

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS Y
NUTRIMENTALES DE ALMIDÓN OBTENIDO A PARTIR DE DOS ESPECIES DE
MALANGA (*COLOCASIA ANTIQUORUM* Y *COLOCASIA ESCULENTA*)
CULTIVADAS EN EL ESTADO DE OAXACA”

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:
KARINA LILIBETH RÍOS RÍOS

DIRECTOR DE TESIS:
DRA. EDITH GRACIELA GONZÁLEZ MONDRAGÓN

CO-DIRECTOR DE TESIS:
DR. DAVID BETANCUR ANCONA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA. ABRIL 2014.

DEDICATORIAS

Esta tesis no se habría podido llevar a cabo sin el apoyo incondicional y la lucha incansable de mi mamy Soco por brindarme la oportunidad de cursar una carrera universitaria. Gracias por tu ejemplo y todos los momentos de amor, confianza y regaños necesarios que han hecho de mí una mujer de bien, con grandes aspiraciones y muchísimas metas por cumplir.

Gracias mi Euge por todo el tiempo dedicado a lo largo de 2 años y medio, por comprenderme, apoyarme y ser mi pilar en todo tipo de situaciones sin esperar nada a cambio, hoy puedo decirte que tienes todo de mí.

Agradezco también a todos los buenos amigos que la UTM me dejó: Itzel y Tony por todas las desveladas que pasamos juntos estudiando, comiendo, platicando, comiendo de nuevo. A Villalobos y Misa que constantemente me llevaban a desesterarme al Imagine...el lugar que nos vio crecer. Y a todos los amigos que aunque estuvieron lejos de Acatlima no estaban distantes de mí: Quiroz, Juanky, Panchito, Sensei, Viole.

Finalmente, esta tesis es un recordatorio hacia mi persona de que un esfuerzo total es una victoria completa y los resultados son consecuencia de ello.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Edith Graciela González Mondragón por la iniciativa y apoyo en la creación, realización y culminación de este proyecto.

Al Dr. David Betancur Ancona por la experiencia, conocimientos y disponibilidad para co-dirigir esta tesis.

Al M. C. Jesús Godofredo López Luna por las asesorías y el tiempo facilitado para la culminación de este trabajo.

Al Ing. Sergio Rodríguez Salomón por la disponibilidad e interés en la realización de este proyecto.

Al M. C. José del Carmen Jiménez Hernández por la asesoría dedicada para llevar a cabo el análisis estadístico de los resultados obtenidos en esta tesis.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca por la formación profesional de calidad que me fue otorgada.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Yucatán por las instalaciones, equipo, reactivos y demás facilidades brindadas para la realización experimental del proyecto.

El presente trabajo fue realizado en las Instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, así como en la Universidad Autónoma de Yucatán; y financiado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado, Apoyo a la incorporación de Nuevos PTC de la Secretaría de Educación Pública, con clave UTMIX-PTC-037.

ÍNDICE GENERAL

Índice General	v
Lista de tablas	vi
Lista de figuras	viii
Lista de abreviaturas	ix
Resumen	x
1. Introducción	1
1.1. Almidón	1
1.1.1. Estructura y composición	1
1.1.2. Uso de los almidones	3
1.1.3. Fuentes de almidón convencionales	5
1.1.4. Fuentes no convencionales de almidón	6
1.1.4.1. Características de la malanga	8
1.1.4.2. Ciclos de cultivo y producción	12
2. Estado del Arte	13
2.1. Almidón de malanga	13
2.2. Importancia y usos	17
3. Justificación	19
4. Objetivos	20
4.1. Objetivo General	20
4.2. Objetivos Específicos	20
5. Metas	20
6. Materiales y Métodos	21
6.1. Materia prima	21
6.2. Acondicionamiento de los tubérculos	21
6.3. Extracción del almidón	21
6.4. Caracterización físico-química	22

6.4.1. Forma y tamaño de los gránulos.	22
6.4.2. Composición proximal	22
6.4.3. Contenido de amilosa y amilopectina aparente	23
6.5. Caracterización funcional	24
6.5.1. Gelatinización	24
6.5.2. Absorción de agua	24
6.5.3. Solubilidad y poder de hinchamiento	25
6.5.4. Claridad de la pasta	26
6.5.5. Viscosidad aparente	26
6.6. Caracterización nutrimental	27
6.6.1. Almidón total	27
6.6.2. Almidón disponible	28
6.7. Análisis estadístico	29
7. Resultados y discusión	30
7.1. Extracción del almidón	
7.2. Caracterización físico-química	30
7.2.1. Tamaño y forma del gránulo	30
7.2.2. Composición proximal	31
7.2.3. Contenido de amilosa y amilopectina aparente	33
7.3. Caracterización funcional	34
7.3.1. Temperatura de gelatinización	34
7.3.2. Absorción de agua	40
7.3.3. Solubilidad y poder de hinchamiento	41
7.3.4. Claridad	43
7.3.5. Viscosidad aparente	44
7.4. Caracterización nutrimental	45
8. Conclusiones	47
9. Recomendaciones	49
10. Referencias	50

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Contenido, tamaño y forma del almidón de diferentes fuentes.	2
Tabla 2. Usos del almidón en la industria alimentaria.	4
Tabla 3. Fuentes de almidón convencionales y sus ventajas tecnológicas.	6
Tabla 4. Mercado de almidón proveniente de tubérculos.	8
Tabla 5. Condiciones óptimas para el crecimiento de la malanga.	11
Tabla 6. Composición química por cada 100 g de malanga comestible, base húmeda.	13
Tabla 7. Propiedades físico-químicas y funcionales de la harina de malanga (<i>C. esculenta</i>), (% B. S.).	14
Tabla 8. Propiedades físico-químicas y nutrimentales del almidón de <i>C. esculenta</i> .	15
Tabla 9. Caracterización del almidón de malanga (<i>C. esculenta</i>).	16
Tabla 10. Tubérculo y su tiempo de cultivo.	21
Tabla 11. Composición proximal, contenido de amilosa y amilopectina aparente para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca, (% B.S.).	33
Tabla 12. Temperatura y entalpía de gelatinización de los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca, (% B.S.).	35
Tabla 13. Propiedades nutrimentales de los almidones de las dos especies de malanga estudiadas: M. Coco, M. Isleña y M. Edoes, (% B.S.).	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura química de la amilosa.	2
Figura 2. Estructura química de la amilopectina.	3
Figura 3. Anatomía de las plantas pertenecientes a la familia <i>Araceae</i> .	9
Figura 4. Especies de malanga: a) <i>C. antiquorum</i> (malanga Coco), b) <i>C. esculenta</i> (malanga Isleña) y c) <i>C. esculenta</i> (malanga Edoes).	10
Figura 5. Malanga Coco o Taro Chino.	10
Figura 6. a) Cormos y b) cormelos de <i>C. esculenta</i> .	11
Figura 7. Microfotografías de los gránulos de almidón de a) M. Coco, b) M. Isleña y c) M. Edoes	31
Fig. 8. Termogramas para almidón de M. Coco.	36
Fig. 9. Termogramas para almidón de M. Isleña.	37
Fig. 10. Termogramas para almidón de M. Edoes.	38
Fig. 11. Termogramas para almidón de Yuca.	39
Fig.12. Capacidad de absorción de agua de los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.	41
Fig. 13. Solubilidad para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.	42
Fig. 14. Poder de hinchamiento para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.	43
Fig. 15. Viscosidad aparente para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.	45

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
B. S.	Base Seca
CAA	Capacidad de Absorción de Agua
D	Dextrógira
ELN	Extracto Libre de Nitrógeno
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GOD	Glucosa Oxidasa
g	Gravedad
M. Coco	Malanga Coco
M. Edoes	Malanga Edoes
M. Isleña	Malanga Isleña
msnm	Metros sobre el nivel del mar
N. R.	No Reportado
R.L.	Responsabilidad Limitada
s.f.	Sin fecha
S. P. R.	Sociedad de Producción Rural
T	Transmitancia

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó la extracción y caracterización físico-química y nutrimental del almidón extraído de los tubérculos de las especies de malanga *Colocasia antiquorum* (malanga Coco o Taro Chino) y *Colocasia esculenta*; de esta última se utilizó tanto el cormo (malanga Isleña) como el cormelo (malanga Edoes o Small Taro). También se obtuvo y caracterizó almidón de *Manihot esculenta* (yuca) con el objetivo de comparar los resultados obtenidos con los almidones de malanga con el de yuca, que también es un almidón no convencional y que actualmente es de los más comercializados a nivel internacional. Los tubérculos de malanga así como la raíz de yuca fueron cultivados en la región del Papaloapan, estado de Oaxaca.

Los resultados obtenidos a partir de las pruebas físico-químicas para los tres almidones de malanga estudiados mostraron el mismo tamaño y forma del gránulo. Además, presentaron temperaturas de gelatinización por arriba de los 82 °C, la cual es mayor a aquellas reportadas para el almidón de otros tubérculos (60 °C aprox.). Los almidones de malanga Coco, Isleña y Edoes mostraron valores de transmitancia de 0.30, 1.03 y 1.63%, respectivamente. En cuanto a la capacidad de absorción de agua, los almidones de malanga tuvieron una absorción 1.6 veces más que el almidón de yuca (7-15 g agua/g almidón) en el intervalo de temperatura de los 60 a los 80 °C. El máximo valor de poder de hinchamiento fue para el almidón de malanga Coco (50 g agua/g almidón) a los 90°C, comparable con el observado para el almidón de yuca a la misma temperatura. El almidón de *C. antiquorum* fue el que presentó el mayor contenido de humedad (10.92%); los almidones de la *C. esculenta* del 4.75%. El almidón de malanga Isleña tuvo el mayor porcentaje de grasa cruda con el 1.13%. El contenido de proteína cruda para los almidones de malanga fue de 32 a 40 veces más con respecto al almidón de yuca (0.0047%). Este mismo almidón tuvo un porcentaje de amilosa mayor de 1.4 hasta 1.8 que el observado en el de las malangas. Respecto a la viscosidad, los almidones de malanga mostraron poca variación con el incremento de la temperatura, además de que mostraron valores aproximadamente dos veces menores, con respecto a la viscosidad del almidón de yuca en el intervalo de velocidades ensayado (20-200 rpm). Por último, los resultados de la evaluación nutrimental mostraron que el contenido de almidón total en las dos especies de malanga estudiadas se encontró por arriba del 97%.

Con base a lo expuesto, los almidones de malanga pueden considerarse como fuentes no convencionales, con alta posibilidad de uso en el desarrollo de nuevos productos y/o como sustitutos de almidones convencionales en algunos procesos industriales. Lo anterior permitirá darle un valor agregado a los tubérculos de malanga cultivados en la región del Papaloapan, apoyado con investigación científica, con lo cual se esperaría un impacto social y económico de manera inicial en los productores de esta región del estado de Oaxaca.

1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se expondrá la importancia del almidón en diversas industrias como la papelera, adhesiva, textil, cosmética, farmacéutica y de alimentos, entre otras; así como la necesidad de fuentes alternas para satisfacer su demanda como materia prima. Las estadísticas globales del 2012 mostraron una producción de 75 millones de Ton métricas de almidón (Reither-Strasse, 2013); para el 2018 se estimó un incremento en su consumo mundial de 133.5 millones de Ton métricas (Food Product, 2012). Para ampliar el horizonte de posibles usos en la industria, es necesario llevar a cabo su caracterización físico-química y funcional. En el presente trabajo se caracterizó el almidón obtenido a partir de las especies de malanga *Colocasia antiquorum* (Coco o Taro Chino) y *Colocasia esculenta* (malanga Isleña y Edoes o Small Taro) cultivados en el estado de Oaxaca, proponiendo de este modo un uso alternativo para dichos tubérculos.

1.1 Almidón

1.1.1. Estructura y composición. El almidón se encuentra como fuente de reserva energética en frutos, semillas de leguminosas, cereales, tubérculos, entre otros y se sabe que la cantidad de almidón presente en éstos difiere. En el caso de las frutas verdes o inmaduras (plátano o mango) puede representar del 40-70%, en las leguminosas (frijol, chícharo, haba) del 25-50% y en tubérculos (papa o yuca, por ejemplo) del 60-90% de su peso seco (Casarrubias-Castillo *et al.*, 2012). Morfológicamente el almidón se encuentra en agregados esféricos, ovoides, irregulares o poligonales, a los cuales se les denomina gránulos y cuyo tamaño va de los 0.5 a 100 μm (Tabla 1). Tanto la forma como el tamaño de los gránulos de almidón dependerán de la fuente de donde se obtiene.

Tabla 1. Contenido, tamaño y forma del almidón de diferentes fuentes.

Fuente	Almidón (% base seca)	Tamaño (μm)	Forma
Amaranto	65.2	1-3	Esférico poligonal
Plátano	44-77.5	10-40	Elipsoidal
Mango	21-60	8-20	Elipsoidal
Avena	41.5-43.3	19-24	*Poligonal irregular
Papa	65-85	15-100	Elipsoidal
Cebada	65	2-25	Esférico ovalado
Sorgo	65	20-40	Ovalado
Arroz	74.6-88	3-8	Poliédrico poligonal

Lajolo *et al.*, 2006,*Assefa, 2006.

El almidón está constituido principalmente de dos polisacáridos que son la amilosa y la amilopectina, encontrándose también en menor cantidad contaminantes como proteínas, lípidos y minerales. La proporción en la que se encuentra cada uno de los polisacáridos mencionados se rige por la genética de la fuente utilizada para su extracción, lo cual influye en sus propiedades funcionales (Badui-Dergal, 2006).

La amilosa es una α -D-(1,4)-glucana constituida de 200 hasta 2,500 unidades repetitivas de α -maltosa, que forman cadenas lineales (Figura 1). Este polisacárido puede adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en donde cada vuelta consta de seis moléculas de glucosa (Badui-Dergal, 2006).

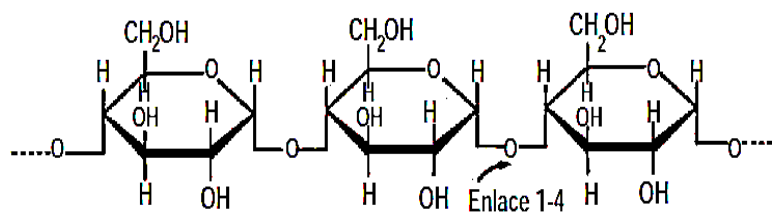


Figura 1. Estructura química de la amilosa.

En lo referente a la amilopectina, ésta presenta ramificaciones con enlaces α -D-(1,6) localizadas cada 15-25 unidades de glucosa (Figura 2). Las cadenas formadas pueden contar de 10,000 a 20,000 unidades, es decir, son significativamente más grandes en comparación con las de amilosa (Badui-Dergal, 2006).

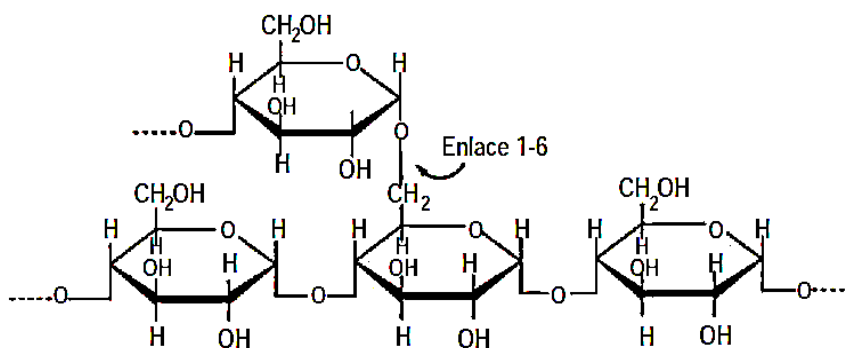


Figura 2. Estructura química de la amilopectina.

