuentes (frutos, raíces o tubérculos) para la extracción de este polisacárido. La malanga (*Colocasia esculenta*) es un tubérculo, de la familia de las *Aráceas* originaria y domesticada en la región del Este de India y Sureste de Asia. Se han reportado diversos estudios del gránulo de almidón de malanga, en los cuales hay un intervalo muy amplio de resultados, debido principalmente al uso de diferentes variedades de la especie *Colocasia esculenta* y al estadio o edad de cultivo en la cual se extrae el almidón. El objetivo de esta investigación fue estudiar las propiedades químicas, físicas y fisicoquímicas de almidón de dos variedades de malanga (*Colocasia esculenta*). Estas variedades fueron proporcionadas por la Integradora R y T de la Cuenca S. A. de C. V. de R. L., con un tiempo de cosecha de 9 meses. Se realizó la extracción de almidón para ambas variedades, así mismo, el análisis químico proximal, determinaciones de color, almidón total (AT), almidón resistente (AR), microscopía de luz y luz polarizada, propiedades térmicas, difracción de rayos X, perfil de empastado y propiedades funcionales. El rendimiento del almidón para la variedad malanga coco (AMC) fue de 24.43% (b.h), y para la malanga isleña (AMI) de 10.14% (b.h). Los resultados de humedad fueron de 6.73 y 7.01%, cenizas 1.66 y 2.13%,

grasas 0.51 y 1.02%, proteínas 0.61 y 0.36%, AT = 90.49 y 79.28%, AR = 12.74 y 34.62%, L* = 91.41 y 90.75, a* = 0.55 y 0.78, b* = 2.73 y 4.59, temperatura de gelatinización = 78.91 y 80.12 °C, entalpía = 11.34 y 11.43 J/g y una cristalinidad = 32.30 y 29.93%, para AMC y AMI, respectivamente. El AMC presentó gránulos con formas poligonales e irregulares, mientras que AMI presentó gránulos poligonales, redondos, truncados y en forma de cúpula. La cruz de malta fue observada en ambos almidones. El patrón de difracción de DRX para ambas (AMC y AMI) muestras fue de tipo A. El AMC presentó un pico de viscosidad de empastado superior que el AMI. Sin embargo, en la etapa de enfriamiento los almidones de las dos variedades presentaron similar viscosidad de retrogradación. En cuanto a las propiedades funcionales, el índice de solubilidad en agua, poder de hinchamiento y capacidad de retención de agua, aumentan conforme incrementa la temperatura, caso contrario para la CRAc que disminuye conforme aumenta la temperatura. De acuerdo a las características presentadas en los almidones de las dos variedades pueden ser utilizados como ingredientes o como agentes gelificantes y espesantes en la elaboración de alimentos (frituras, productos de la panificación, pastas, cereales, etc.) que requieran altas temperaturas de procesamiento (> 75°C).

ABSTRACT

Hernández Canseco Johana. Master in Food Science. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. June, 2018. **Study the chemical, physical, physicochemical properties of starch of two varieties of taro (*Colocasia esculenta*).** Advisor: Dra. Roselis Carmona García, Co-Advisor: Dra. Cecilia Eugenia Martínez Sánchez, Co-Advisor external: Dr. Andrés Aguirre Cruz.

Starch is the main source of energy for many organisms and in some cases is a carbohydrate reserve of the upper floors. It is commonly extracted from some cereal or tubers such as corn and potatoes. However, to counter certain issues like; the shortages, rising prices and high demand for various industries (food, of the paper, adhesives, cosmetics, pharmaceutical and textile), look for new sources (fruit, roots or tubers) for the extraction of this polysaccharide. Taro (*Colocasia esculenta*) is a tuber, of the family of the *Araceas* native and domesticated in the region of East India and Southeast Asia. Several studies have been reported of the granule of starch from taro, in which there is a very broad results interval, due mainly to the use of different varieties of the species of *Colocasia esculenta* and the stage or age of culture which is extracted the starch. The aim of this research was to study the physical, chemical and physico-chemical properties of starch of two varieties of taro (*Colocasia esculenta*). These varieties were provided by the integrative R. and T. of the Cuenca S. A. of C.V. of R. L., with a time of harvest of 9 months. Was extracted the starch for both varieties, likewise, the proximal chemical analysis, determinations of color, total starch (TS), resistant starch (RS), light and polarized microscopy, thermal properties, X-ray diffraction, profile of pasting and functional properties. The performance of starch for variety taro coconut (STC) was 24.43% (w. b.), and taro island (STI) from 10.14% (w. b.). Moisture results were of 6.73 and 7.01%, ashes 1.66 and 2.13%, lipids 0.51 and 1.02%, proteins 0.61 and 0.36%, TS = 90.49 and 79.28%, RS = 12.74 and 34.62%, L* = 91.41 and 90.75, a* = 0.55 and 0.78, b* = 2.73 and 4.59, gelatinization temperature = 78.91 and 80.12 °C, enthalpy = 11.34

and 11.43 J/g and a crystallinity = 32.30 and 29.93%, for STC and STI, respectively. STC presented granules polygonal and irregular, while STI present polygonal, round, truncated granule-shaped of domed. The maltese cross was observed in both starches. The pattern of diffraction XRD for both (STC and STI) samples was A type. STC presented a peak viscosity of pasting top that STI. However, in the cooling phase the starches of two varieties presented similar viscosity of retrogradation. In terms of functional properties, the rate of solubility in water, swelling power and water retention capacity increase as it increases the temperature, otherwise for the oil retention capacity which decreases as the temperature increases. According to the characteristics presented in the starches of two varieties can be used as ingredients or gelling agents and thickeners in the preparation of foods (fried foods, products of the bakery, pasta, cereals, etc.) require high processing temperaturas (>75 °C).

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS iii
DEDICATORIAS v
RESUMEN vi
ABSTRACT viii
TABLA DE CONTENIDO x
ÍNDICE DE FIGURAS xiii
ÍNDICE DE TABLAS xv
1. INTRODUCCIÓN 1
2. MARCO TEÓRICO 3
2.1. CONCEPTO DE ALMIDÓN 3
2.2. ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN 4
2.3. AMILOSA Y AMILOPECTINA 6
2.3.1. AMILOSA 7
2.3.2. AMILOPECTINA 8
2.4. ESTRUCTURA INTERNA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN 10
2.5. APLICACIONES Y USOS DEL ALMIDÓN 11
2.6. MALANGA (*Colocasia esculenta*) 12
2.7. NOMBRE COMÚN 13
2.8. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA 13
2.9. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA 14
2.10. GENERALIDADES DE LA MALANGA 15
2.11. PRODUCCIÓN DE LA MALANGA 16
2.11.1. PRODUCCIÓN MUNDIAL 16
2.11.2. PRODUCCIÓN NACIONAL 17
2.12.1. MALANGA COCO O CHINA 20
2.12.2. MALANGA ISLEÑA 21
2.13. CULTIVO 22
2.14. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MALANGA Y DE LA HARINA DE MALANGA 23
2.15. CARACTERIZACIONES DEL ALMIDÓN DE MALANGA 24
3. ANTECEDENTES 33
4. JUSTIFICACIÓN 36

5. OBJETIVOS 37
5.1. OBJETIVO GENERAL 37
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 37
6. MATERIALES Y MÉTODOS 38
6.1. OBTENCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS 38
6.2. OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LAS DOS VARIEDADES DE MALANGA 38
6.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL 39
6.3.1. HUMEDAD 39
6.3.2. CENIZAS 39
6.3.3. GRASAS 39
6.3.4. PROTEÍNAS 40
6.4. DETERMINACIÓN DE COLOR DEL ALMIDÓN DE MALANGA DE LAS DOS VARIEDADES 41
6.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN TOTAL Y ALMIDÓN RESISTENTE 41
6.5.1. MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN TOTAL (MÉTODO AMILOGLUCOSIDASA/ α-AMILASA) 41
6.5.2. HIDRÓLISIS Y SOLUBILIZACIÓN DE ALMIDÓN DISPONIBLE 43
6.5.3. MEDICIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE (AR) 43
6.6. OBSERVACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y DE LA CRUZ DE MALTA 45
6.7. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS 45
6.8. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL 45
6.9. PERFIL DE EMPASTADO 46
6.10. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES 46
6.10.1. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO 46
6.10.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN EN AGUA (CRA) Y CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE ACEITE (CRAc) 47
6.11. Análisis estadístico 48
7. RESULTADOS Y DISCUSIONES 49
7.1. OBTENCIÓN DE ALMIDÓN 49
7.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA 49
7.3. ANÁLISIS DE COLOR 52
7.4. ALMIDÓN TOTAL (AT), ALMIDÓN RESISTENTE (AR) Y ALMIDÓN DISPONIBLE (AD) 53

7.5. MICROSCOPÍA DE LUZ 55
7.6. MICROSCOPÍA DE LUZ POLARIZADA 57
7.7. PROPIEDADES TÉRMICAS 58
7.8. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL 59
7.10.1. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) Y PODER DE HINCHAMIENTO (PH) 62
7.10.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA) Y ACEITE (CRAc) 65
8. CONCLUSIONES 68
9. REFERENCIAS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

No.	Descripción	Página
1	Estructura de los monosacáridos D-glucosa.	4
2	Enlaces glucosídicos del almidón (α-1,4 y α-1,6).	5
3	Estructura química de la amilosa.	7
4	Enrollamiento helicoidal de la amilosa.	8
5	Representación de la molécula de amilopectina.	9
6	Ejemplo de una micrografía de la sección transversal (10 micras) de un gránulo de almidón de sorgo tratado con α-amilasa.	11
7	Distribución natural (silvestre) y cultivo de la malanga en todo el mundo.	13
8	Anatomía de las plantas pertenecientes a la familia *Arácea*.	16
9	Imagen de la planta (a) y cormo (b) de malanga coco.	20
10	Corte transversal del tubérculo la malanga coco.	21
11	Imagen de cormo la malanga isleña.	22
12	Corte transversal del tubérculo la malanga isleña.	22
13	Morfología de gránulo de almidón de *Colocasia esculenta* reportado por A) Mendoza (2016) y B) Agama *et al*. (2011).	28

14	Microfotografía de la cruz de malta de la especie *Colocasia esculenta* usando un microscopio de luz polarizada.	29
15	Patrones de difracción de rayos-X de almidones: Tipo -A, -B y –C.	30
16	Una representación de los cambios del gránulo de almidón en relación a la viscosidad.	31
17	Microfotografías de los gránulos de AMC (A) y AMI (B), usando un microscopio óptico enfoque a objetivo 40x.	56
18	Microfotografías de los gránulos de AMC (A) y AMI (B) bajo luz polarizada a 100x.	57
19	Patrón de difracción de rayos X del AMC y AMI	60
20	Viscosidad de empastado de los almidones de dos variedades de malanga	61
21	Índice de solubilidad en agua del almidón de malanga de dos variedades.	63
22	Poder de hinchamiento del almidón de malanga de dos variedades.	63
23	Capacidad de retención de agua del almidón de malanga de dos variedades.	65
24	Capacidad de retención de aceite del almidón de dos variedades de malanga a diferentes temperaturas.	66

ÍNDICE DE TABLAS

No	Descripción	Página
1	Productos agrícolas donde se han extraído almidón	3
2	Características de la amilosa y la amilopectina.	7
3	Descripción taxonómica de la Malanga.	14
4	Producción mundial de malanga desde 2014-2016.	17
5	Producción de raíces y tubérculos en México 2014-2016.	17
6	Principales municipios de Veracruz productores de malanga.	18
7	Variedades de la especie *Colocasia esculenta.*	19
8	Composición química de los cormos de especie *Colocasia esculenta*.	23
9	Composición química de la harina de *Colocasia esculenta*	24
10	Intervalo de valores de la composición químico proximal del almidón de la *Colocasia esculenta.*	25
11	Intervalo de los parámetros de color del almidón de *Colocasia esculenta.*	25
12	Morfología y tamaño del gránulo de almidón de *Colocasia esculenta*	27
13	Rendimiento de almidón de dos variedades de malanga	49

14	Análisis químico proximal del almidón de dos variedades de malanga.	50
15	Valores de los parámetros de color para las muestras de almidón de malanga (AMC y AMI).	52
16	Determinación de almidón total, resistente y disponible del almidón de dos variedades de malanga.	54
17	Temperaturas y entalpía de gelatinización del almidón de malanga de dos variedades.	58

1. INTRODUCCIÓN

El almidón es el carbohidrato de reserva más abundante de las plantas superiores, es la fuente de energía para muchos organismos tales, como los seres humanos y los animales (Tofiño *et al.*, 2006). Es un polisacárido de gran peso molecular compuesto principalmente por dos homopolisacáridos: la amilosa (20 – 30%) y la amilopectina (70– 80%).

Ningún otro ingrediente se compara con el almidón en su versatilidad de uso en la industria; es usada en las industrias no alimentarias, por ejemplo; en la industria del plástico, pintura, farmacéutica, cosmética y textil. En la industria alimentaria es usada como ingrediente por ser un agente: texturizante, estabilizante, encapsulante, espesante y además proporciona sabor.

Convencionalmente el almidón es extraído o aislado a partir del maíz, trigo, arroz, sorgo y papa. Sin embargo, debido a sus diversas aplicaciones en las industrias se han buscado en fuentes no convencionales como: el chayote, camote, yuca, frutos verdes (plátano macho y mango) y la malanga para el aislamiento del almidón (Thomas y Atwell, 1999).

La malanga fue la materia prima que se utilizó en esta investigación, por su alto contenido de almidón (30 - 85%, en base seca). La malanga (*Colocasia esculenta)* es un tubérculo que pertenece a la familia de las *Aráceas*, es una planta herbácea, suculenta e hidrófila se cultiva en zonas tropicales y subtropicales. Su origen y domesticación inició en la región del Este de India y Sureste de Asia, desde donde se ha dispersado a otras partes del mundo en regiones tropicales como África, el Mediterráneo, Asia y el Pacífico (Matthews, 2006).

Existen diferentes variedades de malanga (*Colocasia esculenta*). Sin embargo, son reconocidos dos variedades o morfotipos principales: la malanga Dasheen, china o coco (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*) y la malanga isleña o eddoe (*Colocasia esculenta* var. *antiquorum*).

Históricamente ha habido una considerable confusión sobre el número, nombre de la especie y variedades de *C. esculenta* (Plucknett, 1983; Hay, 1996). Sin embargo, el número de las especies de este género que han sido descritas podrían ser aproximadamente 20 (Li y Boyce, 2010).

Así mismo, se le han realizado numerosos estudios a almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). Sin embargo, debido a la mala identificación de las variedades de malanga de parte de los productores e investigadores, se han encontrado muchas diferencias en cuanto los resultados reportados, aunado a otros factores como: las practicas agronómicas (fertilización), tipo de tierra, la estación del año, condiciones ambientales y la edad de cultivo (varían de 7 meses a 15 meses) de la planta cuando se extrae el almidón.

La región de Tuxtepec, Oaxaca, México, es una zona tropical, en donde en los últimos años se han implementado el cultivo de malanga principalmente: la malanga coco (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*) y la malanga isleña (*Colocasia esculenta* var. *antiquorum*), ya que son las que más se comercializan. Por lo que fue importante estudiar el almidón de estas dos variedades, para identificar las diferencias de cada una de ellas y poder sugerir sus aplicaciones en la industria alimentaria y no alimentaria.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CONCEPTO DE ALMIDÓN

El almidón es el carbohidrato de reserva más abundante en las plantas y se encuentra en hojas, diferentes tipos de tallos, raíces y tubérculos, así como en flores, frutos y semillas en los cuales se utiliza como fuente de energía durante periodos de dormancia, estrés o reinicio del crecimiento. Los órganos que almacenan almidón son productos alimenticios de importancia (Tofiño *et al*. 2006) ya que es la mayor fuente de calorías (70 al 80%) consumidas por los humanos en una variedad de dietas en el mundo, se utiliza como alimento animal y es una importante materia prima para la industria (Bernal y Martínez, 2006; Hernández *et al.* 2008; Wickramasinghe *et al*. 2009)

Tabla 1. Productos agrícolas donde se han extraído almidón.

Producto agrícola	Contenido de almidón (%) b.s.
Cereales (maíz, trigo y arroz)	30-80
Leguminosas (frijol, chícharo y haba)	25-50
Frutas verdes (plátano y mango)	70
Tubérculos y raíces (papa, malanga y yuca)	60-90

(Bello-Pérez y Paredes-López, 1999).

Este polisacárido está organizado en partículas discretas conocidas como gránulos, cuya morfología, composición química, tamaño y estructura son características de cada especie botánica (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999).

El almidón representa una fracción importante en un gran número de productos agrícolas (Bello-Pérez y Paredes-López, 1999) de donde es extraído como se observa en la Tabla 1. Sin embargo, el contenido de almidón varía de acuerdo a la fuente botánica y estado de madurez de los mismos (Thomas y Atwell, 1999).

2.2. ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN

Independientemente de la fuente botánica, el almidón está compuesto básicamente de monómeros de seis carbonos de azúcar D-glucosa, a menudo referido como "Bloques de construcción" de almidón.

La estructura del monosacárido D-glucosa puede ser representada, ya sea en forma de anillo o una cadena abierta como se observa en la Figura 1.

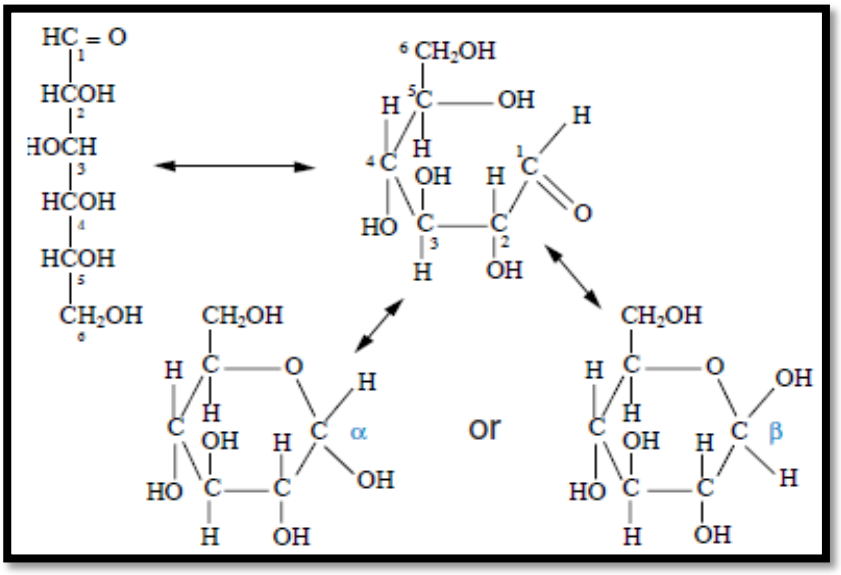

Figura 1. Estructura de los monosacáridos D-glucosa. (Thomas y Atwell, 1999).

La forma de anillo se conoce como una piranosa, es decir, D-glucopiranosa. Los anillos de furanosa es la más termodinámicamente estable y es la configuración del azúcar en solución. El grupo de aldehído altamente reactivo está en el carbono número 1 (C1) en D-glucosa hace que sea un azúcar reductor.

El almidón se compone principalmente de polímeros de D-glucopiranosa unidas por enlaces glucosídicos α-1,4 y α-1,6 como se observa en la Figura 2.

En la formación de este enlace, el carbono 1 (C1) en una molécula de D-glucopiranosa reacciona con el número de carbono 4 (C4) o el número de carbono 6 (C6) de la molécula de D-glucopiranosa de un lado.

