

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**Extracción y caracterización parcial de almidón de una fuente no convencional:
raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK)**

POR

EUNICE RIVERA ANDRADE

T E S I S

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Extracción y caracterización parcial de almidón de una fuente no convencional:
raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK)**

T E S I S

Presentada por

EUNICE RIVERA ANDRADE

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS


A P R O B A D A

M.P. Francisco Hernández Centeno
Asesor principal (Presidente)

M.C. María Hernández González
Vocal

M.C. Haydee Yajaira López De la Peña
Vocal

Dr. Paul Baruk Zamudio Flores
Vocal suplente (asesor externo)



Dr. José Duñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo de 2017

DEDICATORIAS

A mis PADRES, HERMANAS, MIS TRES AMORES N.H.J.

AGRADECIMIENTOS

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente: no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios será contigo donde quiera que fueres (Josué 1:9),

Primeramente, a Dios por darme la oportunidad de vivir y disfrutar cada etapa de mi vida, por siempre acompañarme y darme la fuerza diaria para cumplir cada uno de mis objetivos.

A mis padres; Elvira Andrade y Rosendo Rivera, sin ellos este triunfo no hubiera sido posible, gracias mamita por nunca dejarme sola por ser mi mejor ejemplo y mi heroína, a mi papa por ser el primer hombre en mi vida en enseñarme a ser fuerte y buscar siempre ser una mejor persona, ¡los amo!

A mis hermanas Katy y Mera; gracias infinitas por sus palabras y amor incondicional, gracias por confiar en mí; sé que ustedes fueron uno de mis motivos para seguir adelante a pesar de elegir un camino un poco más difícil, las quiero mugrosas...

A mis hijos y esposo HEBER, JARED Y NAHUM mis tres amores son lo mejor que me ha pasado en la vida, gracias por apoyarme en las buenas y en las malas, gracias por compartir conmigo esta etapa de mi vida a ustedes más que nadie les agradezco su paciencia (enserio que se las admiro en especial tu amor, soy insoportable), gracias por todo, bebés.

A mi querida Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, por abrir sus puertas y hospedarme, gracias porque en ella hice realidad uno de mis más grandes anhelos, porque en ella conocí grandes personas, excelentes maestros y amigos, y por si fuera poco el amor de mi vida, infinitas gracias mi ALMA TERRA MATER.

A todos y cada uno de mis maestros que participaron en mi educación, cada uno me dejó un aprendizaje ya sea poco o mucho, bueno o muy bueno sé que gracias a todos ustedes he llegado hasta aquí, en especial a usted, MP Francisco Hernandez Centeno,

gracias por ayudarme a culminar la etapa final de mi carrera profesional, por su gran paciencia y su valioso tiempo que me dedicó, por sus enseñanzas y antes que nada por su ejemplo como una persona humilde y con gran sentido humanitario, GRACIAS.

Al Dr. Paul Baruk Zamudio Flores por su disponibilidad y amable colaboración para la realización de los análisis instrumentales realizados en el laboratorio de carbohidratos, empaques y alimentos funcionales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. – unidad Cuauhtémoc, en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua.

A todos y cada uno de mis compañeros, por compartir grandes y buenos momentos en especial a los Gordos (Zavala, Pichi, Picky, Omar, Mariano) y mis niñas que de una u otra forma me ayudaron cuando más las necesitaba (Fanny, Mariana, Betty y mi Comadre), y a todos los que me faltan muchas gracias por compartir esta etapa tan importante en mi vida.

A mi mejor amiga Lucero, porque aunque no nos vemos seguido sabes que te quiero mucho corazón, a mis amigos de la prepa; Joaquín, Ricardo, Karin, Alexis, Josué, chicos gracias por formar parte de mi vida, por compartir buenos momentos, porque este objetivo, era mi mayor reto en ese tiempo y ustedes lo saben por fin lo cumplí y ustedes aunque no lo crean me ayudaron y mucho, Los extraño.

A mi familia RIVERA ANDRADE, por su confianza en mí, por enseñarme que la familia es el mayor tesoro que podemos tener, por su humildad y alegría, por enseñarme a temer a Dios y mostrarme el camino para seguir adelante. Este logro también es de ustedes.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. JUSTIFICACIÓN	13
III. HIPÓTESIS	14
IV. OBJETIVOS.....	15
4.1. Objetivo general	15
4.2. Objetivos específicos	15
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
5.1. Almidones	16
5.2. Tipos de almidones	16
5.3. Fuentes comunes de almidón nativo.....	17
5.3.1. Maíz.....	17
5.3.2. Papa	18
5.3.3. Arroz.....	18
5.3.4. Trigo	19
5.4. Fuentes no convencionales de almidón nativo.....	20
5.4.1. Plátano	20
5.4.2. Yuca	20
5.4.3. Otras fuentes no convencionales.....	21
5.5. Estructura de los almidones	22
5.5.1. Características de la amilosa.....	22
5.5.2. Características de la amilopectina	23
5.6. Características y organización de los gránulos de almidón.....	26
5.7. Gelatinización del almidón	27
5.7.1. Temperatura de gelatinización.....	28
5.8. Efectos de la retrogradación	29
5.9. Usos del almidón.....	30
5.10. Importancia de los almidones en la naturaleza	30
5.11. Importancia de los almidones en la industria en general	30
5.11.1. Importancia en la industria alimentaria.....	32

5.12.	Calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i> HBK).....	33
5.12.1.	Generalidades	33
5.12.2.	Distribución geográfica	33
5.12.3.	Composición química	34
5.12.4.	Usos ancestrales.....	35
VI.	METODOLOGÍA	37
6.1.	Proceso de extracción de almidón	37
6.2.	Obtención de las raíces de calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i>).....	37
6.5.	Caracterización proximal.....	39
6.5.1.	Humedad	39
6.5.2.	Proteína cruda	39
6.5.3.	Extracto etéreo	39
6.5.4.	Fibra	39
6.5.5.	Cenizas.....	40
6.6.	Purificación parcial del material.....	40
6.7.	Caracterización instrumental.....	40
6.7.1.	Análisis térmico DSC	40
6.7.2.	Variables reológicas	40
6.7.3.	Viscosidad aparente	41
6.7.4.	FTIR.....	41
VII.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
7.1.	Materia prima obtenida.....	42
7.2.	Caracterización proximal.....	42
7.3.	Determinación de parámetros físicos y químicos	43
7.3.1.	Análisis térmico DCS	43
7.3.2.	Variables reológicas y viscosidad aparente	44
7.3.3.	FTIR.....	45
VIII.	CONCLUSIONES.....	47
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones de distintas fuentes.....	26
Tabla 2. Tamaño de granulo de almidón según el cereal.	26
Tabla 3. Temperatura de gelatinización del almidón, según su fuente.	28
Tabla 4. Producción de almidón por materias primas en la UE, EE.UU. y otros países (millones de toneladas).	31
Tabla 5. Clasificación taxonómica de la calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i> HBK).....	33
Tabla 6. Perfil bromatológico del material parcialmente purificado.	43
Tabla 7. Análisis térmico por DSC (calorimetría diferencial de barrido).....	44
Tabla 8. Variables reológicas de la muestra de calabacilla obtenidas por el modelo de Ley de Potencia a tres temperaturas.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conformación de las unidades de glucosa en la estructura de la amilosa (Gallant y Bouchet, 1986).....	24
Figura 2. Modelos propuestos para la estructura de la amilopectina.....	25
Figura 3. Estructura del gránulo de almidón.....	27
Figura 4. Vista gráfica del <i>hilum</i> en la estructura del gránulo de almidón.....	27
Figura 5. Proceso de gelatinización del almidón.	29
Figura 6. Distribución geográfica de los taxa de los <i>Digitatata</i> (a) y <i>Foetidissima</i> (b). Tomada de Lira et al (1995).	34
Figura 7. Planta de calabacilla loca (<i>C. foetidissima</i>) en medio silvestre.	35
Figura 8. Raíz de la planta de la calabacilla loca (<i>C. foetidissima HBK</i>).	35
Figura 9. Procedimiento general para extracción de almidón por vía húmeda a partir de raíces y/o tubérculos frescos.....	37
Figura 10. Curvas de flujo a la velocidad de corte de 0.6 hasta 300 s ⁻¹ a tres diferentes temperaturas (25, 50 y 70 °C).	45
Figura 11. Espectro FTIR de la harina de raíz de calabacilla loca (<i>C. foetidissima HBK</i>).	46

RESUMEN

El almidón se sintetiza en forma de gránulos, almacenados en diferentes órganos de plantas incluyendo hojas, semillas, tubérculos, raíces y frutos. Se trata de una materia prima con una amplia gama de aplicaciones industriales. Algunos autores se han referido a la raíz de *Cucurbita foetidissima* HBK con hasta un 52% de almidón en la composición base seca, dependiendo de la estación. Es una planta silvestre que no requiere cuidados caros y agronómicamente próspera con poca agua, por lo que sería una buena fuente de almidón. El objetivo fue caracterizar la harina de la raíz, las muestras fueron recolectadas al azar en el campus. Se realizó un análisis de composición química por triplicado, seguido de un proceso de molienda del material secado a 60° C durante 48 h. Al producto resultante se le realizaron los siguientes análisis: FTIR, análisis calorimétrico (DSC), viscosidad aparente, índice de consistencia e índice de comportamiento de flujo, los dos últimos a través del modelo de ley de potencia a 70°, 50° y 25° C. Cada conjunto de resultados se sometió a un ANOVA y de *t* de Student ($p \leq 0,05$). El análisis proximal demostró un contenido de 33% de almidón. El FTIR evidenció la existencia de enlaces típicos del almidón: la presencia de una banda ancha de absorción entre los 3300-3400 cm^{-1} correspondiente a grupos OH, una banda a los 2900 cm^{-1} atribuida a grupos CH_2 ; alrededor de los 1600 cm^{-1} se aprecia un estiramiento debido al agua ligada. En la región de la “huella digital” se aprecian los picos en el área de los 1000 cm^{-1} correspondientes a vibraciones de las uniones C-O-C de la glucosa y cercano a los 900, 800, 700 y 550 cm^{-1} , correspondientes al anillo piranósico. El análisis DSC mostró valores $T_i = 59,35 \pm 2,41$ °C, $T_p = 63,58 \pm 3,08$ °C, $T_f = 71,19 \pm 4,54$ °C y $\Delta H = 5,64 \pm 3,81$ J/g. El análisis de viscosidad aparente evidenció disminución marcada en el esfuerzo cortante a 70°C en comparación con el tratamiento a 25°C. El índice de consistencia disminuye de $7,54 \pm 0,85$ k a 25 °C a $2,33 \pm 0,94$ k a 70 °C, mientras que el comportamiento de la velocidad de flujo (*n*) aumenta de $0,54 \pm 0,05$ a $0,62 \pm 0,09$ a las mismas temperaturas. En conjunto, los resultados no son favorables para el uso de la harina de raíz *C. foetidissima* HBK para aplicaciones alimentarias, por lo que se sugiere que se refine para elucidar las propiedades y posibles aplicaciones del almidón refinado.