1.1.2. Uso de los almidones. En las últimas décadas el almidón ha sido utilizado para cuatro propósitos generales:

1. Alimentación humana: el almidón puede hidrolizarse a glucosa aportando en la dieta 4 calorías/g. Las fuentes más utilizadas para este fin son el maíz que constituye aproximadamente el 83% de la producción mundial de almidón, seguido del trigo con un 7%, papa con el 6% y tapioca con el 4% (Benítez-Tovar, 2008).
2. Alimentación animal: los almidones se han utilizado como alternativa para satisfacer los niveles de carbohidratos no estructurales y los requerimientos energéticos en la alimentación de ganado. La mayoría de los suplementos y los concentrados para rumiantes están formulados con almidones de rápida degradación (Knowles, 2012).
3. Aplicaciones industriales no alimentarias: cerca del 80% del almidón suministrado a la industria es usado como pegamento en la fabricación de papel y cartón para unir los componentes que forman la fibra celulósica, el papel, y rellenos, evitando de este modo el desprendimiento superficial de las fibras, mejorando la resistencia contra la humedad y brindando así una textura lisa.

En la industria textil se emplea para aumentar el brillo y peso de la tela, así como para mejorar la textura y la calidad del estampado, además de restaurar la apariencia y cuerpo de las prendas de vestir cuando son almidonadas. En la industria farmacéutica se usa como agente ligante del ingrediente activo en tabletas. Para la industria cosmética se emplea en la elaboración de polvos faciales, como mejorador de viscosidad y vehículo para sustancias semilíquidas como cremas (FAO, s.f.).

4. Aditivo alimenticio: el almidón es utilizado para impartir diversas características funcionales y tecnológicas a los alimentos procesados (Tabla 2), por ejemplo, como espesante para incrementar la viscosidad de los productos, emulsificante para formar o mantener una emulsión (mezcla de líquidos inmiscibles) uniforme en el producto, para absorber humedad y evitar el apelmazamiento, como aglutinante para la adhesión de los componentes, como estabilizante para mantener una dispersión uniforme de dos o más sustancias, edulcorante proporcionando un sabor dulce a los productos y finalmente, para conferir textura a los alimentos procesados (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2012, FAO, s.f.).

Tabla 2. Usos del almidón en la industria alimentaria.

Uso	Ejemplo
Espesante	Aderezos
Emulsificante	Margarina
Agente protector contra la humedad	Caramelos
Aglutinante	Harinas
Estabilizador	Sopas
Edulcorante	Caramelos
Agente espolvoreante	Gomas dulces

Cruz, 2010.

A nivel mundial, según la FAO, hasta el 2006 la cifra de extracción de almidón para usos comerciales fue de 60 millones de Ton a partir de diversas fuentes entre las que se encontraron los cereales, tubérculos y raíces. En México para el 2010 la industria dedicada a la elaboración de almidones, féculas y levaduras tuvo una derrama económica de 14 mil millones de pesos (Financiera Rural, 2011).

Debido a la importancia que tiene el uso del almidón en la industria alimentaria, papelería, textil, farmacéutica y cosmética, entre otras; durante los últimos cincuenta años, los avances en tecnología enfocada a los almidones han sido enormes. Esto se ha reflejado en los procesos de separación, extracción y producción de almidón, por ejemplo, se han desarrollado equipos que requieren un mínimo en el consumo de energía y de agua, así como una reducción en las cargas de efluentes. También se ha logrado un aumento en el rendimiento final de los almidones (GEA Process Engineering S.A. de C.V., 2013).

1.1.3. Fuentes de almidón convencionales. Se les llama fuentes convencionales de almidón a los cultivos de los que comúnmente se obtiene dicho producto; entre los más importantes podemos encontrar maíz, trigo, arroz y papa; cuyas ventajas tecnológicas se resumen en la Tabla 3.

Las fuentes convencionales tienen la desventaja de ser utilizadas directamente como alimentos, por lo que su precio de venta es mayor y su disponibilidad está en riesgo. Tal es el caso del maíz, cuyo consumo para la producción de etanol ha reducido la cantidad disponible del cultivo para la alimentación e incrementado su precio en el mercado (Knowles, 2012).

En el 2010, México importó de Estados Unidos la cantidad de 7.8 Ton de maíz para abastecer su mercado interno atendiendo las demandas del dicho producto en la industria pecuaria, cerealera, de frituras y almidonera; para el siguiente año la importación del maíz creció del 23 al 30% (Secretaría de Economía, 2012). De lo anterior, podemos ver que la industria almidonera en México ha generado una dependencia del maíz cultivado en los Estados Unidos y por ende de la fluctuación en el precio del mismo (Oxfam México, 2012).

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta son las características físico-químicas y funcionales del almidón las cuales van a depender de la fuente de donde sea obtenido éste. Por ejemplo, el almidón del trigo presenta una distribución bimodal debido a que posee gránulos del tipo A y B, los cuales se sintetizan en diferentes etapas del desarrollo de las plantas, lo que influye en su composición química, sus propiedades de cocimiento, gelatinización, cristalinidad, hinchamiento y solubilidad (Utrilla-Coello *et al.*, 2007). Por lo anterior expuesto, el sector industrial busca fuentes potenciales de almidón que ofrezcan mayores beneficios.

Tabla 3. Fuentes de almidón convencionales y sus ventajas tecnológicas.

Fuente	País/Continente	Ventajas
Maíz¹	América	Formación de geles claros y cohesivos
	África	
	Europa	Posee una gran blancura
Papa¹	Noreste de Europa	Capacidad alta de gelificación
	Países Bajos	Viscosidad decreciente con agitación y calentamiento constante
		Excelente formación de película flexible y fuerza de adhesión
Arroz²	China	Formación de geles opacos
	India	Contenido bajo de amilosa
Trigo¹	Estados Unidos Canadá Australia	Alto contenido de lípidos y de glucosaminoglicanos

¹Cruz, 2010, ²Bello-Pérez *et al.*, 2006.

1.1.4. Fuentes no convencionales de almidón. En los últimos años se han llevado a cabo diferentes estudios utilizando fuentes poco comunes de almidón, entre ellos podemos encontrar la extracción así como la caracterización físico-química y funcional de almidones de makal (*Xanthosoma yucatanensis*), camote (*Ipomea batata*), yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y el sagú (*Marantha arundinacea*), cultivadas en el estado de Yucatán, México (Hernández-Medina *et al.*, 2008). También se reportó el análisis físico-químico y

morfológico de almidones de ñame (*Dioscorea alata*) y yuca (*Manihot esculenta*) cultivados en Colombia (Alvis *et al.*, 2008). Novelo-Cen *et al.*, en el 2005 determinaron las propiedades químicas y funcionales del almidón de frijol lima (*Phaseolus lunatus*). También se ha obtenido almidón a partir del banano verde (*Musa Sapientum* variedad *Cavendish*) según lo reportado por Cruz (2010). Por último, Vargas *et al.*, (2012) obtuvieron harina y almidón a partir de ñampí (*Colocasia esculenta*) cultivada en Costa Rica.

La búsqueda de fuentes alternas para la obtención del almidón se da por tres razones principales:

1. Satisfacer la demanda de las industrias que lo emplean como materia prima (González-Vega, 2012).
2. Buscar almidones con propiedades funcionales tecnológicas diferentes o mejores a las convencionales (Bello-Pérez *et al.*, 2006).
3. Tratar de resolver las dificultades en la producción de alimentos debido a factores como la limitación de superficies cultivables, parcelas poco productivas, degradación de la tierra y problemas de riego (García-Casal, 2007).

Actualmente ya se comercializa a nivel internacional almidón obtenido a partir de raíces y tubérculos, y prueba de ello es el reporte que emitió el International Starch Institute respecto a la compra y venta de almidones en el 2012 (Tabla 4), en donde se evidenció que el almidón de yuca fue el más ofertado para su venta, seguido por el de sago, sin embargo, el almidón de papa fue el que mantuvo un equilibrio entre la compra/venta.

Tabla 4. Mercado de almidón proveniente de tubérculos.

País	Producto	Venta/Compra	Dólares/Ton
India	Almidón de yuca	Venta	450
Vietnam	Almidón de yuca	Venta	550
China	Almidón de yuca	Venta	596
Brasil	Almidón de yuca	Venta	290
Emiratos Árabes Unidos	Almidón de yuca	Compra	100
Rumania	Almidón de papa	Compra	750
Perú	Almidón de papa	Compra	350
China	Almidón de papa	Venta	596
Parkistán	Almidón de papa	Venta	490
Belarus	Almidón de papa	Compra	340
Estados Unidos	Almidón de papa	Compra	300
China	Almidón de papa	Venta	596
Indonesia	Almidón de sago	Venta	700
Hong Kong	Almidón de sago	Venta	180

International Starch Institute, 2012.

El objeto de estudio en el presente trabajo es el almidón extraído a partir de dos especies del tubérculo de malanga *Colocasia antiquorum* (*C. antiquorum*) y *Colocasia esculenta* (*C. esculenta*). A continuación se abordarán los aspectos generales de dicho tubérculo.

1.1.4.1. Características de la malanga. La malanga es un tubérculo perteneciente a la familia de las *Araceae* con origen en África, Asia y Oceanía. Debido a la inmigración a occidente, actualmente también se cultiva en América (Antonio-Estrada *et al.*, 2009).

Existen cuatro elementos característicos en la anatomía de dicha familia, los cuales se indican en la Figura 3 y se describen a continuación (Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, s.f.).

1. Porte: plantas herbáceas suculentas que llegan a medir de 1 a 3 m, no presentan tallo aéreo.
2. Cormo: tallo central elipsoidal, rico en carbohidratos (18-30% en base fresca). 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.
3. 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.
4. Inflorescencias: del meristemo apical del cormo pueden emerger dos o más inflorescencias entre los peciolos de las hojas. Del eje de éste último se insertan las flores sésiles y en la parte inferior lleva flores pistiladas las cuales no se desarrollan, se secan y desprenden.

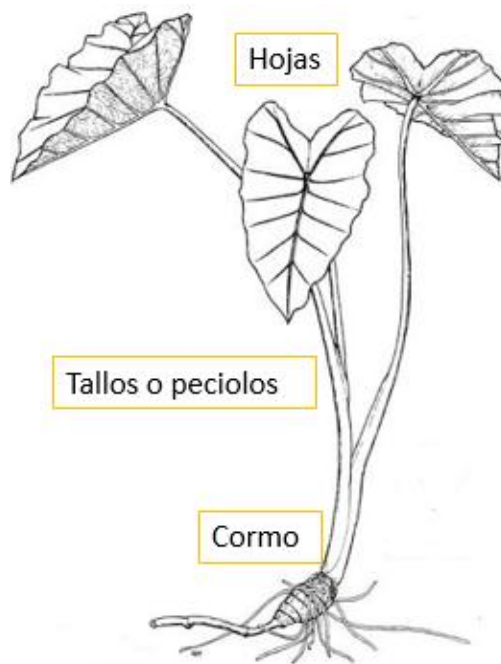


Figura 3. Anatomía de las plantas pertenecientes a la familia *Araceae*.

En cuanto a las especies de malanga (*C. antiquorum* y *C. esculenta*) que se utilizaron en este proyecto (Figura 4), éstas se distinguen por el tamaño de su cormo.



Figura 4. Especies de malanga: a) *C. antiquorum* (malanga Coco), b) *C. esculenta* (malanga Isleña) y c) *C. esculenta* (malanga Edoes).

Las plantas de malanga Coco o Taro Chino cuyo nombre científico es *C. antiquorum*, comúnmente alcanzan una altura de hasta 2.5 metros y producen en su base un cormo alargado de forma ovoide, similares a un balón de fútbol americano. En su parte superior se ubica la corona y está vinculada al origen de los tallos o peciolos. Mientras tanto, la parte inferior es la base del cormo y está asociada a la raíz. 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 (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013).



Figura 5. Malanga Coco o Taro Chino.

La malanga Isleña (*C. esculenta*) produce cormos que son el producto más grande pesando entre 700 g y 2.5 kg, además de cormelos los cuales se encuentran en un intervalo de peso de 50 a 250 g. A los cormelos se les conoce comercialmente como malanga Edoes o Small Taro (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013).

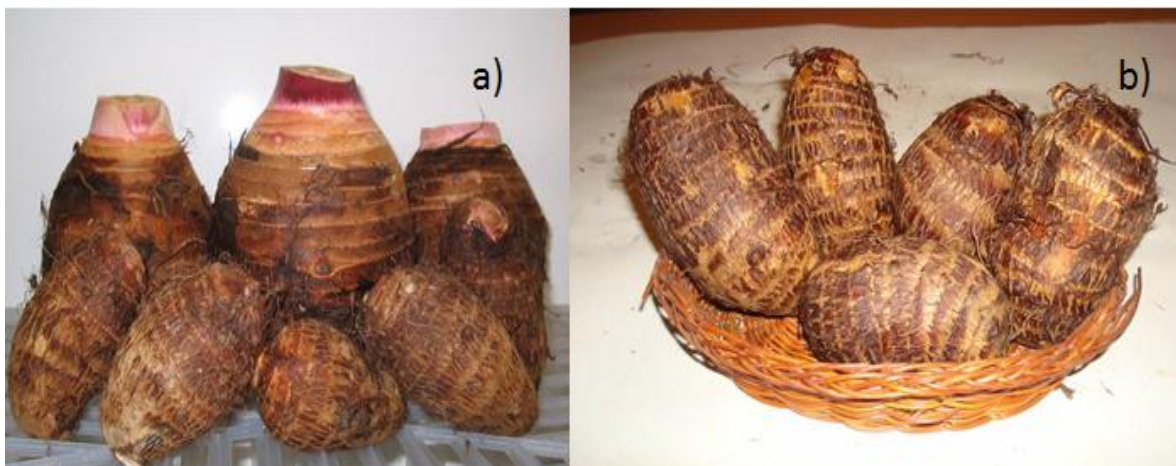


Figura 6. a) Cormos y b) cormelos de *C. esculenta*.

El tubérculo malanga del género *Colocasia* necesita de ciertas condiciones para su cultivo, de las más importantes se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Condiciones óptimas para el crecimiento de la malanga.

Factor	Condiciones
Región	Tropical y subtropical
Altitud	Desde el nivel del mar hasta 1,500 msnm
Precipitación	Lluvias altas desde 1,800 hasta 2,500 mm
Temperatura	Desde 25 hasta 30 °C
Fotoperiodo	Periodos desde 11 hasta 12 horas luz.
Suelo	pH desde 5.5 hasta 6.5
	Profundo
	Húmedo

Scott *et al.*, 1992

Debido al tipo de región en donde se desarrolla, la humedad es uno de los factores más importantes debido a que el tubérculo se torna altamente perecedero. Además puede estar sujeto a pérdidas post-cosecha importantes, por lo que su uso y consumo han sido limitados.

1.1.4.2. Ciclos de cultivo y producción. Para las dos especies de malanga estudiadas en el presente trabajo (*C. antiquorum* y *C. esculenta*), el tiempo de cultivo en general va de los 7 hasta los 15 meses, en función de la fertilidad y humedad del suelo; además la cosecha de cormelos y cormos puede ser aplazada hasta por tres meses (Vásquez-López, 2013). En el caso de la malanga Coco su ciclo puede ir desde los 7 hasta los 12 meses, y su producción oscila entre las 40 y 80 Ton por hectárea, dependiendo de su manejo. Para la malanga Isleña (planta madre de la malanga Edoes) su ciclo es de 7 a 10 meses, con una producción entre 25 y 60 Ton por hectárea. La malanga Edoes se cosecha al sacar los cormos de la malanga Isleña, por lo que sus ciclos son equivalentes, es decir, también va de los 7 a los 10 meses, en cambio su productividad se encuentra entre 18 y 30 Ton por hectárea (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013).