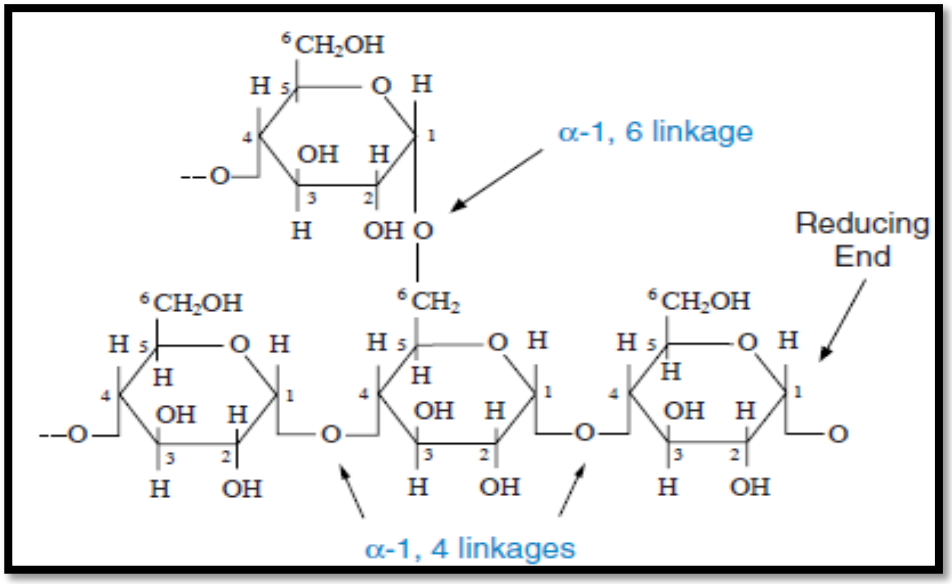

Figura 2. Enlaces glucosídicos de almidón (α-1,4 y α-1,6). (Thomas y Atwell, 1999).

Debido a que el grupo aldehído en un extremo del polímero de almidón esta siempre libre, los polímeros tienen siempre un extremo reductor. El otro extremo del polímero se llama extremo no reductor.

Dependiendo del número de polímeros ramificados presentes en una molécula de almidón, podría haber un gran número de extremos no reductores. Los enlaces glucosídicos en el almidón se encuentran en configuración alfa (α). La formación de un enlace α es determinado por la orientación del grupo hidroxilo (-OH) C1 del anillo de la piranosa.

Para mostrar la importancia de los enlaces α, el almidón a veces es comparado con la celulosa, un polímero de subunidades de glucosa con enlaces β-1, 4. Esta diferencia aparentemente trivial resulta en grandes diferencias entre los polímeros de almidón y celulosa, especialmente en la configuración estructural, propiedades físico-químicas, y la susceptibilidad a ciertas enzimas.

Debido a su configuración β, la celulosa forma una sábana, mientras que los polímeros de almidón son generalmente helicoidales. La configuración α y la geometría helicoidal del almidón contribuye a sus propiedades únicas y la digestibilidad de las enzimas. Los polímeros de almidón pueden ser hidrolizados por la enzima amilasa, a menudo referida como la enzima “cortadora de almidón”.

La polimerización de glucosa en almidón resulta en dos tipos de polímeros, amilosa y amilopectina. La amilosa es un polímero esencialmente lineal, mientras que la molécula de amilopectina es mucho más grande y está ramificada. Las diferencias estructurales entre estos dos polímeros contribuyen a diferencias significativas en las propiedades de almidón y en su funcionalidad.

2.3. AMILOSA Y AMILOPECTINA

A pesar de que la amilosa y amilopectina están compuestas de moléculas de D-glucopiranosa, las disimilitudes entre estos dos polímeros resultan en grandes diferencias en sus propiedades funcionales. Algunas características importantes de la amilosa y amilopectina se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de la amilosa y la amilopectina.

Características	Amilosa	Amilopectina
Forma	Esencialmente lineal	Ramificada
Enlaces	α-1,4 (algunos casos α 1,6)	α 1,6 y α 1,4
Peso molecular	Generalmente <0.5	50-500 millonésimas
Películas	Fuertes	Débiles
Formación de gel	Firme	No gelifica a suave
Color con yodo	Azul	Marrón rojizo

(Thomas y Atwell, 1999).

2.3.1. AMILOSA

Es considerada como un polímero lineal, es un producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos α (1,4), como se muestra en la Figura 3.

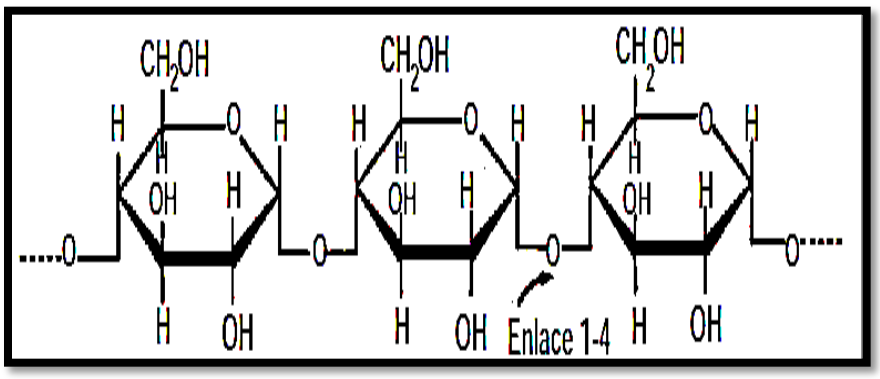

Figura 3. Estructura química de la amilosa. (Badui, 2006).

Que establece las largas cadenas lineales con 200-2500 unidades y pesos moleculares hasta de un millón: es decir, la amilosa es una α-D-(1.4)-glucana, cuya unidad repetitiva es la α-maltosa. Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal como se aprecia en la Figura 4.

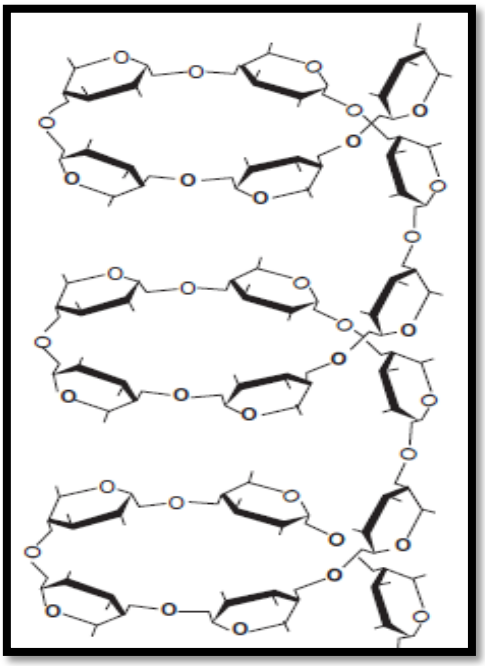

Figura 4. Enrollamiento helicoidal de la amilosa. (Badui, 2006).

En la que cada vuelta de la hélice consta de seis moléculas de glucosa, en el interior de la hélice los átomos de hidrógeno se encuentran unidos es por eso que la amilosa es hidrofóbica.

2.3.2. AMILOPECTINA

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular similar a la de un árbol: las ramas unidas al tronco central

(semejante a la amilosa) por enlaces α-D-(1,6), localizada cada 15-25 unidades lineales de glucosa como se observa en la Figura 5.

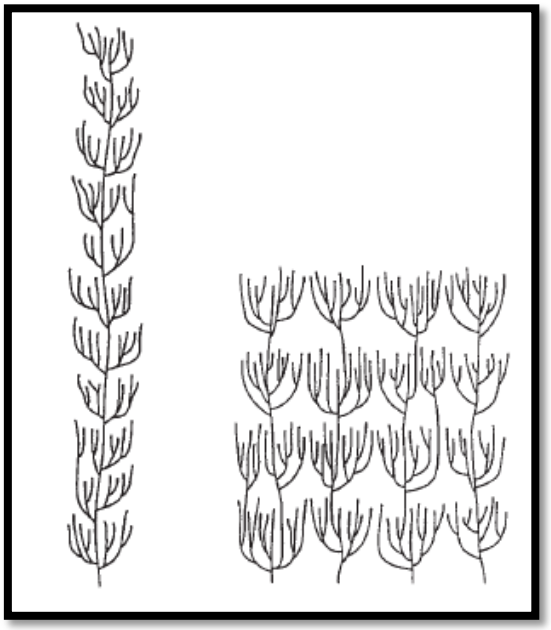

Figura 5. Representación de la molécula de amilopectina. (Whistler y BeMiller, 1997).

Su peso molecular es muy alto, ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de Daltones, aunque se ha reportado pesos de entre 300,000 y 500,000 Da (Thomas y Atwell, 1999). En término generales los almidones contienen aproximadamente 17-27% de amilosa y el resto de amilopectina. La concentración relativa de estos dos polímeros está regida por factores genéticos. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización.

La estructura rígida de los gránulos está integrada por capas concéntricas de amilosa y de amilopectina (distribuidas radialmente) que permanecen inalterables durante la molienda, el procesamiento y la obtención de los almidones comerciales.

Estos cuerpos son birrefringentes, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo cual cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta”; esto se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilopectina ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno (Badui, 2006).

2.4. ESTRUCTURA INTERNA DEL GRÁNULO DE ALMIDÓN

El tamaño, la forma y estructura de estos gránulos varían sustancialmente entre las fuentes botánicas. Los diámetros de los gránulos generalmente en el intervalo desde menos de 1 μm a más de 100 μm, y pueden presentar diferentes formas que pueden ser regulares (por ejemplo, esférica, ovoide, o angulares) o bastante irregulares.

Gran parte de lo que se conoce acerca de la estructura interna es el resultado de la evaluación microscópica de gránulos parcialmente degradados. En comparación con áreas cristalina, las zonas amorfas del gránulo son generalmente degradados más fácilmente por el ácido y las enzimas, tales como α-amilasa.

Gránulos tratados de forma exhaustiva muestran un patrón anillado análogo a anillos de crecimiento en una pieza de corte transversal de un tronco de un árbol que se presenta en la Figura 6. Este patrón indica las zonas amorfas y cristalinas de los gránulos. Se cree que esta configuración resulta de períodos alternos de crecimiento durante la síntesis del gránulo de almidón (Thomas y Atwell, 1999).

Figura 6. Ejemplo de una micrografía de la sección transversal (10 micras) de un gránulo de almidón de sorgo tratado con α-amilasa. (Thomas y Atwell, 1999).

2.5. APLICACIONES Y USOS DEL ALMIDÓN

Ningún otro ingrediente alimenticio se compara con el almidón en términos de versatilidad de aplicación en la industria. Este carbohidrato fue diseñado por la naturaleza para fungir como almacén de energía. Sin embargo, el hombre ha extendido su uso más allá de su diseño original.

En la industria de alimentos, el almidón ha sido utilizado para impartir propiedades funcionales a los alimentos, tales como: agente espesante, encapsulante, impartir sabor, etc.

En las industrias no alimenticias son tan diversos como en la industria alimenticia, los principales usos incluyen la industria: textil (se emplea para aumentar el brillo y peso de la tela, para mejorar la textura y la calidad del estampado, para restaurar la apariencia y cuerpo de las prendas de vestir cuando son almidonadas), como pegamento en la fabricación de papel (se usa para unir los componentes que forman la fibra celulósica para evitar el desprendimiento superficial de las fibras), farmacéutica (se usa como agente ligante del ingrediente activo en tabletas), y en la industria cosmética (se emplea en la elaboración de polvos faciales, como mejorador de viscosidad y vehículo para sustancias semilíquidas como crema).

De ahí la importancia del almidón en la industria, mismo que es extraído de fuentes convencionales (cultivo de los que comúnmente se obtiene dicho producto) como el maíz, trigo, arroz, y papa, éstas tienen como desventaja que son utilizadas directamente como alimentos, por lo que su precio y venta es mayor y su disponibilidad está en riesgo. Por tal motivo en los últimos años se han intensificados los estudios para extraer almidón de fuentes no convencionales, tales como el chayote, el camote, la yuca, frutas (plátano macho y mango) y la malanga.

2.6. MALANGA (*Colocasia esculenta*)

La *Colocasia esculenta* es comúnmente conocida como malanga o taro, diversos investigadores como De Candolle (1885), Hooker (1894), Spier (1951), Yen y Wheeler (1968), Matthews (1990, 1991, 1995), Lebot y Aradhya (1991), Lebot (1992, 1999) han discutido el origen geográfico de la *Colocasia esculenta*. Sin embargo, no hay un consenso general sobre estas cuestiones que haya sido establecida. La aceptación general es que su origen y domesticación fue en la región del este de India y sureste de Asia, desde donde se dispersó a otras partes del mundo en regiones tropicales como África, el Mediterráneo, Asia y el Pacifico (Matthews, 2006). La *Colocasia esculenta* se puede encontrar en hábitats silvestres o cultivadas como se muestra en la Figura 7.

Se cultiva por ser una fuente de alimentación y por ser plantas ornamentales. Pertenece a la familia de las *Aráceas* en donde se encuentran otras especies que han sido domesticadas por ser una fuente de carbohidratos, tales como: *Alocasia, Amorphophallus, Cyrtosperma y Xantohosoma* (Matthews, 1995).

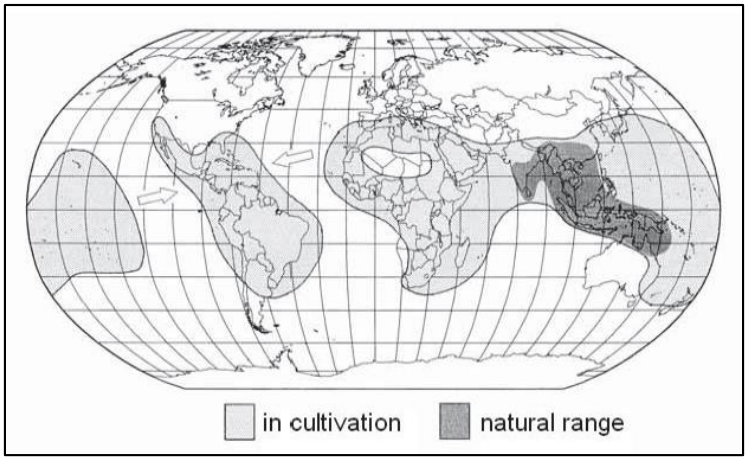

Figura 7. Distribución natural (silvestre) y cultivo de la malanga en todo el mundo. (Matthews, 2006).

2.7. NOMBRE COMÚN

Su nombre varía según los diferentes países: es comúnmente llamado taro (del tahitiano), raramente llamado kalo (del hawaiano) o cará en Brasil, yautía coco en República Dominicana y malanga en Puerto Rico, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Cuba y México.

2.8. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

Colocasia esculenta fue descrita por (L.) Schott y publicado en *Meletemata Botánica* 18. 1832 y en la Tabla 3 se observa la descripción taxonómica de la malanga.

Colocasia: es un nombre genérico que deriva de la antigua palabra griega *kolokasion* que el botánico griego Dioscórides (siglo 1 dC) asignaba a las raíces comestibles, tanto de *Colocasia esculenta* como de *Nelumbo nucífera. Escolentum*: epíteto latino que significa "comestible".

Sin embargo, De Candolle, (1885), menciona que el género *Colocasia* probablemente se derive de “colcus” o “qolqas”, un nombre antiguo de malanga en Egipto.

Tabla 3. Descripción taxonómica de la Malanga.

taxonomía	
Reino	Plantae
División	Manoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Subfamilia	Aroideae
Tribu	Colocasieae
Género	Colocasia
Especie	*Colocasia esculenta* (L.) SCHOTT

(Morales, 2012).

2.9. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

Existen cuatro elementos característicos en la anatomía de dicha familia, los cuales se indican en la Figura 8 y se describen a continuación:

Porte: plantas herbáceas suculentas que llegan a medir de 1 a 3 m, no presentan tallo aéreo.

Cormo: tallo central elipsoidal, rico en carbohidratos (18-30% b.h.). El color de la pulpa por lo general es blanco, pero también se presentan coloreados. Muestra marcas transversales que son las cicatrices de la hoja y se encuentra cubierta por una capa corchosa delgada y suelta. Su zona cortical y cilindro central están constituidas principalmente por almidón. Del cormo central se desarrollan cormelos laterales que están recubiertos con escamas fibrosas, generalmente son de un tamaño menor que los cormos.

Hojas: son de forma peltada y se desarrollan en el meristemo apical del cormo. Formando un pseudotallo corto. Tienen como característica distintiva la presencia de líneas amarillas o rosadas y de manchas o puntos que van de rojizos a violáceos.

Inflorescencias: del meristemo apical del cormo pueden emerger dos o más inflorescencias entre los peciolos de las hojas. Del eje de este último se insertan las flores sésiles y en la parte inferior lleva flores pistiladas las cuales no se desarrollan, se secan y desprenden.

2.10. GENERALIDADES DE LA MALANGA

En general la malanga requiere de lluvias altas, una temperatura de 25-30 °C, la luz influye sobre algunos aspectos morfológicos como el número de hojas y cormos, así como la altura de la planta. En cuanto a tipo de suelo, las plantas se adaptan a suelos profundo, fértiles con suficientes materia orgánica y bien drenada con un pH óptimo entre 5.5-6.5, también pueden desarrollarse en terrenos húmedos en las orillas de los ríos y lagunas, en canales donde no se desarrollan otros cultivos.

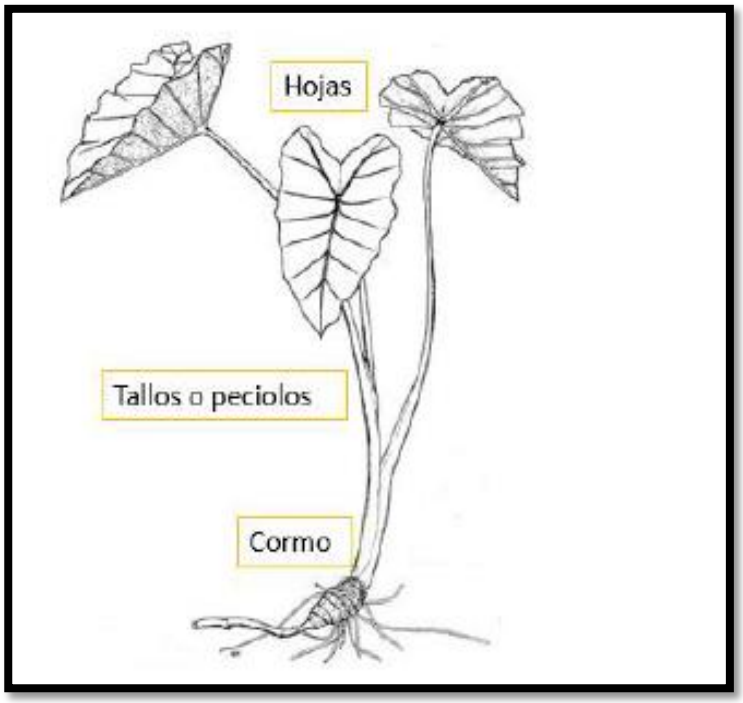

Figura 8. Anatomía de las plantas pertenecientes a la familia *Arácea*. (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, s.f., consultada en febrero, 2017).

2.11. PRODUCCIÓN DE LA MALANGA

2.11.1. PRODUCCIÓN MUNDIAL

Al nivel mundial Nigeria es el mayor productor de malanga como se aprecia en la Tabla 4, desde el 2014 hasta el 2016, sin embargo, en el 2016 hubo un decrecimiento de malanga en este país, pero aun así Nigeria sigue siendo el máximo país productor de este tubérculo en el mundo, seguido de China, Camerún y Ghana, mismos países que tienen un crecimiento en la producción de malanga, esto quiere decir, que el cultivo en esos países sigue incrementándose, debido a su gran demanda.