Palabras clave: *almidón, cereales, tubérculos, raíces, calabacilla loca.*

I. INTRODUCCIÓN

El almidón es sintetizado en forma de gránulos semicristalino, almacenado en diferentes órganos de plantas incluyendo: hojas, semillas, tubérculos, raíces y frutas. El almidón está conformado por dos tipos de polisacáridos: la amilosa, una molécula fundamentalmente lineal compuesta de glucanos unidos mediante enlaces α -(1,4), y por la amilopectina, una molécula de mayor peso molecular altamente ramificada con enlaces α -(1,6). La funcionalidad del almidón y organización física dentro de la estructura granular se debe a estas macromoléculas (French, 1984). Las cantidades relativas de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular, le confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales características de los diferentes almidones (Bello- Pérez, 1995).

Los almidones son la principal fuente dietética de glúcidos utilizables. Son polímeros de glucosa y constituyen la reserva energética de la mayoría de vegetales. Los gránulos de almidón tienen una forma y tamaño característico en cada vegetal. Están integrados por dos tipos de cadenas: amilopectina, componente mayoritario y de carácter ramificado, y amilosa, formada por cadenas lineales. Se encuentran exclusivamente en los vegetales y tienen las siguientes propiedades: a) no poseen carácter dulce; b) son poco solubles en agua fría; c) forman engrudos y geles en agua caliente.

Casi todas las industrias han encontrado algún uso para el almidón; p.e la industria de alimentos, la industria textil, la del papel, la de los adhesivos y la farmacéutica.

En 2006, el Instituto Internacional del Almidón, reportó que el maíz es la principal fuente de obtención del almidón a nivel mundial, representando un 80% de la producción mundial, producido en los Estados Unidos, seguido de la papa, el camote y la yuca. Europa es el mayor productor de almidón de trigo y papa; en Asia se produce almidón a partir de yuca y tapioca; en varios países se produce en menor proporción almidón de arroz y camote (Jobling, 2004; Huang, *et al.* 2007).

El almidón es una materia prima con un amplio campo de aplicaciones que van desde la impartición de textura y consistencia en alimentos hasta la manufactura del papel, adhesivos y empaque biodegradables (Zhao & Whistler, 1994).

En el mercado existen fuentes convencionales para el aislamiento del almidón, como son maíz y papa, las cuales son fundamentales para la alimentación humana. Por lo cual desde hace varios años se ha visto afectada la alimentación del hombre por el uso desmedido del mismo. Por lo tanto, se ha considerado buscar nuevas alternativas de obtención de almidón.

II. JUSTIFICACIÓN

Ningún otro ingrediente alimenticio se compara con el almidón en términos de versatilidad de aplicación en la industria. Este carbohidrato fue diseñado por la naturaleza para fungir como almacén de energía. Sin embargo, el hombre ha extendido su uso más allá de su diseño original (Taggart, 2004).

En el 2006, el Instituto Internacional del almidón, reportó que el maíz es la principal fuente de obtención del almidón a nivel mundial, con una representación del 80%, seguido de la papa, el camote y la yuca, principalmente en Estados Unidos. Europa es el mayor productor de almidón de trigo y papa; en Asia se producen almidón a partir de yuca y tapioca; en varios países se produce en menor proporción almidón de arroz y camote (Jobling, 2004; Huang, *et al.* 2007).

En el mercado existen fuentes convencionales para el aislamiento del almidón, como son maíz y papa, las cuales son fundamentales para la alimentación humana. Por lo cual desde hace varios años se ha visto afectada la alimentación del hombre por el uso desmedido del mismo. Debido a que el almidón es el polisacárido más utilizado como ingrediente funcional (espesante, estabilizante y gelificante) en la industria alimentaria es necesario buscar nuevas fuentes de extracción, ya que con una producción mundial de 45.8 millones de ton/año (FAOSTAT, 2003), la demanda no se satisface. En los últimos años se ha trabajado con diferentes fuentes no convencionales precisamente para tratar de remediar este problema, en el presente trabajo se busca caracterizar el almidón de calabacilla loca para proponerlo como una alternativa más para la extracción de almidón y su uso industrial.

III. HIPÓTESIS

Es posible obtener almidón útil, con características tecnológicamente explotables, a partir de una fuente no convencional: la raíz de calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK).

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Obtener y determinar las características básicas del almidón de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK) a fin de proponerlo como una materia prima alternativa no convencional.

4.2. Objetivos específicos

- Obtener material biológico fresco apto para su procesamiento en su forma silvestre.
- Extraer el material de interés apartir de la raíz de *c. foetidissima* mediante métodos físicos.
- Caracterizar fisicoquímicamente el material obtenido.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Almidones

Los almidones son la principal fuente dietética de glúcidos utilizables. Son polímeros de glucosa y constituyen la reserva energética de la mayoría de los vegetales. Los gránulos de almidón tienen una forma y tamaño característico en cada vegetal. Están integrados por dos tipos de cadenas: amilopectina, componente mayoritario y de carácter ramificado, y amilosa, formada por cadenas lineales. Se encuentran exclusivamente en los vegetales y tienen las siguientes propiedades: a) no poseen carácter dulce; b) son poco solubles en agua fría; c) forman engrudos y geles en agua caliente (Hernández Rodríguez y Sastre Gallegos, 1999)

5.2. Tipos de almidones

Para los fines de esta investigación, se tomó en cuenta la clasificación que se describe, según la información que se obtuvo de Pamplona-Roger (1999) y Miyazaki, *et al.* (2006):

Almidón nativo: Se les denomina así porque no han sufrido ningún tipo de modificación química al ser obtenido.

Almidón modificado: Se le denomina así porque si han sufrido un cambio químico para su obtención, este tipo de almidón presenta las siguientes ventajas:

- Aumenta la estabilidad de la mezcla.
- Presenta una amplia gama de aplicación.
- Aumenta la capacidad para enlazar agua en condiciones frías y de calor.
- Reduce el encogimiento en la cocción.
- Mejora las características de revenado.
- Reduce costos.
- Incrementa la viscosidad del producto.
- Tiene mayor dispersabilidad.
- Es aplicable en productos que no requieren cocción.
- Estable a altas temperaturas.

5.3. Fuentes comunes de almidón nativo

En 2006, el Instituto Internacional del Almidón, reportó que el maíz es la principal fuente de obtención del almidón a nivel mundial, seguido de la papa, el camote y la yuca. La mayor parte de los almidones comerciales se producen a partir de maíz y papa; más del 80% del almidón que se produce a nivel mundial se obtiene de maíz, mismo que es procesado en Estados Unidos. Europa es el mayor productor del almidón de trigo y papa; en Asia se produce almidón a partir de yuca y tapioca; en varios países se produce en menor proporción almidón de arroz y camote (Jobling, 2004; Huang, *et al.* 2007).

5.3.1. Maíz

El maíz constituye otro mercado potencial. No es para menos, la producción mundial de maíz es de 821 millones de toneladas, siendo los principales productores de este grano, Estados Unidos y China. Ambos países manejan el 60 por ciento de la producción mundial. “Este mercado tiene características muy propias, ya que se maneja mediante negociaciones en la Bolsa de Chicago, es un mercado con una alta sensibilidad a numerosos factores, sean estos: condiciones climáticas, rendimientos de cosechas, inventarios de seguridad, entre otros” (ACCCSA, 2012).

Narváez González, *et al.* (2007) refiere que el almidón es el principal componente del grano de maíz (*Zea mays L.*) y por tanto influye mucho en la funcionalidad como ingrediente en los diferentes usos de la industria alimentaria. El almidón existe como gránulos discretos con diferentes formas, tamaños, y composición, en función del genotipo de maíz. Las propiedades específicas del almidón en cada genotipo, afectan características como la textura, el volumen, la consistencia, la humedad y la vida de anaquel de los alimentos (Raeker, *et al.* 1998). Entender cómo controlar o seleccionar las propiedades del almidón para cada proceso o producto, ha sido objeto de varias investigaciones (Li, *et al.* 2003; Raeker, *et al.* 1998; Seetharaman, *et al.* 2001; Peng, *et al.* 1999; Jane, *et al.* 1999). Un factor que afecta la distribución del tamaño del gránulo de almidón en el endospermo del grano es el ambiente (Raeker, *et al.* 1998; Stoddard, 1999). El endospermo está formado por una región suave (harinosa) y otra dura (vítrea) (Hoseney, 1998). Las propiedades fisicoquímicas de los gránulos de almidón en ambos tipos de endospermo, son diferentes. La reactividad (Bertolini, *et al.* 2003), las

propiedades físicas (Chiotelli y Le Meste, 2002) y la composición química (Geera, *et al.* 2006) de los gránulos de almidón son afectadas por su tamaño, el cual también impactan a la funcionalidad del grano y permite una amplia variabilidad de usos. Según Tang, *et al.* (2000), los gránulos más grandes se localizan cerca de la superficie externa del grano, mientras que los más pequeños tienden a ubicarse cerca del centro. Los atributos térmicos y funcionales del grano de maíz son función del tamaño del gránulo de almidón y del contenido de amilosa (Seetharaman, *et al.* 2001). Ante la globalización y la apertura de nuevos mercados, los consumidores y procesadores de maíz buscan variedades de alto valor agregado que presenten ventajas tecnológicas y económicas para sus procesos y productos.

5.3.2. Papa

El almidón de papa se usa en un 60% en la industria papelera en un 30% en la industria textilera y en un 10% como alimento y en otros usos (Montaldo, 1984).

En textiles, el engomado es el tratamiento de los hilos para darles resistencia, y el apresto es el tratamiento a las telas. Además del almidón de papa se usa el de yuca, arroz, trigo y también algunas resinas o productos a base de caucho (Montaldo, 1984).

El almidón de papa se emplea además en la fabricación de alimentos para bebés, productos de repostería, pasteles, galletas, en la industria farmacéutica para bandas adhesivas, polvo para aplicaciones dermatológicas, para hacer píldoras y tabletas; en la industria de la cerámica; para cerillas, jabones y polvos de lavar; para papel fotográfico, encuadernación, y en la industria manufacturera de papeles y cartones (Montaldo, 1984).