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Almidón de malanga.

Existen reportes en los cuales se caracterizó tanto al tubérculo de la malanga así como la harina obtenida a partir de dicho tubérculo. Por ejemplo, la Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria reportó la composición química del tubérculo de malanga cultivada en ese estado, pero no mencionaron la especie de la malanga que fue analizada. Los resultados que obtuvieron se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición química por cada 100 g de malanga comestible, base húmeda.

Composición (g)	Crudo
Humedad	71.9
Proteína	1.7
Grasa	0.8
Carbohidratos	23.8
Fibra	0.6
Cenizas	1.2
Calcio	2.2×10^{-2}
Fósforo	7.2×10^{-2}
Hierro	9×10^{-4}
Tiamina	1.2×10^{-4}
Riboflavina	2×10^{-5}
Niacina	6×10^{-4}
Energía (Mcal/Kg)	3808

Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria, s.f.

Por otro lado, Rodríguez-Miranda *et al.*, (2011) reportaron la caracterización físico-química, funcional y el contenido fenólico de harina de malanga (*C. esculenta*). El tubérculo fue cultivado en el municipio de Valle Nacional, perteneciente a la región del Papaloapan, en el estado de Oaxaca. Este grupo de trabajo no mencionó si el estudio se realizó con los cormos y/o cormelos, siendo estos últimos característicos de dicha especie.

En cuanto a la técnica utilizada para la determinación del contenido de almidón se llevó a cabo según lo propuesto por Rose *et al.*, (1991). Tanto la solubilidad como la capacidad de absorción de agua se llevaron a cabo de acuerdo con los métodos propuestos por Anderson *et al.*, (1969), ésta última determinación fue la misma que se empleó en nuestro grupo de trabajo para la misma propiedad funcional. Los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Propiedades físico-químicas y funcionales de la harina de malanga (*C. esculenta*), (% B.S.)

Componente (g/100 g)	Contenido
Proteínas (N x 6.5)	5.73 +/- 0.88
Grasas	0.79 +/- 0.38
Cenizas	4.02+/-0.07
Fibra cruda	1.56+/-0.01
Carbohidratos	87.91+/-1.11
Almidón	57.55+/-0.00
Propiedad funcional	Contenido
Capacidad de Solubilidad en Agua (%)	9.24 +/-0.36
Capacidad de Absorción de Agua (g H₂O/g muestra)	1.78 +/- 0.04
Capacidad de Absorción de Aceite (g aceite/ g muestra)	0.99 +/- 0.01
Capacidad Emulsificante (%)	37.92 +/- 2.74

Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011.

Aprinita *et al.*, (2009) estudiaron el almidón de *C. esculenta* con métodos similares a los utilizados en un nuestro equipo de trabajo para las determinaciones de poder de hinchamiento y claridad, así como también para el contenido de amilosa, de almidón total, de almidón disponible y para las temperaturas de gelatinización. En la Tabla 8 se muestran los resultados.

Tabla 8. Propiedades físico-químicas y nutrimentales del almidón de *C. esculenta*.

Almidón total (%)	Almidón disponible (%)	Amilosa (%)	Amilopectina (%)	Claridad (%T)
88.66±1.86	47.05±2.68	14.45±1.54	85.55±1.27	10±NR
Gelatinización				
Temperatura inicial (°C)	Temperatura pico (°C)	Temperatura final (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J g⁻¹)³
70.95±0.63	78.53±0.73	84.67±0.86	13.72±0.23	6.28±0.22

Aprinita *et al.*, 2009.

Para el poder de hinchamiento se encontró que los gránulos de almidón comenzaron a hincharse después de haber alcanzado la temperatura de gelatinización (70.95 °C).

Existe un reporte de la caracterización de los almidones obtenidos a partir de siete variedades de *Colocasia esculenta* cultivadas en Malawi (Mweta *et al.*, 2010). En dicho trabajo fueron determinados el almidón total (860-909 g kg⁻¹), el contenido de amilosa (106-210 g kg⁻¹), cenizas (1.33-1.57 g kg⁻¹), lípidos (1.07-1.60 g kg⁻¹) y proteína (4.4-8.4 g kg⁻¹). El tamaño del gránulo del almidón de cinco de las variedades analizadas se encontró en el intervalo de 5 a 10 μm. Respecto a la solubilidad, el poder de hinchamiento y a la capacidad de absorción de agua, todos los almidones tuvieron los valores más altos a los 90 °C. En cuanto a la claridad de pasta, se registraron porcentajes de transmitancia del 11 hasta el 20%. El parámetro de la viscosidad, determinado con un viscosímetro Brookfield según lo propuesto por Ruales *et al.*, (1993), mostró variaciones entre los 6000 y los 9000 cp. Finalmente, mediante la técnica de Calorimetría Diferencial de Barrido, este grupo de trabajo determinó una temperatura de gelatinización promedio de 74.76 °C que correspondió a un cambio de entalpía de 13.08 J g⁻¹.

En relación al almidón obtenido a partir del tubérculo de malanga, Odeku (2013) reportó la caracterización físico-química del almidón extraído de *C. esculenta* proveniente de plantas cultivadas en África, no obstante, no se menciona si el almidón fue obtenido de los cormos y/o cormelos. Solamente se determinó la forma y tamaño del gránulo del almidón, el contenido de nitrógeno y fósforo, el porcentaje de amilosa así como la temperatura y entalpía de gelatinización cuyos resultados se muestran en la Tabla 9.

También se tiene información del análisis del almidón obtenido a partir de *C. esculenta* cultivada en Costa Rica en cuanto a su contenido de amilosa y el cual se encontró en el rango del 10.2 al 14.9%; a pesar de que se mencionó que también fueron determinados los valores de la viscosidad y de la temperatura de gelatinización no se mostraron los datos de dichos parámetros (Vargas *et al.*, 2012).

Tabla 9. Caracterización del almidón de malanga (*C. esculenta*).

Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Lípidos (%)	Contenido de amilosa (%)
0.019	0.021	-	14-19.4
Temperatura de gelatinización (°C)	Entalpía de gelatinización (J/g)	Tamaño del gránulo (µm)	Forma del gránulo
81-85	6.8	0.5-5.0	Redondos, Elipsoidales-truncados

Odeku, 2013.

La variación observada en los resultados de los diferentes estudios de almidones mencionados anteriormente, puede deberse a diferencias en las condiciones de cada uno de los cultivos de malanga, como por ejemplo el clima, la cantidad de agua y los nutrientes del suelo fueron diferentes (Odeku, 2013, Vargas *et al.*, 2012, Rodríguez-Miranda *et al.*, 2011). En cuanto al tubérculo, se reportó que el estado de madurez influye en la composición físico-química y funcional del almidón, y que a mayor madurez aumentará el contenido de

fósforo, la temperatura de gelatinización, la capacidad de absorción de agua, el poder de hinchamiento y la solubilidad, pero habrá una disminución en el contenido de amilosa (Mkhlouf *et al.*, 2012).

Es importante mencionar que para la especie *C. antiquorum* no se encontró información bibliográfica.

2.1.5. Importancia y usos. En México existen diferentes zonas que cuentan con las condiciones propicias para el cultivo de la malanga, una de ellas es la región del Papaloapan, Oaxaca. En el año 2011 se pretendía cultivar alrededor de 110 hectáreas en los municipios de Loma Bonita, Jacatepec y Chiltepec (Inforural, 2011), ya que hasta ese momento únicamente los municipios de Tuxtepec y Valle Nacional producían este tubérculo. Para la región de Tuxtepec, la importancia del tubérculo radica en brindar oportunidades de ingreso a los pequeños productores, por lo que se ha buscado que los gobiernos municipales muestren interés para fomentar dichas plantaciones, porque si se incrementan las hectáreas cultivadas también se aumentará el número de empleos en la región.

Cada año la malanga adquiere gran importancia para los países en vías de desarrollo, por ejemplo, en el año 2011 la exportación de éste producto hacia Estados Unidos generó una derrama económica superior a los 6 millones de pesos, además de 60 mil 411 jornales por labores de cultivo y cosecha en los municipios de Tuxtepec y Valle Nacional (Flores, 2011).

En lo concerniente a la exportación de la malanga Coco, los cormos se seleccionan por su peso en rangos que preferentemente van desde 1.2 hasta los 4 kg, con los cuidados que exigen las normas del mercado meta, que en el caso de la región de Tuxtepec es Estados Unidos y Canadá. Para la malanga Edoes los cormos cuyo peso sea mayor a los 100 g son los que se destinan al mercado de exportación, y en cuanto a la malanga Isleña, este tubérculo se procesa para consumo nacional (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013).

La malanga Coco posee propiedades organolépticas y se piensa que también nutrimentales, las cuales han contribuido a su incorporación en dietas para infantes, adultos y personas de la tercera edad. Algunos de los productos que se han elaborado a base de malanga Coco son galletas, dulces, papillas, horchata (agua con harina de arroz), atoles (harina de maíz en agua); champurrado (masa de maíz en agua), torito (aguardiente con crema de cacahuete), cremas de mezcal (mezcal con frutas maceradas) y frituras (alimentos fritos con aceite). También se suele consumir cocida, como harina o sustituto de papa en sopas y estofados (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013). Sin embargo, éste tubérculo contiene ácido oxálico en el cormo y en la hoja, por lo que este alimento no debe ser ingerido por personas con problemas de riñones, gota o artritis reumatoide (Badui-Dergal, 2006). Los cormos y cormelos de la malanga Isleña son muy parecidos en sus propiedades organolépticas a la papa, y debido a su versatilidad y adaptación en productos dulces y salados, han sido usados en la elaboración de una gran cantidad de alimentos que van desde tortillas hasta golosinas, cuyo único valor nutritivo es el azúcar (Centro de Integración de la Agroindustria de Raíces y Tubérculos Tropicales, 2013).

Por todo lo anterior, es claro que la importancia del cultivo de la malanga no sólo es a nivel internacional, sino que también está ganando terreno en el mercado regional, en donde principalmente las características organolépticas de dicho tubérculo han permitido que los pobladores lo preparen de distintas maneras y lo utilicen para diversos fines.

3. JUSTIFICACIÓN

El cultivo de la malanga en la región del Papaloapan, Oaxaca es de interés para algunos productores de la región. En el 2011 la derrama económica que se generó de la exportación de malanga a Estados Unidos fue de 6 millones de pesos. La principal forma de comercialización del tubérculo es en fresco, debiendo cumplir con ciertas características de calidad para su exportación, motivo por el cual los productores están en la búsqueda de nuevos mercados para dicho tubérculo. En este sentido, los productores han elaborado productos a base de malanga los cuales han sido presentados en ferias y eventos nacionales. Sin embargo, siguen en la búsqueda de usos alternativos para el tubérculo de la malanga.

La propuesta del presente proyecto es extraer el almidón de malanga de dos especies *C. antiquorum* y *C. esculenta*, ambas cultivadas en la región del Papaloapan, en el estado de Oaxaca y caracterizarlo físico-química, así como nutrimentalmente.

Hasta el momento no se tiene información al respecto, por lo que los datos que se obtengan en la presente investigación generarán nuevos conocimientos científicos que permitirán proponer un uso alternativo a la malanga como fuente para la obtención de almidón, brindándole de este modo un valor agregado a dicho tubérculo, esperando que esto promueva un impacto social y económico de manera inicial en los productores de la región del Papaloapan, Oaxaca.

4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar físico-química y nutrimentalmente el almidón de dos especies de malanga *Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta* cultivadas en el estado de Oaxaca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Extraer el almidón de cada una de las especies de malanga *Colocasia antiquorum* (malanga Coco o Taro chino) y *Colocasia esculenta*, de esta última se utilizará tanto el corno (malanga Isleña) como el cormelo (malanga Edoes o Small taro).
2. Caracterizar físico-químicamente los almidones obtenidos: forma y tamaño de los gránulos, la composición proximal, así como el contenido de amilosa y amilopectina aparente.
3. Determinar las propiedades funcionales de los almidones obtenidos: gelatinización, absorción de agua, claridad de la pasta, viscosidad, solubilidad y poder de hinchamiento.
4. Caracterizar nutrimentalmente los almidones obtenidos: almidón total y almidón disponible.

5. METAS

1. Obtener la comparación entre los datos generados de las propiedades físico-químicas y nutrimentales de los almidones malanga de las especies *Colocasia antiquorum* y *Colocasia esculenta*.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Materia prima

Las especies de malanga utilizadas en el presente proyecto fueron *C. antiquorum* (Coco o Taro Chino) y *C. esculenta* (Isleña y Edoes o Small Taro). Los tubérculos provinieron de cultivos del mes de Septiembre de 2011 y Enero de 2012 de la región del Papaloapan, Oaxaca pertenecientes a la empresa Agroempresarios del Papaloapan S. P. R. de R. L. Las características de cultivo de cada uno de los tubérculos utilizados se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 9. Tubérculo y su tiempo de cultivo

Malanga	Tiempo de cultivo (meses)
Coco o Taro Chino	11
Isleña	7
Edoes o Small Taro	7

6.2. Acondicionamiento de los tubérculos

Los tubérculos se lavaron con agua potable a presión y se almacenaron a una temperatura de refrigeración aproximada de 4-5 °C hasta su utilización.

6.3. Extracción de almidón

Para llevar a cabo la extracción de los almidones primero se les retiró la cáscara y fueron cortados en cubos de aproximadamente 3 cm por lado. Se remojaron durante 30 min en una solución de bisulfito de sodio (NaHSO_3) con una concentración de 1,500 ppm en una relación 1:3 (p/v). Una vez transcurrido dicho tiempo los cubos se trituraron en un procesador de alimentos Moulinex a velocidad 2 durante 2 min. A la masa obtenida se le agregó una solución de NaHSO_3 con una concentración de 1,500 ppm

en una relación 1:1 (v/v). Esta lechada se filtró en manta cielo y la fibra retenida se eliminó. El filtrado fue sometido a centrifugación en un equipo Mistral 3000i, durante 20 min a 2,500 rpm (2120 x g) y 5 °C. Cuando se observó la separación de fases, el sobrenadante se eliminó por decantación. Todos los almidones se lavaron 3 veces con agua destilada, centrifugando cada vez durante 15 min a 2,500 rpm (2120 x g). Posteriormente, el almidón recuperado se sometió a secado en una estufa a 55 °C durante 24 horas. Después, se llevó la muestra a un molino ciclónico Foss Cyclotec 1093 para obtener un polvo, el cual se tamizó en un equipo W.S. TYLER Ro-Tap RX-29-E en malla número 100. Por último, el almidón obtenido se almacenó en frascos de plástico con cierre de tapa hermética hasta su análisis (Novelo-Cen *et al.*, 2005).

6.4. Caracterización físico-química. Las determinaciones físicas y químicas del almidón, son importantes para saber qué tan conveniente resultará la incorporación del producto al ser sometido a diferentes procesos industriales.