Tabla 4. Producción mundial de malanga desde 2014-2016.

País	Año		
	2014 (Ton)	2015 (Ton)	2016 (Ton)
Nigeria	3,273,000.00	3,276,700.00	3,175,842.00
China	1,887,154.00	1,871,337.00	1,887,464.00
Camerón	1,697,245.00	1,757,249.00	1,803,667.00
Ghana	1,299,000.00	1,301,181.00	1,301,181.00

(FAOSTAT, 2016).

2.11.2. PRODUCCIÓN NACIONAL

La FAOSTAT (2016) reporta de manera general la producción de raíces y tubérculos en México, en donde engloba a la malanga, la papa, el camote, el ñame, la yuca, entre otros.

Se observa en la Tabla 5, que al trascurrir los años hay un incremento en la producción de raíces y tubérculos en México, principalmente en zonas tropicales y subtropicales. Sin embargo, comparado con otros países, la producción es mínima.

Tabla 5. Producción de raíces y tubérculos en México 2014-2016.

País	Año		
	2014 (Ton)	2015 (Ton)	2016 (Ton)
México	187,188.00	193,203.00	246,726.00

(FAOSTAT, 2016).

Mientras tanto, la SIAP-SAGARPA, (2014) reporta únicamente al estado de Veracruz como único productor de este tubérculo destacando principalmente a los municipios que se muestran en la Tabla 6, con un total de 8,880.50 Ton/año. Sin embargo, también existen otros estados productores de malanga como, por ejemplo: Oaxaca, Tabasco y Yucatán con una producción aproximada de 40 Ton/ha (López et al., 2014; Agama et al., 2011).

Tabla 6. Principales municipios de Veracruz productores de malanga.

Municipios del estado de Veracruz	Producción (Ton/año)
Actopan	5,670.00
Cotaxtla	162.50
La Antigua	352.00
Puente Nacional	1,100.00
Úrsulo Galván	1,596.00

(SIAP-SAGARPA, 2014).

2.12. VARIEDADES DE LA ESPECIE *Colocasia esculenta*

Existen 2 morfotipos de la malanga que pueden ser reconocidos como: dasheen o *Colocasia esculenta* var. *esculenta,* y eddoes o *Colocasia esculenta* var. *antiquorum*. Estos morfotipos han sido tratados como dos especies separadas: *Colocasia esculenta* y *Colocasia antiquorum.* Históricamente se habido tenido una confusión sobre el número y nombre de la especie *Colocasia* y las variedades de *C. esculenta* (Plucknett, 1983; Hay, 1996). Sin embargo, el número de las especies de este género podrían ser aproximadamente 20 según lo reportado en un trabajo de investigación de Li y Boyce (2010). Por tal motivo a continuación se presenta en la Tabla 7, algunas variedades más cultivadas en algunas regiones alrededor del

mundo (Borneo, Bangladesh China, India, Nueva Zelanda, India, Sri Lanka, Taiwan, Tibet y Vietnam).

Tabla 7. Variedades de la especie *Colocasia esculenta.*

Variedades	Nombre común	Países cultivados	Referencias
Colocasia esculenta var. *esculenta*	Dasheen, china o coco	China, Nueva Zelanda, India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *antiquorum*	eddoes	China, Nueva Zelanda, India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *affinis*		India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var*. fallax*		India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *virosa*		India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *mannii*		India, Sri Lanka	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *gigantea*		India, Sri Lanka, Vietnam,	Hooker (1894).
Colocasia esculenta var. *formosana*		Taiwan	Hayata 1919.
Colocasia esculenta var. *oresbia*		Borneo, Bangladesh	Hay (1996).
Colocasia esculenta var. *goaligongensis*		Sur de China	Li y Long (1999).
Colocasia esculenta var. *gongii*		Sur de China	Long y Li (2000).
Colocasia esculenta var. *lihengiae*		Sur de China, Noreste de India	Long y Liu (2001).
Colocasia esculenta var. *bicolor*		Sur de China	Cao y Long (2003).

Colocasia esculenta var, *menglaensis*		Yin *et al*. (2004).
Colocasia esculenta var. *tibetensis*	Tibet	Yin (2006).
Colocasia esculenta var. *yunnanensis*		Cai *et al*. (2006).
Colocasia esculenta var. *boyceana*		Gogoi y Borah (2013).
Colocasia esculenta var. *dibangensis*		Gogoi y Borah (2013).

(Ahmed, 2014).

2.12.1. MALANGA COCO O CHINA

La planta de la malanga Coco o Taro Chino cuyo nombre científico es *Colocasia esculenta* var. *esculenta* (Gómez *et al*., 1991; Ivancic y Lebot, 2000; Hoover, 2001; Naidoo *et al*., 2015 y El-Sayed *et al*., 2016). Alcanzan una altura de hasta 2.5 metros y producen en su base un cormo alargado de forma ovoide o cilíndrica, similares a un balón de fútbol americano misma que se aprecia en la Figura 9.

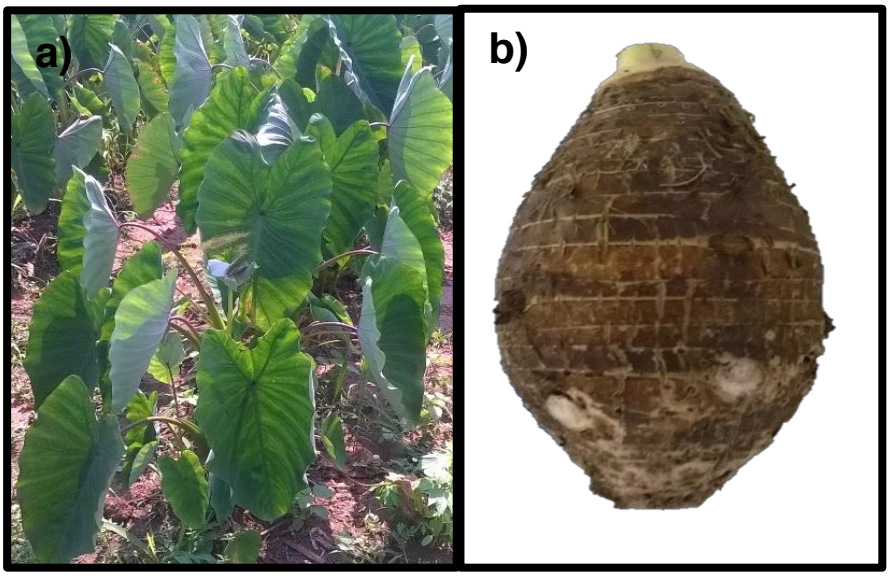

Figura 9. Imagen de la planta (a) y cormo (b) de malanga coco.

En la parte superior del tubérculo se encuentra ubicada la corona y está se encuentra vinculada al origen de los tallos o peciolos. Por otro lado, la parte inferior o base del cormo se asocia a las raíces. La cutícula o cáscara es de color café y en ella se aprecian anillos, que son las marcas de cada una de las hojas formadas en su ciclo. El color de su pulpa es blanco con vetas lilas o violetas como se observa en la Figura 10.

Figura 10. Corte transversal del tubérculo la malanga coco.

2.12.2. MALANGA ISLEÑA

La malanga Isleña cuyo nombre científico es *Colocasia esculenta* var*. antiquorum* (Gómez *et al*., 1991; Ivancic y Lebot, 2000; Hoover, 2001; Naidoo *et al*., 2015 y El-Sayed *et a*l., 2016), misma que produce cormos que son el producto más grande y cormelos pequeños, el peso del cormo y del cormelo varía dependiendo del tipo de suelo y el cuidado que se les da al cultivo en la Figura 11 se aprecia la forma de los cormos y cormelos. A los cormelos se les conoce comercialmente como malanga Eddoes o Small Taro.

Figura 11. Imagen de cormo de la malanga isleña

El color de su pulpa es blanco con betas amarillentas como se observa en la Figura 12.

Figura 12. Corte transversal del tubérculo la malanga isleña.

2.13. CULTIVO

Para las dos variedades mencionadas anteriormente el tiempo de cultivo en general va de 7 hasta 15 meses en función de la fertilidad de la tierra y la humedad del suelo. Específicamente la malanga coco su tiempo adecuado de cultivo va de 7 hasta 12 meses, y para la malanga isleña (planta madre de la malanga Eddoes) su ciclo de cosecha va de 7 hasta 10 meses. La malanga Eddoes se cosecha al sacar

los cormos de la malanga isleña, así que sus ciclos de cultivo son equivalentes de 7 hasta 10 meses, pero su productividad es menor debido a que son cormelos.

2.14. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MALANGA Y DE LA HARINA DE MALANGA

Opara (2003) evaluó la composición química de cormos y cormelos de diversos Aroides, entre ellos, la *Colocasia esculenta* tales resultados se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición química de los cormos de especie *Colocasia esculenta*.

Componente	% (b.h.)
Humedad	69.1
Proteínas	1.46
Grasas	0.10
Cenizas	0.87
Fibra	1.46
Almidón	24.5
Azúcares	2.51

(Opara, 2003).

En donde el contenido de humedad (69.1%) y el contenido de almidón (24.5%) son los componentes mayoritarios. Por otro lado, en la Tabla 9 se muestran en intervalos el contenido de la composición químico proximal de la harina de la *Colocasia esculenta* que se han reportado en diversas investigaciones (Palomino *et al*., 2010; Rodríguez *et al*., 2011; Kaushal *et al*., 2012), mismas que muestran variaciones

debido al genotipo, condiciones de cultivo, y las interacciones entre el genotipo y el medio ambiente (Mergedus *et al*., 2015), además, de la edad de cultivo.

También, se observa que la harina de la *Colocasia esculenta* tiene un alto contenido de carbohidratos (72.14 – 83.38), de los cuales el almidón es el componente mayoritario, lo que la hace una alternativa para el aislamiento de este polisacárido ya que se ha reportado un rendimiento en la extracción de almidón de 56 – 89% en base seca (Lebot *et al*., 2011).

Tabla 9. Composición química de la harina de *Colocasia esculenta*.

Componente	% (b.h.)
Humedad	6.22 - 10.21
Proteínas	4.57 - 12.25
Grasas	0.41 - 0.74
Cenizas	2.64 - 4.15
Fibra	0.75 - 6.27
Carbohidratos	72.14 - 83.38

2.15. CARACTERIZACIONES DEL ALMIDÓN DE MALANGA

El conocimiento de las propiedades específicas de los almidones de malanga es importante para tener un mejor entendimiento de su comportamiento y sugerir sus potenciales aplicaciones. Para ello es necesario el desarrollo de diversas técnicas para su análisis. A continuación, se menciona el fundamento de las técnicas que se ocuparon en esta investigación y datos que ya han sido reportados con base a los respectivos estudios. En la determinación del análisis químico proximal se puede saber el aporte nutricional de la muestra, en el almidón de malanga, numerosas

investigaciones han caracterizado el almidón de esta especie *Colocasia esculenta*. Sin embargo, se han encontrado valores muy amplios de resultados mismos que se muestran en la Tabla 10 (<biblio>).

Tabla 10. Intervalo de valores de la composición químico proximal del almidón de la *Colocasia esculenta.*

Componentes	Contenido (%)
Humedad	4.49 - 14.01
Cenizas	0.18 - 1.70
Grasas	0.05 - 0.84
Proteínas	0.35 - 7.29

Así mismo es importante conocer los valores de color de los almidones de malanga, ya que unos de los parámetros que se toman en cuenta en la industria es el grado de brillantes o blancura del almidón.

Se han reportado parámetros de color de los almidones de la especie *Colocasia esculenta* como se observa en la Tabla 11, por Aboubakar *et al*. (2008) y Falade y Okafor (2013).

Tabla 11. Intervalo de los parámetros de color del almidón de *Colocasia esculenta.*

color					
L*	a*	b*	ΔE	C*	h°
83 - 94	0.39 - 5.7	3.0 - 16.54	86.43 - 89.97	15.39 -16.58	85.90 - 87.13

Uno de los estudios importantes a considerar es también la cuantificación del almidón en las dos variedades de malanga, dicho estudio se realiza utilizando enzimas que hidrolizan enlaces glucosídicos en el polímero del almidón y son la α-amilasa y amiloglucosidasa, las cuales reducen la amilosa y amilopectina a glucosa. Consecuentemente la glucosa obtenida es medida por un procedimiento colorimétrico utilizando glucosa oxidasa peroxidasa (GOPOD) a 510 nm utilizando un espectrofotómetro. Se han reportado intervalos del contenido de almidón total de la especie *Colocasia esculenta* de 90.5 - 99.04%, por Pérez *et al.* (2005); Aboubakar *et al*. (2008); Palomino *et al*. (2010) y Naidoo *et al*. (2015).Por otro lado, el almidón es uno de los principales carbohidratos digeribles en la dieta y contribuye con el 60-70% de los carbohidratos disponibles o glucémicos. Los carbohidratos glucémicos se definen como la fracción del almidón digerida por las enzimas digestivas humanas en el tracto gastrointestinal y absorbido al torrente sanguíneo. Hoy en día se sabe de la existencia de diferentes tipos de almidones, que están en función de su velocidad de hidrólisis y su absorción en el intestino delgado. Para poder cuantificarlos el almidón de clasifica en almidón resistente (AR) y almidón disponible (AD), utilizando enzimas como la α-amilasa pancreática y amiloglucosidasa (AMG) por 16 h a 37 °C, durante este tiempo el almidón disponible es solubilizado e hidrolizado a D-glucosa por la acción combinada de las dos enzimas antes mencionadas, y el AR es hidrolizado a glucosa por la acción de la enzima AMG. La glucosa obtenida tanto del AD y AR es cuantificada con el reactivo glucosaoxidasa/peroxidasa (GOPOD). Otra manera de cuantificar el AD es realizando una diferencia entre el contenido del almidón total menos el contenido de almidón resistente. Se han reportado el contenido de AR de 57.1 y 64.3% por Naidoo *et al*. (2015) para almidones de malanga de tubérculos cultivados y silvestre, respectivamente.Unos de los estudios para observar la forma de los gránulos de los almidones es la caracterización morfológica, la cual permite conocer la estructura del almidón, por ejemplo; el tamaño del gránulo refleja los distintos orígenes de los almidones (Tester y Karkalas, 2002). También nos permite comparar las diferencias entre las estructuras de los gránulos. Se han reportado formas de gránulos entre los almidones, algunos pueden tener forma esférica, poligonal, irregular, poliédrica y

algunos gránulos tienen combinaciones entre las formas antes mencionadas. Estos estudios se realizan con la Microscopia óptica y Microscopía electrónica de barrido (SEM) son herramientas valiosas en la caracterización de almidón. Gran parte de lo que se sabe acerca de la estructura granular es determinada por la microscopía. En la Tabla 12 se muestran las diferentes formas y tamaños de gránulos que se han reportado en la especie *Colocasia esculenta* en diferentes partes del mundo.

Tabla 12. Morfología y tamaño del gránulo de almidón de *Colocasia esculenta*.

Tamaño (µm)	Forma	Lugar de investigación	Referencia
1 - 5	Poligonal e irregular	Hawaii	Jane *et al*. (1992).
0.5 - 5	Redondas	Venezuela	Pérez *et al*. (2005).
0.5 – 5	Poligonal	Tailandia	Tattiyaful *et al*. (2007).
9.4 – 10.4	Esféricas, poligonales y truncados	Malawi	Mweta *et al*. (2010).
1 – 5	Poligonal e irregular	Camerún	Aboubakar *et al*. (2008).
1 – 5	Redondos y poligonales	México	Agama *et al*. (2011).
0.71 – 1.25	Poligonal	India	Saikia y Konwar (2012).
1.3 – 2.2	Irregular y poligonal	China	Zeng *et al*. (2014).
2 - 5	Esféricas o en forma de cúpula y truncados	México	Mendoza (2016).

De manera visual se observa en la Figura 13, las diferencias morfológicas del gránulo de almidón de la especie *Colocasia esculenta*, en donde Mendoza (2016), reportó morfología de gránulo de almidón esféricas o en forma de cúpula y truncados, mientas que Agama *et al*. (2011), reportaron formas de gránulo de almidón redondos y poligonales, cabe mencionar que estas investigaciones se realizaron en México.

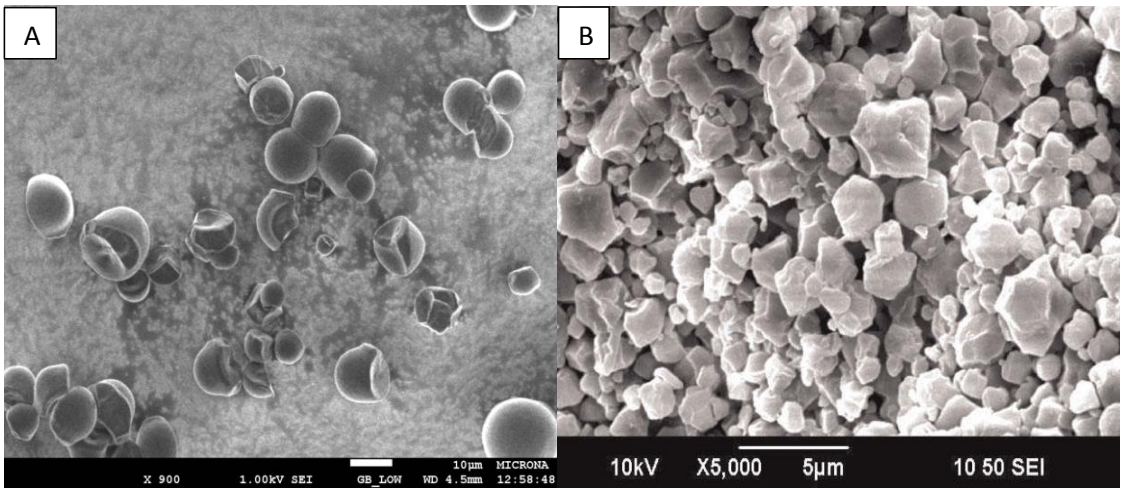

Figura 13. Morfología de gránulo de almidón de *Colocasia esculenta* reportado por A) Mendoza (2016) y B) Agama *et al*. (2011).

De igual manera el estudio de los gránulos de almidón es importante con el microscopio de luz polarizada ya que todos los almidones nativos parecen brillar mientras exhiben una "cruz de Malta" oscura. Este fenómeno se conoce como birrefringencia y es un indicador del grado de orden en los gránulos. Pérez *et* al. (2005) realizaron estudios en donde observaron la cruz de malta de la especie *Colocasia esculenta* misma microfotografías se observa en la Figura 14.

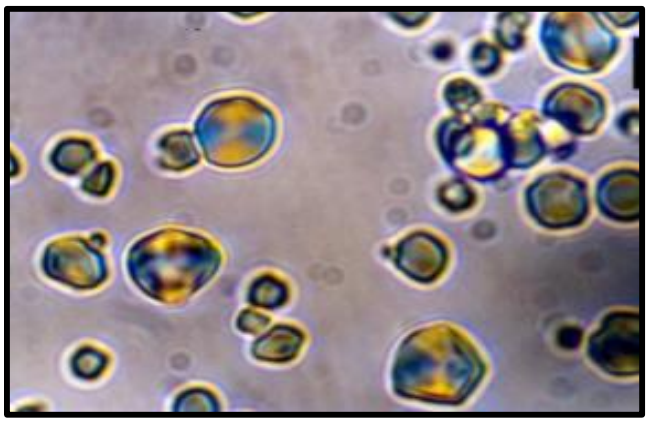

Figura 14. Microfotografía de la cruz de malta de la especie *Colocasia esculenta* usando un microscopio de luz polarizada (Pérez *et* al., 2005).