5.3.3. Arroz

La producción de arroz a nivel mundial estimada por la FAO para el ciclo 2016 y 2017, es de 498.5 millones de toneladas, según lo refiere el portal de noticias arroz.com (2016). La harina de arroz se hace con arroces glutinosos y no glutinosos tanto crudos como gelatinizados, y se fabrica mediante aplanado, machacado, elaborado mecánico, elaborado con piedra, etc. (Juliano, 1994).

Las harinas de arroz ricas en proteína para la alimentación de la primera infancia pueden obtenerse de arroz elaborado cocido mediante un tratamiento desalmidonante con α -amilasa (Juliano, 1984).

La producción de arroz comprende principalmente la elaboración en húmedo de quebrados con 0.3 - 0.5 de hidróxido de sodio para eliminar la proteína (Juliano, 1984). Los quebrados se maceran en una solución alcalina durante 24 horas, y luego se elaboran en húmedo con la solución alcalina en molinos cilíndricos, molinos de martillo o desintegradores de piedra. Después de almacenar la masa durante 10-24 horas, se elimina la fibra (membrana celular) haciéndola pasar a través de tamices, el almidón se recoge por centrifugación, se lava totalmente en agua y se seca. En la Comunidad Europea se elaboran anualmente unas 8,800 toneladas de arroz quebrado para obtener 7,000 de almidón en cinco o seis fábricas de Alemania, Bélgica, Italia, y los Países Bajos (Kempf, 1984). Este producto se emplea exclusivamente en la alimentación humana, en gran parte para alimentación de bebés y también en tallarines extruidos. Egipto, Siria y Tailandia producen también almidón de arroz (Juliano, 1994).

Para 2015, la FAO reportó una producción mundial de arroz de 494.9 millones de toneladas, de las cuales 397 millones de toneladas se destinaron a consumo humano (FAO, 2015).

5.3.4. Trigo

Para 2015, la FAO pronosticó una producción mundial de trigo de 735 millones de toneladas, de las cuales 490.6 millones de toneladas se destinarían a consumo humano y el resto para otros propósitos (FAO, 2015).

El almidón es el componente principal del grano de trigo (65 – 70%, en base seca), y tiene poco efecto en la calidad de la harina (Kholi y Martino, 1997), se encuentra distribuido en el endospermo del grano y su abundancia en el grano de trigo hace que este sea una de las fuentes más abundantes de energía en la dieta humana (Juárez, *et al.*, 2014). Este almidón tiene una distribución bimodal en sus gránulos, cuya dimensión varía de 6.5 a 19.5 micras y por sus propiedades es útil más bien en aplicaciones alimentarias (FAO, 1998).

El almidón de trigo es producido en áreas donde es económicamente más rentable o por consideraciones agropolíticas su producción es competitiva con la producción de almidón de maíz por el alto valor del subproducto de su elaboración que es el gluten. Sin embargo, el almidón de trigo producido en Estados Unidos de América y Canadá puede ser considerado un subproducto en la producción de gluten de trigo. La mayoría del almidón de trigo, en forma sólida sin modificar es costoso para el sector industrial y para la industria de alimentos. La mayor proporción es consumida en Europa, las principales fuentes de almidón son el maíz y la papa, mientras que el almidón de trigo es producido en pequeña escala (Méndez, 2010).

5.4. Fuentes no convencionales de almidón nativo

5.4.1. Plátano

En la literatura se encuentran pocos informes relacionados con el aislamiento del almidón de plátano. Se ha indicado que este fruto contiene entre 50 y 60 % de almidón (Guilbot y Mercier, 1985); además, Faisant, *et al.* (1995) estudiaron la biodisponibilidad del almidón de plátano y encontraron que este almidón contiene entre 50 y 60% de lo que se conoce como almidón resistente, o sea, que no puede ser hidrolizado por las enzimas digestivas y escapa a la digestión, lo cual hace que esta fracción actúe funcionalmente de manera similar a la fibra dietética. El porcentaje de almidón presente en el plátano verde representa una alternativa para su aislamiento y aplicación para elaborar diversos alimentos, por ejemplo, los productos de panificación y repostería (Bello-Pérez, *et al.*, 2000).

Su desventaja radica en que no hay muchos estudios sobre este fruto, que es considerado dentro de la alimentación del hombre, por lo que su uso para este fin pondría en riesgo la alimentación del hombre, como sucede actualmente con el maíz.

5.4.2. Yuca

Se han realizado diferentes estudios sobre este tubérculo, para diferentes aplicaciones, uno de ellos va orientado a su uso como fuente de almidón (Suárez y Mederos, 2011). Su ventaja está asociada a la concentración de almidón presente, que oscila entre un

72.9 y un 87.9% (Zinn y DePeters, 1991). Los almidones de yuca muestran un contenido de amilosa que varía de 14 a 19% (Hoover y Ratnayake, 2002).

Las propiedades de claridad y baja retrogradación del almidón de yuca hacen que se pueda utilizar en muchos productos alimenticios. Sus características orgánicas se asemejan bastante al almidón del maíz (Suárez y Mederos, 2011).

5.4.3. Otras fuentes no convencionales

Se han realizados otros estudios sobre nuevas fuentes alternativas entre los que destacan: plátano (*Musa paradisiaca* L.) y mango (*Manguifera indica* L.) (Bello Pérez, *et al.*, 2000), chayote (*Sechium edule*) (Jiménez-Hernández, *et al.*, 2007), el taro (*Colocasia esculenta*) (Aboubakar, *et al.*, 2008), semillas de parota (*Enterolobium cyclocarpum* L.) (Jiménez-Hernández, *et al.*, 2011) que representan fuentes alternativas para la extracción de almidón con aplicación biotecnológica localizadas en México. Tanto malanga como chayote son cultivados para su comercialización, tubérculos en el primer caso y frutos en el segundo. Mientras que el árbol de parota es cultivado ocasionalmente con fines paisajistas, para proveer sombra, y en algunos casos para alimentar al ganado. Generalmente la parota crece de manera silvestre. Convencionalmente el enfoque comercial de estos recursos naturales no ha sido relacionado con su contenido de almidón, a pesar de ser un componente abundante.

El rendimiento de almidón varía desde un valor de 4.61% para algunos tubérculos hasta el 16% para otros (zanahoria blanca), estas diferencias en las tasas de extracción varía por el contenido intrínseco de almidón en cada especie, el tamaño del tubérculo o raíz el tamaño de los gránulos de almidón; esta última característica parece influir notablemente en el rendimiento, contribuyendo a ello los gránulos de mayor tamaño (Barrera, *et al.*, 2004).

5.5. Estructura de los almidones

En general los almidones se encuentran en tejidos vegetales, bajo la forma de gránulos intracelulares compactos, los gránulos son esferocristales que son insolubles en agua fría. Los almidones son la reserva energética de algunos vegetales y están formados por monómeros de glucosa, formando estructuras conocidas como: amilosa y amilopectina (Miramont, 2012).

5.5.1. Características de la amilosa

La amilosa es un polisacárido esencialmente lineal, conformado por unidades D-glucosa unida por enlace α -(1,4), como se muestra en la figura 1; sin embargo, se ha demostrado la presencia de algunas ramificaciones las cuales están unidas mediante enlace α -(1,6) (Thomas y Atwell, 1999).

La amilosa en soluciones neutras forma una hélice, la cual presenta 6-8 unidades de glucosa por cada vuelta. La amilosa y el yodo forman un complejo, el cual es de color azul oscuro y es convencionalmente usado para cuantificar el contenido de amilosa en los almidones. La amilosa tiene una capacidad de enlazamiento de yodo del orden de 20 mg de yodo por 100 mg de amilosa a una longitud de onda de máxima absorción entre 620 y 640 nm. La intensidad de color del complejo amilosa-yodo proporciona información acerca de la longitud de cadena de la amilosa. La titulación potenciométrica de la amilosa con yodo, ha sido usada para determinar el contenido de amilosa de los almidones (Schoch, 1964).

Los alcoholes de longitud de cadena larga y los lípidos, también pueden formar complejos con la amilosa, los cuales son capaces de prevenir la retrogradación. Estos complejos pueden utilizarse para separar la amilosa de la amilopectina y para modificar las propiedades de la amilosa, en un sistema que contenga agentes formadores de complejos (Schoch, 1942).

La amilosa tiene una masa molar aproximadamente de $1 \times 10^5 - 1 \times 10^6$ Dalton (Da) con un promedio de 500 a 600 unidades de D- glucosa repartidas en un número de cadenas que va de 1 a 20 (McAllister, 1979).

5.5.2. Características de la amilopectina

La amilopectina es el componente ramificado del almidón, está formada por cadenas de residuos α -D-glucopiranosidos unidos por enlace α -(1,4), presenta enlaces α -(1,6) en los puntos de ramificación, los cuales representan un 5-6% de los enlaces totales (Buléon, *et al.* 1998). En la figura 2 pueden observarse los diversos modelos propuestos para su estructura y en la tabla 1 se muestra el contenido de amilopectina en almidón de distintos orígenes.

Es, además, el componente mayoritario del almidón, se encuentra en una proporción de 70-80 % (almidones normales) en ciertos casos alcanza niveles de hasta un 98-99%, este tipo de almidones son definidos como ceroso (Zobel, 1988). Su estructura, composición y proporción en el granulo contribuyen notablemente en las propiedades funcionales del almidón, por esta razón, ha sido estudiada ampliamente en términos de su tamaño molecular, ramificación y longitud de las cadenas internas y externas (Bello-Perez, *et al.* 2002).

La masa molar de la amilopectina varía entre 1×10^6 y 1×10^8 Da, estas variaciones dependen del origen botánico del almidón, de las condiciones de fraccionamiento de las moléculas de amilosa y amilopectina y del método usado para determinar la masa molar (Bello-Perez, *et al.* 2002).

El estudio de la molécula de amilopectina ha ido aumentando a lo largo del tiempo conforme se han desarrollado nuevas técnicas para su estudio (figura 2). Uno de los primeros modelos establecidos fue el modelo "trichitic" propuesto por Meyer (1895), este modelo no encajo con el comportamiento de la amilopectina debido a que asumía una estructura con ramificaciones frecuentes, lo cual delimitaba el espacio, conforme se elongaba la amilopectina hacia el exterior del granulo. Posteriormente, con el estudio de la amilopectina mediante hidrolisis enzimática llevada a cabo con α -amilosa, se revelo que las cadenas varían en longitud y debido a ello se desarrolló una modificación del modelo "trichitic". Este modelo permitía una expansión indefinida a partir del extremo reductor de la molécula, con una cantidad de ramificaciones que dependían del espacio disponible dentro de la molécula (Espinosa Solís, 2008).