6.4.1. Forma y tamaño de los gránulos. El diámetro del gránulo está relacionado íntimamente con el área superficial expuesta para que se lleven a cabo diferentes procesos, ejemplo de ello es la transferencia de calor, a menor área mayor transferencia y menor tiempo de cocción. En cuanto a la forma, es distintiva de cada variedad, por lo que se requiere analizar por medio de microscopía. Estas características se determinaron por el método McMaster (1964). Se preparó una solución de almidón al 1% con agua destilada, con una pipeta Pasteur se tomó una gota y se depositó en un portaobjetos. Se agregó una gota de lugol y se homogenizó la muestra, por último se colocó un cubreobjetos y se llevó a observación en un microscopio óptico MG-11PL, usando el objetivo 100x. Se reportó su forma y diámetro.

6.4.2. Composición proximal. Los análisis proximales son necesarios para saber el contenido de proteínas, fibra, cenizas, humedad y carbohidratos totales de cada variedad de almidón. Se determinó la composición proximal de acuerdo a los métodos oficiales que la AOAC (1997) señala.

1. Humedad (método 925.09). Se cuantificó la pérdida de peso al someter la muestra a secado en una estufa de convección durante 2 horas a una temperatura de 120 °C.
2. Cenizas (método 923.03). Se calcularon como el residuo inorgánico resultante de incinerar la muestra en una mufla a 550 °C durante 4 horas.
3. Proteína cruda (método 954.01). Se determinó en el sistema Foss Kjeltex 8400. El valor de proteína bruta se calculó a partir del nitrógeno total utilizando el factor de conversión 6.25.
4. Fibra cruda (método 962.09). Se calculó después de que la muestra sufra una digestión ácida y alcalina utilizando un sistema Foss Fibertec 2010.
5. Grasa cruda (método 920.39). Será cuantificada después de la extracción de la muestra durante 1 hora con hexano en el equipo Foss Soxtec 2055.
6. Carbohidratos totales. Se calcularon por diferencia al 100% como el extracto libre de nitrógeno (ELN).

6.4.3. Contenido de amilosa y amilopectina aparente. En esta determinación se lleva a cabo la formación del complejo amilosa-yodo que absorbe a 635 nm. Se cuantificó utilizando colorimetría de acuerdo a Morrison y Laignelet (1983). Mediante la cual se pesó de 77 a 80 mg de almidón en tubos de 20 mL. Se añadieron 10 mL de una solución urea-dimetilsulfóxido (DMSO). Después cada tubo se agitó magnéticamente hasta que la solución fuera homogénea. Posteriormente, se transfirieron los tubos a una estufa a 100 °C durante 1 hora. Transcurrido dicho tiempo, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Se tomaron 0.5 mL de la solución y se transfirieron a matraces aforados de 50 mL y se pesaron. Se añadieron 25 mL de agua destilada a cada matraz y también 1 mL de solución yodo-yoduro de potasio (I₂-IK). Los matraces se aforaron y la solución se mezcló hasta ser homogénea. Se realizó un blanco con agua destilada y con él, se ajustó el espectrofotómetro de UV-VIS marca Jenway modelo 6305 para leer la absorbancia a 635 nm. Por último, se calculó el valor azul y el porcentaje de amilosa aparente mediante las siguientes fórmulas:

$$\text{Valor azul} = \frac{\text{Absorbancia} \times 100}{2 \times \text{g de solución} \times \text{mg almidón}}$$

$$\% \text{ de amilosa} = 28.414 \times \text{Valor azul}$$

El contenido de amilopectina se calculó por diferencia al 100% del contenido de amilosa aparente.

6.5. Caracterización funcional. La importancia de estas características radica en el posible uso tecnológico que pueda otorgarse al almidón, así como el comportamiento de los mismos al ser incorporados en algún producto.

6.5.1. Gelatinización. Durante este proceso se lleva a cabo un hinchamiento irreversible del gránulo, además de que se altera de manera determinante su estructura, perdiéndose la birrefringencia y cristalinidad. A la temperatura a la cual ocurre este proceso se le llama temperatura de gelatinización. La transición ocurre en intervalos, desde una temperatura inicial (T_i), pasando por una temperatura pico (T_p), hasta llegar a la temperatura final (T_f).

Se llevó a cabo el método de Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB), reportado por Ruales y Nair (1994). Primero se pesaron 2 mg en base seca de cada almidón en un portamuestra de aluminio. Se añadió directamente agua deionizada mediante una microjeringa para hacer una suspensión con 65-75% (p/p) de contenido de humedad. Posteriormente, el portamuestra se selló herméticamente y se dejó reposar a temperatura ambiente durante 1 hora. Transcurrido ése tiempo se llevó a cabo la determinación en el CDB marca Perkin Elmer modelo DSC6 a una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, desde 30 hasta 120 °C. Como blanco se tomó un portamuestra vacío para todas las observaciones. Por último se leyó la Temperatura Inicial (T_i), Temperatura Pico (T_p), Temperatura Final (T_f) y la entalpía de gelatinización (ΔH) del termograma resultante para cada muestra.

6.5.2. Absorción de agua. Los gránulos de almidón se hinchan por una absorción progresiva e irreversible de agua aumentando su tamaño. Esta característica se determinó por el método propuesto por Anderson *et al.*, (1969). En tubos de centrifuga tarados previamente, se prepararon 40 mL de suspensión de cada almidón al 1% (p/v), base seca, con agua destilada a 30 °C. Los tubos se llevaron a un baño con agitación magnética hasta alcanzar 60, 70, 80 y 90 °C, y se mantuvieron a cada temperatura durante 30 min.

Posteriormente, se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se utilizó una centrifuga Hermle Z300K a 2,500 rpm (2120 x g) durante 15 min. El gel resultante se pesó y la capacidad de absorción de agua (CAA) se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$CAA \left(\frac{\text{g agua}}{\text{g almidón}} \right) = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

6.5.3. Solubilidad y poder de hinchamiento. Debido a los puentes de hidrógeno intermoleculares, el almidón es insoluble en agua fría, tan sólo puede incrementar el volumen de sus gránulos o hincharse. Por otro lado, la abundancia de grupos hidroxilo en la molécula del almidón, lo motiva a absorber agua. Si el almidón se somete a temperaturas elevadas se romperán los puentes de hidrógeno de las zonas amorfas y los gránulos se hincharán mediante una absorción progresiva hasta llegar a la gelatinización. Si se sigue calentando se lleva a cabo la destrucción de los gránulos dando lugar a una dispersión coloidal viscosa de fragmentos de gránulos hinchados.

Estas propiedades fueron determinadas por la modificación del método original de Schoch (1964), realizada por Sathe *et al.*, (1981). En tubos de centrifuga tarados previamente, se prepararon 40 mL de una suspensión de almidón al 1% (p/v), base seca. Los tubos se incubaron en baños con agitación magnética a las temperaturas de 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 que contenían y se llevaron a centrifugar en un equipo Hermle Z300K a 2,500 rpm (2120 x g) durante 15 min. El sobrenadante se decantó y se pesaron los gránulos hinchados. Del sobrenadante se tomaron 10 mL y fueron colocados en charolas de aluminio y se secaron en una estufa de convección a 120 °C durante 4 horas. Por último, las muestras se colocaron en un desecador, se pesaron y se llevaron a cabo los cálculos correspondientes utilizando las siguientes fórmulas:

$$\% \text{Solubilidad} = \frac{\text{Peso del almidón soluble} \times 400}{\text{Peso de la muestra (b. s.)}}$$

$$\text{Poder de hinchamiento} \left(\frac{\text{g agua}}{\text{g almidón}} \right) = \frac{\text{Peso del sedimento} \times 100}{\text{Peso de la muestra (b. s.)} - (100 - \% \text{Solubilidad})}$$

6.5.4. Claridad de la pasta. La importancia de esta cualidad radica ya sea en la claridad, transparencia u opacidad de los geles y pastas formados. Se mide por la capacidad para transmitir la luz (porcentaje de transmitancia %T) cuando son sometidos al paso de un haz radiante y se relaciona con el estado de dispersión de los solutos y la tendencia a retrogradar el almidón. Para algunos productos resulta de vital importancia dicha característica, por ejemplo, la opacidad resulta deseable cuando se requiere destacar el color brillante de algunos productos; mientras tanto la transparencia es deseable para jaleas.

Se utilizó el método descrito por Bello-Pérez (1996). Se prepararon en tubos de ensayo con rosca suspensiones de cada almidón al 1% (p/p), base seca, en agua deionizada. Los tubos se colocaron en un baño a ebullición durante 30 min, con agitación magnética cada 5 min. Transcurrido dicho tiempo, los tubos se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Los geles formados se transfirieron a las celdas del espectrofotómetro de UV-VIS marca Jenway modelo 6305 y se determinó el %T a 650 nm; se utilizó como blanco agua deionizada.

6.5.5. Viscosidad aparente. Cualidad estética más importante tanto de pastas como de geles de almidón. Se encuentra ligada a la capacidad de absorción de agua que tienen los gránulos y al exudado de las fracciones de amilosa con el incremento de temperatura. La viscosidad aumenta hasta un máximo cuando existe calentamiento constante, luego disminuye ligeramente y vuelve a aumentar con el enfriamiento. Dichos cambios pueden ser registrados mediante el uso de diferentes instrumentos, como el viscoamilógrafo o viscosímetros.

Se determinó por el método de Ruales *et al.*, (1993). Primero, se prepararon suspensiones para cada almidón al 2.5% (p/v), en base seca, las cuales fueron transferidas al recipiente del viscoamilógrafo Brabender PT-100. La temperatura inicial de cada muestra se controló en 30 °C y posteriormente, en el equipo se inició el aumento de temperatura a una velocidad de 1.5 °C/min hasta 95 °C, manteniéndose en ésta durante 15 min. Se dejó enfriar la suspensión a una velocidad de 1.5 °C/min hasta 50 °C y se mantuvo a esta temperatura durante 15 min. Posteriormente, cada suspensión gelatinizada se transfirió a un vaso de precipitados y se midió su viscosidad a temperatura ambiente en un viscosímetro

Brookfield HADV-II+ PRO con un *spindle* número 2 y con un barrido en la velocidad de corte de 20 a 200 rpm.

6.6. Caracterización nutrimental. Su importancia radica en saber si el almidón representa una opción para la alimentación humana y/o si tiene un uso potencial en la industria alimentaria.

6.6.1. Almidón total. Su determinación se basa en dispersar el almidón en un medio alcalino, para que posteriormente se lleve a cabo la hidrólisis enzimática de los enlaces glicosídicos α -1,4 y α -1,6 correspondientes a la amilosa y amilopectina, respectivamente. Finalmente, por métodos espectrofotométricos se obtiene la cantidad de glucosa liberada tras la hidrólisis; la cual es necesaria para calcular el contenido equivalente de almidón que la produjo. Así se lleva a cabo la cuantificación de las diversas fracciones de almidón, disponible y retrogradado.

Se determinó mediante el método de Tovar *et al.*, (1990). Se pesó por triplicado 500 mg de muestra seca en un vaso de precipitados, posteriormente, se suspendió cada muestra en 10 mL de agua destilada y se homogenizó mediante agitación magnética. Se añadieron 10 mL de hidróxido de potasio (KOH) 4 N y se mantuvo la suspensión a temperatura ambiente durante 30 min con agitación magnética cada 10 min. Se neutralizó la solución a un pH de 6.5-7 utilizando ácido clorhídrico (HCl) 5 M. Se añadieron 100 μ L de α -amilasa (A3306 SIGMA) y se llevó a ebullición por 20 min con agitación constante. Una vez transcurrido dicho tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente y tanto el agitador magnético como la solución se vertieron en un matraz aforado de 100 mL. Se llevó la solución al aforo y al estar en agitación magnética constante se tomaron 0.5 mL de la dilución realizada. Ésta se transfirió a un tubo de ensaye con 1 mL del tampón de acetato de sodio y se agregaron 25 μ L de la dilución de amiloglucosidasa (A9913 FLUKA) y acetato de sodio. Se mezcló el contenido del tubo cuidadosamente con un vortex y se incubó a 60 °C por 30 min agitando cada 10 min.

Una vez finalizado el tiempo, se transfirió nuevamente el contenido del tubo a un matraz aforado de 10 mL, se aforó y se tomó en un tubo de ensaye 100 μ L de la dilución siendo

mezclado con 2 mL del reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (G3660 SIGMA) en un baño a 37 °C. Se incubó a dicha temperatura durante 30 min y se adicionaron 2 mL de ácido sulfúrico 12 N. Por último, se leyeron las absorbancias a 540 nm en un espectrofotómetro de UV-VIS marca Jenway modelo 6305 y se realizaron los cálculos correspondientes utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Glucosa } \left(\frac{\text{mg}}{\text{dl}} \right) = \frac{(\text{Absorbancia de la muestra} - \text{Absorbancia del blanco})}{(\text{Absorbancia del estándar} - \text{Absorbancia del blanco})}$$

$$\% \text{ almidón} = \frac{(\text{mg de glucosa} \times 200 \times 0.9)}{\text{Peso de la muestra mg}} \times 100$$

Donde:

200 = dilución de 500 mg en 100 mL

0.9 = factor de transformación de glucosa a glucano

6.6.2. Almidón disponible. El método se utiliza para realizar una estimación sobre el contenido de almidón disponible al ataque de amilasa y amiloglucosidasa. Primeramente, se debe realizar una dispersión del almidón en agua hirviendo para excluir la solubilización de fracciones que han sufrido una retrogradación. Después se hidroliza por medio de las enzimas antes mencionadas y finalmente, haciendo uso de la espectrofotometría se obtiene la cantidad de glucosa liberada tras la hidrólisis; la cual es necesaria para calcular el contenido equivalente de almidón que la produjo.

Se llevó a cabo mediante la técnica de Holm *et al.*, (1986). Primero, se pesó por triplicado 500 mg de muestra seca en un vaso de precipitados. Posteriormente, se suspendió cada muestra en 20 mL de agua destilada y se homogenizó mediante agitación magnética. Se utilizó un potenciómetro Conductronic modelo pH10 para mantener el pH de la solución entre 6 y 7. Se añadieron 100 µL de α-amilasa (A3306 SIGMA) y se llevó a ebullición por 20 min con agitación constante. Una vez transcurrido dicho tiempo, se dejó enfriar a temperatura ambiente y tanto el agitador magnético como la solución se vertieron en un matraz aforado de 100 mL. Se llevó la solución al aforo y al estar en agitación magnética constante se tomaron 0.5 mL de la dilución realizada. Ésta se transfirió a un tubo de ensaye con 1 mL del tampón de acetato de sodio y se agregaron 25 µL de la dilución de

amiloglucosidasa (A9913 FLUKA) y acetato de sodio. Se mezcló el contenido del tubo cuidadosamente con un vórtex marca IKA modelo 4 digital y se incubó a 60 °C durante 30 min, agitando cada 10 min.

Una vez finalizado el tiempo, se transfirió nuevamente el contenido del tubo a un matraz aforado de 10 mL. Se aforó y se tomó en un tubo de ensaye 100 µL de la dilución para mezclarse con 2 mL del reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (G3660 SIGMA) en un baño a 37 °C. Se incubó a dicha temperatura durante 30 min y se adicionaron 2 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) 12 N.