De acuerdo a la caracterización térmica del almidón, la calorimetría de barrido diferencial permite medir los cambios energéticos de una sustancia en presencia de un material de referencia. Con esta caracterización son estudiadas la temperatura y entalpia de gelatinización de los almidones. Se han reportado en diversas investigaciones intervalos muy amplios de temperaturas de gelatinización (Tp) de 54.40 – 83.2 °C (Jane *et al.*,1992; Pérez *et al.*, 2005; Tattiyakul *et al.*, 2007; Lu *et al.*, 2008; Aboubakar *et al.*, 2008), y entalpias de 11.04 – 18.2 J/g (Jane *et al.*, 1992; Lu *et al.*, 2008; Aboubakar *et al.*, 2008) del almidón de la especie *Colocasia esculenta.*

Con respecto al patrón de difracción de rayos x; cuando un cristal se irradia con rayos x, los rayos x se dividen para formar un patrón distintivo de la estructura cristalina. Esta técnica se ha utilizado para estudiar la naturaleza cristalina del almidón (patrón de difracción de rayos X). Se han identificado tres patrones generales de rayos X en almidón nativo mediante este método, mismas que se aprecian en la Figura 15. Los almidones de cereales nativos, como el trigo, el maíz y el arroz, producen un patrón tipo A, y los almidones de los tubérculos, como la papa, producen un patrón tipo B, Los almidones de guisantes y frijoles lisos dan un patrón tipo C, una forma intermedia que probablemente resulta de las mezclas de los tipos A y B.

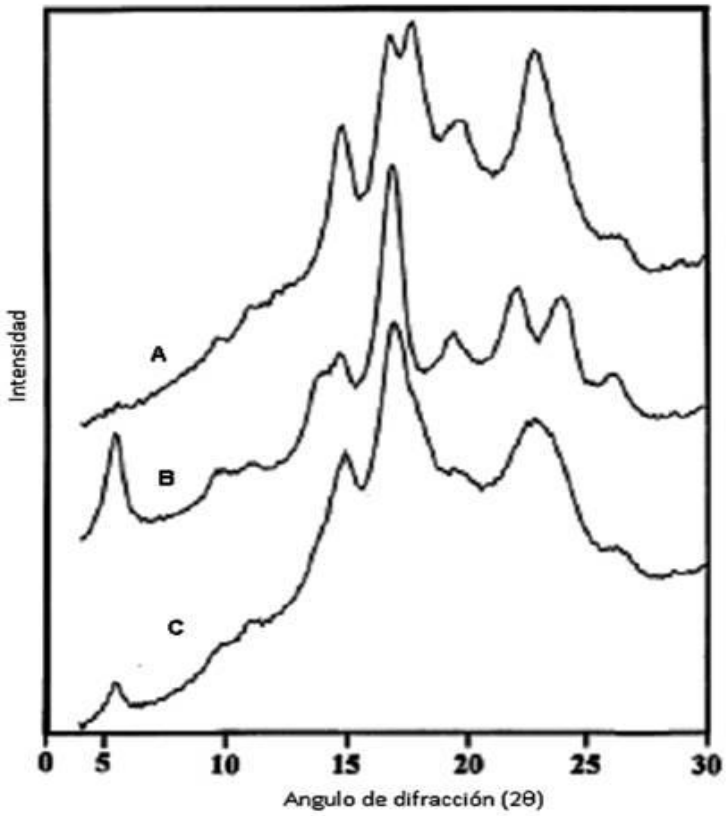

Figura 15. Patrones de difracción de rayos-X de almidones: Tipo -A, -B y –C. (Bogracheva *et al.*, 1999).

Otras de las determinaciones importantes en los almidones es la viscosidad de empastado, estos son medidos con instrumentos llamados viscoamilógrafos o reómetros que miden los cambios de viscosidad en los medios de almidón durante el calentamiento. En la Figura 16, se observa que a medida que el calentamiento de los gránulos de almidón continua más y más, estas se hinchan, y la viscosidad del medio aumenta, en este punto, los polímeros con pesos moleculares más bajos, particularmente moléculas de amilosa, comienzan a lixiviarse de los gránulos.

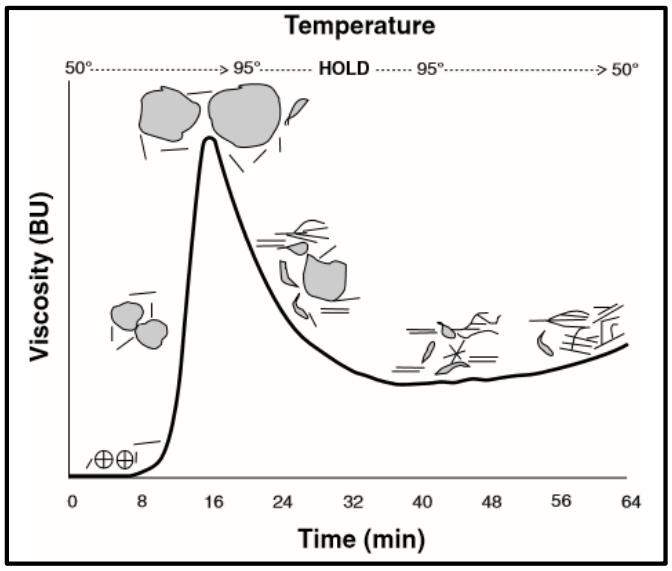

Figura 16. Una representación de los cambios del gránulo de almidón en relación a la viscosidad. (Thomas y Atwell, 1999).

Con respecto a la viscosidad de empastado, se obtiene una viscosidad máxima durante el empastado cuando hay una mayoría de gránulos intactos totalmente hinchados y la alineación molecular de cualquier polímero solubilizado no se ha producido aún dentro del campo de cizalladura del instrumento. Durante la fase de mantenimiento a alta temperatura (por ejemplo, 95 °C) los gránulos comienzan a descomponerse, la solubilización del polímero continúa y la alineación molecular ocurre dentro del campo de cizalladura del instrumento; es decir, el eje comienza a "cortar el mismo camino" a través de la pasta. En este punto, se registra una caída en la viscosidad. Durante la fase de enfriamiento, los polímeros solubilizados de amilosa y amilopectina comienzan a reasociarse, y se rastrea otro aumento en la viscosidad. Este segundo aumento en la viscosidad generalmente se conoce como retroceso. Se han reportado estudios de viscosidad de empastado del almidón de la especie *Colocasia esculenta* por Jane *et al*. (1992); Pérez *et al*. (2005); Lu *et al*. (2008); Wickramasinghe *et al*. (2009); Tattiyakul *et al*. (2009); Huang *et al*. (2010); Nwokocha *et al*. (2009); Agama *et al*. (2011); Falade y Okafor (2013) y Zeng *et al*. (2014).

Al igual que las determinaciones antes mencionadas, también conocer las propiedades funcionales del almidón de malanga es importante ya que nos proporcionan información para determinar el nivel de utilización en la formulación de los ingredientes y el empleo en el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Fasasi *et al.,* 2007). La capacidad de solubilidad en agua (CSA) determina la cantidad de materia disuelta en exceso de agua, utilizándose como indicador de la degradación de los componentes, principalmente carbohidratos (Van den Einde *et al.,* 2003). La capacidad de absorción en aceite (CAAc) es importante ya que mejora el sabor y la textura de los alimentos (Ramírez y Pacheco., 2009). La capacidad de absorción en agua (CAA) está relacionada con la presencia de proteínas, contenido de almidón y contenido de fibra presentes en los alimentos. Algunas de las investigaciones que han reportado el comportamiento de las propiedades funcionales del almidón de la especie *Colocasia esculenta* son; Agama *et al*. (2011); Barragán (2013) y Naidoo *et al*. (2015).

3. ANTECEDENTES

Aboubakar *et al.* (2008). Evaluaron las propiedades fisicoquímicas, térmicas y la microestructura de la harina y almidón de 6 variedades de malanga en tubérculos de 8 a 9 meses de tiempo de cosecha. Las 6 variedades codificadas fueron; RIN, RIE, CN, CE, KW y KW1. Como resultado obtuvieron rendimientos de almidón extraídos a partir de las harinas entre 66.5% para KW2 a 86.6% para RIE. El contenido de proteína fue de 2.9% para KW1 a 4.9% para CN en las harinas. Observaron formas de gránulos poligonales irregulares y pequeños tamaños granulares. El contenido de amilosa fue de 14.7 a 30.85%, determinado con el DSC. Mostraron resultados de análisis químico proximal del almidón de malanga 0.2-0.6% de lípidos y 2% de cenizas. Las temperaturas de gelatinización variaron de 55.2 a 65.49 °C para las harinas, mientras que en los almidones variaron de 48.08 para PC2 y 64.37 °C para PC1. La retrogradación de los almidones y las harinas variaron significativamente entre las variedades. La capacidad de absorción en agua del almidón varió de 240 a 470% y del 60 a 250% para las harinas. Entre las variedades, RIN y CE de los almidones tenían la más alta solubilidad, mientras que el KW1 tenía bajo valor. El estudio también reveló que la harina de la malanga tiene una alta capacidad para absorber agua en comparación con el almidón.

Lu *et al*. (2008). Evaluaron las características de almidones de malanga (*Colocasia esculenta)* sembrados en diferentes temporadas y su relación con la estructura molecular del almidón. Los almidones de malanga de los tres cultivares diferentes fueron Dog hoof, Mein y KSO1, mismos que fueron sembrados en verano, invierno y primavera. Los resultados mostraron que los almidones de malanga de los tubérculos plantados en verano presentaron los gránulos más grandes y una menor uniformidad de gelatinización mostrando un endoterma bimodal, así como una mayor tendencia a hincharse y colapsar cuando es calentado con agua. Este almidón también mostró una mayor elasticidad durante la gelatinización en comparación con los sembrados en invierno y primavera. Además de la temporada de siembra y la variedad, las propiedades reológicas y de empastado estaban

influenciados no solamente por el contenido de amilosa sino también por la distribución de la longitud de cadena de la amilopectina, mientras que el poder de hinchamiento y solubilidad dependían del contenido de amilosa en el almidón. El almidón de malanga que presentaba mayor contenido de amilosa y una relación mayor de cadenas largas y fracciones cortas, con tamaño promedio de cadenas largas de amilopectina, presentaron mayor elasticidad y fuerza de gel durante el calentamiento.

Nwokocha *et al*. (2009). Realizaron un estudio comparativo de algunas propiedades de almidones de yuca (*Manihot esculenta,* Crantz) y malanga (*Colocasia esculenta*). Compararon sus propiedades microscópicas, térmicas, fisicoquímicas y reológicas. Los estudios microscópicos revelaron tamaños de gránulos pequeños en almidones de malanga (3.70 – 10.40 µm), que de yuca (2.81 – 14.03 µm). Además, los almidones de yuca presentaron alto poder de hinchamiento, solubilidad y pico de viscosidad, pero presentaron baja estabilidad y retrogradación, bajo contenido de amilosa (29%) y temperatura de gelatinización (60.11 – 72.67 °C) que lo almidones de malanga (amilosa de 33.3% y temperatura de gelatinización de 72.96 – 80.25 °C). Concluyeron que los almidones de yuca y malanga pueden ser sugeridos en la aplicación de diversos alimentos.

Mweta *et al.* (2010). Aislaron y caracterizaron las propiedades fisicoquímicas del almidón de malanga (*Colocasia esculenta)* en Malawi. Se determinaron las propiedades fisicoquímicas de 7 almidones aislados de diferentes accesiones cultivadas en 7 diferentes distritos de Malawi (Chitipa, Mzimba (Mzuzu), Mulanje, Machinga, Nkhotakota, Thyolo y Zomba) en mayo 2008. Como resultado obtuvieron que los almidones aislados presentaron purezas en un intervalo de 852 a 947 gkg^{-1} y pH de 4.93 a 6.95. El contenido de humedad, cenizas y proteínas y contenido de amilosa estuvieron en un intervalo de valores de 104 a 132, 0.3 a 1.5, 3.5 a 8.4, 0.9 a 1.6 y 111 a 237 g kg^{-1} respectivamente. Los almidones de malanga presentaron niveles mayores de potasio y fósforo, pero menores niveles de calcio en comparación con otros almidones, las formas de los gránulos de los almidones variaron de esféricos a poligonales con gránulos de tamaño pequeño (9.4 a 10.4

µm) en comparación con los gránulos de almidones de maíz y yuca. También presentaron mayores longitudes de onda de absorción de yodo y valor azul pero menor capacidad de reducción que el almidón de maíz y yuca. El grado de hidrólisis por hidrólisis ácida de los almidones también fue diferente. Los almidones de malanga presentaron moléculas de amilopectina de mayor peso molecular, pero moléculas de amilosa de menor peso molecular que los presentados por almidón de maíz y yuca. Por otro lado, también presentaron menor capacidad de absorción de agua y poder de hinchamiento, claridad de pasta y viscosidad, pero mayor solubilidad, temperatura de gelatinización y tendencia a la retrogradación que los almidones de maíz y yuca.

Agama *et al*. (2011). Aislaron y caracterizaron parcialmente el almidón de malanga (*Colocasia esculenta*) mexicana. Evaluaron las características morfológicas, fisicoquímicas y estructura moléculas del almidón. Obtuvieron rendimiento de 81% (b.s.), el almidón presentó contenido de amilosa bajo (2.5%), observaron formas poligonales e irregulares, con tamaños de 1 – 5 µm, además el almidón presentó un patrón de difracción tipo A con un nivel de cristalinidad de 38.26%, los valores de solubilidad y capacidad de retención de agua no cambiaron en intervalos de temperatura de 50 – 70 °C, el almidón presentó un pico de viscosidad alto debido a su alto contenido de amilopectina y baja retrogradación por si bajo contenido de amilosa, la temperatura de gelatinización fue de 80.6 °C con una entalpía de 10.6 J/g. concluyeron que el tubérculo de la malanga podría ser una alternativa para el aislamiento de almidón por sus características funcionales y fisicoquímicas, para su aplicación en la industria alimentaria y no alimentaria.

4. JUSTIFICACIÓN

El almidón de malanga ha sido ampliamente estudiado. Sin embargo, existe una gran variabilidad de resultados debido a que en la mayoría de los reportes no se especifican la variedad de malanga en estudio aunado a los diferentes tiempos de cultivo del tubérculo (7 a 15 meses), a las condiciones ambientales, la estación del año, las prácticas agronómicas, entre otros. Sin embargo, la FAO (1990), menciona que la: malanga coco es conocida como *Colocasia esculenta* var. *esculenta* y la malanga isleña conocida como C*olocasia esculenta* var. *antiquorum*.

Estas dos variedades se cultivan en la región de Tuxtepec, Oaxaca, por ser una zona tropical, por tal motivo es importante conocer las propiedades específicas de los almidones de estas dos variedades de malanga, para de esta manera sugerir sus posibles aplicaciones en la industria alimentaria y no alimentaria.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades químicas, físicas y fisicoquímicas de almidón de dos variedades de malanga: la malanga coco (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*) y la malanga isleña (*Colocasia esculenta* var. *antiquorum*).

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar el almidón obtenido de dos variedades de malanga mediante un análisis químico proximal y color.
2. Evaluar el contenido de almidón total, resistente y disponible del almidón de dos variedades de malanga.
3. Observar la morfología (microscopía óptica) y la cruz de malta (microscopía de luz polarizada) de los gránulos del almidón de dos variedades de malanga.
4. Evaluar la temperatura y la entalpía de gelatinización del almidón de dos variedades de malanga mediante Calorimetría Diferencial de Barrido
5. Obtener el patrón de difracción de rayos X y el porcentaje de cristalinidad del almidón de dos variedades de malanga utilizando un equipo de difracción de rayos X.
6. Determinar la viscosidad de empastado a los almidones de las dos variedades de malanga.
7. Evaluar a diferentes temperaturas el índice de solubilidad en agua (ISA), poder de hinchamiento (PH), capacidad de retención de agua (CRA) y capacidad de retención de aceite (CRAc) del almidón de dos variedades de malanga.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. OBTENCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS

Se utilizaron dos variedades de malanga cultivadas en la región de Tuxtepec Oaxaca, la malanga coco (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*) y la malanga isleña (*Colocasia esculenta* var*. Antiquorum*), mismas que fueron proporcionadas por la INTEGRADORA DE RAÍCES Y TUBÉRCULOS DE LA CUENCA S. A. DE C.V. DE R. L., con 9 meses de cultivo. Fueron seleccionadas aquellas malangas que no presentaran daño físico, como por ejemplo mordeduras de animales o descomposición.

6.2. OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE LAS DOS VARIEDADES DE MALANGA

El almidón se obtuvo siguiendo el método desarrollado por Vergara (2012), con algunas modificaciones. Las malangas fueron lavadas con agua y jabón comercial, se pelaron y se cortaron en trozos medianos, después se sumergieron en una solución de ácido cítrico al 0.3% para evitar el oscurecimiento enzimático. Los trozos se molieron en una licuadora industrial (INTERNACIONAL, LI-12A, México) por un minuto aproximadamente para que el motor no se calentara y no gelatinizara el almidón. La mezcla se filtró con un colador convencional y se pasaron por 3 mallas No. 100, 200 y 400 (0.150, 0.075 y 0.038 mm, respectivamente). Se dejó en reposo la mezcla obtenida del tamiz No. 400 (0.038mm) por 24 horas, para decantar el sobrenadante. Sin embargo, al transcurrir ese tiempo no hubo sedimentación del almidón, sino que seguían dispersos en el agua, por lo tanto, se prosiguió a centrifugar la lechada utilizando una centrifuga (Universal Compact Centrifugue Rotina 380 K, Mca Hehtich Mod Z 200A, Alemania) a 3,500 rpm a 4 °C por 15 min. Posteriormente, la pasta de almidón se secó a 45 °C por 8 horas en un secador de

charolas. El almidón seco se molió y se tamizó utilizando la malla No. 100 (0.150mm), posteriormente el almidón tamizado se almacenó en bolsas de polietileno sellados al vacío hasta su posterior uso.

6.3. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL

6.3.1. HUMEDAD

La determinación de humedad se realizó por triplicado por el método No. 44-16 de la AACC (2000), se secó la muestra en una estufa (Binder, FD, Santiago de Chile) a 110 °C por 24 horas hasta obtener un peso constante, determinando la humedad por diferencia de peso con la ecuación No. 1.

$$\boldsymbol{Humedad} = \frac{\boldsymbol{peso\ de\ muestra\ húmeda - peso\ de\ muestra\ seca}}{\boldsymbol{peso\ de\ muestra\ húmeda}} * \boldsymbol{100} \qquad \text{Ec. (1)}$$

6.3.2. CENIZAS

Se determinó por triplicado por el método No. 08-14 AACC (2000). Se pesó 1 g de muestra en crisoles a peso constante, se precalcinó la muestra en una parrilla (IKA C-MAG, HS7 DIGITAL, México), posteriormente se colocó la muestra precalcinada en la mufla (Barnstead Thermolgnes) a 550 °C durante 5 horas. El contenido de cenizas se calculó por diferencia de peso con la ecuación No. 2.

$$\boldsymbol{Cenizas} = \frac{\boldsymbol{peso\ crisol\ con\ cenizas - peso\ crisol}}{\boldsymbol{peso\ muestra}} * \boldsymbol{100} \qquad \text{Ec. (2)}$$

6.3.3. GRASAS

Se determinó por triplicado por el método No. 32-25, AACC (2000). Se pesaron 3 g de muestra en cartuchos de celulosa los cuales se colocaron en el aparato de extracción. En el matraz de fondo plano se adicionaron 100 mL de éter de petróleo.