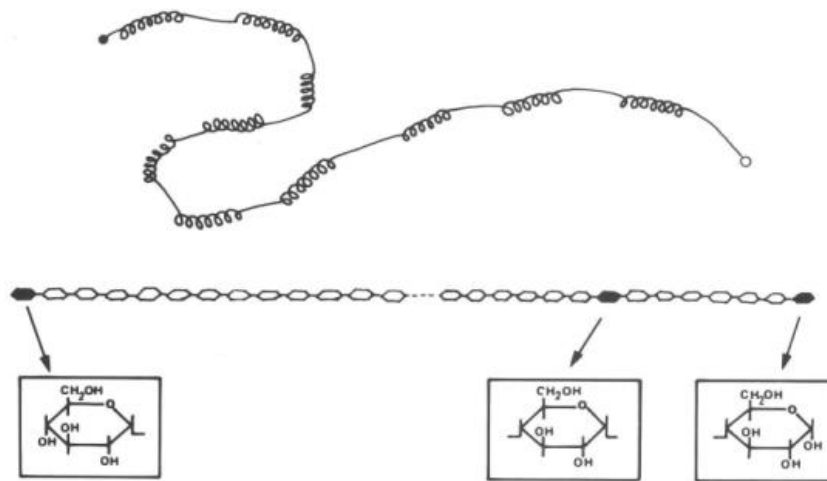
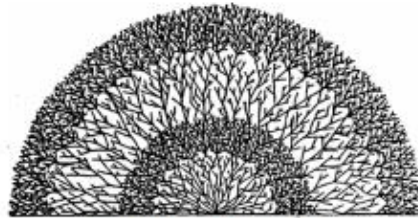


Figura 1. Conformación de las unidades de glucosa en la estructura de la amilosa (Gallant y Bouchet, 1986).

Meyer, *et al.* (1948), hidrolizaron amilopectina con β -amilasa y subsecuentemente con amiloglucosidasa. Con sus resultados propusieron una estructura en forma de arbusto, deducida del porcentaje de reducción de productos de la hidrólisis.

A finales de los 60's nace el primer modelo de racimo o "cluster", el cual fue propuesto por, en este modelo, los cluster en la amilopectina estaban espaciados unos de otros, al igual que Nikuni, French (1972) propuso un modelo de cluster más compacto, este modelo podría ser concebido solo si parte de la molécula de amilopectina cristalizara durante la biosíntesis del granulo, así, esa parte de la molécula de amilopectina no podía ser elongada. Este patrón molecular presentaba regiones cristalinas y amorfas alternas.

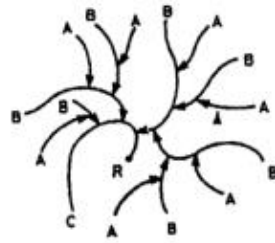
Con el desarrollo de nuevas técnicas, el modelo de cluster, fue nuevamente analizado, esta vez por Hizukuri (1986), quien utilizó cromatografía de permeación en gel y desramificación, para desarrollar una estructura de cluster, en la cual se puede encontrar tipo -A-, que no presentan ramificaciones, cadena tipo -B- las cuales pueden presentar ramificaciones por cadena -A- o -B-. Las cadenas -B- fueron divididas en cadenas -B1-, que al igual que las cadenas -A- se pueden encontrar en un solo cluster, mientras que las cadenas -B2-, -B3-, -B4-, se extienden sobre 2, 3 o 4 cluster, respectivamente.



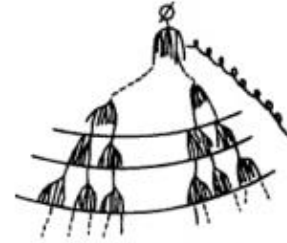
Modelo "Trichitic"
1895



Modelo "Trichitic"
Modificado



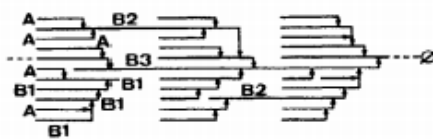
Meyer 1940



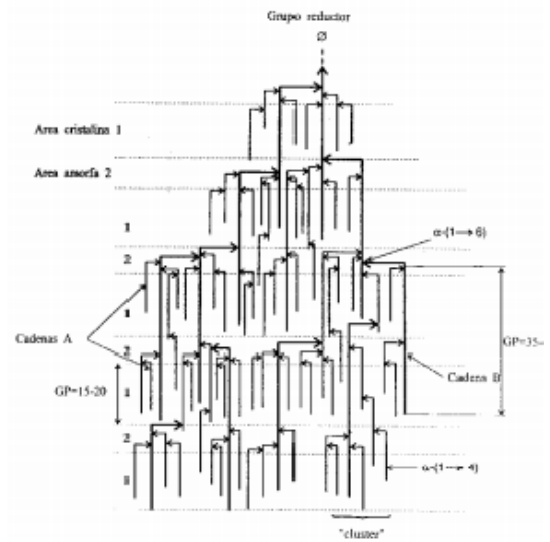
Modelo Cluster
Nikuni 1969



Modelo Cluster
French 1972



Modelo Cluster
Hizukuri 1986



Robin 1974

Figura 2. Modelos propuestos para la estructura de la amilopectina.

Tabla 1. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones de distintas fuentes.

Tipo de almidón	Contenido de amilosa (%)	Contenido de amilopectina (%)
Maíz	25	75
Mandioca	17	83
Papa	20	80
Trigo	25	75
Arroz	19	81
Maíz de alta amilosa	55 – 90	45 – 10
Maíz céreo	<1	>99

(Brumovsky, 214)

5.6. Características y organización de los gránulos de almidón

Según Brumovsky (2014), los gránulos de almidón se sintetizan en los amiloplastos de las plantas, están formados por capas concéntricas o excéntricas de distinto espesor y tienen tamaños y formas variables (tabla 2).

Tabla 2. Tamaño de granulo de almidón según el cereal.

CEREAL	INTERVALO (μm)	MEDIA (μm)
Arroz	2-10	5
Maíz	5-25	15
Sorgo	6-24	15
Mijo	4-12	6
Trigo	2-38	30
Papa	5-100	-

(Brumovsky, 214)

De los estudios de difracción de rayos X se observó que tienen carácter semicristalino, que se debe al elevado grado de orientación de las moléculas del glucano. El 70 % aproximadamente de la masa de un grano de almidón se considera amorfo y el 30 % aproximadamente cristalino (Brumovsky, 2014).

En las zonas amorfas se localiza la mayor parte de la amilosa, aunque también una fracción considerable de la amilopectina. Las zonas cristalinas están formadas predominantemente por amilopectina (fig. 3) (Swinkels, 1996).



Figura 3. Estructura del gránulo de almidón.

Todos los gránulos muestran una hendidura, denominada *hilum* (fig.4), que constituye el centro de nucleación alrededor del cual se desarrolla el gránulo (Brumovsky, 2014).



Figura 4. Vista gráfica del *hilum* en la estructura del gránulo de almidón.

5.7. Gelatinización del almidón

El término gelatinización se refiere a la pérdida irreversible de las zonas cristalinas en los gránulos de almidón, producida al calentarse en presencia de agua. El margen de temperatura durante el cual la estructura cristalina del gránulo de almidón se pierde depende del contenido de agua y del tipo de almidón. La gelatinización incrementa drásticamente la capacidad del almidón de ser digerido por enzimas amilolíticas (FAO, 1999).

Normalmente, los gránulos de almidón no se disuelven completamente durante la elaboración de los alimentos, y un alimento podría considerarse como una dispersión en la que los gránulos del almidón y/o residuos granulares constituyen la fase dispersa. Sin embargo, el grado de gelatinización alcanzado por las elaboraciones de alimentos, más comúnmente utilizadas, es suficiente para permitir que el almidón sea digerido rápidamente (FAO, 1999).

5.7.1. Temperatura de gelatinización

La temperatura inicial y el rango de gelatinización, dependen del método de medición, de la relación almidón/agua, tipo de granulo y heterogeneidades dentro de la población de gránulos. Si se continua el calentamiento de los gránulos de almidón en exceso de agua, resulta un granulo hinchado con adicional extracción de amilosa, si además se aplica en esta etapa un esfuerzo de corte, los gránulos se rompen y se forma una pasta. Una pasta de almidón es una masa viscosa consistente de una fase continua (una dispersión molécula) de amilosa y amilopectina solubilizada y una fase discontinua de gránulos remanentes. La completa dispersión de la molécula se obtiene bajo condiciones de altas temperaturas, altos esfuerzos de corte y con exceso de agua, condiciones raras, en los productos alimenticios (Brumovsky, 2014). En la tabla 3 se muestra la temperatura de gelatinización de almidones de distintas fuentes.

Tabla 3. Temperatura de gelatinización del almidón, según su fuente.

ALMIDÓN	TEMPERATURA DE GELATINIZACION (°C)
Arroz	61-78
Maíz	62-72
Papa	58-65
Mandioca	58-65
Sorgo	68-75
Trigo	52-63

(Brumovsky, 2014)

La gelatinización y empastamiento de los gránulos de almidón ocurren, debido a que la temperatura de la suspensión de almidón en agua se incrementa, las moléculas de almidón vibran y giran vigorosamente, rompiendo los enlaces de hidrogeno intermoleculares, esto permite la penetración de agua, así como la separación progresiva de más y mayores segmentos de cadena de almidón, aumentando el azar en la estructura general y disminuyendo el número y tamaño de las regiones cristalinas la figura 5 muestra el proceso de gelatinización del almidón (Brumovsky, 2014).

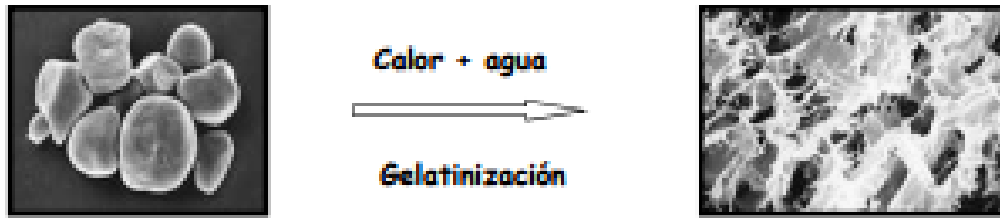


Figura 5. Proceso de gelatinización del almidón (Brumovsky, 2014).