Por último, se leyeron las absorbancias a 540 nm en un espectrofotómetro de UV-VIS marca Jenway modelo 6305. Finalmente para los cálculos correspondientes se tomaron en cuenta las siguientes fórmulas:

$$\text{Glucosa } \left(\frac{\text{mg}}{\text{dl}}\right) = \frac{(\text{Absorbancia de la muestra} - \text{Absorbancia del blanco})}{(\text{Absorbancia del estándar} - \text{Absorbancia del blanco})}$$

$$\% \text{ almidón} = \frac{(\text{mg de glucosa} \times 200 \times 0.9)}{\text{Peso de la muestra mg}} \times 100$$

Donde:

200 = dilución de 500 mg en 100 mL

0.9 = factor de transformación de glucosa a glucano

El contenido de almidón resistente se obtuvo mediante la diferencia del contenido de almidón total menos el almidón disponible según Tovar *et al.*, (1990).

$$\text{Almidón Resistente} = \text{Almidón total} - \text{Almidón disponible}$$

6.6 Análisis Estadísticos.

Se efectuó el análisis de varianza de una vía, así como la comparación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5% para los resultados obtenidos de cada prueba físico-química y nutrimental. Se utilizó el software computacional OriginalLab® 8.0 y Minitab® 15.1.20.0. de acuerdo a los métodos señalados por Montgomery (2004).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la caracterización de los almidones de malanga estudiados en el presente trabajo. Se considera conveniente comentar que algunos valores encontrados dentro este análisis fueron comparados con aquellos obtenidos para almidón de *Manihot esculenta* (yuca), la cual fue adquirida con los mismos productores de la malanga, y procesada de manera conjunta a estos tubérculos. A pesar de que la yuca es una raíz, se hizo el comparativo de algunas de las propiedades ensayadas porque es uno de los almidones no convencionales más comercializados a nivel internacional en la actualidad.

7.1. Extracción del almidón.

Durante el proceso llevado a cabo para la obtención del almidón existió un comportamiento atípico de parte de los almidones de malanga ya que no mostraron una separación de fases (sobrenadante-almidón) después de haber transcurrido 24 hrs a una temperatura de 4 °C, por lo que se tuvo que recurrir al uso de la centrifuga Mistral 3000i durante 20 min a 2,500 rpm (2120 x g) y 5 °C, únicamente de esta manera se logró llevar a cabo la sedimentación del almidón y su recolección.

7.2. Caracterización físico-química.

7.2.1. Tamaño y forma del gránulo. Como puede observarse en la Figura 7, tanto los gránulos de almidón de *C. antiquorum* (malanga Coco), como los de *C. esculenta* (malanga Isleña y malanga Edoes) mostraron una forma elipsoidal-truncada que coincide con lo reportado por Odeku (2013) para la especie de *C. esculenta* cultivada en África. Mientras tanto, para *M. esculenta* (yuca), también cultivada en el estado de Oaxaca, la forma de los gránulos fue esférica-truncada, similar a la reportada por Hernández-Medina *et al.*, (2008).

Lamadrid-Avendaño *et al.*, (2009) reportaron que a menor tamaño del gránulo de almidón la velocidad de hidrólisis aumenta pues se presenta una mayor área superficial para el ataque enzimático, por lo que estos almidones podrían utilizarse como posibles sustratos para la producción de diferentes compuestos de interés industrial, entre ellos, las dextrinas, ciclodextrinas, fructosas, entre otros. Además un tamaño pequeño de gránulo influye de manera positiva en la digestibilidad y biodisponibilidad del mismo, siendo apropiado para la formulación de alimentos para niños y personas en convalecencia (Barreto *et al.*, 2012).

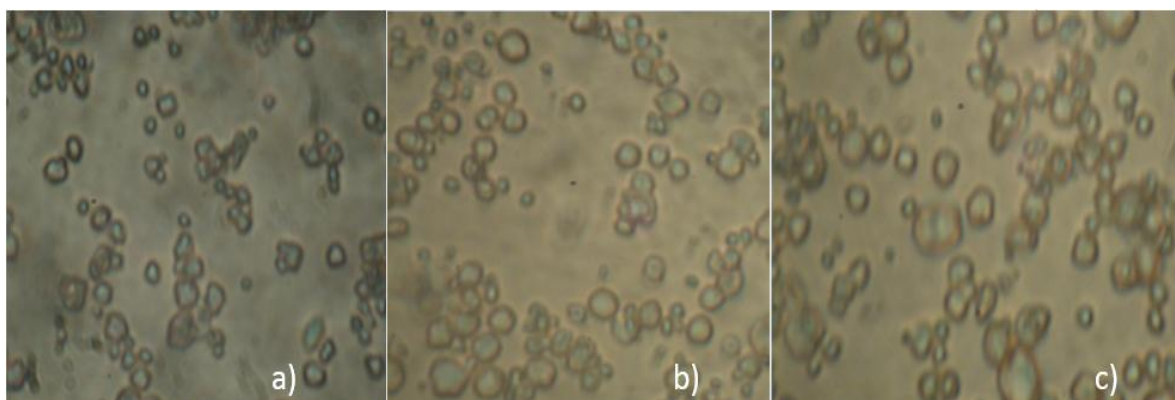


Figura 7. Microfotografías de los gránulos de almidón de a) M. Coco, b) M. Isleña y c) M. Edoes.

7.2.2. Composición proximal. En la Tabla 10 se muestra la composición proximal de los almidones estudiados. Respecto al contenido de humedad, la malanga Coco tuvo el mayor porcentaje (10.92%), en comparación al presentado por los almidones de la malanga Isleña y Edoes, así como el de yuca (menores al 7% de humedad), en base a esto, el almidón de la malanga Coco requeriría un mayor gasto energético para su secado (tiempo de secado, humedad del aire, etc.).

Se obtuvo el mayor porcentaje de cenizas para los almidones procedentes de la especie *C. esculenta*, dicho porcentaje está relacionado con un aumento en el contenido de minerales en estos almidones (Alvis *et al.*, 2008). Además no se encontró diferencia significativa

($P > 0.05$) entre ellos, pero sí al realizar la comparación con los almidones de *C. antiquorum* y *M. esculenta*.

Se encontró diferencia estadística ($P < 0.05$) en el contenido de proteína cruda entre la yuca (0.047%) y los almidones de malanga Coco (2%), Isleña (1.94%) y Edoes (1.62%), sin embargo, para el almidón de las dos especies de malanga no se obtuvo diferencia estadística ($P > 0.05$). Con base en estos resultados podemos decir que el único almidón que cumple con los límites de proteína cruda establecidos por la FDA (0.35%) para su uso en la producción de jarabes ricos en glucosa es el de yuca. Por otro lado, Mweta *et al.*, (2010) reportaron para almidones de malanga de *C. esculenta* cultivada en Malawi un contenido de proteína en un intervalo del 5 a 8 %, lo cual es de 2.5 a 3 veces más respecto a lo encontrado para los cormos de *C. antiquorum* y cormelos de *C. esculenta* estudiados en este proyecto.

La cantidad de lípidos presentes en los almidones de malanga Coco, malanga Edoes y yuca fueron bajos, pero en el caso de la malanga Isleña dicho contenido fue superior al 1%, el cual ha sido reportado como un valor alto para tubérculos (Gúzar-Miranda, 2009), lo que podría provocar rancidez en las grasas presentes en el almidón durante su almacenamiento.

En cuanto al porcentaje de fibra cruda no se encontró diferencia significativa ($P > 0.05$) entre los cuatro almidones estudiados y los valores encontrados se mantuvieron por debajo del 0.021%. Es sabido que existen diferentes factores que afectan el contenido de fibra cruda como es la fuente de obtención y el estado de madurez (a mayor madurez mayor contenido de fibra), según Guitérrez-Freire (1980).

Con la finalidad de disminuir el nivel de contaminantes presentes en los almidones obtenidos, especialmente si se planea comercializarlos como sustrato para la producción de edulcorantes, se hace necesario rediseñar su proceso de obtención.

Tabla 10. Composición proximal, contenido de amilosa y amilopectina aparente para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes, y de la Yuca (% B.S.).

CARACTERÍSTICA (%)	M.Coco	M.Isleña	M.Edoes	Yuca
Humedad	10.29±(0.06) ^a	4.75±(1.06) ^b	4.34±(0.20) ^b	6.40±(0.11) ^c
Cenizas	0.18±(0.02) ^a	0.36±(0.04) ^b	0.31±(0.04) ^b	0.03±(0.01) ^c
Proteína cruda	2.00±(0.10) ^a	1.94±(0.11) ^a	1.62±(0.28) ^a	0.05±(0.01) ^b
Grasa cruda	0.05±(0.01) ^a	1.13±(0.02) ^b	0.12±(0.03) ^a	0.07±(0.01) ^a
Fibra cruda	0.01±(0.00) ^a	0.02±(0.01) ^a	0.02±(0.01) ^a	0.02±(0.00) ^a
Extracto Libre de Nitrógeno	97.76±(0.06) ^a	96.56±(0.22) ^a	97.93±(0.10) ^a	99.82±(0.27) ^a
Amilosa	13.05±(0.10) ^a	14.78±(0.14) ^b	16.54±(0.07) ^c	23.88±(0.88) ^d
Amilopectina	86.95±(0.10) ^a	85.22±(0.14) ^b	83.46±(0.07) ^c	76.12±(0.88) ^d

^{a-d} Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística (P<0.05).

7.2.3. Contenido de amilosa y amilopectina aparente. El contenido de amilosa presente en el almidón obtenido a partir de cada una de las tres variedades de malanga estudiadas osciló entre el 13.5 y 16.5% (Tabla 10), el cual fue menor al reportado por Antonio-Estrada *et al.*, (2009) para el almidón de malanga de la especie *C. esculenta* (26.92%), y el de otros tubérculos como el de makal (23.6%), camote (19.6%), sagú (22.7%) y yuca (17%) reportados por Hernández-Medina *et al.*, (2008), al igual que para el almidón de maíz blanco (27%), maíz azul (20%) y maíz negro (22%), según Agama-Acevedo *et al.*, (2005) y para el almidón de papa con 22% (González-Sánchez, 2007).

Se ha reportado que los almidones ricos en amilosa, como el obtenido para la yuca (23.88%), presentan buenas propiedades mecánicas (tensión, deformación, rigidez, elasticidad), son menos solubles y pueden formar geles opacos (Guízar-Miranda, 2009), además de que a mayor contenido de amilosa, la fuerza adhesiva del almidón también será mayor, pudiendo ser utilizados en la industria papelera (Rampton, s.f.).

Se encontró diferencia significativa (P<0.05) entre los almidones de malanga y de yuca estudiados. Se sabe que los cambios en el contenido de amilosa entre una misma especie se

pueden atribuir según Graziano *et al.*, (1992) a las prácticas agronómicas y el medio ambiente pero lo reportado por Utrilla-Coello (2007) indica que dicho porcentaje es proporcional al tamaño del gránulo y a la madurez de la planta de la cual se obtuvo el almidón.

7.3. Caracterización funcional.

7.3.1. Temperatura de gelatinización. Se obtuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) para la Temperatura inicial (T_i), Temperatura pico (T_p), Temperatura final (T_f) así como para el cambio de entalpía (ΔH) correspondiente al almidón de yuca en comparación con los valores encontrados para los tres almidones de malanga. Estos últimos tuvieron T_p 's mayores que aquellas reportadas por Vargas-Aguilar *et al.*, (2012) para el almidón de maíz (62.3 °C), papa (60.0 °C) y ñame (75 °C), por lo que los almidones de malanga serían recomendables para su incorporación en productos que requieran ser sometidos durante su procesamiento a elevadas temperaturas, como es el caso de productos enlatados cuyos tiempos y temperaturas de calentamiento deben ser suficientes para esterilizar el alimento (Cob-Calán, s.f.). La T_p para el almidón de yuca fue 10 °C mayor a la reportada por otros autores para este mismo almidón, la cual se encuentra entre 61-63 °C (Alvis, 2008; Karam *et al.*, 2006) pero menor en 1.2 veces comparada a la encontrada para los tres almidones de malanga. No obstante de que el tamaño de cristal es superior en gránulos de almidón grandes, como en el caso del camote (16.5 μm) y yuca (10.64 μm), los gránulos pequeños como los de malanga (0.5-5 μm) poseen cristales más perfectos, cuyas temperaturas de gelatinización son más altas (Narváez-González *et al.*, 2007), sin embargo, el factor que incide de forma más importante en alcanzar temperaturas de gelatinización mayores, sin duda, es la estructura molecular de la amilopectina (grado de ramificación, longitud de sus cadenas, peso molecular y polidispersidad) así como la relación región amorfa: región cristalina en la estructura que presentan los almidones (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005).

Tabla 11. Temperatura y entalpía de gelatinización de los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes, y de la Yuca (% B.S.).

Almidones	Ti (°C)	Tp (°C)	Tf (°C)	ΔH (J g ⁻¹)
M.Coco	72.86±(3.41) ^a	82.91±(0.05) ^a	93.05±(1.85) ^a	20.48±(0.57) ^a
M.Isleña	75.58±(0.95) ^a	84.54±(1.39) ^a	92.95±(0.50) ^a	26.39±(1.68) ^a
M.Edoes	76.36±(0.48) ^a	83.75±(0.24) ^a	93.11±(0.68) ^a	29.26±(0.39) ^a
Yuca	63.44±(0.26) ^b	70.30±(0.00) ^b	81.39±(0.17) ^b	22.14±(0.38) ^b

^{a-b} Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística (P<0.05).

En las Figuras 8, 9, 10 y 11 se muestra uno de los termogramas obtenidos por triplicado a través de la Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB) correspondiente al almidón de las dos especies de malanga y de la yuca, en ellos se puede apreciar el comportamiento de los mismos a través del intervalo de temperaturas ensayado.

Mediante la realización de la CDB se puede medir la energía absorbida o liberada por una muestra cuando ocurre una transición de fase (Rodríguez-Sandoval *et al.*, 2006). En la Figura 8, que corresponde a la muestra de almidón de la malanga Coco la transición de fase se obtuvo en un intervalo de temperatura de los 72.86 a los 93.05 °C, siendo mayor que para la malanga Isleña (75.58 a 92.95 °C), para la malanga Edoes (76.36 a 93.11 °C) y para la yuca (63.44 a 81.39 °C). Además, al comparar los picos más pronunciados en cada termograma y que corresponden a la T_p puede observarse que la especie *C. antiquorum* (malanga Coco) tuvo el menor valor con 82.91 °C en comparación con la *C. esculenta*, cuyos valores para el almidón del corno (malanga Isleña, Figura 9) y de los cormelos (malanga Edoes, Figura 10) se encontraron por arriba de los 83 °C.