La extracción se realizó por 3 horas, transcurrido este tiempo el matraz se dejó en la estufa a 100 °C durante 30 min o hasta que alcanzara el peso constante. Finalmente, el matraz se pesó para determinar el porcentaje de lípidos utilizando la ecuación No. 3.

$$\boldsymbol{Grasas} = \frac{\boldsymbol{peso\ matraz\ con\ grasas - peso\ matraz}}{\boldsymbol{peso\ muestra}} * \mathbf{100} \qquad \text{Ec. (3)}$$

6.3.4. PROTEÍNAS

Se realizó por triplicado por el método No. 42-11, AACC (2000). Se pesaron 1 g de muestra en tubos Kjeldahl, a los que se le agregó 1 g de sulfato de cobre pentahidratado, 10 g de sulfato de potasio y 15 mL de ácido sulfúrico para realizar la digestión. Ya digerida la muestra se destiló con 50 mL de NaOH al 40%, hasta obtener un volumen de destilado de 100 mL en un matraz Erlenmeyer con 50 mL. La muestra se tituló con ácido bórico al 4% e indicador Wesslow. Se calculó el porcentaje de nitrógeno (%N) y el porcentaje de proteínas (%P) con las ecuaciones No. 4 y 5.

$$\%\mathbf{N} = \frac{(\boldsymbol{mL\ gastados\ del\ titulador})(\mathbf{1.4007})(\boldsymbol{N})(\mathbf{100})}{\boldsymbol{muestra}\ (\boldsymbol{mg})} * \mathbf{F} \qquad \text{Ec. (4)}$$

N= normalidad de HCl (0.01N).

$$\%\mathbf{P} = (\%\boldsymbol{N})(\boldsymbol{F}) \qquad \text{Ec. (5)}$$

F= 5.85 (factor de proteína).

6.4. DETERMINACIÓN DE COLOR DEL ALMIDÓN DE MALANGA DE LAS DOS VARIEDADES

Los parámetros de color se determinaron por triplicado utilizando un Colorímetro Triestímulo Hunter Lab (UltraScan Vis Hunter Lab, 45/0 L, EEUU). Se obtuvieron los valores L* (Luminosidad), a*(cromaticidad rojo-verde) y b*(cromaticidad amarillo-azul) y la diferencia total de color (∆E), a partir de los cuales se calcularon los valores de Cromaticidad (C*), ángulo Hue (hº) de acuerdo a las ecuaciones 6 y 7.

$$\boldsymbol{C^*} = ((\boldsymbol{a^{*2}}) + (\boldsymbol{b^{*2}}))^{\frac{1}{2}} \qquad \text{Ec. (6)}$$

$$\boldsymbol{h^0} = \boldsymbol{arctan}^{\frac{b^{*2}}{a^{*2}}} \qquad \text{Ec. (7)}$$

6.5. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN TOTAL Y ALMIDÓN RESISTENTE

6.5.1. MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE ALMIDÓN TOTAL (MÉTODO AMILOGLUCOSIDASA/ α-AMILASA)

El contenido de almidón total se realizó de acuerdo al método de la AOAC (2015) (996.11) y la AACC (2015) (76-13.01) utilizando el kit enzimático de megazyme.
La muestra se tamizó en una malla con tamaño de partícula de 0.5 mm antes de realizar la determinación. Se pesaron por triplicado las muestras tamizadas y el almidón control del kit (~100 mg, se pesó exactamente en base seca) en tubos (16 x 120 mm).

Se agregó a cada tubo 0.2 mL de etanol (80% v/v), posteriormente se agitaron en un vortex. Se agregó una barra magnética (5 x 15 mm) y 2 mL de KOH al 2 M a cada tubo y se re-suspendieron las muestras en agitación por 20 min en un baño de

agua/hielo. Se agregó 8 mL de 1.2 M de buffer acetato de sodio (pH 3.8) a cada tubo en agitación magnética. Inmediatamente se agregó 0.1 mL de α-amilasa termoestable (solución 1) y 0.1 mL de AMG, se mezcló bien y se llevaron los tubos en agua caliente a 50 °C. Se incubaron los tubos por 30 min con mezclado intermitente en un vortex.

Debido a que en la literatura se han reportado que el almidón de malanga tiene > 10% del contenido de almidón total se siguió esta etapa en la metodología.

Para muestras que contienen > 10% del contenido de almidón total:

Se transfirió cuantitativamente el contenido de los tubos a un matraz volumétrico de 100 mL (usando un bote de agua o pizeta lavar el tubo). Se usó un agitador magnético externo para retirar el agitador magnético que se encontraba en el tubo. Se ajustó a 100 mL con agua destilada y mezcló bien el matraz. Se centrifugó una alícuota (20 mL) de la solución a 1,800 x g por 10 min.

Se transfirieron por triplicado (3 tubos) alícuotas de 0.1 mL de la solución al fondo de los tubos. Se agregó 3.0 mL de reactivo GOPOD a cada tubo (incluyendo la glucosa control y el reactivo blanco) y se incubaron los tubos a 50 °C por 20 min.

La glucosa control consistía de 0.1 mL de la solución de glucosa estándar (1 mg/mL) y 3 mL de reactivo GOPOD. La solución de reactivo blanco consistía de 0.1 mL de agua destilada y 3.0 mL del reactivo GOPOD.

Se leyeron las absorbancias de cada muestra, y de la glucosa control a 510 nm contra el reactivo blanco. Es decir, el blanco (debe de dar 0.000) se leyó primero para ajustar el espectro y después se leyó el control, posteriormente las muestras. El contenido de almidón total de cada muestra se calculó mediante un software de megazyme.

6.5.2. HIDRÓLISIS Y SOLUBILIZACIÓN DE ALMIDÓN DISPONIBLE

Se pesaron por triplicado exactamente 100 ± 5 mg de muestra y el AR control del kit directamente en los tubos de ensaye y se taparon los tubos. Se añadieron 4 mL de α-amilasa pancreática que contenía AMG a cada tubo. Se taparon los tubos, se mezclaron en un vortex. Posteriormente de incubaron a 37 °C con agitación continua (200 golpes/min) por 16 h exactamente.

Se removieron los tubos del baño con agua y se eliminó el exceso del agua de la superficie con un papel absorbente. Se removieron las tapas y se añadieron 4.0 mL de etanol (99%) inmediatamente se taparon los tubos y se agitaron vigorosamente en un vortex. Se centrifugaron los tubos a 1,500 g (aproximadamente 3000 rpm) por 10 min. Después, cuidadosamente se decantó el sobrenadante y se re-suspendió el pellet en 2 mL de etanol al 50% con agitación vigorosa en un vortex. Se añadió de nuevo 6 mL de etanol al 50%, se mezclaron bien los tubos y se centrifugaron a 1500 g por 10 min. Se decantó el sobrenadante y se repitió la etapa de suspensión y centrifugación una vez más. Cuidadosamente se decantó el sobrenadante y se invirtieron los tubos en un papel absorbente para drenar el exceso de líquido.

6.5.3. MEDICIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE (AR)

Se añadió una barra magnética y 2 mL de KOH 2 M a cada tubo y se re-suspendieron los pellets, se agitaron por 20 min en un baño con hielo en agitación. Se añadió 8 mL de 1.2 M de buffer acetato de sodio (pH 3.8) a cada tubo con agitación en una plancha magnética. Inmediatamente se añadió 0.1 mL de AMG (solución 1: 3300 U/mL), se mezcló bien y se pasaron los tubos en un baño con agua a 50 °C. Se incubaron los tubos por 30 min con agitación intermitente mezclado en un vortex.

Se ha reportado en la literatura que el almidón de *Colocasia esculenta* tiene >10 AR, por lo tanto, se siguió este paso.

Para muestras que contienen >10 AR: se transfirió cuantitativamente el contenido de los tubos a un matraz volumétrico de 100 mL. Se usó una barra magnética externa para retener la barra que se encontraba en los tubos y se lavaron con agua destilada cada tubo. Cada matraz se ajustó a 100 mL con agua destilada y se mezcló bien. Se centrifugó una alícuota (20 mL) de la solución de cada muestra a 1,000 g por 10 min.

Se transfirieron una alícuota de 0.1 mL del sobrenadante dentro de cada tubo, se añadieron 3.0 mL del reactivo GOPOD (solución 4 del kit de megazyme) y se incubaron a 50 °C por 20 min. Se midieron las absorbancias de cada tubo a 510 nm contra el reactivo blanco. Se calculó el contenido de AR de cada muestra en un software de megazyme.

El reactivo blanco se preparó mezclando 0.1 mL de buffer acetato de sodio (pH 4.5) y 3.0 mL del reactivo GOPOD. La D-glucosa estándar se preparó (por cuadruplicado) mezclando 0.1 mL de D-glucosa (1 mg/mL) y 3.0 mL del reactivo GOPOD.

Para la determinación del almidón disponible (AD), se realizó por diferencia utilizando la ecuación No. 8.

$$\boldsymbol{AD = AT - AR} \qquad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

AD = Almidón disponible

AT = Almidón total

AR = Almidón resistente

6.6. OBSERVACIÓN DE LA MORFOLOGÍA Y DE LA CRUZ DE MALTA

Se observaron las formas de los gránulos, utilizando un microscopio de luz y de luz polarizada (LEICA, DM750P, Singapur), con la cámara (LEICA, MC170 HD, Singapur) adherida al microscopio se tomaron las microfotografías de los gránulos, para ello se preparó una dispersión de almidón al 1% en agua destilada y se enfocaron con el objetivo 40x para observar la forma y a 100x para observar la cruz de malta de los gránulos.

6.7. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS

La temperatura y entalpía de gelatinización de los almidones se estudiaron usando un equipo de calorimetría de barrido diferencial (Q 200, TA Instruments, EEUU) previamente calibrado con Indio. Se utilizó el método reportado por Chang *et al*. (2006) con algunas modificaciones. Se pesaron por triplicado 2.2 mg de muestra en base seca en una charola de aluminio y se les agregó agua destilada, una hora antes de cada lectura. Las muestras fueron sometidas a un programa de calentamiento sobre un intervalo de temperatura de 20 a 115 °C y una velocidad de calentamiento de 1 °C/min. La temperatura de gelatinización (Tp) y la entalpía de gelatinización (ΔH) se obtuvieron directamente con el programa del equipo.

6.8. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

Las muestras (humedad relativa del 82%) se almacenaron a temperatura ambiente y posteriormente fueron analizadas. Se pesaron 20 mg de almidón y se colocaron sobre el portamuestra del difractómetro de rayos X (Bruker, Advance D8, EEUU) de ángulo amplio, equipado con una fuente de cobre operado a 35 KV.

Se produjo una radiación de CuK_{α} con una longitud de onda de 1.542 Å. Los datos se colectaron en un intervalo de 3-37° cada 0.05°, con una velocidad de barrido de 60 s/°.

El porcentaje de cristalinidad (%C) fue determinado del difractograma calculando el área correspondiente de picos cristalinos (Ap) entre el área bajo la curva (amorfa y cristalina) (At), menos el ruido del instrumento (N) de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\%\boldsymbol{C} = \frac{\boldsymbol{Ap}}{\boldsymbol{At-N}} \qquad \text{Ec. (9)}$$

6.9. PERFIL DE EMPASTADO

La viscosidad de empastado de los almidones de las dos variedades fue determinada utilizando un Reómetro Híbrido Discovery (TA Instruments RH-2), se preparó una dispersión de almidón al 10%, posteriormente se programó el ciclo de calentamiento y enfriamiento con las siguientes condiciones: se mantuvo a 30 °C durante 60 s, se aumentó la temperatura a 90 °C durante 360 s (velocidad de calentamiento 15 °C/min), se mantuvo la temperatura a 90 °C durante 120 s y se volvió a enfriar a 30 °C durante 420 s.

6.10. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES

6.10.1. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD Y PODER DE HINCHAMIENTO

Estas propiedades fueron determinadas por la modificación del método original de Schoch (1964), realizada por Sathe y Salunkhe, (1981). En tubos de centrífuga tarados previamente se prepararon por triplicado 40 mL de una suspensión de almidón al 1% (p/v), en base seca.

Los tubos se incubaron en baños con agitación magnética a las temperaturas de 37°, 60, 70, 80 y 90 °C, y se mantuvieron a esas temperaturas durante 30 min. Una vez que dicho tiempo transcurrió, se retiraron del baño y del agitador magnético, y se llevaron a centrifugar (Universal Compact Centrifugue Rotina 380 K, Mca Hehtich Z 200A, Alemania) a 2500 rpm (2120 x *g*) durante 15 min. El sobrenadante se decantó y se pesaron los gránulos hinchados. Del sobrenadante se tomaron 10 mL y se colocaron en charolas de aluminio y se secaron en una estufa a 120 °C durante 4 h. Por último, las muestras se colocaron en un desecador, se pesaron y se llevó a cabo los cálculos correspondientes de acuerdo a las ecuaciones No. 10 y 11.

$$\%\, S = \frac{\boldsymbol{Peso\ del\ almidón\ soluble\ x\ 400}}{\boldsymbol{Peso\ de\ la\ muestra\ (b.s.)}} \qquad \text{Ec. (10)}$$

Ec. (11)

$$PH = \left(\frac{\boldsymbol{g\ agua}}{\boldsymbol{g\ almidón}}\right) = \frac{\boldsymbol{Peso\ del\ sedimento\ x\ 100}}{\boldsymbol{Peso\ de\ la\ muestra\ (b.s.) - (100 - \%S}}$$

6.10.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN EN AGUA (CRA) Y CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE ACEITE (CRAc)

Se utilizó el método propuesto por Larrauri *et al*. (1996). Se pesaron por trilpicado 250 mg de muestra en base seca. Se adicionaron 25 mL de agua o aceite de olivo dependiendo de la propiedad funcional que se iba a determinar y se mantuvo la mezcla en agitación constante a diferentes temperaturas (37, 60, 70, 80 y 90 °C), durante 1 hora. Posteriormente se centrifugó (Universal Compact Centrifugue Rotina 380R, Mca Hehtich Mod Z 200A, Alemania) a 3000 x *g* a 4°C por 15 min, los residuos se pesaron para calcular la CRAc y CRA con la ecuación No. 12.

$$\boldsymbol{CRA\ o\ CRAc} = \frac{\boldsymbol{peso\ de\ la\ muestra}}{\boldsymbol{peso\ del\ sedimento}} \qquad \text{Ec. (12)}$$

6.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los análisis de resultados se evaluaron, utilizando el análisis de varianza (ANDEVA) de una vía, con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, utilizando un programa estadístico STATISTICA versión 10 (StatSoft, Inc. 1984-2008, EEUU), cuando se encontraron diferencias estadísticas significativas se utilizó la prueba Tuckey.

7. RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. OBTENCIÓN DE ALMIDÓN

Para 6.192 kg de malanga coco se obtuvo 1.513 kg de almidón, mientras que en 8.214 kg de malanga isleña se obtuvo 0.833 kg de almidón, de los cuales el rendimiento para cada uno de ellos fue de 24.43 y 10.14 % como se muestra en la Tabla 13, para AMC y AMI, respectivamente. El rendimiento del almidón de malanga coco (AMC) fue superior al almidón de la malanga isleña (AMI), esta diferencia se debe a que fue más difícil la extracción del AMI debido al alto contenido de mucilago presente a esta variedad (Hong y Nip, 1990; Jane *et al*., 1992). Sin embargo, el rendimiento de AMI se encuentra dentro del intervalo ya reportado para la especie *Colocasia esculenta* de 10 – 14% en base húmeda (Falade y Okafor, 2013; Pérez *et al*., 2005). Por lo que posiblemente que se ha reportado rendimiento de almidón de malanga de la variedad isleña.

Tabla 13. Rendimiento de almidón de dos variedades de malanga.

Variedad	Rendimiento en b.h. (%)
AMC	24.43
AMC	10.14

AMC = almidón de malanga coco, AMI = almidón de malanga isleña.

7.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Los resultados obtenidos de la determinación de la composición químico proximal se presentan en la Tabla 14. En donde se puede observar que el contenido de humedad del almidón de las dos variedades de malanga no mostraron diferencias estadística significativa, además estos valores se encuentran dentro del intervalo ya reportado para el almidón de la especie *Colocasia esculenta* de 4.49 – 14.49 %

(Jane *et al*., 1992; Pérez *et al*., 2005; Aboubakar *et al*., 2008; Novokocha *et al*., 2009; Palomino *et al*., 2010; Saikia y Konwar, 2012; Torres *et al*., 2013; Torres *et al.,* 2015; Barragán, 2013; Zeng *et al*., 2014), como se puede observar existe una gran variabilidad en los valores de humedad reportados. Sin embargo, los valores obtenidos en este estudio y los ya reportados se encuentran en el intervalo de humedad generalmente aceptado para productos secos con una vida de anaquel deseable (<20 %) para almidones convencionales y comerciales (Torres *et al*., 2013; Pérez *et al*., 2005).

Tabla 14. Análisis químico proximal del almidón de dos variedades de malanga.

Componentes (% en b.h.)	AMC	AMI
Humedad	6.73 ± 0.32[a]	7.01 ± 0.19[a]
Cenizas	1.66 ± 0.01[a]	2.13 ± 0.13[b]
Grasas	0.51 ± 0.07[a]	1.02 ± 0.45[b]
Proteínas	0.61 ± 0.01[b]	0.36 ± 0.01[a]

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística significativa (p<0.05). AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Los resultados muestran diferencias significativas en el contenido de cenizas entre los almidones de las dos variedades, siendo el AMC con menor contenido de cenizas, además, se encuentra en el intervalo reportado para almidón de malanga de 0.09 – 2.00% (Pérez *et al*., 2005; Aboubakar *et al*., 2008; Novokocha *et al*., 2009; Palomino *et al*., 2010; Saikia y Konwar, 2012; Torres *et al*., 2013; Torres *et al.,* 2015; Barragán, 2013; Zeng *et al*., 2014;). Sin embargo, el AMI es ligeramente superior a los valores reportados, esto quiere decir que tiene un alto contenido de minerales que AMC, estas diferencias podrían atribuirse a que este parámetro es

característico e inherente a la especie (Palomino *et al*., 2010) y puede variar según la variedad de *Colocasia esculenta* (Rodríguez *et al*., 2011). Los minerales presentes en los almidones de las dos variedades en diferentes concentraciones podrían ser principalmente fósforo, potasio, magnesio, calcio, sodio, hierro, zinc y manganeso, mismas que se han reportado en almidones de malanga, yuca y maíz en referencia a Mweta *et al*. (2010).

En el contenido de grasas si hubo diferencias significativas entre las dos variedades, siendo el AMI superior que el AMC. Sin embargo, el contenido de grasa de AMC se encuentra en el intervalo reportado de 0.08 – 0.84% (Jane *et al*., 1992; Pérez *et al*., 2005; Lu *et al*., 2008; Aboubakar *et al*., 2008; Palomino *et al*., 2010; Saikia y Konwar, 2012; Torres *et al.,* 2013; Barragán, 2013). Las grasas presentes en el almidón de las dos variedades de malanga podrían ser ácidos grasos libres y fosfolípidos (derivados de fosfato monoéster) de acuerdo a Morrison *et al*. (1984) y Jane *et al*. (1992), estos lípidos están asociados a la fracción de amilosa formando un complejo lípido-amilosa.