Cuando las pastas cocidas de almidón son enfriadas y almacenadas, el almidón se torna progresivamente menos soluble. En solución diluida, las moléculas de almidón precipitan, y este material insoluble es difícil de redisolverse por calentamiento. Si una solución de almidón se enfría, en ausencia de agitación, se forma un gel rígido, de manera que retorna a su estado insoluble, lo que se conoce como “retrogradación” (Brumovsky, 2014).

5.8. Efectos de la retrogradación

La retrogradación del almidón cocido involucra a los dos polímeros constituyentes, la amilosa y amilopectina. La retrogradación de la amilosa es mucho más rápida que la que sufre la amilopectina (Brumovsky, 2014). La estructura cristalina de la amilopectina retrograda se pierde después del recalentamiento aproximadamente 70° C, con lo que se precisan temperaturas por encima de 145° C para eliminar la cristalinidad de la amilosa retrograda, lo que significa temperaturas bastantes por encima de las utilizadas para la elaboración de los alimentos amiláceos (FAO, 1999). Ello implica que la amilosa retrograda, una vez formada, conservará su cristalinidad después del recalentamiento del alimento. Todo ello tenderá a desarrollar los siguientes efectos (Brumovsky, 2014):

- Incremento de viscosidad.
- Desarrollo de turbidez u opacidad.
- Precipitación de partículas insolubles.
- Formación de geles.
- Sinéresis.

5.9. Usos del almidón

Los distintos almidones poseen un espectro amplio de características, que los hacen adecuados para multitud de usos. Sin embargo, la gran diversidad de aplicaciones que tiene actualmente el mismo hace que los almidones nativos no cubran la gama de propiedades físico-químicas requeridas por la industria. Por esta razón, se someten a procesos de modificación, por vía física y/o química para obtener tipos adecuados para usos específicos (Brumovsky, 2014).

5.10. Importancia de los almidones en la naturaleza

Los carbohidratos (HC) son un grupo muy extenso de productos naturales, que comprenden diversos azúcares, el almidón, la celulosa y otros muchos, tienen en común la composición global (CH_2O_n). Por esta razón en el siglo XIX se llamaron hidratos de carbono (HC), pero a pesar de que este nombre se ha conservado, su estructura real tiene poco que ver con esta denominación (Primo Yúfera, 2007).

Los HC son los productos orgánicos, más abundantes en la naturaleza su importancia biológica e industrial es grande: algunos los más sencillos, son metabolizados por las células vivas para suplir sus necesidades energéticas (glucosa, fructosa); otros son de reserva o almacenamiento (almidón, glucógeno), otros son estructurales (celulosas y condroitinas). Por otra parte, las industrias de la sacarosa, el almidón, la celulosa y las de sus derivados figuran entre las más potentes (Primo Yúfera, 2007).

5.11. Importancia de los almidones en la industria en general

Ningún otro ingrediente alimenticio se compara con el almidón en términos de versatilidad de aplicación en la industria. Este carbohidrato fue diseñado por la naturaleza para fungir como almacén de energía. Sin embargo, el hombre ha extendido su uso más allá de su diseño original (Taggart, 2004).

El almidón es materia prima para la fabricación de numerosos productos como dextrosas, alcohol, sorbitol, glucósidos metílicos, etílico y ácido láctico, por lo mismo puede proporcionar a nuestra economía una fuente de abastecimiento casi ilimitado en

la elaboración de sustancias orgánicas, en la industria alimenticia, textil, en la industria de papel y en la de los polímeros (Gujka, *et al.* 1994).

En la tabla 4, se compara la producción de almidón que aporta cada materia prima en la Unión Europea, en Estados Unidos y el resto del mundo. Estados Unidos contabiliza, más de la mitad del total de la producción mundial y, al igual que otras regiones del mundo, utiliza el maíz como principal producto base. En cambio, menos de la mitad de la producción comunitaria procede del maíz, y en los sectores del almidón de trigo y de la fécula de patata donde la comunidad ocupa el primer lugar. Junto a es estos el almidón de tapioca (que se produce principalmente en el sudeste asiático) es el único que tiene también importancia a nivel mundial (Comisión Europea, 2002).

Tabla 4. Producción de almidón por materias primas en la UE, EE.UU. y otros países (millones de toneladas).

	Maíz	Patata	Trigo	Otras	Total
UE	3.9	1.8	2.8	0.0	8.4
EE.UU.	24.6	0.0	0.3	0.0	24.9
Otros países	10.9	0.8	1.1	2.5	15.2
Mundo	39.4	2.6	4.1	2.5	48.5

Fuentes: Comisión Europea (DG Agricultura, Unidad C2), Departamento de Agricultura de Estados Unidos y estimaciones de LMC.

La amplia variedad de usos del almidón lo hace de gran importancia en la industria en general (FAO, 1998). Por ejemplo:

- **Adhesivos:** gomas de cola de fusión, estampillas, encuadernación, sobres, etiquetas.
- **Explosivos:** adhesivo para la cabeza de los fósforos.
- **Papel:** recubrimientos de papel, pañales desechables.
- **Construcción:** aglutinante para tabiques de concreto, adhesivo para madera laminada.
- **Metal:** adhesivo de metal poroso, aglutinantes para núcleos de fundición.
- **Textiles:** acabado de telas, estampado.
- **Cosméticos:** maquillajes, cremas faciales.
- **Farmacéuticos:** revestimiento de cápsulas, agentes dispersantes.
- **Minería:** separación de minerales por flotación y sedimentación.

- **Otros:** películas de plásticos biodegradables, baterías secas, como aglutinante de materias primas en la fabricación de aislantes de asbesto y corcho, como agente espesante en la fabricación de tintes y pinturas, aglutinante en la fabricación de crayones, en la elaboración de fibra de vidrio.

El volumen de almidones para aplicaciones no alimentarias es enorme. Efectivamente, las aplicaciones no alimentarias del almidón son un importante indicador de la economía de los países. Una economía activa necesita materiales de construcción para hacer edificios, fábricas y vivienda, papel para la administración, para envolver y envasar productos diversos, así como adhesivos para pegar toda esta actividad económica. Al prosperar la economía, prospera también el volumen de almidones de aplicaciones no alimentarias. Conforme se desarrollan los países, crece su demanda de almidones de valor agregado, de gran calidad y muy funcionales (FAO, 1998).

5.11.1. Importancia en la industria alimentaria

La diversidad de propiedades funcionales específicas de los almidones necesarias para la industria alimentaria es casi ilimitada. Ningún otro ingrediente proporciona textura a tan gran variedad de alimentos como el almidón (FAO, 1998), por ejemplo; para fabricar edulcorantes, jarabes y enzimas para la producción de glutamato monosódico, un potenciador de sabor, agente espesante, encapsulante, impartir sabor, gelificante, como relleno, etc. (Gavilán, 2010).

Los almidones nativos de las diferentes especies de vegetales tienen como característica fundamental que sus propiedades fisicoquímicas y funcionales estarán influenciadas por sus estructuras granular y molecular (Wang & White, 1994a). Las propiedades más importantes a considerar para determinar la utilización del almidón en la elaboración de alimentos y otras aplicaciones industriales incluyen las fisicoquímicas: gelatinización y retrogradación; y las funcionales: solubilidad, hinchamiento, absorción de agua, sinéresis y comportamiento reológico de sus pastas y geles (Wang & White, 1994b).

5.12. Calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK)

Dentro de las especies con potencial explotación en cuanto a la obtención de almidones, se encuentra la calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK), cuyas características se describen en los siguientes apartados.

5.12.1. Generalidades

La calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK) se conoce también con los nombres comunes de: calabacilla, calabaza búfalo, chilicayote, calabacilla amarga, calabaza missoury (Stevenson, 1948; Bemis y Whitaker, 1969). El nombre de *C. foetidissima* otorgada a esta planta fue propuesto por Humbolt, Bonpland y Kunth en 1817.

Bailey (1943), Dittmer y Talley (1964), Bemis y Whitaker (1969) describen a la calabaza silvestre (*C. foetidissima*) como una planta monoica, perenne, tosca y áspera al tocarla, posee un tallo débil y rastrero con un crecimiento de guías que surgen del carnoso tubérculo de la raíz principal, las hojas son de color verde grisáceo, grandes, enteras y triangulares con numerosas vellosidades sobre el haz y el envés, por lo general los frutos son redondos u ovalados de diferentes tamaños y de un color variegado (franjas blancas), las flores son de color amarillo anaranjado. Su clasificación taxonómica se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Clasificación taxonómica de la calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK)

Clase:	<i>Angiosperma</i>
Subclase:	<i>dicotiledónea</i>
Orden:	<i>Cucurbitales</i>
Familia:	<i>Cucurbitaceae</i>
Tribu:	<i>Cucurbitineae</i>
Género:	<i>Cucúrbita</i>
Especie:	<i>foetidissima</i> HBK

Bailey (1943)

5.12.2. Distribución geográfica

Desde el centro y oeste de Estados Unidos hasta el centro de México (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

Se ha registrado en Baja California Norte, Chihuahua, Coahuila, Colima, Durango, Hidalgo, Estado de México, Michoacán, Nuevo León, Querétaro, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Zacatecas (Villaseñor y Espinosa, 1998).

Bailey (1943) menciona que la clasificación de la calabacilla loca fue reportada desde 1817; sin embargo, fue conocida taxonómicamente en Norteamérica bajo los nombre de *Cucumis perennis* y *Cucurbita perennis* en 1820 y fue hasta 1881 cuando Cogniaux le dio el nombre de *Cucúrbita foetidissima* de Humbold, Bompland y Kunth, siendo su habitat natural al suroeste de los estados unidos (Nebraska, Missouri, Kansas, Colorado, Utah Nevada, Texas New México y California) y noroeste de México hasta el sur de Guanajuato. La figura 6 muestra la distribución geográfica de los taxa de los *Digitatata* y *Foetidissima* (Granados-Sánchez y López-Ríos, 1999).