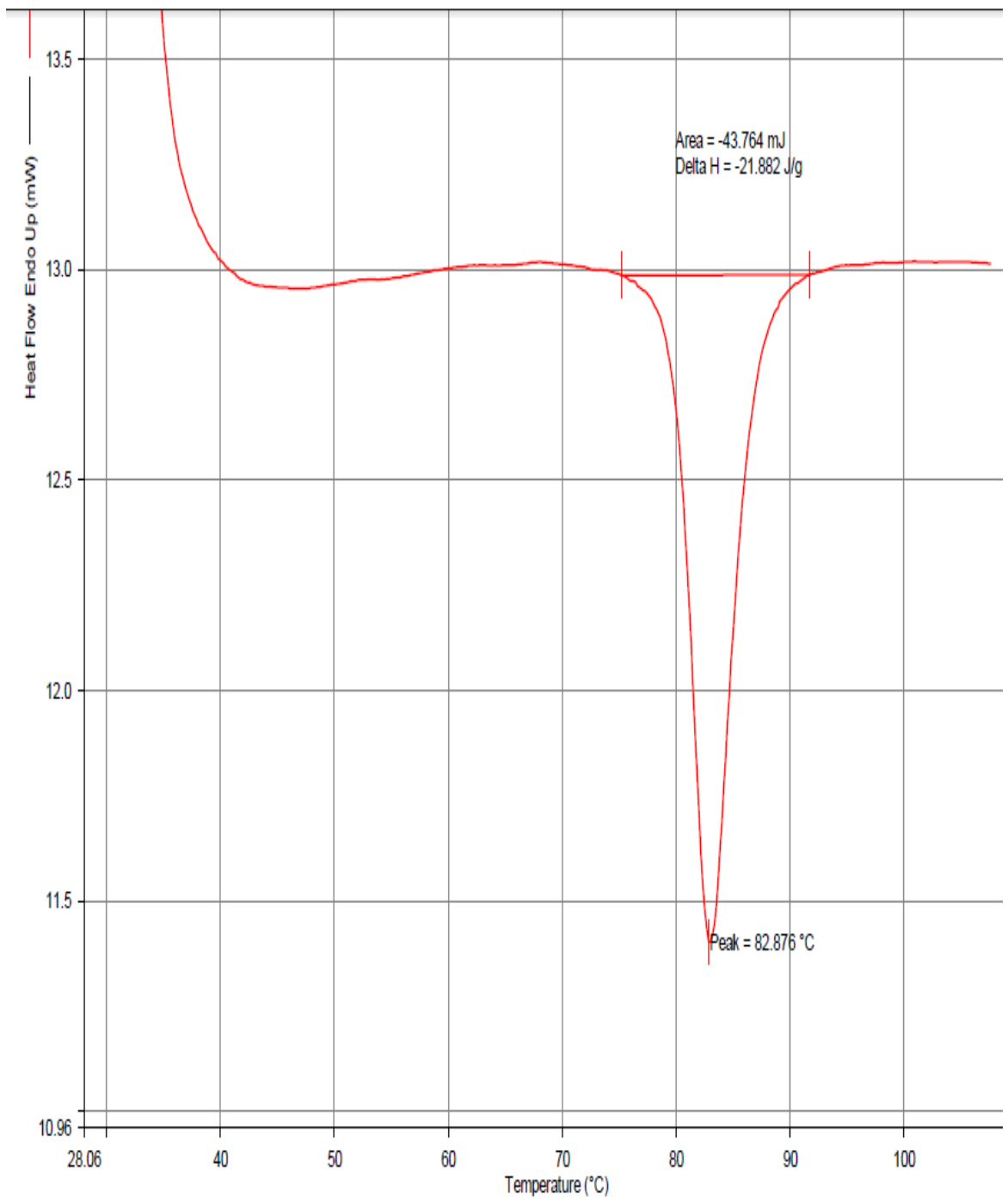


Figura 8. Termograma de almidón de M. Coco.

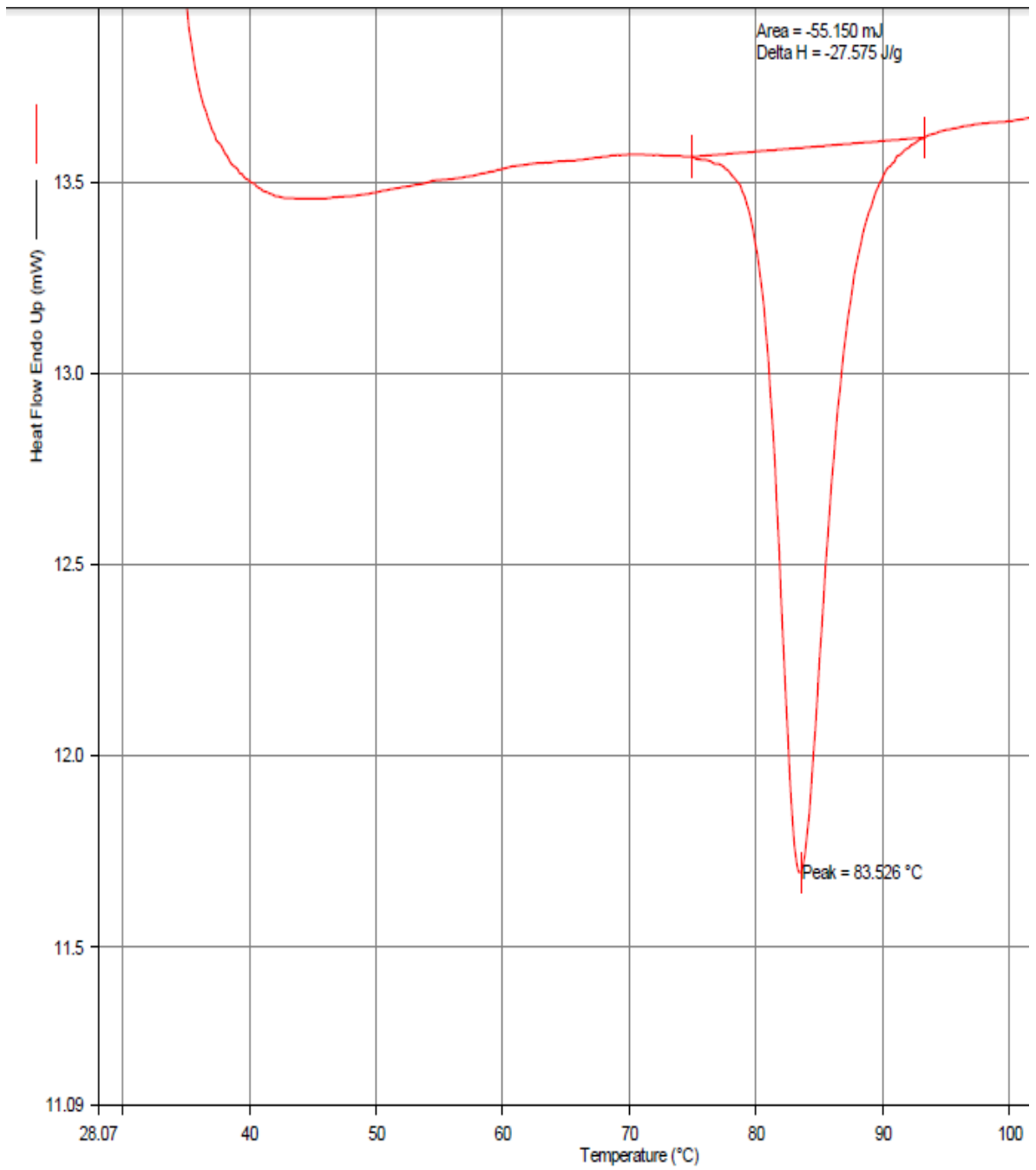


Figura 9. Termogramas de almidón de M. Isleña.

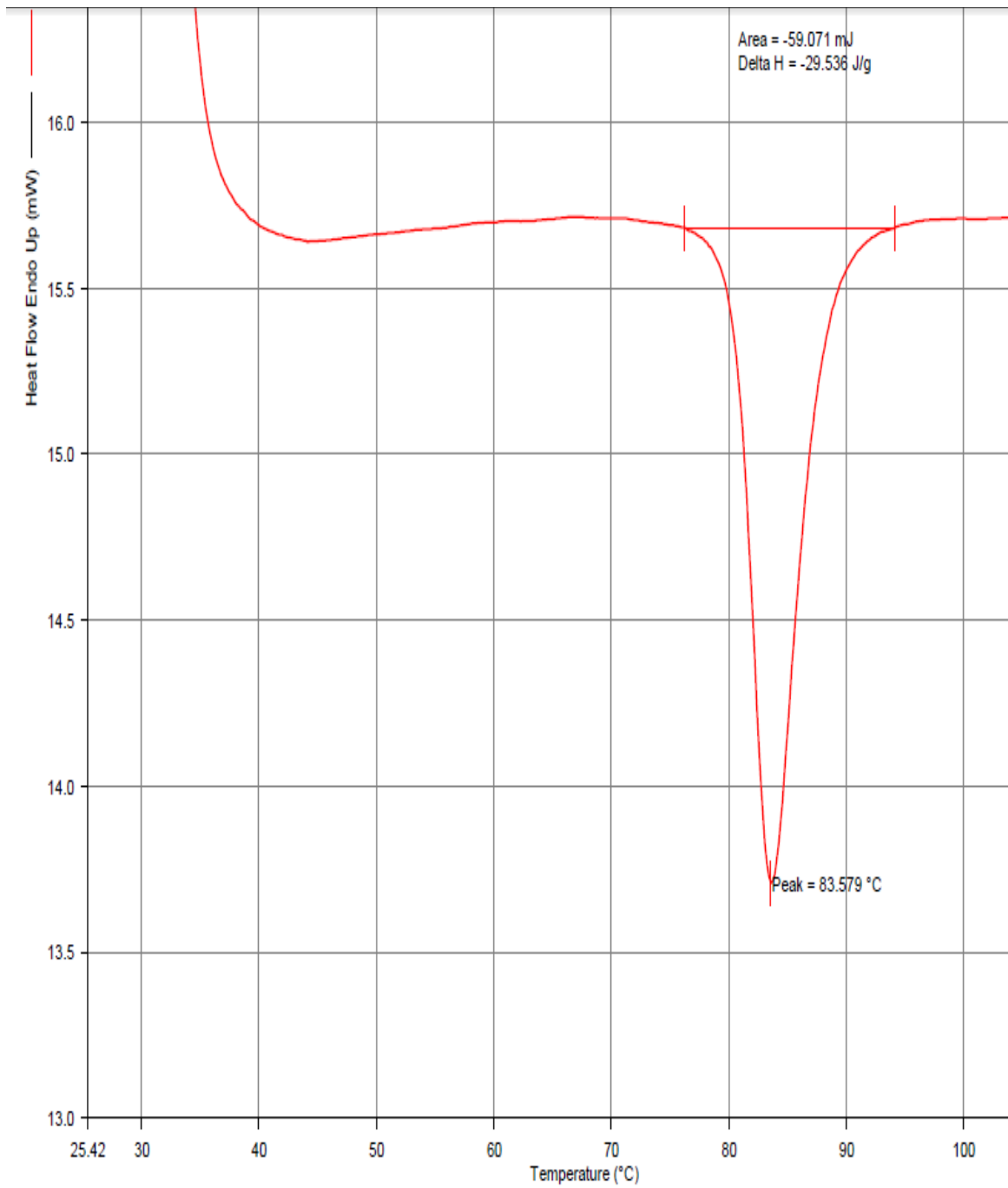


Figura 10. Termogramas de almidón de M. Edoes.

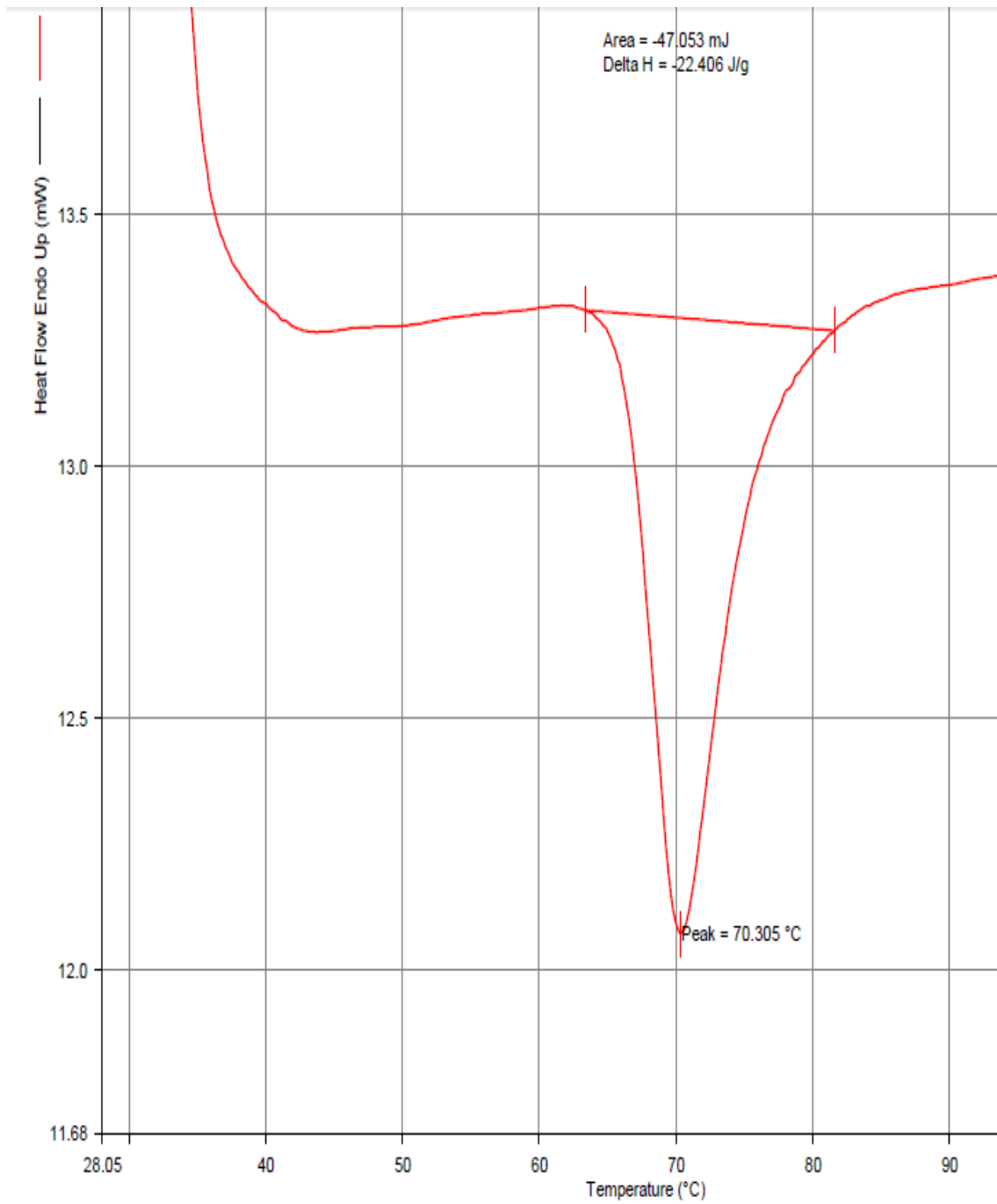


Figura 11. Termogramas de almidón de Yuca

En los termogramas de almidón de malanga Isleña y malanga Edoes obtenido a partir de los cormos (Figura 9) y de los cormelos (Figura 10), respectivamente, se observaron temperaturas muy similares, tanto en T_i como en T_p y en la T_f . Esto pudo deberse a que los dos tubérculos provienen de una misma planta, como ya se mencionó anteriormente.

Para el almidón de yuca (Figura 11) se observó que la temperatura a la cual se llevó a cabo el hinchamiento irreversible del gránulo, así como la alteración estructural por la pérdida de la birrefringencia y cristalinidad fue de 70.3 °C. En cuanto al valor positivo de la ΔH obtenido para todas las muestras de almidones, nos indica que ocurrió una reacción endotérmica. Según Espinosa-Solis (2008) esto corresponde a la disociación de las moléculas de almidón, las cuales se encuentran en un principio en una conformación con dobles hélices y después pasan a una conformación amorfa. Los tres almidones de malanga tuvieron valores de ΔH mayores que los reportados por Agama-Acevedo *et al.*, (2005) para el almidón de maíz blanco (18.5 Jg⁻¹), maíz azul (19 Jg⁻¹) y maíz negro (18.9 Jg⁻¹) lo que indica que los almidones de malanga tienen un alto grado de cristalinidad, lo cual hace más resistente al gránulo frente a la gelatinización, requiriendo mayor energía para lograr el cambio de fase que dicho proceso conlleva (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005).