Comparando los resultados entre el contenido de grasas y cenizas del AMI y AMC de la Tabla 14, en relación a lo discutido anteriormente se podría decir que hay mayor contenido de fosfolípidos que de ácidos grasos libres, ya que, al aumentar el contenido de grasas, aumenta el contenido de cenizas, donde el fósforo sería unos de los principales minerales presentes en la especie *Colocasia esculenta*.En el contenido de proteínas los almidones de las dos variedades se observaron diferencias estadísticas significativas siendo el AMC con mayor contenido que AMI. Sin embargo, los almidones de ambas variedades se encuentran dentro del intervalo reportado de 0.03 - 7.29% (Jane *et al*., 1992; Gunaratne y Hoover, 2002; Pérez *et al*., 2005; Aboubakar *et al*., 2008; Novokocha *et al*., 2009; Torres *et al*., 2013; Torres *et al.,* 2015; Barragán, 2013; Zeng *et al*., 2014). Estas proteínas se encuentran tanto en la superficie de los gránulos como en la parte interior y son principalmente enzimas amilolíticas, que influyen en la digestión del gránulo (MacGregor y Ballance, 1980) y en algunos procesos industriales (reacción de Maillard en la elaboración de jarabes glucosados) (Torres *et al*., 2013).

Existe una gran variabilidad en la composición químico proximal reportado para almidón de malanga, esta variabilidad podría estar relacionada con la variedad en estudio, condiciones de cultivo, lugar de cosecha y en algunos casos las técnicas de determinación empleadas.

7.3. ANÁLISIS DE COLOR

En la Tabla 15, se presentan los resultados de los parámetros de color para las muestras de almidón (AMC y AMI). En los valores de L* no se observaron diferencias estadísticas significativos (91.41 y 90.75, para AMC y AMI, respectivamente), además se obtuvieron valores altos y cercanos a 100 por lo que estos almidones presentan alta luminosidad y se encuentran en el intervalo (83 – 94) ya reportados por Aboubakar *et al*. (2008) y Falade y Okafor (2013), en almidones de la especie *Colocasia esculenta*. En cuanto a los parámetros de a*, b*, ΔE*, C* y h°, si se observaron diferencias estadísticas significativas. Con respecto a los valores de a* y b* (0.55 y 0.78, 2.73 y 4.59, para AMC y AMI, respectivamente), el AMC tiene tendencia a ser menos rojo y menos amarillo que el AMI.

Tabla 15. Valores de los parámetros de color para las muestras de almidón de malanga (AMC y AMI).

Variedad	Color					
	L*	a*	b*	dE*	C*	h°
AMC	91.41 ± 0.42^{a}	0.55 ± 0.02^{a}	2.73 ± 0.01^{a}	8.45 ± 0.40^{b}	2.78 ± 0.01^{a}	78.65 ± 0.32^{a}
AMI	90.75 ± 0.44^{a}	0.78 ± 0.02^{b}	4.59 ± 0.10^{b}	9.81 ± 0.34^{a}	4.66 ± .09^{b}	80.31 ± 0.34^{b}

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($p<0.05$). AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Sin embargo, ambos almidones se encuentran dentro del intervalo reportado de a* de 0.39 – 5.7 y b* de 3.0 - 16.54 (Aboubakar *et al*., 2008; Falade y Okafor, 2013), las variaciones tanto de a* y b*, se piensa que pueden ser al contenido de carbohidratos y proteínas debido a su papel en el desarrollo de oscurecimiento no enzimático (Jazmín y Flores, 1998).

Con respecto a los valores de C* y h°, el AMC presenta menor saturación y tonalidad que el AMI y los valores en estudio son menores a lo ya reportado C* = 15.39-16.58 y h° = 85.90-87.13, para almidones de malanga (Falade y Okafor, 2013), estas diferencias se pueden atribuir a las diferentes variedades en estudio aunado a las diferentes formas de extracción del almidón (número de lavados del almidón), ya que los gránulos de almidón deben de sufrir un proceso de decoloración de pigmentos. Sin embargo, Falade y Okafor, (2013), consideran que debido a ese proceso puede afectar negativamente la calidad del almidón (decoloración de compuestos bioactivos principalmente fenoles, polifenoles y taninos, es por eso que ellos obtuvieron tonalidades más oscuras ya que evitaron la decoloración de los almidones que estudiaron.

7.4. ALMIDÓN TOTAL (AT), ALMIDÓN RESISTENTE (AR) Y ALMIDÓN DISPONIBLE (AD)

En el contenido de almidón total, se obtuvieron valores altos para el AMC de 90.64%, mismo valor se presenta en la Tabla 16, por lo que se puede decir que tiene alta pureza y se encuentra dentro del intervalo ya reportado por otros autores para almidones de malanga 90.5 – 99.43% (Pérez *et al.*, 2005; Aboubakar *et al*., 2008; Palomino *et al*., 2010; Naidoo *et al*., 2015). Por el contrario, el contenido de almidón total del AMI se obtuvieron valores inferiores (79.28%) a los ya reportados, y en comparación al AMC en estudio, esto se debe por la dificultad de extraer el almidón de los tubérculos frescos que contienen material mucilaginoso (Hong y Nip, 1990; Jane *et al*., 1992; Aboubakar *et al*., 2008) y puede estar presente en el almidón hasta

un 10% (Hong y Nip, 1990), dicho mucilago puede influir en el comportamiento de las propiedades funcionales (Huang *et al*., 2010) y térmicas del almidón (Naidoo *et al*., 2015).

Con respecto a la hidrólisis de los almidones de las dos variedades, se obtuvieron valores de almidón resistente (AR) superior en el AMI y menor en AMC, esto es debido a que en el AMI tiene un tamaño de gránulo mayor (tamaño de partícula grande presenta un área superficial menor, que se ve reflejado en la resistencia de los gránulos a la digestión enzimática) (Lehmann y Robin, 2007); tiene una cristalinidad menor, tiene menos caras la forma de los gránulos (la digestión ocurre de lado a lado en la superficie del gránulos y de adentro hacia afuera) por ser poligonales, redondos, truncados y en forma de cúpula, en comparación con el AMC que son poligonales e irregulares por lo tanto, esta variedad es susceptible a la digestión. Sin embargo, cabe mencionar que los almidones de las dos variedades presentan un arreglo tipo A, razón por la cual gran parte del AD (almidón disponible) sean almidones de digestión lenta (Jane *et al*., 1997; Planchot *et al*., 1997), ya que la longitud de la cadena de la amilopectina se correlaciona con la digestibilidad, debido a que las cadenas cortas en las dobles hélices (cristal tipo A), son digeribles lentamente.

Tabla 16. Determinación de almidón total, resistente y disponible del almidón de dos variedades de malanga.

Muestra	AT	AR	AD
AMC	90.49 ± 0.21^{b}	12.74 ± 0.21^{a}	77.75
AMI	79.28 ± 0.48^{a}	34.62 ± 0.74^{b}	44.66

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Letras minúsculas en la misma columna indican diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$). AMC = almidón de malanga coco, AMI = almidón de malanga isleña, AT = almidón total, AR = almidón resistente, el AD = almidón disponible se obtuvo por diferencia.

Los valores reportados en este estudio de AR para AMC son mayores comparados con almidones de mango (0.69%), yuca (0 – 1.7%) y maíz (1.1 – 2.9%) y para AMI los valores reportados en este estudio son mayores a los antes mencionados y para los almidones de frijol "x´ pelón" (20.09%), frijol "ib" (23.95%) y makal (24.31%) (Jiménez *et al*., 2011). Sin embargo, los valores de AR en estudio son menores comparados con lo reportado por Naidoo *et al*. (2015), de 57.1% y 64.3% para almidones de malanga de tubérculos cultivados y silvestres, respectivamente.

El alto contenido de AR en el AMI y la presencia de mucílago, hacen que tengan un efecto fisiológico benéfico en los seres humanos al consumirlas, ya que los derivados de la fermentación en la microflora colónica del AR son diferentes a la fermentación de la fibra dietética, con niveles más bajos de acetato, pero más alto en butirato. (Annison *et al*., 2003). El AMI por tener la presencia de estos dos componentes hacen que en la fermentación de la microflora colónica segreguen por parte del AR butirato; sustrato de energía para los colonocitos y tiene un papel importante en la prevención y tratamiento de enfermedades de la mucosa colónica como la colitis ulcerativa y cáncer de colon. Además, estimula la apoptosis en las células del colon e inhibe el crecimiento de células cancerígenas (Velázquez *et al.,* 1996).

Por otro lado, el acetato por parte del mucílago (arabinogalactano) es absorbido y metabolizado por el hígado a través de diversos mecanismos, que ayudan a la disminución de los niveles de colesterol plasmático (efecto hipolipidémico) (Prajapati *et al*., 2011) y actúa sobre las enfermedades cardiovasculares (García *et al*., 1997), haciendo que el AMI sea un alimento doblemente funcional durante su consumo.

7.5. MICROSCOPÍA DE LUZ

Los gránulos que se observaron en la Figura 17, fueron gránulos poligonales e irregulares para el AMC y para el AMI gránulos poligonales, redondos, truncados y

en forma de cúpula. Con respecto a las formas reportadas posiblemente Jane *et al*. (1992); Tattiyaful *et al*. (2007); Aboubakar *et al*. (2008); Agama *et al*. (2011); Saikia y Konwar (2012) y Zeng *et al*. (2014), caracterizaron el almidón de malanga coco, china o dasheen (*Colocasia esculenta* var. *esculenta*), mientras que, Pérez *et* al. (2005); Mweta *et al*. (2010) y Mendoza (2016), caracterizaron el almidón de malanga isleña o eddoe (*Colocasia esculenta* var. *Antiquorum*), ya que tienen similitud con los gránulos estudiados y posiblemente la variedad en estudio sea la misma.

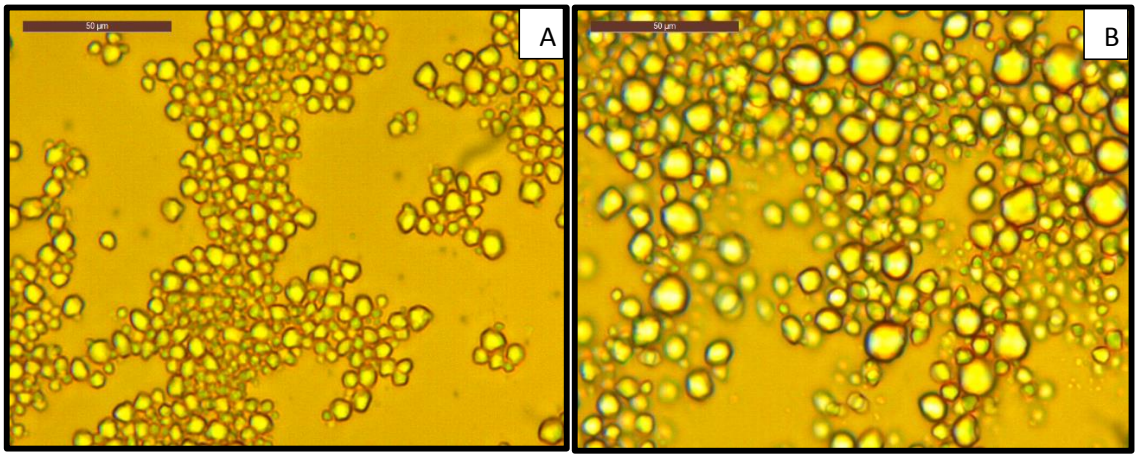

Figura 17. Microfotografías de los gránulos de AMC (A) y AMI (B), usando un microscopio óptico enfoque a objetivo 40x.

Debido a que los investigadores antes mencionados no reportan la variedad del almidón de malanga en estudio únicamente reportan el nombre de la especie (*Colocasia esculenta*), esta apreciación se hace ya que la forma del gránulo se considera criterio taxonómico para identificar la fuente vegetal de obtención del almidón (Shujun *et al*., 2008; Javakody *et al*., 2007).

Por otro lado, se observaron tamaños del gránulo para el AMC menores a los que se observaron para el AMI que también se observaron gránulos pequeños y también grandes, considerando los tamaños de gránulo reportado para almidones de la especie *Colocasia esculenta*, los gránulos de AMC probablemente oscile en el intervalo de 0.5 µm – 5 µm (Pérez *et al*., 2005; Tattiyaful *et al*., 2007; Aboubakar *et al*., 2008; Wickramasinghe *et al*., 2009; Agama *et al*., 2011; Saikia y Konwar, 2012;

Zeng *et al*., 2014), a excepción de Mweta *et al*., 2010 que reporta tamaños de gránulos de 9.4 – 10-4 µm, a los que probablemente los gránulos grandes observados en el AMI oscile en este intervalo. A pesar que las dos variedades fueron cosechadas con un mismo tiempo de cultivo, varían en tamaño. Las diferencias antes mencionadas probablemente se deban a que son variedades diferentes, a la estación del año durante el periodo de cultivo (Lu *et al*., 2008), al tiempo de cosecha (varía de 7 a 15 meses) y al tipo de tierra donde fueron cultivados los tubérculos (Onwueme, 1999).

7.6. MICROSCOPÍA DE LUZ POLARIZADA

Mediante la microscopía de luz polarizada que se muestra en la Figura 18, se pudo observar la presencia de la “cruz de malta” (birrefringencia), lo que indica que los componentes del almidón (amilosa y amilopectina), se encuentran organizados estructuralmente dentro del gránulo (Choi y Kerr, 2004), y que además en el proceso de extracción los almidones no sufrieron daño la estructural de los gránulos.

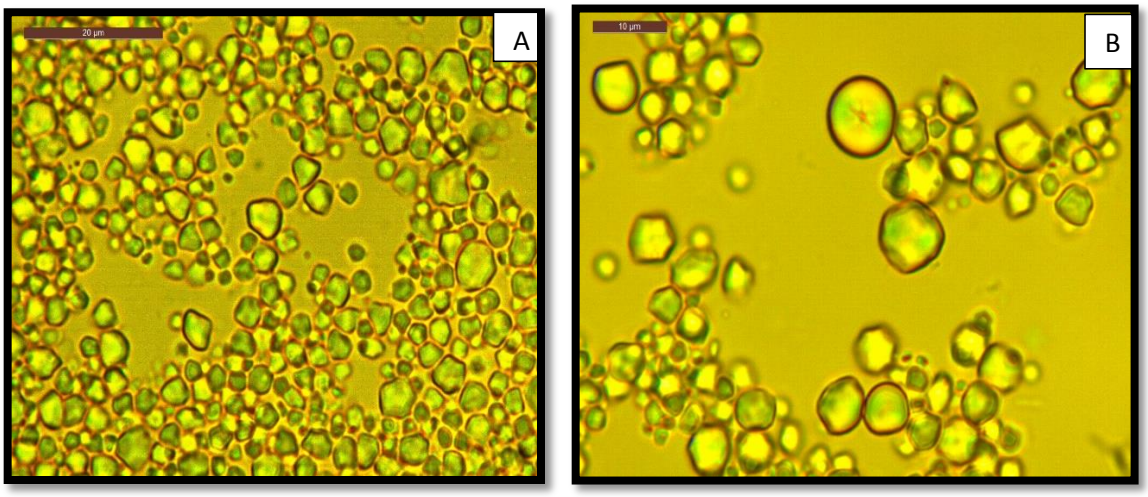

Figura 18. Microfotografías de los gránulos de AMC (A) y AMI (B) bajo luz polarizada enfoque a objetivo 100x.

Sim embargo, se observa mejor la cruz de malta en el AMI que en el AMC, esto se a que el AMC tiene gránulos menores que AMI como se observa en la Figura 18.

7.7. PROPIEDADES TÉRMICAS

La temperatura inicial (Ti), temperatura de gelatinización (Tp), temperatura final (Tf) y la entalpía de gelatinización (∆H) de los almidones de las dos variedades de malanga se observan en la Tabla 17.

Tabla 17. Temperaturas y entalpía de gelatinización del almidón de malanga de dos variedades.

Muestras	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	∆H (J/g)
AMC	75.73 ± 2.15[a]	78.91 ± 0.45[a]	90.18 ± 1.12[a]	11.34 ± 0.78[a]
AMI	75.94 ± 1.34[a]	80.12 ± 0.97[a]	89.70 ± 0.13[a]	11.43 ± 2.84[a]

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Diferentes letras en la misma columna indican diferencia significativa ($p<0.05$). AMC = almidón de malanga coco, AMI = almidón de malanga isleña, Ti = temperatura inicial, Tp = temperatura de gelatinización, Tf = temperatura final y ∆H = entalpía de gelatinización.

Los valores no presentaron diferencias estadísticas significativas, además tanto los valores de Ti, Tp, Tf y ∆H , se encuentran dentro del intervalo (48.08 – 77.2 °C, 54.4 – 83.2 °C, 57.9 – 90.5 °C y 8.2 – 18.2 °C, respectivamente), ya reportado en almidones de malanga (Jane *et al*., 1992; Pérez *et al*., 2005; Tattiyakul *et al*., 2007; Aboubakar *et al*., 2008; Lu *et al*., 2008; Wickramasinghe *et al*., 2009; Nwokocha *et al*., 2009; Huang *et al*., 2010; Mweta *et al*., 2010; Agama *et al*., 2011 y Zeng *et al*., 2014). Sin embargo, son intervalos muy amplios, los antes mencionados, esto puede estar influenciado por la variedad de la especie (Aboubakar *et al*., 2008) o genotipos (Wankhede y Sajjan, 1981), a los diferentes tiempos de cultivos de los

tubérculos aunado a la composición del almidón, la arquitectura granular (relación cristalina-amorfa) (Gunaratne y Hoover, 2002), la estructura molecular de amilopectina (longitud de la cadena y grado de ramificación), el contenido de amilosa (Jane *et al*., 1992), componentes menores tales como proteínas y lípidos (Srichuwong y Jane, 2007). A pesar que los almidones de las dos variedades, no tienen la misma composición química (diferencias en contenido de cenizas, proteínas y lípidos), AT, AR, AD, porcentaje de cristalinidad, morfología y tamaño del gránulo.

Pero si, el mismo tiempo de cultivo, no se ven afectados los parámetros térmicos (Ti, Tp, Tf, y ΔH) por lo que tienen estabilidad alta, lo que favorece a los almidones de estas dos variedades en la aplicación de productos que requieren altas temperaturas (>75 °C) en la industria. Mismos factores que pueden influir en algunas propiedades como digestibilidad y retrogradación del almidón (Agama *et al*., 2011).

7.8. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

Los almidones de las dos variedades presentaron un patrón de difracción tipo A, mismas que se observan en la Figura 19, con picos característicos a 2θ = 15°, 17° y 22.8° para el AMC y 2θ = 14.8°, 17° y 22.7° para el AMI.

Usualmente los almidones provenientes de raíces y tubérculos presentan un patrón de difracción tipo B o tipo C (Jane *et al*., 1992; Hernández *et al.,* 2004). Sin embargo, algunos almidones de tubérculos como la malanga presentan un patrón de difracción tipo A, característicos de cereales, por lo que los almidones de las dos variedades tienen características similares a los almidones de cereales que normalmente se comercializan. Con respecto al % de cristalinidad los almidones presentaron valores similares de 32.30 y 29.93 para AMC y AMI, respectivamente. Estos valores son inferiores al intervalo reportado de 35.77- 45% (Lim *et al*., 1994; Agama *et al*., 2011; Saika y Konwar, 2012) y se le puede atribuir principalmente por la longitud de la cadena (corta) de amilopectina, y a otros factores que pueden estar

relacionados como la variedad en estudio, al tiempo de cultivo del tubérculo (biosíntesis del almidón), la temperatura de crecimiento (Hizukuri *et al.*, 1961) de la planta, alcoholes y ácidos grasos presentes (Hizukuri, 1996).