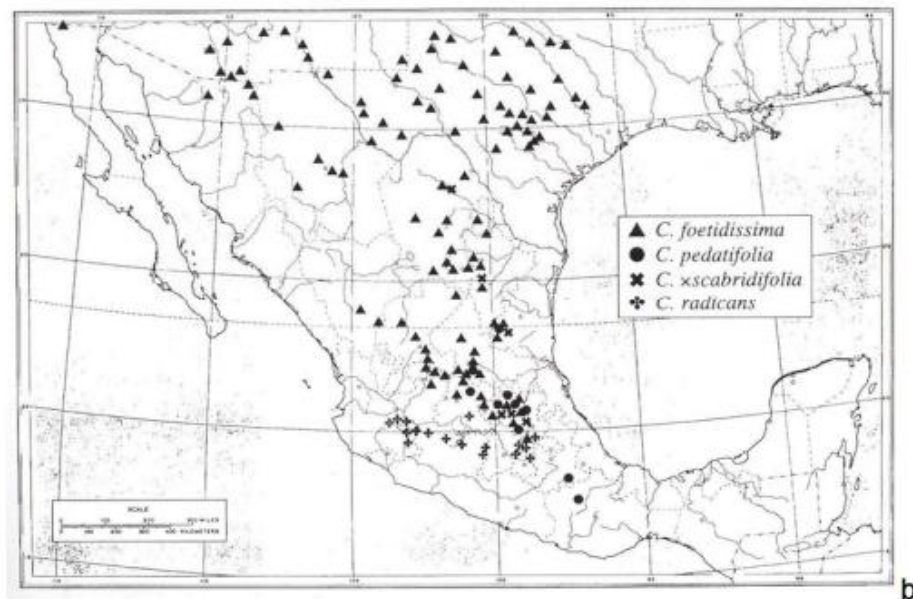


Figura 6. Distribución geográfica de los taxa de los *Digitatata* (a) y *Foetidissima* (b). Tomada de Lira et al (1995).

5.12.3. Composición química

De acuerdo a estudios realizados se registran altos contenidos de aceites (30.4%) y proteínas (35.4%) de sus semillas y de almidones (52%) en sus raíces, han llevado a sugerirla como un recurso de potencial importancia para ser explotado como un nuevo cultivo en áreas de extrema aridez (Lira Saade, *et al.*, 2009). En las figuras 7 y 8 puede observarse la planta y raíz, respectivamente.



Figura 7. Planta de calabacilla loca (*C. foetidissima*) en medio silvestre.



Figura 8. Raíz de la planta de la calabacilla loca (*C. foetidissima*).

5.12.4. Usos ancestrales.

En el estado de Chihuahua una infusión de los frutos de *C. foetidissima* se usa para la curación de enfermedades estomacales. También en este estado las semillas se emplean para elaborar bebidas refrescantes y las raíces se emplean en baños como

febrífugas y en infusión como emético o para aliviar dolores de cabeza y como sustituto de jabón (Lira Saade, *et al.*, 2009).

Este último uso es también común en los estados de Coahuila y Nuevo León. Adicionalmente, en Hidalgo las semillas se usan para aliviar padecimientos urinarios. Además de estos usos que muestran su importancia regional, los relativamente altos contenidos de aceites (30.4%) y proteínas (35.4%) de sus semillas y de almidones (52%) en sus raíces, han llevado a sugerirla como un recurso potencialmente muy importante para ser explotado como un nuevo cultivo en áreas de extrema aridez (Lira Saade, *et al.*, 2009).

Debido a la situación actual que se está viviendo a nivel mundial y dando prioridad en nuestro país muchos investigadores se están dando la tarea de buscar nuevas alternativas para cubrir las necesidades básicas de los humanos y por otro lado también se busca no competir con nuestro alimento básico como es la tortilla para el caso de México, derivado del grano de maíz. Como se mencionó al principio, el objetivo principal en esta investigación es obtener y caracterizar almidón a partir de la raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima*) con el fin evaluar si es equiparable con los productos obtenidos a partir de otros cereales convencionales.

VI. METODOLOGÍA

6.1. Proceso de extracción de almidón

Para la extracción del almidón a partir de raíces y tubérculos frescos, se siguieron las operaciones con secuencia establecida y semejante para todas las especies, como se muestra en la figura 9.

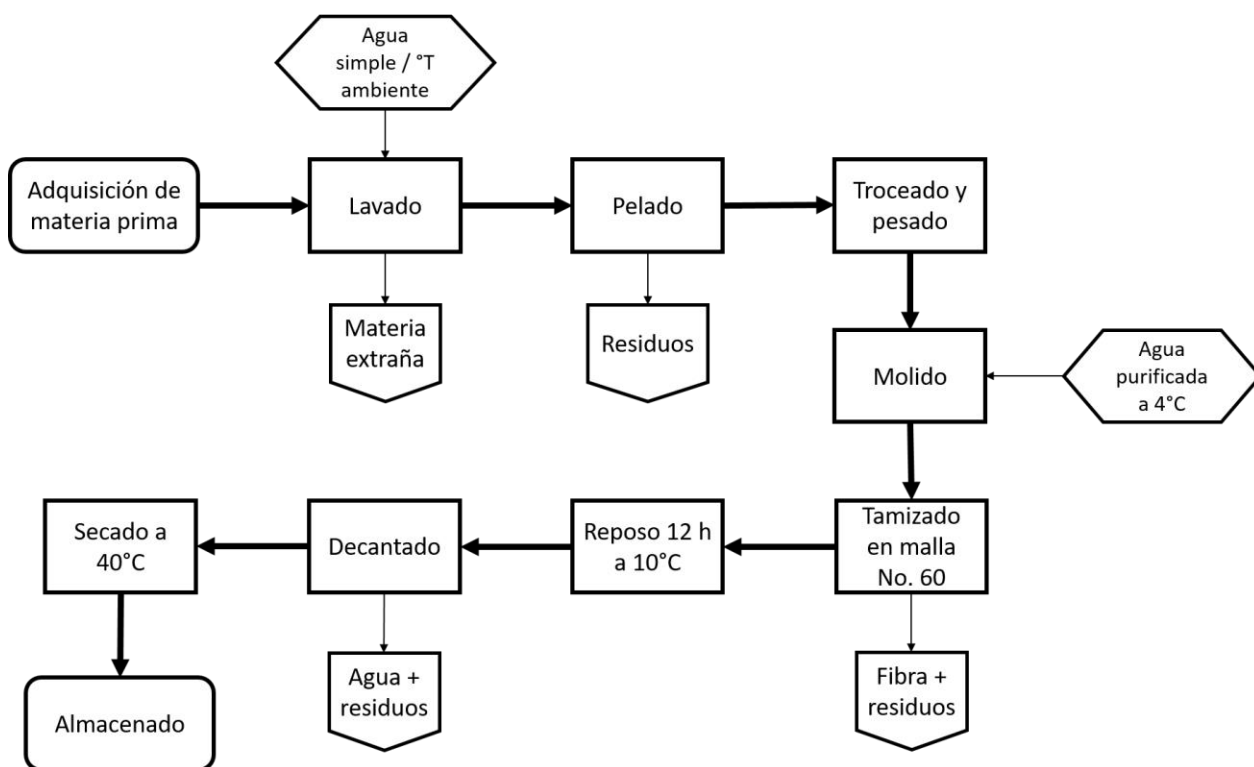


Figura 9. Procedimiento general para extracción de almidón por vía húmeda a partir de raíces y/o tubérculos frescos.

6.2. Obtención de las raíces de calabacilla loca (*C. foetidissima*)

El material necesario para la realización de los ensayos fue recolectado en el campus Saltillo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, cuyas coordenadas geográficas son 25° 22" de latitud norte y 101° 02" longitud oeste y a una altitud de 1742 msnm (Vázquez Castillo, 1993).

El clima predominante es muy seco, BW hw (x") (e); semicálido, con invierno fresco, extremo, con lluvias en verano, y una precipitación invernal superior al 10% del total

anual. La precipitación total anual media 350-400 mm; régimen de lluvias: la temporada lluviosa es de junio a octubre. El mes con lluvias más abundante es julio y marzo es el mes más seco y una precipitación invernal superior al 10% del total anual. La temperatura media anual de 19.8 °C. Las heladas comienzan en noviembre, no son muy severas en noviembre y diciembre, son más intensas en enero (hasta - 10°C). Terminan en marzo, mes que ni son muy intensas, ni se presentan frecuentemente, en algunas ocasiones, pueden presentarse ligeras heladas en abril.

En cuanto a las características del suelo, éste es de textura migajón y migajón arcillosa, con bajos contenidos de materia orgánica y poseen una capa subyacente de carbonato de calcio.

El método de extracción fue manual, cavando alrededor de la raíz tuberosa hasta lograr su extracción total, tratando de no lastimar los tejidos y de eliminar toda la materia extraña posible.

Posteriormente, las raíces fueron transportadas al laboratorio del departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos para proceder a su lavado con agua limpia corriente del grifo hasta eliminar la totalidad de la materia extraña (tierra, pequeñas piedras, paja, y otras).

6.3. Acondicionamiento de la materia prima

Las raíces se desinfectaron por inmersión en solución de hipoclorito de sodio al 5% y agua por 30 minutos y un posterior enjuague con agua corriente simple y, una vez limpias, se procedió al descortezamiento utilizando cuchillos cortos hasta obtener los tejidos de interés. Los tejidos obtenidos se cortaron en trozos pequeños para facilitar la molienda posterior.

A fin de facilitar la salida del almidón de las células donde se encuentra, se procedió a congelar las muestras a -18°C y posteriormente se descongelaron, a fin de romper y ablandar las paredes celulares.

6.4. Extracción del almidón

Los trozos de tejido limpio y descongelado se sometieron a una molienda en licuadora con agua purificada fría (4°C) hasta obtener una mezcla pastosa, dicho material se sometió a filtrado utilizando tela fina de lino y se lavó con agua purificada hasta eliminar la turbidez en la corriente de salida.

La solución obtenida se dejó reposar por 12 h en ambiente fresco (10°C) y posteriormente se decantó el sobrenadante, reservando el precipitado, en donde se encuentra el material de interés, el cual se sometió a secado por convección forzada a una temperatura de 40°C por 24 h en una estufa marca NOVATECH.

El material seco se reservó para su posterior análisis bromatológico e instrumental.

6.5. Caracterización proximal

El material crudo (tejido descortezado) y el material parcialmente purificado fueron sometidos a la batería de análisis bromatológicos por triplicado y sometidos a un análisis ANOVA y de t-student ($p \leq 0.05$), mismos se describen a continuación:

6.5.1. Humedad

El método utilizado fue el gravimético por estufa, de la AOAC (1990).

6.5.2. Proteína cruda

Para este análisis, se utilizó la metodología Kjeldahl indicada en el manual de la AOAC (1990).

6.5.3. Extracto etéreo

El extracto etéreo fue determinado por método soxhlet (AOAC, 1990), utilizando éter de petróleo como agente de arrastre.