7.3.2. Absorción de agua. En la Figura 12 se puede apreciar que la capacidad de absorción de agua (CAA) para todos los almidones estudiados en el presente trabajo aumentó proporcionalmente con la temperatura. Se observó que la máxima absorción de agua para el caso de los almidones de malanga se dio en el intervalo de temperatura de 60 a 70 °C; para el caso del almidón de yuca fue de los 80 a los 90 °C, lo que concuerda con lo reportado para el almidón de yuca reportada por Hernández-Medina *et al.*, (2008). Los almidones que mostraron la mayor CAA fueron los obtenidos a partir de yuca y de malanga Coco, siendo menor, aproximadamente 5 unidades, para los almidones de malanga Isleña y Edoes. Estos últimos almidones tuvieron un valor similar de CAA a los 90° C, con 19.67 g agua/g almidón y 18.40 g agua/g almidón, respectivamente, lo cual puede deberse a que ambos tubérculos provienen de la misma planta de malanga, como ya fue señalado anteriormente. A continuación se resumen los datos de CAA a las diferentes temperaturas ensayadas y para cada muestra de almidón analizada.

Reyes-Vega *et al.*, (2009) reportaron que para la industria harinera se precisan de gránulos que eviten la pérdida de agua durante la cocción, por lo que se recomienda el almidón de malanga Coco que mostró la mayor CAA desde el calentamiento de los 70 hasta los 90 °C, mientras tanto en la industria botanera se requieren bajas CAA para obtener mayor crujencia en el producto, por lo que los almidones de malanga Isleña y Edoes pudieran ser útiles a este fin al absorber cantidades menores a los 5 g agua/g almidón al seguir incrementando la temperatura.

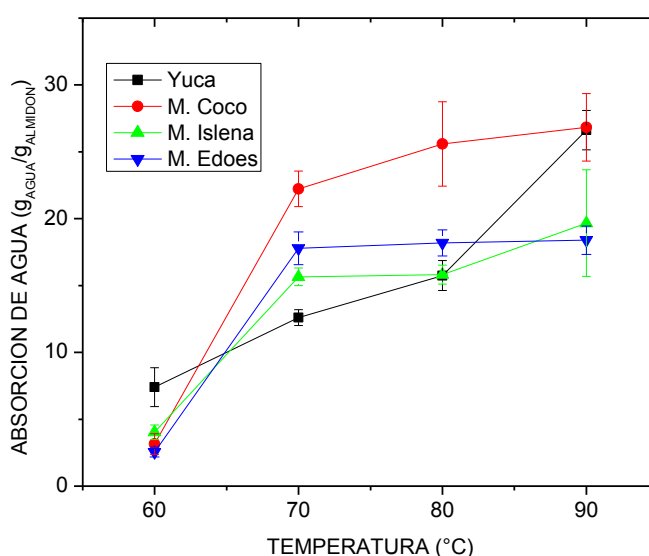


Figura 12. Capacidad de absorción de agua de los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.

7.3.3. Solubilidad y poder de hinchamiento. Para el porcentaje de solubilidad se observó que mientras mayor sea la temperatura también lo es el porcentaje de solubilidad de los almidones de malanga Coco e Isleña (Figura 13), no siendo el caso para la malanga Edoes, la cual mostró valores sin ninguna diferencia estadística ($P > 0.05$) a partir de los 70 °C al seguir incrementando dicho parámetro.

Los cambios en el poder de hinchamiento del almidón de yuca y malangas se muestran en la Figura 14. Los gránulos de almidón de yuca tuvieron un hinchamiento menor a 13.5 g agua/g almidón a la temperatura de los 60 a los 70 °C, sin embargo, a los 90 °C se obtuvo

un incremento en esta propiedad de aproximadamente 2.2 veces llegando hasta 48.50 g agua/g almidón aunque se apreció también una desviación estándar mayor entre sus datos. Para el almidón de malanga Edoes se tuvo un poder de hinchamiento sin diferencia significativa ($P>0.05$) desde los 70 °C hasta los 80 °C, mientras tanto el poder de hinchamiento de la malanga Isleña no mostró una diferencia significativa ($P>0.05$) entre sus valores en el intervalo de los 70 °C a los 80 °C, a partir de ahí tuvo un incremento de 1.7 veces hasta llegar a los 90 °C con 29.22 g agua/g almidón. El almidón de la malanga Coco tuvo un comportamiento similar al Taro Chino reportado por Aprianita *et al.*, (2009) donde a partir de los 72.86 °C, correspondientes a la temperatura de inicio de gelatinización (T_i), existió un aumento en el poder de hinchamiento de los gránulos.

Debido a su alto poder de hinchamiento, los almidones de la malanga Coco y de la yuca podrían ser empleados en la elaboración de embutidos cocidos, también, por su alta solubilidad podrían ser empleados en la elaboración de películas biodegradables o comestibles.

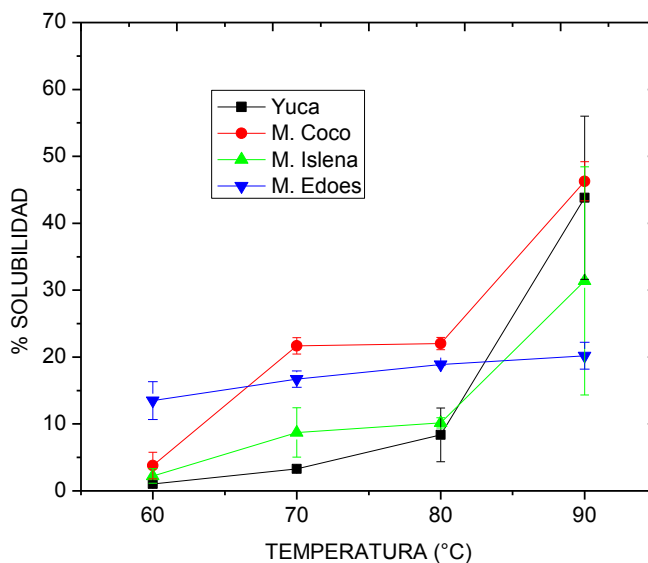


Figura 13. Solubilidad para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.

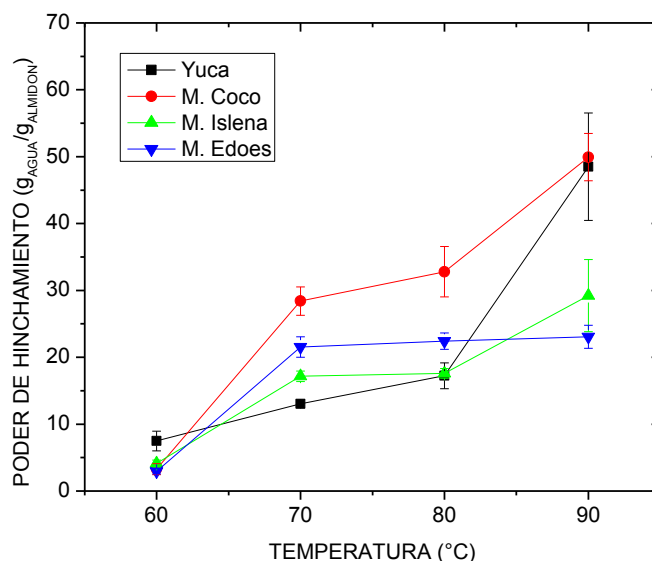


Figura 14. Poder de hinchamiento para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.

7.3.4. Claridad. Se obtuvieron los siguientes valores de transmitancia para los almidones de yuca, malanga Coco, malanga Isleña y malanga Edoes: 10.2%, 0.3%, 1.03% y 1.63%. Novelo-Cen *et al.*, (2005) reportaron que los almidones con mayor poder de hinchamiento y menor contenido de amilosa son fácilmente dispersados, por lo tanto su claridad tiende a incrementar. Siguiendo esta teoría, el almidón de malanga Coco debido de tener el mayor porcentaje de transmitancia al presentar los mayores valores de poder de hinchamiento desde los 70 °C y cuyo contenido de amilosa (13.05%) fue el menor de todos los almidones, sin embargo, este comportamiento no ocurrió por lo que una posible explicación son los altos porcentajes de contaminantes (cenizas, proteínas, grasas, fibra) que fueron reportados en la composición proximal (Tabla 10) en comparación con los valores encontrados para el almidón de yuca, que si bien tuvo el mayor contenido de amilosa (23.88%) respecto de los almidones de malanga, sus contaminantes están por debajo de los 0.06%. Tomando en cuenta que el almidón de yuca presentó el mayor porcentaje de transmitancia (claridad) podemos recomendar su incorporación en alimentos que por su naturaleza son translúcidos por ejemplo las mermeladas y jaleas, mientras tanto, para los almidones de las dos especies de malanga cuyos valores fueron menores podrían ser usados

en alimentos más opacos como en aderezos, mayonesas, productos cárnicos y embutidos, bebidas concentradas tipo néctar y productos de panificación (Hernández-Medina *et al.*, 2008).

7.3.5. Viscosidad aparente. La viscosidad aparente para el caso de los tres almidones de malanga osciló entre los 100 y 200 cp a lo largo del intervalo de temperaturas ensayados tal y como se aprecia en la Figura 15, estas viscosidades pueden ser útiles si se desean incorporar los almidones de malanga en harina destinada para la elaboración de tortillas, pues en esta industria se requieren bajas viscosidades para evitar que se produzca la adhesividad de la masa y con ello aumente la dificultad del troquelado de la tortilla (Reyes-Vega *et al.*, 2009).

Para el caso del almidón de yuca, la viscosidad disminuyó conforme se incrementó la velocidad del viscosímetro, pero siempre con valores mayores de viscosidad con respecto a los observados para el almidón de malanga, pues se ha reportado que tamaños de gránulo más grandes desarrollan altas viscosidades (Narváez-González *et al.*, 2007). La alta viscosidad del almidón de yuca (237-408 cp) lo hace una fuente alternativa importante para su uso en aplicaciones de alimentos en donde se desea un alto poder espesante como papillas, concentrados, entre otros.

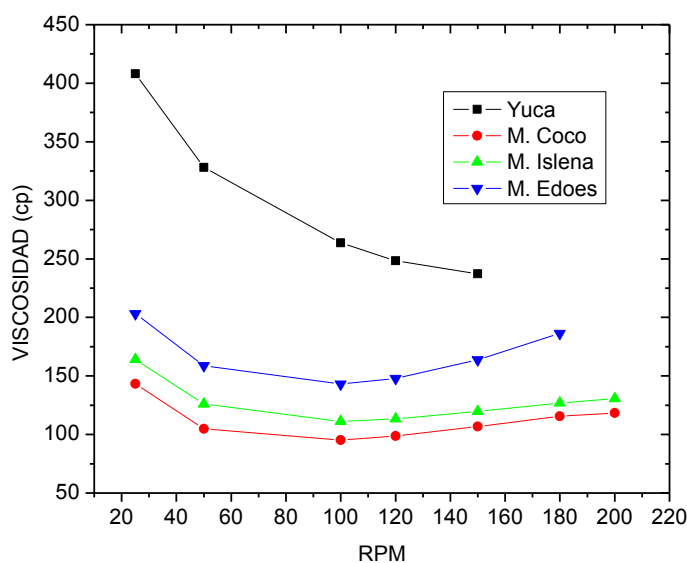


Figura 15. Viscosidad aparente para los almidones de las tres variedades de malanga: M. Coco, M. Isleña, M. Edoes y de la Yuca.

7.4. Características nutrimentales

Almidón total. No existió diferencia significativa ($P > 0.05$) en el contenido de almidón total para las dos especies de malanga *C. antiquorum* y *C. esculenta*, al obtenerse valores de 97.10%, 97.01% y 97.88% para la malanga Coco, malanga Isleña y malanga Edoes (Tabla 12), respectivamente. Es posible decir que la pureza de los almidones de las tres malangas estudiadas fue alta, representando el 97% de su contenido, el cual es susceptible de aumentar mejorando el proceso de fraccionamiento de los tubérculos. Además según lo reportado por Espinosa-Solis (2008) el contenido de almidón total correspondiente al maíz (97.8%) fue el mismo que el obtenido para la malanga Edoes. Mientras tanto, la malanga Coco y la malanga Isleña presentaron valores mayores que otras fuentes no convencionales de almidón como son el mango (96.6%) y el plátano (96.8%). Asimismo las dos especies de malangas presentaron un mayor porcentaje de almidón total en comparación con lo reportado para Taro Chino (80.1%) y ñame (76.1%) por Aprianita *et al.*, en el 2009. Por su parte, Agama-Acevedo *et al.*, (2005) reportaron los siguientes porcentajes de almidón total para el almidón de maíz blanco (66.2%), maíz azul (73.5%) y maíz negro (79.2%) valores

menores en 1.2 a 1.5 veces en comparación con los tres almidones de malanga estudiados en este trabajo. Con base en los altos porcentajes de almidón total obtenidos, los tres almidones de malanga podrían utilizarse en la industria dedicada al aislamiento del polisacárido (Méndez-Montealvo *et al.*, 2005).

Almidón disponible. Se obtuvo un porcentaje de almidón disponible por arriba del 93% para todas las malangas estudiadas (Tabla 12), no se tuvo diferencia significativa ($P>0.05$). Como se mencionó para el caso del almidón total, el porcentaje de almidón disponible en todas las muestras estudiadas puede aumentar al mejorar el proceso de obtención de los almidones. Este parámetro es importante debido a que su valor es indicativo del aprovechamiento que podrá tenerse de los almidones en la industria alimentaria al emplear procesos enzimáticos en la elaboración de jarabes edulcorantes.

Tabla 12. Propiedades nutrimentales de los almidones de las dos especies de malanga estudiadas: M. Coco, M. Isleña y M. Edoes, (% B.S.).

CARACTERÍSTICA (%)	M.Coco	M.Isleña	M.Edges
Almidón total	97.10±(0.12) ^a	97.01±(0.34) ^a	97.88±(0.20) ^a
Almidón disponible	93.47±(0.31) ^a	94.24±(0.27) ^a	94.44±(0.44) ^a
Almidón resistente	3.70±(0.43) ^a	2.50±(0.61) ^a	3.44±(0.33) ^a

^{a-b}Letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ($P<0.05$).

Almidón resistente. Como puede observarse en la Tabla 12 no existió diferencia significativa ($P>0.05$) en el contenido de almidón resistente entre las tres muestras de almidón de malanga. El almidón resistente es un parámetro importante en relación con su incorporación en productos alimenticios, pues un mayor porcentaje de éste se relaciona con diferentes beneficios para la salud de los consumidores. Ejemplo de ello es la reducción de glucosa en la sangre de los enfermos de diabetes, otro es la sensación de saciedad que causa en los individuos, ayudando así contra la obesidad (Vargas *et al.*, 2012).

9. CONCLUSIONES

1. Se extrajo el almidón de las especies de malanga *Colocasia antiquorum* (malanga Coco o Taro Chino) y *Colocasia esculenta* (malanga Isleña y malanga Edoes o Small taro). Para la eliminación del NaHSO_3 y del agua de lavado para los almidones de malanga no fue suficiente la sedimentación en frío, requiriéndose de la operación de centrifugación.
2. Se obtuvieron los datos fisicoquímicos para los almidones estudiados: la forma y tamaño de los gránulos, la composición proximal, así como el contenido de amilosa y amilopectina aparente.
3. Se determinaron las propiedades funcionales para cada uno de los almidones estudiados: gelatinización, absorción de agua, claridad de la pasta, viscosidad, solubilidad y poder de hinchamiento.
4. Los almidones de malanga mostraron una mayor temperatura de gelatinización en comparación con el almidón de yuca, obteniéndose la misma tendencia para la capacidad de absorción de agua desde los 60°C hasta los 80°C , siendo el mismo caso para el porcentaje de solubilidad así como para el poder de hinchamiento en el mismo intervalo de temperatura. Respecto a la viscosidad, se obtuvo un valor 2.0 veces menor para el caso de los almidones de malanga que para el almidón de yuca, manteniéndose casi constante en el intervalo de temperaturas ensayadas.
5. Los almidones de malanga mostraron un valor 6 veces menor para el valor de transmitancia en comparación con el almidón de yuca, esta opacidad pudo deberse a la gran cantidad de contaminantes que las muestras de almidón de malanga contenían.