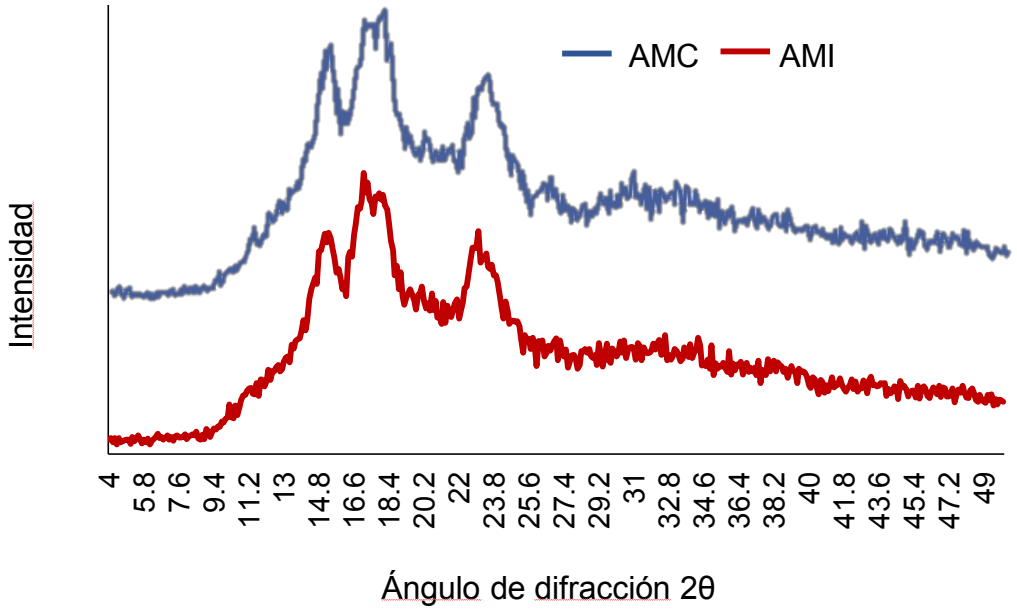

Figura 19. Patrón de difracción de rayos X del AMC y AMI.

AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

7.9. PERFIL DE EMPASTADO

Los perfiles de empastado de los almidones de las dos variedades de malanga se presentan en la Figura 20, en donde se observa que el AMC tiene mayor pico de viscosidad de 3110 cP, que el AMI de 2488 cP, estas diferencias se deben a que son variedades diferentes, a que el AMC tiene tamaño de gránulo menor que AMI (los gránulos pequeños resisten a la ruptura y pérdida del orden molecular) (Falade y Okafor, 2013), al contenido de amilosa y de cadenas externas de amilopectina que comienzan a lixiviarse de los gránulos.

Con respecto a los resultados reportados el pico de viscosidad del AMC es similar a lo reportado por Agama *et al*. (2011) en almidón de malanga mexicana y por González *et al.* (2011) en los agregados esféricos del almidón de malanga, por lo que probablemente ellos caracterizaron el AMC.

Durante la etapa de mantenimiento a alta temperatura (90 °C), la viscosidad de empastado decrece en los almidones de las dos variedades de malanga, presentando el AMC valores ligeramente superiores que el AMI este decrecimiento se debe a que los gránulos comienzan a descomponerse, la descomposición del polímero continua y pierden la integridad estructural. Valores similares al AMC han sido reportados por Agama *et al*. (2011) y González *et al*. (2011).

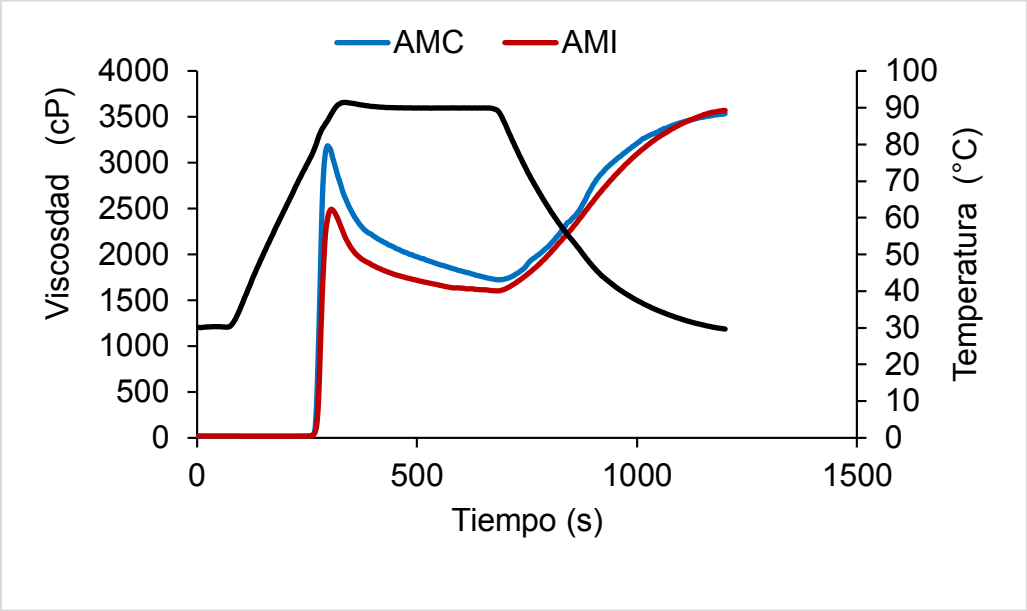

Figura 20. Viscosidad de empastado de los almidones de dos variedades de malanga.

AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Con respecto a la etapa de enfriamiento en los almidones de las dos variedades ocurre un proceso ligeramente similar, la viscosidad incrementa, esto se debe a que los polímeros solubilizados de amilosa y amilopectina comienzan a reasociarse.
Se ha reportado un ligero aumento en valores de viscosidad durante la etapa de enfriamiento similares al del AMC y AMI en estudios realizados por Agama *et al*. (2011) y González *et al*. (2011) hasta los 1000 s. ya que estos autores reportan hasta este tiempo en la etapa de enfriamiento.

Sin embargo, los valores en la etapa de enfriamiento de los almidones de las dos variedades de malanga en estudio son hasta 1200 s, por consiguiente, se observa posteriormente un aumento de viscosidad en la etapa de enfriamiento superior a sus respectivos picos de viscosidad.

7.10. PROPIEDADES FUNCIONALES

7.10.1. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) Y PODER DE HINCHAMIENTO (PH)

En los patrones de ISA se observa que no hay diferencia estadística significativa en el porcentaje de solubilidad al aumentar la temperatura de 37°C a 60 °C en cada uno en los almidones de las dos variedades, esta tendencia se aprecia en la Figura 21, esto se debe que a bajas temperaturas en almidón es insoluble en agua. Sin embargo, a estas mismas temperaturas los almidones de las dos variedades tienen diferentes valores de solubilidad, siendo el AMI superior que el AMC, debido a que en el AMI se encuentra presente el mucílago en cual es un polisacárido hidrosoluble (Matos y Chambilla, 2010). A 70 °C los almidones de las dos variedades aumentan y alcanzan el mismo porcentaje de solubilidad, sin encontrar diferencias significativas, así mismo ambos almidones aumentan su porcentaje de solubilidad a 80 °C, pero el AMI a esta temperatura es ligeramente superior que el AMC. De manera general, el aumento del porcentaje de solubilidad se debe a que los

gránulos hinchados de almidón permiten la exudación de amilosa y de las cadenas externas de amilopectina (Hernández *et al*., 2008; Agama *et al*., 2011). A 90 °C el porcentaje de solubilidad no cambia, debido a que a esta temperatura los gránulos ya están gelatinizados.

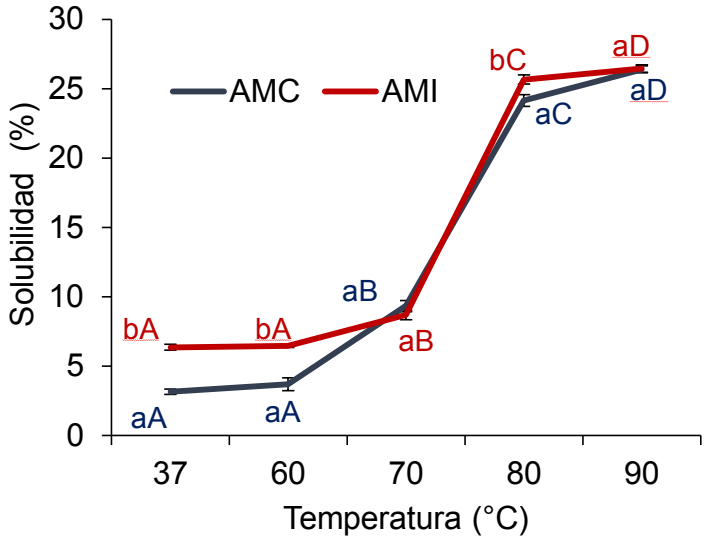

Figura 21. Índice de solubilidad en agua del almidón de malanga de dos variedades.

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$) entre las dos variedades, letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre las temperaturas. AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Un comportamiento similar se observa en la Figura 22 para el PH, no existe diferencia significativa entre 37 y 60 °C, pero al aumentar la temperatura a 70° C y 80 °C el PH de los almidones de las dos variedades aumenta, siendo el AMI ligeramente superior que el AMC, esto se debe a que los gránulos de AMI tiene presencia de mucílago, a su tamaño de gránulo (gránulos grandes se hinchan más), por lo que tienden a exudar más cadenas cortas de amilopectina que el AMC, la cual se resiste a la gelatinización. A 90 °C los almidones de las dos variedades

obtienen los mismos valores, esto se debe a que a esa temperatura los gránulos sufren una disrupción completa en su estructura, por lo tanto, los almidones de las dos variedades ya están gelatinizados. Sin embargo, los resultados de ambas determinaciones son inferiores comparados por otros estudios (Agama *et al.*, 2011; Naidoo *at al.*, 2015), en gránulos de almidón de malanga. Estas diferencias se le pueden atribuir, a la variedad en estudio, a la edad de tubérculo al momento de extraer el almidón, al tipo de tierra y a las condiciones climatológicas.

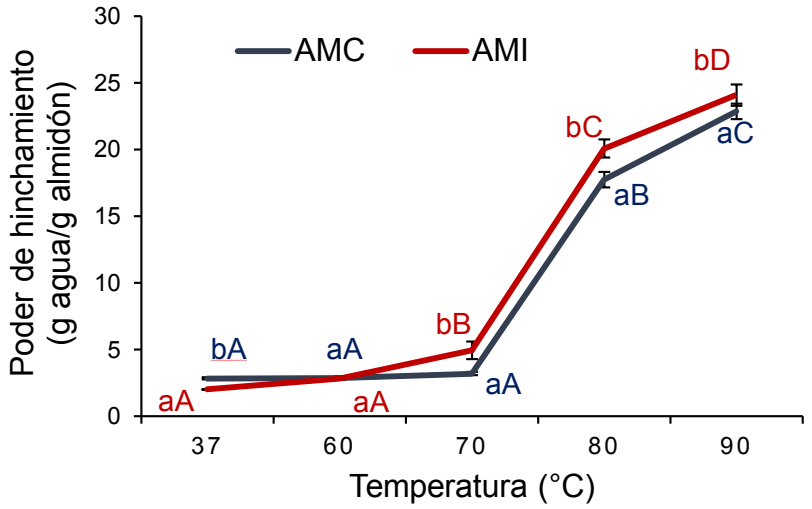

Figura 22. Poder de hinchamiento del almidón de malanga de dos variedades.

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$) entre las dos variedades, letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre las temperaturas. AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

7.10.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA) Y ACEITE (CRAc)

La CRA de las dos variedades se observa en la Figura 23, en donde se aprecia un comportamiento similar entre los almidones de las dos variedades. De 37 a 70 °C no hay diferencia significativa entre los almidones de las dos variedades, esto se debe a que a bajas temperaturas el almidón no es soluble en agua. Al aumentar la temperatura a 80 °C, hay un incremento considerable de retención de agua debido a que los almidones se hidratan rápidamente como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las regiones amorfas.

De 80 a 90 °C, no hay diferencia estadística entre la CRA, esto se debe a que los gránulos a esta temperatura ya están gelatinizados y, por lo tanto, mantienen la capacidad de retener agua.

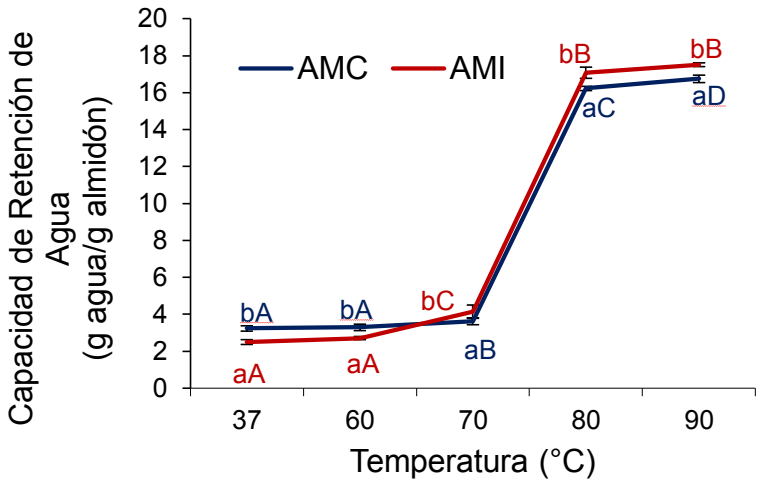

Figura 23. Capacidad de retención de agua del almidón de malanga de dos variedades.

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$) entre las dos variedades, letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre las temperaturas. AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Sin embargo, los valores obtenidos fueron inferiores a los ya reportados por Agama *et al.* (2011), esto se debe a que probablemente utilizaron malanga con distinto grado de madurez que las malangas en estudio. Caso contrario sucede con la CRAc en la Figura 24, a 37 °C la CRAc de los almidones de las dos variedades tiene diferencias significativas, siendo el AMI ligeramente superior que AMC probablemente debido a la presencia de mucílago, a 60 °C y 70 °C no se observaron diferencias estadísticas en los almidones de las dos variedades en la CRAc debido a que a bajas temperaturas la estructura del almidón se encuentra intacta, por lo tanto, retiene más aceite.

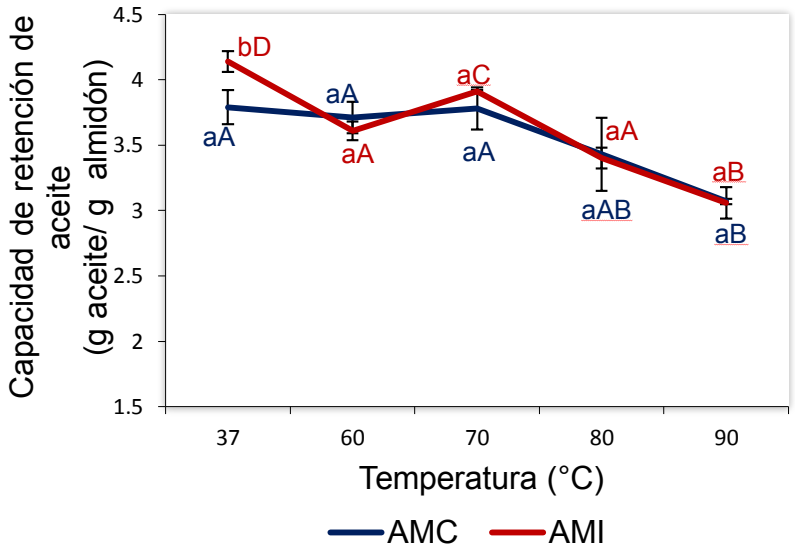

Figura 24. Capacidad de retención de aceite del almidón de dos variedades de malanga a diferentes temperaturas.

Los valores representan la media ± desviación estándar de tres determinaciones. Letras minúsculas indican diferencias estadísticas significativa ($p<0.05$) entre las dos variedades, letras mayúsculas indican diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre las temperaturas. AMC = almidón de malanga coco y AMI = almidón de malanga isleña.

Sin embargo, al aumentar la temperatura los almidones de las dos variedades disminuyen la CRAc, debido a que al aumentar la temperatura algunos enlaces de la estructura del almidón se rompen aunado a que a altas temperaturas el aceite se vuelve más fluido y pierde la capacidad de retener aceite.

Comparando la CRAc de los almidones en estudio con Barragán (2013), a pesar de que reporta un comportamiento similar, su CRAc de almidón nativo sigue siendo superior a los almidones en estudio, por lo probablemente ocuparon almidón de malanga con diferentes tiempos de cultivo.

De acuerdo a los valores de CRAc, se puede sugerir la aplicación de estos almidones en la elaboración de alimentos sin retener aceite, por ejemplo: en la elaboración de frituras.

8. CONCLUSIONES

1. Los rendimientos (24.43% y 10.14%) para el proceso de extracción del almidón a partir de AMC y AMI, fue muy diferente. Indicando que AMC tiene un mayor contenido de almidón.

2. La composición química de los almidones está dentro de los intervalos reportados para la especie *Colocasia esculenta* y de acuerdo a sus porcentajes de humedad se encuentran dentro de valor permitido para almidones convencionales (<20%).

3. Con respecto a los parámetros de color, los almidones de las dos variedades de malanga tienen uso potencial para ser recomendados en productos que requieren almidones de colores luminosos sin requerir acciones de blanqueamiento.

4. Se observaron formas de gránulos poligonales e irregulares para el AMC y para el AMI se observaron formas gránulos poligonales, redondos, truncados y en forma de cúpula.

5. Ambas variedades de almidón presentaron la cruz de malta, lo cual indica que el proceso de extracción utilizado para el aislamiento del almidón no provocó daño estructural sobre los gránulos.

6. Las propiedades térmicas de los almidones de las dos variedades con tiempo de cultivo de 9 meses presentan alta estabilidad por lo que pueden ser ocupados en la elaboración de productos que requieren altas temperaturas como los enlatados.

7. El patrón de difracción de rayos-X y para ambas muestras de almidón (AMC y AMI) fue de tipo A, característico de almidones de cereales, además,

presentaron un % de cristalinidad muy similar, esto se relaciona con el contenido de amilosa-amilopectina y su conformación estructural.

8. En los valores de viscosidad de empastado el AMC presentó un pico de viscosidad superior que AMI. Sin embargo, en la etapa de enfriamiento presentaron viscosidad de retrogradación similar, por lo que es un factor importante a considerar para sugerir su aplicación en productos alimenticios aunado a la cantidad de almidón resistente presente. Pueden ser utilizados en la formulación de productos de panadería, pastas, cereales, extrudidos, snack, alimentos para diabéticos, deportistas y en alimentos para pérdida de peso por su bajo aporte calórico.

9. Por su alta solubilidad a temperaturas bajas (<70 °C) el AMI puede ser sugerido en la elaboración de jugos, horchatas, pures y salsas.

10. Debido a los valores altos de CRA los almidones de las dos variedades pueden ser ocupados en productos cárnicos por ejemplo en embutidos (salchichas y jamones).

11. De acuerdo a la CRAc los almidones pueden ser utilizados en la elaboración de productos fritos como: los chips, en alimentos pre-cocidos listos para freír y en polvos para empanizar.

9. REFERENCIAS

1. AACC, 2000. Approved methos of the American Association of Cereal Chemists. 10th ed. Advancing Cereal Science Wollwide, USA.

2. AACC, 2014. Approved methos of the American Association of Cereal Chemists. 10 th ed. Advancing Cereal Science Wollwide, USA.

3. Aboubakar, Njintang, Y. N., Scher, J. and Mbofung, C. (2008). Physicochemical, thermal properties and microstructure of six varieties of taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) flours and starches. *Journal of Food Engineering*. 86 (2): 294-305.