6.5.4. Fibra

El método gravimétrico de la AOAC (1990) fue el utilizado para realizar esta determinación.

6.5.5. Cenizas

Para la obtención del valor del contenido de cenizas en la muestra, se utilizó el método gravimétrico de la AOAC (1990).

6.6. Purificación parcial del material

A fin de realizar una caracterización lo más fiel posible, se sometió al material a una purificación parcial a través de lavado con agua simple purificada fría, de manera que se separara el mayor contenido de fibra posible del material en estudio.

Posteriormente, el material se sometió a secado a 40°C por 24 h en una estufa NOVATECH y, una vez seco el material, se procedió a su pulverización en mortero y tamizado en malla No. 60 (abertura de 250 μm), reservando en bolsas plásticas de cierre hermético para el posterior análisis instrumental.

6.7. Caracterización instrumental

A fin de evaluar las características tecnológicas del material parcialmente purificado, se llevaron a cabo análisis instrumentales de las muestras de material por triplicado en el laboratorio de carbohidratos, empaques y alimentos funcionales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., en la unidad ubicada en Cd. Cuauhtémoc, Chihuahua. Las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados fueron sometidos a un análisis ANOVA y t-sudent ($p \leq 0.05$).

6.7.1. Análisis térmico DSC

Las propiedades térmicas del material obtenido se determinaron utilizando un calorímetro diferencial de barrido de acuerdo a Paredes-López *et al.* (1994).

6.7.2. Variables reológicas

Las pruebas reológicas consistieron en determinaciones oscilatorias dinámicas, las cuales se realizaron a 25 ± 0.1 °C, utilizando las geometrías de placas paralelas y de cono-placa por medio un reómetro con esfuerzo controlado AR1500ex (TA Instruments, New Castle, USA). Para esta determinación se utilizó el método reportado por Moraes, *et al.* (2009).

6.7.3. Viscosidad aparente

El perfil de viscosidad se determinará empleando la técnica propuesta por la AACC (61-02, AACC, 2000) a tres temperaturas: 25, 50 y 70 °C.

6.7.4. FTIR

Para confirmar la composición química y tipo de enlaces presentes en la muestra, se realizó una determinación por FTIR (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier), de acuerdo a Mano, *et al.* (2003).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluidos los ensayos de gabinete e instrumentales, se analizaron los resultados obtenidos, mismos que se muestran a lo largo de este apartado.

7.1. Materia prima obtenida

Se obtuvieron raíces frescas suficientes para realizar la extracción correspondiente del material de interés.

De la operación de tratamientos físicos de reducción de tamaño, congelación-descongelación, molienda y tamizado, se obtuvo un polvo fino de color marfil, posiblemente por la presencia de pigmentos en la matriz de la raíz, o a la oxidación enzimática de los mismos, con un contenido de humedad de 8.5%.

El rendimiento de material de interés respecto a la materia prima seca fue de 33%, esto difiere a los rendimientos máximos reportados por Berry, *et al.* (1978) debido a la estación del año en la que se recolectaron las raíces, pues estos mismos autores señalan que la mayor concentración de almidones en las raíces de calabacilla loca se alcanza en la época de verano (hasta 52%), y las raíces recolectadas para este estudio se recogieron en primavera.

7.2. Caracterización proximal

Del análisis proximal, para el material crudo se obtuvo un promedio de 85% de humedad, 15% de proteína cruda, 1.5% de extracto etéreo, 40% de fibra cruda, 3.4% de cenizas y 26% de almidón.

Posterior a la purificación parcial, se realizó un nuevo análisis bromatológico al material resultante, cuyos resultados se muestran en la tabla 6. El contenido de almidón resultó en 33%, lo que es congruente con el estudio reportado por Berry, Scheerens & Bernis (1978) en el que se reporta una variabilidad en el contenido de almidón en la raíz de acuerdo a la estación del año.

Tabla 6. Perfil bromatológico del material parcialmente purificado.

Muestra	Análisis proximal			
	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Humedad
Harina de raíz de calabacilla loca	10.90 ± 0.07	0.58 ± 0.08	2.58 ± 0.02	8.46 ± 0.01

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar.

7.3. Determinación de parámetros físicos y químicos

7.3.1. Análisis térmico DCS

En la tabla 7, se presenta la media de los parámetros obtenidos del termograma DSC. Se puede apreciar que la transición de gelatinización de la muestra de almidón, ocurre con un mínimo de temperatura pico (T_p), que se encuentra en el rango de los $63.58 \pm 3.08^\circ\text{C}$. Además, esta transición ocurre en un intervalo de temperatura ($\Delta T = T_f - T_i$) de 11.84°C . La entalpía, calculada con el área bajo la curva del pico, que presenta la energía necesaria para llevar a cabo el proceso de cambio de fase, es de 5.64 ± 3.81 J/g.

Pineda *et al.* (2011) realizaron un estudio sobre las propiedades térmicas de harinas de maíz, en donde se encuentra que la muestra de harina de maíz blanco integral exhibe ligeras variaciones en cuanto a los parámetros térmicos aquí evaluados, mimos que pueden estar asociados la naturaleza propia del gránulo (Narváez-Gonzalez, *et al.* 2007), teniendo que los parámetros de temperatura inicial (T_i) correlacionan negativamente con las temperaturas pico (T_p) y final (T_f) de gelatinización, pero correlaciona positivamente con la entalpía de gelatinización. Estas correlaciones pueden deberse a un arreglo menos ordenado de las cadenas de polisacáridos en los gránulos pequeños, cuyos cristales podrían ser menos estables (Seetharaman, *et al.* 2001; Chiotelli, *et al.* 2002).

Tabla 7. Análisis térmico por DSC (calorimetría diferencial de barrido).

Muestra	Variables térmicas			
	T _i (°C)	T _p (°C)	T _f (°C)	ΔH (J/g)
Harina de raíz de calabacilla loca	59.35 ± 2.41	63.58 ± 3.08	71.19 ± 4.54	5.64 ± 3.81

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar.

7.3.2. Variables reológicas y viscosidad aparente

Las variables reológicas determinadas se presentan en la tabla 8, donde se muestran los valores medios en cuanto al índice de comportamiento de flujo (*n*) y el índice de consistencia (*k*). De acuerdo con lo referenciado por (Enriquez-Castillo, *et al.* 2012), los valores de *n* evidencian un comportamiento no newtoniano de tipo plástico general, el cual disminuye conforme se incrementa la temperatura, sin que haya diferencia entre las temperaturas de 50 y 70°C. Los valores de *k* denuncian un marcado decremento en la viscosidad conforme se incrementa la temperatura.

El esfuerzo cortante inicial es indistinto para las tres temperaturas del tratamiento, y los valores pequeños de esfuerzo cortante y las tendencias mostradas en la figura 10 se ajustan más a un comportamiento newtoniano, lo cual es consistente con el decremento del índice *k* en las mismas condiciones de estudio, esto se puede contrastar con lo reportado por (Enriquez-Castillo, *et al.* 2012) para sólidos totales en yogurt.

Tabla 8. Variables reológicas de la muestra de calabacilla obtenidas por el modelo de Ley de Potencia a tres temperaturas.

Temperatura (°C)	Variables reológicas		
	<i>k</i> (Pa × s ⁿ)	<i>n</i>	R ²
25	7.54 ± 0.85 ^a	0.54 ± 0.05 ^a	0.950
50	4.21 ± 1.08 ^b	0.60 ± 0.08 ^b	0.964
70	2.33 ± 0.94 ^b	0.62 ± 0.09 ^b	0.970

Media aritmética de tres repeticiones ± error estándar. Letras iguales en la misma columna no son significativamente diferentes (*p* ≤ 0.05).

7.3.3. FTIR

En la figura 11 se aprecia el espectro FTIR correspondiente a la harina de la raíz de la calabacilla loca, mismo que exhibe señales características del polímero natural almidón (Narváez-González, *et al.* 2007; Seetharaman, *et al.* 2001); siendo estas la presencia de una banda ancha de absorción entre los 3300-3400 cm^{-1} , correspondiente a la presencia de grupos OH. Así mismo se puede observar una banda a los 2900 cm^{-1} atribuyen a estrechamiento de los grupos CH_2 , alrededor de los 1600 cm^{-1} se aprecia un estiramiento asignada al agua ligada. En la región de la “huella digital se aprecia los picos en el área de los 1000 cm^{-1} correspondientes a las vibraciones de las uniones C-O-C de la glucosa y cercano a los 900, 800, 700 y 550 cm^{-1} , que se atribuyen al anillo piranósico (Chi, *et al.* 2007).