6. Se cuantificó el almidón total y el almidón disponible para los almidones de yuca y malanga. Estos dos componentes pueden aumentarse en la muestra mejorando el proceso de fraccionamiento de los tubérculos.

7. Los resultados obtenidos para la malanga Coco, malanga Isleña, malanga Edoes, son importantes para la incorporación de estos almidones en el procesamiento de nuevos productos o para la sustitución de fuentes convencionales que proporcionan características menos ventajosas en el ámbito industrial de interés.

10. PERSPECTIVAS

Los puntos enunciados a continuación pueden ser considerados para complementar los resultados obtenidos en este trabajo.

1. Realizar los estudios de reología para conocer el comportamiento viscoso, el comportamiento elástico y la relación entre ellos, a través de las determinaciones de viscosidad amilográfica, firmeza del gel, propiedades de pastificación, así como la estabilidad de los almidones a la refrigeración y congelación.
2. Efectuar estudios moleculares y de estructura en los gránulos de almidón tales como la difracción de rayos X, distribución de la longitud de las cadenas de amilopectina, distribución del peso molecular, el radio hidrodinámico, el radio de giro, los tamaños de cristales, entre otros.
3. Llevar a cabo la extracción del almidón, así como la cuantificación de las propiedades físico-químicas y nutrimentales con tubérculos de diferentes tiempos de maduración para ver reflejada la influencia de éste factor en los resultados.
4. En base a la metodología establecida para la extracción del almidón a partir de tubérculos de malanga se deben realizar los cálculos de rendimiento correspondientes, tomando en cuenta los puntos críticos (el instante preciso en que es necesario tomar cuidados importantes durante el procedimiento) como son el pelado, centrifugado, molienda y tamizado del producto.

11. REFERENCIAS

- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., Paredes-López, O., Ortiz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L. A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*. 39: 419-429.
- Alvis, A., Vélez, C.A., Villada, H. y Rada-Mendoza, M. (2008). Análisis fisicoquímico y morfológico de almidones de Ñame, Yuca y Papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*. 19(1): 19-28.
- Anderson, R., Conway, H., Pheistr, V. & Griffin, E. (1969). Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today*. 14, 4, 12.
- Antonio-Estrada, C., Bello-Pérez, L. A., Martínez-Sánchez, C. E., Montañez-Soto, J. L., Jiménez-Hernández, J. & Vivar-Vera, M. A. (2009). Enzymatic production of maltodextrins from Taro (*Colocasia esculenta*) starch. *CyTA-Journal of Food*. 7(3): 233-241.
- AOAC. (1997). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (Ed.). USA.
- Aprianita, A., Purwandari, U., Watson, B. & Vasiljevic, T. (2009). Physico-chemical properties of flours and starches from selected commercial tubers available in Australia. *International Food Research Journal*. 16: 507-520.
- Badui-Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4a ed., pp. 94–105). Pearson.
- Barreto, S. A., Rojas de Gascue, B., Prin, J. L., Pérez, E. y Ortiz, S. (2012). Necesidad de sustitución de las fuentes tradicionales de almidón: avances en los estudios de gránulos de almidón obtenidos de Ocumo chino (*Colocasia esculenta* L schott) y de sus mezclas con Canavalia (*Canavalia ensiformis*). *Rev. LatinAm. Metal. Mat.* S5: 12-15
- Bello-Pérez, L. & Paredes-López, O. (1996). Starch and amilopectin-effects of solutes on clarity of pastes. *Starch*. 48(6): 205-207.
- Bello-Pérez L. A, González-Soto R. A. y Vargas-Torres, F. (2006). Extrusión de almidones de fuentes no convencionales para la producción de almidón resistente. *Agrociencia*. 40(4): 441-448.
- Benítez- Tovar, T. (2008). Caracterización morfológica y térmica del almidón de maíz (*Zea mays* L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento. Tesis de Licenciatura.

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.

- Casarrubias-Castillo, M. G., Méndez-Montealvo, G., Rodríguez-Ambriz, S. L., Sánchez-Rivera, M. M. y Bello-Pérez, L. A. (2012). Diferencias estructurales y reológicas entre almidones de frutas y cereales. *Agrociencia*. 46:455-466.
- Centro de Integración de la Agroindustria de las Raíces y Tubérculos Tropicales. (2013). Información general sobre el Taro o malanga Coco (*Colocasia antiquorum*) y la malanga Isleña y Edoes (*Colocasia esculenta*). Oaxaca, México.
- Cruz, A. E. (2010). Extracción de almidón del banano verde (*Musa Sapientum* variedad Cavendish) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- García-Casal, M. N. (2007). La alimentación del futuro: Nuevas tecnologías y su importancia en la nutrición de la población. *Anales Venezolanos de Nutrición*. 20(2): 108-114.
- García-Luna, I. N. (2003). Caracterización fisicoquímica y funcional de los residuos fibrosos de mango criollo (*Mangifera indica* L) y su incorporación en galletas. Tesis de Licenciatura. Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- González-Vega, M. E. (2012): El Ñame (*Dioscorea spp.*). Características, usos y valor medicinal. Aspectos de importancia en el desarrollo de su cultivo. *Cultrop*. 33(4). La Habana.
- Graziano, T., Machado de campos, D. & Figueiredo-Ribeiro, R. (1992). Characterization of starch of the underground system of *Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott (*Araceae*) during plant development. *R. Bras Fisiol. Veg.* 4(1):7-10. Seção de Fisiologia e Bioquímica de Plantas, Instituto de Botânica, S.E.M.A., São Paulo, Brasil.
- Guitérrez-Freire, V. H. (1980). Inventario y valor nutritivo de las principales especies forrajeras de la provincia de Carchi. Tesis de Licenciatura. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Facultad de Ingeniería Zootecnia.
- Guízar-Miranda, A. (2009). Obtención y caracterización física y química del almidón de "camote de cerro" (*Dioscorea spp.*). Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional CIIDIR Michoacán.
- Hernández-Medina, M., Torruco-Uco, J. G., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México, 2008 (002894): 718–726.
- Hevia, H. F., Berti, D. M., Wilckens, E. W. R. y Yévenes, C. (2002). Contenido de proteína y algunas características del almidón en semillas de amaranto (*Amaranthus Spp.*) Cultivado en Chillan, Chile. *Agro sur* 30(1). Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

- Holm, J., Björk, I., Drews, A., & Asp, N. (1986). A rapid method for the analysis of starch. *Starch*. 38: 224-226.
- Jiménez-Vera, R., González-Cortés, N., Magaña-Contreras, A., y Corona-Cruz, A. I. (2011). Contenido de almidón resistente en alimentos consumidos en el sureste de México. *U. Tecnociencia*. 5(2): 27 - 34.
- Karam, L., Ferrero C., Martino, M., Zaritzky, N. & Grossmann, M. (2006). Thermal, microstructural and textural characterization of gelatinized corn, cassava and yam starch blends. *International Journal of Food Science and Technology*. 41: 805-812.
- Konishi, Y., Salas, I. y Calixto-Cotos, M. (2006). Caracterización del almidón de *Amaranthus caudatus* por barrido calorimétrico diferencial. *Rev. Soc. Quím. Perú*. 72(1).
- Knowles, M. (2012). Efecto de la fuente y el nivel de almidón en la dieta de vacas *Holstein* lactantes sobre la producción y el contenido de proteína en la leche. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia.
- Lamadrid-Avendaño, A., Bernal-Gracida, L. A., Morales-Meza, M. G. (2009). Capacidad de adhesión y fermentación a gránulos de almidón de papa por bacterias ácido lácticas silvestres para evaluar su actividad como prebiótico. *Rev. del Centro de Inv. (Méx.)*. 8(31).
- Lajolo Franco, M. (2006). Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos (1a ed., pp. 15–46). Sao Paulo: Editorial de Universidad de Sao Paulo.
- Méndez-Montevalvo, G., Solorza-Feria, J., Velázquez del Valle, M., Gómez-Montiel, N., Paredes-López, O. y Bello-Pérez, L. A. (2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*. 39: 267-274.
- Mkhlouf, H., Njintang, Y. N., Nguimbou R. M., Gaiani, C., Facho, J. B. & Mbofung, M. F. (2012). Physicochemical, rheological and thermal properties of taro (*Colocasia esculenta*) starch harvested at different maturity stages. *International Journal of Biosciences*. 2(3):14-27.
- Montgomery, C.D. (2004). Diseño y Análisis de Experimentos. 2a. México: Editorial Limusa S. A. de C. V. Pp. 21-125.
- Morrison, W. R.; Laignelet, B. (1983). An improved colorimetric procedure for determining apparent and total amylose in cereal and other Starches. *Journal of Cereal Science*. 1:19-35.
- Mweta, E. D., Labuschagne, M. T., Bonnet, S., Swarts, J. & Saka J. (2010). Isolation and physicochemical characterization of starch from cocoyam (*Colocasia esculenta*) grown in Malawi. *J Sci Food Agric*. 90: 1886–1896.

- Narváez-González, E. D., Figueroa Cárdenas, J., Suketoshi, T., Castaño Tostado, E. y Martínez-Peniche, R. A. (2007). Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30(3).
- Novelo-Cen, L. & Betancur-Ancona D. (2005). Chemical and functional properties of *Phaseolus lunatus* and *Manihot esculenta*. *Starch.* 57(9):431-441.
- Odeku, O. A., (2013). Potentials of tropical starches as pharmaceutical excipients: A review. *Starch.* 65:89-106.
- Reyes-Vega, M.L., Gaytán-Martínez, M., Figueroa-Cárdenas, J.D., Morales-Sánchez, E. y Rincón-Sánchez, F. (2009). Parámetros de calidad de grano de maíz de acuerdo a su uso final. Memorias del 3er. Congreso Internacional de Nixtamalización del Maíz a la Tortilla. Querétaro, México.
- Rodríguez-Miranda, J., Rivadeneyra-Rodríguez, J. M., Ramírez-Rivera, E., Juárez-Barrientos, J. M., Herrera-Torres, E., Navarro-Cortez, R. O. & Hernández-Santos 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.
- Rodríguez-Sandoval, E., Sandoval-Aldana, A. y Fernández-Quintero, A. (2006). Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Rev. Colomb. Quim.* 36(1).
- Ruales, J. & Nair, B. (1993). Effect of processing on in vitro digestibility of protein and starch in quinoa seeds. Pp. 257-267. En: Simposio en Carbohidratos. Quito, Ecuador del 4 al 6 de Octubre de 1993. Escuela Politécnica Nacional.
- Sánchez-González, I. (2007). Propiedades fisicoquímicas de almidones catiónicos elaborados por extrusión. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada.
- Sathe, S. & Salunkhes, D. (1981). Isolation partial characterization and modification of the greathnorthenvean (*Phaseolus vulgaris*) starch. *Journal of Food Science.* 46(4):617-621.
- Scott, G.J.E., Herrera, N., Espíndola, M., Daza, C., Fonseca, H., & Benavides M. (1992). Desarrollo de Productos de Raíces y Tubérculos. Volumen II- América Latina. Memorias del Taller sobre Procesamiento, Comercialización y Utilización de Raíces y Tubérculos en América Latina. 2a edición, pp. 4. CIP.
- Tovar J., Duan R.D., Erlanson-Albertsson C., Bjorck I. (1991) Starch digestibility in the diabetic rat. *Nutr. Res.* 11:1329-1334.
- Utrilla-Coello R. G., Agama-Acevedo E., Rodríguez-Ambriz S. L. y Bello-Pérez L. A. (2007). Maíz Pigmentado: Estudio de la Separación de los Gránulos de Almidón. En IX Congreso de ciencia de los alimentos y V Foro de ciencia y tecnología de alimentos.

Vargas-Aguilar, P; Hernández, D. (2012). Harinas y almidones de yuca, ñame, camote y ñampí: propiedades funcionales y posibles aplicaciones en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha*. 26(1): 37-45.

Vásquez-López, L. (2013). Evaluación de mezclas de harina de malanga y maíz para elaborar tortillas. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados.

OTRAS REFERENCIAS

- Assefa, G., (2006). Avena sativa L. In:Brink, M.& Belay, G. (Editors). PROTA 1: Cereals and pulses/Céréales et legumes secs. [CD-Rom].PROTA, Wageningen, Netherlands. Extraído desde: Database.prota.org/PROTAhtml/Avenasativa_En.htm
- Cob-Calán, N. (s.f). Tratamiento térmico. Instituto Superior del estado de Campeche. Extraído desde: www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r41503.PPT
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2012). Acuerdo por el que se determinan los aditivos y coadyuvantes en alimentos, bebidas y suplementos alimenticios, su uso y disposiciones sanitarias. Extraído desde: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QC0rUGu4jhAJ:207.248.177.30/mir/uploadtests/25093.131.59.1.ACUERDO%2520ADITIVOS%2520COFEP%20RIS%2520VERSION%2520enero0912.docx+%&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=mx&client=firefox-a>
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. (s.f.). Monografía de la malanga. Extraído desde: <portal.veracruz.gob.mx/.../MONOGRAFÍA%20DE%20MALANGA.PDF>
- Financiera Rural. (2011). Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. Monografía de los subproductos de la molienda de maíz (gluten, germen, fibra). Extraído desde: [http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaDaMa%C3%ADzSubprod\(nov2011\)vf.pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaDaMa%C3%ADzSubprod(nov2011)vf.pdf)
- Flores, A. (2011). Genera malanga 6 mdp al año. El 4to poder. Extraído desde: <http://www.el4topoder.com/local/general/7054-cvalis>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. El mercado de almidón añade valor a la yuca. (2006). Extraído desde: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0610sp1.htm>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.) Capítulo 7: Extracción del almidón de yuca. Extraído desde: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s02.pdf>
- Food Product. (2012). Food, beverage driving global starch market. Extraído desde: <http://www.foodproductdesign.com/news/2012/09/food-beverage-driving-global-starch-market.aspx>

- GEA Process Engineering S.A. de C.V. Procesamiento de almidón. (2013).
Extraído desde: <http://www.gea-niro.com.mx/industrias-servimos/alimentos-lacteos/procesamiento-de-almidon.htm>
- Inforural. (2011). Esperan productores de malanga ser beneficiados por la Sagarpa y Sedafp. Extraído desde: <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article77184>
- Rampton A. s.f. Almidón de la Casava y almidón de trigo: estudio comparativo para su uso en conservación de papel. Extraído desde: http://ge-iic.com/files/2congresoGE/Almidon_de_la_casaba_y_de_trigo.pdf
- Reither-Strasse, J. (2013). Starch Technology. Statistics. Extraído desde: http://www.zuckerforschung.at/inhalt_en.php?titel=STARCH%20TECHNOLOGY&nav=nstaerk_en&con=cist_en
- Secretaría de Economía. (2012). Análisis de la cadena de valor maíz-tortilla: situación actual y factores de competencia local. Extraído desde: www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacion_Sectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf
- Oxfam México. (2012). El índice de precios de los alimentos de la FAO sube un 6%. Extraído desde: <http://oxfamMexico.org/crece/el-indice-de-precios-de-los-alimentos-de-la-fao-sube-un-6-por-ciento/>