4. Agama, A., García, S.; Gutiérrez, M.; Sánchez, R.; San, M. and Bello, P. (2011). Isolation and partial characterization of Mexican taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. *Starch/Stärke*. 63:139-146.

5. Ahmed, I. (2014). Evolutionary Dynamics in Taro (*Colocasia esculenta* L.). *Tesis:* Nueva Zelanda

6. Annisson, G., Illman, R. and Topping, D. L. (2003). Acetylated, propionylated or butyrylated starches raise large bowel short-chain fatty acids preferentially when fed to rats. *Journal of Nutrition.* 133: 3523-3528.

7. AOAC, (2014). Offcial methods of analysis of the association of the analytical chemists, Maryland, USA.

8. AOAC, (2015). Offcial methods of analysis of the association of the analytical chemists, Maryland, USA.

9. Badui, Dergal, S. (2006). Química de los alimentos (4a ed., pp. 94–105). Pearson.

10. Barragán, Zarate G.S. (2013). Obtención y caracterización de almidón resistente a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta* Schott) modificado con ácido cítrico. *Tesis. Oaxaca, México*.

11. Bello-Pérez, L. A. y Paredes-López, O. 1999. El almidón: lo comemos, pero no lo conocemos. *Ciencia*. 50: 29-33.

12. Bernal, L y Martínez, B. E., 2006. Una nueva visión de la degradación del almidón. *Revista del centro de Investigación*. 7(25): 77-90.

13. Bogracheva, T. Y., Cairns, P., Noel, T. R., Hulleman, S., Wang, T. L., Morris, V. J., Ring, S. G. and Hedley, C. L. (1999). The effect of mutant genes at the *r*, *rb*, *rug3*, *rug4*, *rug5* and *lam* loci on the granular structure and physico-chemical properties of pea seed starch. *Carbohydrate Polymers*. 39: 303-331.

14. Cao, L. M. and Long, C. L. (2003). *Colocasia bicolor* (Araceae), a new species from Yunnan, China. *Annales Botanici Fennici.* 40: 283-286.

15. Cai, X. Z., Long, C. L. and Liu, K. M. (2006). *Colocasia yunnanensis* (Araceae), a new species from Yunnan, China. *Annales Botanici Fennici.* 43: 139-142.

16. Chang, Y. H., Lin, J. H., Chang, S. Y. (2006). Physicochemical properties of waxi and normal corn starch treated in different anhydrous alcohols with hydrochloric acid. *Food Hydrocolloids.* 20: 332-339.

17. Cheng, Y. and Tsai, M. (1996). Tseng K. Effect of amylose content on the rheological property of rice starch. *Cereal Chemistry*. 73 (4): 415-420.

18. Choi, S. G. and Kerr, W. L. (2004). Swelling Characteristics of Native and Chemically Modified Wheat Starches as a Function of Heating Temperature and Time. *Starch/Stärke*. 56: 181-189.

19. Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. (s.f.). Monografía de la malanga. [Disponible en linea]. portal.veracruz.gob.mx/.../MONOGRAFÍA%20DE%20MALANGA.PDF. (consultada en febrero 2017).

20. De Candolle, A. (1885). Origin of Cultivated Plants. D. Appleton and Company, New York.

21. El-Sayed, S. F., Gharib, A. A., El-Sawy, A. M. and Darwish, O. S. (2016). Micropropagación protocolo f Egyptian native cultivar of taro, *Colocasia esculenta* var. *esculenta. International Journal of Advanced Research in Biological Sciences.* 3 (1): 17-26.

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

23. Fasasi, O.S., Adeyemil, A. and Fagbenro, O.A. (2007). Functional and pasting characteristics of fermented maize and niletilapia (Oreochromis niloticus) Flour Diet. Pakistan. *Journal of Nutrition.* 6 (4): 304-309.

24. FAOSTAT, 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations. [Disponible en línea]. http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC. (consultada en marzo, 2018).

25. Ferreira, S., Ortiz, E. y Pardo, C. (1990). Estudio Químico Bromatológico de la *Colocasia esculenta* (Taro). *Revista Colombiana de Ciencias Químicas Farmacéuticas.* 18: 53-59.

26. García, A. A., Martín, C. N. y Goñi, I. (1997). Funcionalidad de los alimentos de la dieta. *Digestión y Fermentación Alimentaria*. 65-69.

27. Gogoi, R. and Borah, S. (2013). Two new species and a new record for *Colocasia* (Araceae: Colocasieae) from Arunachal Pradesh, Northeast India. *Garden´s Bulletin Singapore.* 65: 27-37.

28. González, S. R. A., De La Vega, B., García, S, F, J., Agama, A, E, Bello, P. L. A. (2011). Preparation of spherical aggregates of taro starch granules. *Food Science and Technology*. 44: 2064-2069.

29. Gómez, L., Saborío, F., Salazar, I., Arias, O. y Thorpe, T. (1991). Establecimiento y multiplicación *in vitro* de cuatro genotipos de ñampi (*Colocasia esculenta* var. *antiquorum*). *Agronomía Costarricense*. 15 (1/2):123-128.

30. Gunaratne, A. and Hoover, R., (2002). Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. *Carbohydrate Polymers*. 49: 425–437.

31. Hay, A. (1996). A new Bornean species of *Colocasia esculenta* Schott (Araceae: Colocasieae) with a sinopsis of the genus in Malesia and Australia. *Sandakania*. 7: 31-48.

32. Hayata, B. (1919). *Colocasia formosana.* In: *Icon. Pl. Formosan.* 133-134.

33. Hernández, L., A. N., Méndez, M. G., Velázquez, M. G., Solorza, F., J. and Bello, P. L. A. (2004). Isolation and partial characterization of Mexican Oxalis tuberosa starch. *Starch/Stärke*. 56: 357-363.

34. Hernández, M. M., Torruco, U. J. G., Chel, G. L. y Betancur, A. D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México*. Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 28(3): 718-726.

35. Hong, G. P. and Nip, W. K. (1990). Functional properties of precooked taro flour in sorbets. *Food Chemistry.* 30: 261-270.

36. Hooker, J. D. (1894). *Flora of British India.* L. Reeve and Co., London.

37. Hoover, R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydrate Polymers.*45: 253-267.

38. Hizukuri, S. (1996). Starch analytical aspects. In A. C. eliasson, *Carbohydrates in Food*. 347-429.

39. Hizukuri, S., Fujji, M. and Kikuni, Z. (1961). Effect of temperatura during germination on the crystalline type of stach in soybean seeding. *Nature*. 192: 239-242.

40. Huang, C. C., Lai, P., Chen, I. H., Liu, Y. F. and Wang, C. C.R. (2010). Effects of mucilage on the termal and pasting properties of yam, taro, and sweet potato starches. *Food Science and Technology*. 43: 849-855.

41. Ivancic, A., and Lebot, V. (2000). The genetics and breeding of taro. Montpellier: CIRAD (Chapter 1). *Experimental agricultura.* 37 (03): 194-197.

42. Javakody, L., Hoover, R., Liu, Q. and Donner, E. (2007). Physical chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison whit potato and maize starches. *Carbohydrate Polymer*. 68: 279-286.

43. Jane, J., Shen, L., Chen, J., Slim, S., Kasemsuwan, T. and Nip, W. K. (1992). Physical and Chemical Studies of Taro Starches and Flours. *Cereal Chemistry.* 69(5): 528-535.

44. Jazmín, F.F. and Flores, R.A. (1998). Effect of additional separation and grinding on the chemical and physical properties of selected corn drymilled streams. *Cereal Chemistry*. 75: 166–170.

45. Jiménez, V. R., González, C. N., Magaña, C. A y Corona, C. A. I. (2011). Contenido de almidón resistente en alimentos consumidos en el sureste de México. *Unacar Tecnociencia*. 5(2): 27-34.

46. Kaushal, P., Kumar, V. and Sharma, H. K. (2012). Comparative study of physicochemical, functional, antinutricional and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) flour, pigeonpea (*Cajanus cajan*) flour and their blends. *Food Science and Technology*. 48: 59-68.

47. Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B. and Saura, C. F. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: preparation and characterizacion. *Lebemmittel-Wissenschat and Technologie*. 29: 729-733.

48. Lebot, V. and Aradhya, K. M. (1991). Isozyme variation in taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) from Asia and Oceania. *Euphytica.* 54: 55-66.

49. Lebot, V. (1992), Genetic vulnerability of Oceanias traditional crops. *Experimental Agriculture*. 28: 309-323.

50. Lebot, V. (1999). Biomolecular evidence for plant domestication in Sahul. *Genetic Resources and Crops Evolution.* 46: 619-628.

51. Lebot, V., Malapa, R. and Bourrieau, M. (2011). Rapid Estimation of Taro (*Colocasia esculenta*) Quality by Near-Infrared Reflectance Spectroscopy. *Journal Agricultural and Food Chemistry*. 59: 9327-9334.

52. Lehmann, U. and Robin, F. (2007). Slowly digestible starch-its structure and health implication: a review. *Food Science and Technology*. 18: 346-355.

53. Li, H. and Boyce, P. C. (2010). *Colocasia.* In: *Flora of China, Text Volume 23. Acoraceae through Cyperceae* (eds Zhangyi W, Raven PH, Deyuan H). *Science* Press and Missouri Botanical Garden Press, Beijing and St. Louis.

54. Li, H. and Long, C. L. (1999). A new species of *Colocasia* (Araceae) from Mts. Gaoligong China. *Feddes Repertorium*. 100: 423-424.

55. Lim, S. T., Kasemsuwan, T. and Jane, J. L. (1994). Charaterization of phosphorus in starch by 31p nuclear magnetic spectrscopy. *Cereal Chemistry*. 71: 468-472.

56. Long, C. I. and Li, H. (2000). *Colocasia gongii* (Araceae), a new species from Yunnan, China. *Feddes Repertorium*. 111: 559.560.

57. Long, C. and Liu, K. (2001). *Colocasia lihengiae* (Araceae: Colocasieae), a new species from Yunnan, China. *Botanical Bulletin of Academia Sinica.* 42: 313-317.

58. López, V. R., Laines, C. J.R., Hernández, B. J.R. y Aparicio, T. M.A. (2014). Evaluación de almidones de malanga (*Colocasia esculenta*) como agentes

coadyuvantes en la remoción de turbiedad en procesos de potabilización de agua. *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 13 (3): 855-863.

59. Lu, T. J., Lin, J. H., Chen, J. C. and Chang, Y. H. (2008). Characteristics of taro (*Colocasia esculenta)* Starches Planted in Different Seasons and Their Relations to the Molecular Structure of Starch. *Journal of agricultural and Food Chemistry*. 56: 2208-2215.

60. MacGregor, A. W. and Ballance, D. L. (1980). Hydrolysis of large and small starch granules from normal and waxy barley cultivars by alpha-amylases from barley malt. *Cereal Chemistry*. 57: 397–402.

61. Matos, C. A. y Chambilla, M. E. (2010). Importancia de la Fibra Dietética, sus propiedades funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Revista de investigación en ciencia y tecnología de alimentos*. 1: 1-17.

62. Matthews, P. J. (1990). The Origin, Dispersal and Domestication of Taro. *Tesis*. Australia

63. Matthews, P. J. (1991). A posible tropical wildtype taro: *Colocasia esculenta* var. Aquatilis. *Indo-Pacific Prehistory Association Bulletin.* 11: 69-81.

64. Matthews, P. J. (1995). Aroids and the Austronesians. *Tropics.* 4: 105.126.

65. Matthews, P. J. (2006). Written récords of Taro in the Eastern Mediterranean. In: *Proceedings of the IV International Congress of Ethnobotany (ICEB 2005)* (ed Ertug ZF), 419-426. Yeditepe University, Istanbul, Turkey.

66. Mendoza, C. M. A. (2016). Caracterización morfológica, térmica y funcional de nanopartículas de almidón de malanga obtenidas mediante hidrólisis enzimática- ultrasonicación. *Tesis.* Oaxaca, México.

67. Mergedus, A., Kristl, J., Ivancic, A., Sober, A., Sustar, V. and Krizan, T. (2015). Variation of mineral composition in different parts of taro (*Colocasia esculenta*) corms. *Food Chemistry*. 170: 37-46.

68. Morales, O. A. F. (2012). Fitogeografía e industrialización del almidón de Pituca (*Colocasia esculenta*). *Espacio y Desarrollo.* 24: 97-117.

69. Morrison, W. R., Milligan, T. P., Azudin, M. N., A (1984). Relation ship between the amylose and lipid contents of starches from diploid cereals. *Journal Cereal Science*. 2: 257–271.

70. Mweta, D. E., Labuschagne T. M., Bonnet S., Swart J. and Saka J. D. K. (2010) isalation and physicochemical characterisation of starch from cocoyam (*Colocasia esculenta*) grow in Malawi. *Journal Science Food Agriculture.* 90: 1886-1896.

71. Naidoo, K.; Amonsou, E. and Oyeyinka, S. (2015). *In vitro* digestibility and some physicochemical properties of starch from wild and cultivated amadumbe corms. *Carbohydrate Polymers.*125: 9-15.

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

73. Onwueme, I. 1999. Taro cultivation in Asia and the Pacific. Food and Agriculture. Bangkok: Organization (FAO) of the United Nations Regional office for Asia and the Pacific.

74. Opara, L. U. (2003). Edible aroids: Post-harvest operation. Rome, Italy: FAO.

75. Palomino, C.; Molina, Y. y Pérez, E. (2010). Atributos físicos y composición química de harinas y almidones de los tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott y *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott. *Revista. Facultad de. Agronomía.* (*UCV)*. 36 (2): 58-66.

76. Pérez, E., Schultz, F. S. and De Delahaye, E. P. (2005). Characterization of some properties of starches isolated from *Xamthosoma sagittifolium* (tannia) and *Colocasia esculenta* (taro). *Carbohydrate Polymers.* 60: 139-145.

77. Planchot, V., Colonna, P. and Buleon, A. (1997). Enzymatic hydrolysis of α-glucan crytallites. *Carbohydrates Research*. 298: 319-326.

78. Plucknett, D. L. (1983). Taxonomy of the genus *Colocasia*. In: *Taro: A Review Colocasia esculenta and its Potencials* (ed Wang J-K). 14-33. University of Hawaii Press, Honolulu.

79. Prajapati, R., Kalariya, M., Umbarkar, R., Parmar, S. and Sheth, N. (2011). *International Journal of Nutrition, Pharmacology, Neurological Diseases*. 1: 90-96.

80. Ramírez, A. y Pacheco, D.E. 2009. Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana*. Interciencia*, 34(4): 293-298.

81. Rodríguez, M. J., Rivadeneyra, R. J. M., Ramírez, R. E. de J., Juárez, B. J. M., Herrera, T. E., Navarro, C. R. O. y Hernández, S. B. (2011). Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (Colocasia esculenta) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar*. XV. 43: 37-47.

82. Ríos, R. K., González, M. E., Segura, C. M, Ramírez, J. M., López, L. J., López, M. I. y Betancur, A. D. (2016). Physicochemical and Nutritional Characterization of Starch Isolated from *Colocasia antiquorum* Cultivated in Oaxaca, México. *Journal of Chemistry.* 2016:1-7.

83. Saikia, J. and Konwar, B. (2012). Physicochemical properties of starch from aroids of north east India. I*nternational Journal of Food Properties*. (15): 1247-1261.

84. Sathe, S. K. and Salunkhe, D.K. 1981. Isolation, partial characterization and modification of the Great North vean (*Phaseolus vulgaris)* starch. *Journal of Food Science*. 46 (4) 617-621.

85. Shujun, W., Jinlin, Y., Jiugau, Y., Haixia, C., Jipin, P. and Hongyan, L. (2008). Partial charaterization of starches from *Dioscorea oppsite* Thumb. Cultivars. *Journal of Food Engineering.* 88: 287-293.

86. SIAP-SAGARPA, 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [Disponible en línea]. http://nube.siap.gob.mx/cierre_agricola/Clases/reporte.php. (consultada en marzo, 2016).

87. Schoch, J. T. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In: Whitler, L. R.; Smith, J. R.; BeMiller, N. J. (Eds.). Methods in Carbohydrate Chemistry. Academic Press. 106-113.

88. Spier, R. F.G. (1951). Some notes on the origino of taro. *Southwestern Journal of Anthropology.* 7: 69-76.

89. Srichuwong, S., and Jane, J. L. (2007). Physicochemical properties of starch affected by molecular composition and structures: a review. *Food Science and Biotechnology*. 16: 663-674.

90. Tattiyakul, J., Pradipasena, P., Asavasaksaku, S. (2007). Taro Colocasia esculenta (L.) schott amylopectin structure and its effect on starch functional properties. *Starch/Stärke*. 59: 342–347.

91. Tester, F. and Karkalas, J. (2002). Starch. In: Vandamme, E.J., De Baets, S., Steinbu¨ chel, A. (Eds.), In: *Biopolymers, polysaccharides II*. Wiley–VCH, Weinheim, Germany. 6: 381–438.

92. Torres, R. A., Montero, C. P. y Duran, L. M. (2013). Propiedades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales del almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). *Revista Lasallista de Investigación*. 1(2): 52.61.

93. Torres, B. M., Carmona, G. R. y Aguirre, C. A. (2015). Obtención y caracterización estructural y funcional de almidón acetilado de malanga (*Colocasia esculenta* Schott). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 6(4): 905-912.

94. Tofiño, A., Fregena, M., Ceballos, M. y Cabal, D. (2006). Regulación de la biosíntesis del almidón en plantas terrestres perspectivas de modificación. *Acta Agronómica*. 55: 1.

95. Thomas, H. D. and Atwell, W. A. 1999. Starch structure. In: Starches. Practical guides for food industry. Eagan press Handbook Series, pp: 1-87, St. Paul Minnesota, U. S. A.

96. Van den Einde, R.M., Van Der Goot A. J. and Boom R. M. (2003). Understanding molecular weight reduction of starch during heating-shearing process*. Journal of Food Science*, 68: 396-2904.

97. Velázquez, O. C., Leder, H. M. and Rombeau, J. L. (1996). Butyrate and the colonocyte. Implications for neoplasia. *Digestive Disesases Science.* 41: 727-739.

98. Vergara, M. (2012). Efecto de la modificación química dual del almidón de plátano (Musa paradisiaca L.) sobre las propiedades térmicas, morfológicas y estructurales. *Tesis*. Oaxaca, México.

99. Wankhede, D. B., and Sajjan, S. U. (1981). Isolation and physico-chemical properties of starch extracted from yam, elephant (*Amorphophallus campanulatus). Starch/ Stärke*. 33: 153-157.

100. Whistler, R. L. and BeMiller, J. N., 1997, Carbohidrate Chemistry for Food Scientists, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, U. S. A.

101. Wickramasinghe, H. A. M., Takigama, S., Matsura-Endo, C., Yamauchi, H. and Noda, T. (2009). Comparative analysis of starch properties of different root and tuber crops of Sri Lanka. *Food Chemistry*. 112: 98-103.

102. Yen, D. E. and Wheeler, J. M. (1968). Introduction of taro into the Pacific: The indications of the chromosome numbers. *Ethnology*. 7: 259-267.

103. Yin, J., Li, H. and Xu. (2004). *Colocasia menglanensis* (Araceae), a new species from southem Yunnan, China. *Annnales Botanici Fennici*. 41: 223-226.

104. Yin, J. (2006). *Colocasia tibetensis* (Araceae, Colocasieae) a new species from southeast Tibet, China. *Annales Botanici Fennici*. 43: 53-56.

105. Zeng, F., Liu, H. and Liu, G. (2014). Physicochemical properties of starch extracted from Colocasia esculenta (L.) Schott (Bun-long taro) grown in Hunan, China. *Starch/Stärke.* 66: 142-148.

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