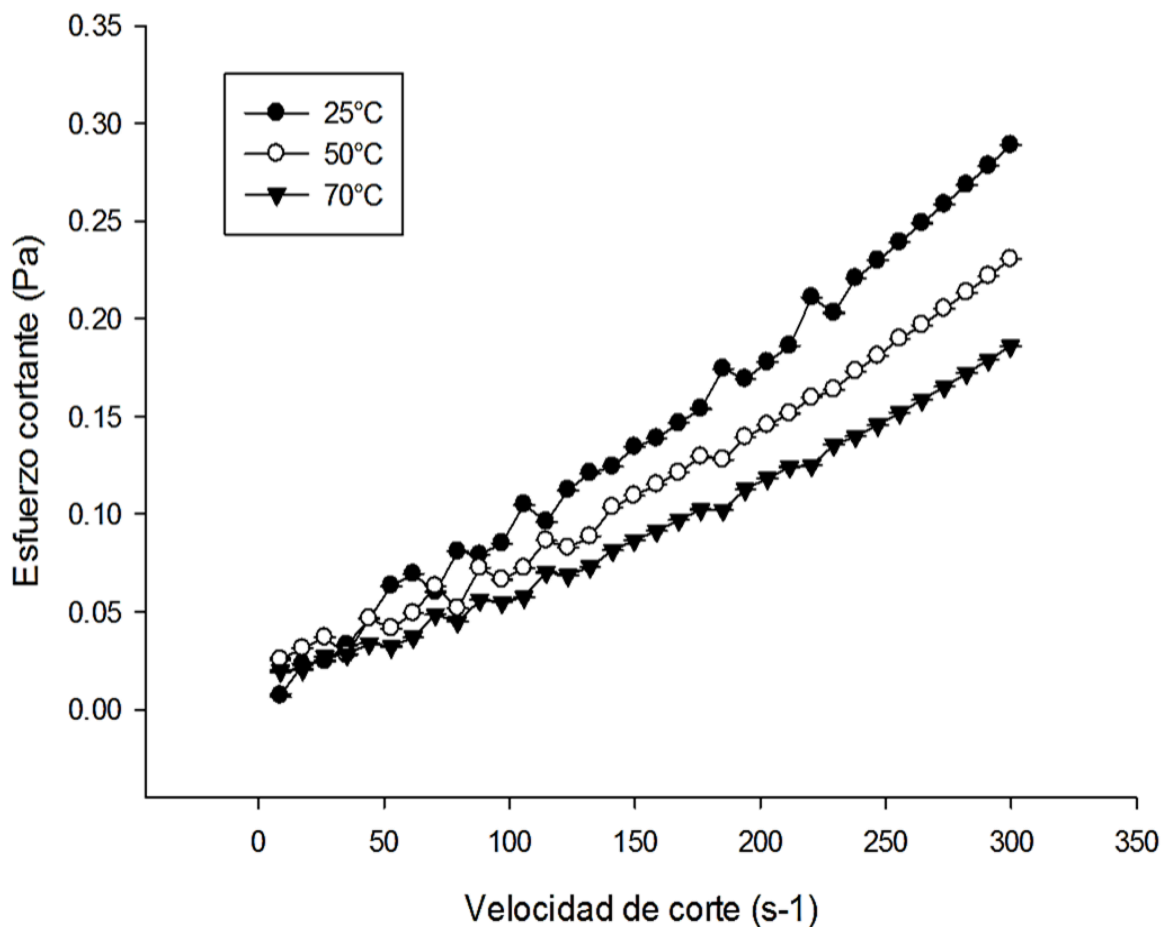


Figura 10. Curvas de flujo a la velocidad de corte de 0.6 hasta 300 s^{-1} a tres diferentes temperaturas (25, 50 y 70 $^{\circ}\text{C}$).

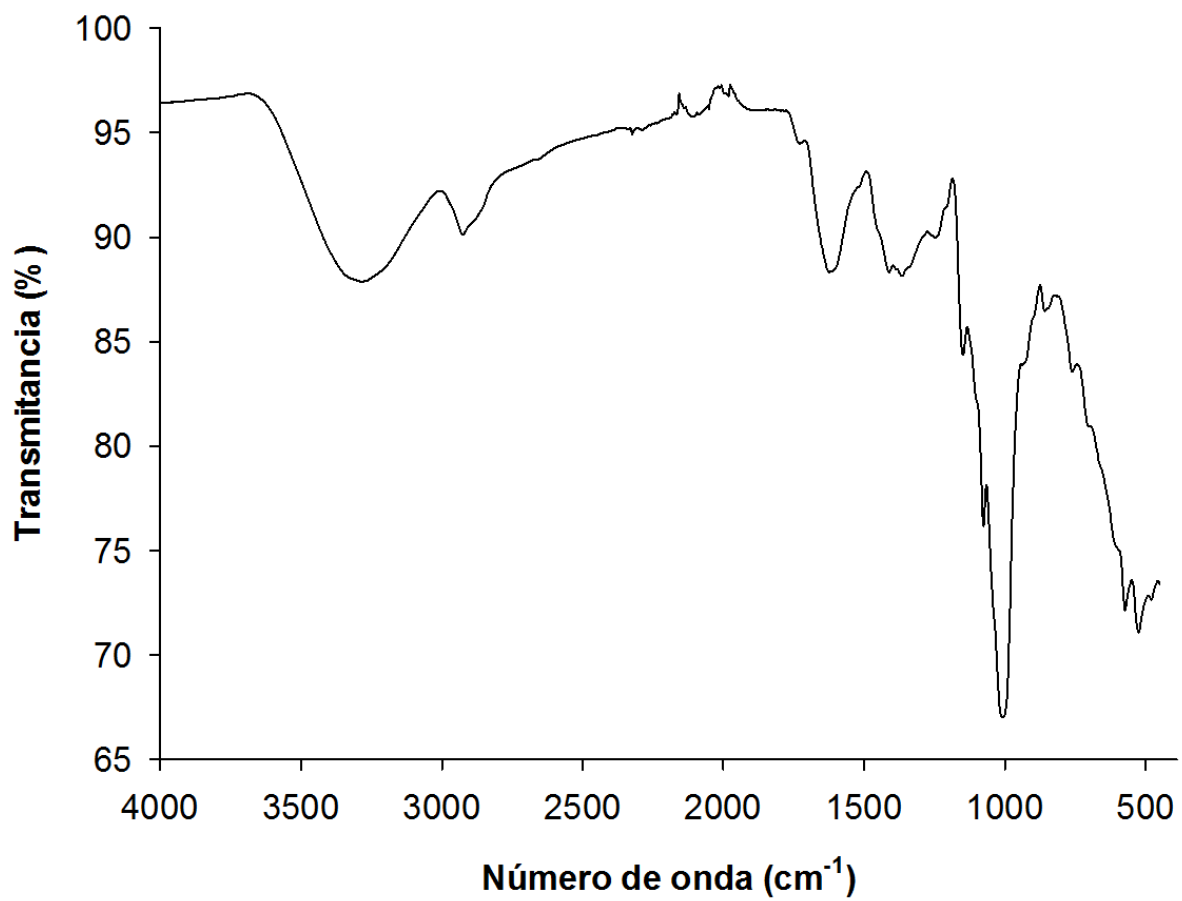


Figura 11. Espectro FTIR de la harina de raíz de calabacilla loca (*C. foetidissima* HBK).

VIII. CONCLUSIONES

La obtención del material biológico se llevó a cabo de forma satisfactoria, aunque se recomienda su recolección hacia el final del verano, como lo reporta la literatura, a fin de obtener un mayor porcentaje del compuesto de interés respecto al peso total de las raíces tuberosas, ya que para este estudio se logró la identificación de sólo el 33% de almidón en base seca.

Se logró la extracción de un material almidonoso de color marfil, con las características de una harina, con tamaño de partícula ≤ 250 nm.

Las características bromatológicas del material obtenido revelaron que es necesario un proceso de purificación más exhaustivo, a fin de reducir la composición a solamente carbohidratos en su mayor porcentaje, pues presenta aún un alto contenido de proteína.

Los análisis instrumentales revelaron un material con características semejantes a la harina de maíz, aunque aún faltaría caracterizar las proteínas presentes en el material estudiado a fin de elucidar si son seguras para su consumo, o bien, para reafirmar la necesidad de su eliminación del material para mejorar las características generales y específicas del almidón.

Aunque las características del material obtenido, tal como está, no lo hacen candidato a su uso como materia prima alimenticia; sí pueden encontrarse aplicaciones para el mismo en otros rubros y/o procesos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

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

AACC (American Association of Cereals Chemists). 2000. Approved Methods of the AACC. St. Paul, MN.

ACCCSA. 2012. Radiografía del mercado de almidones. Revista oficial de la Asociación de Corrugadores del Caribe, Centro y Sur América. http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=106:radiografia-del-mercado-de-almidones&catid=11:edicion-26&Itemid=18

A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis. 15 th Edition. U.S.A.

Aristizábal, J. y Sánchez, T. 2007. Guía Técnica para la producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO (163). Roma, Italia. 153 p.

Arroz.com. 2016. Estimaciones de la FAO de la producción y comercio mundial de arroz. Disponible el 09 de mayo de 2017 en: <http://arroz.com/tags/consumo>

Bailey, I.H. 1943. Gentes, Herb. 6:265.

Balaguer y Primo, F. 1894. Almidones, féculas y sus derivados. Monografías industriales. Editado por Hijos de D. J. Cuesta. Madrid, España. 139 p. Disponible el 10 de mayo de 2017 en:

<https://archive.org/stream/almidonesfculas00primgoog#page/n12/mode/2up>

Barrera, V. H.; Tapia, C.G. y Monteros, A. R. (eds). 2004. Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador. Serie: Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003). No.4. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, Centro Internacional de la Papa, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Quito, Ecuador - Lima, Perú. Pp. 91 – 116

Bello-Pérez, L. A. 1995. Amilopectina – caracterización molecular y funcional. Tesis de Doctorado. CINVSTAV – IPN. Irapuato, Guanajuato, México.

Bello-Pérez, L. A.; Sáyago-Ayerdi, S. G.; Villagómez-Méndez, J.; Montiel-Salas, L. I. 2000. Almidón de plátano y calidad sensorial de dos tipos de galletas. *Agrociencia*, 34(5): 553-560

Bemis, W. P. & T.W. Whitaker. 1969. The xerophytic Cucurbita of northwestern Mexico and southwestern United States. *Madroño* 20: 33-41

Berry, J. W.; Bemis W. P.; Weber, C. W. & Philip, T. 1975. Cucurbit root starches: isolation and some properties of starch from *Cucurbita foetidissima* HBK and *Cucurbita digitata* Garay. *Communications. J. Agric. Food Chem.*, 23 (4): 825 – 826

Berry, James W., Joseph C. Scheerens, and William P. Bemis. 1978. Buffalo gourd roots: chemical composition and seasonal changes in starch content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 26 (2), 354-356

Bertolini, A. C.; E. Souza, J. E. Nelson, K. C. Huber. 2003. Composition and reactivity of A- and B-type starch granules of normal, partial waxy, and waxy wheat. *Cereal Chem.* 80:544-549

Brumovsky, L. A. 2014. Química del almidón. Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales. Posadas, Misiones, Argentina. Disponible el 09 de mayo de 2017 en: <http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/backends/download.php?url=L0FwdW50ZXNfZGVfdGVvcu1hL0FsbWlkb24yMDE0LnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=IA818>

Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., & Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23(2), 85-112

Chi, H; Xu, K.; Xue, D.; Song, C.; Zhang, W. y Wang, P. 2007. Synthesis of dodecenyl succinic anhydride (DDSA) corn starch; *Food Research Int.* 40: 232-238

Chiotelli, E., & Le Meste, M. (2002). Effect of small and large wheat starch granules on thermomechanical behavior of starch. *Cereal Chemistry*, 79(2): 286-293

NMX-F-066-5-1978 Determinación de cenizas en alimentos.

Dittmer, H.J.; Talley, B. P. 1964. Gross Morphology of Tap Roots of Desert Cucurbits. *Bot. Gaz* 125:121-126

Dreher, M.L. & Berry, J. W. 1983. Buffalo gourd root starch. Part I. properties and structure. *Starch/stärke*, 35 (3): 76 – 81

Enriquez-Castillo, Diana; Sánchez-González, Jesús y Castro-Santander, Publio. 2012. Effect of total solids concentration of whole milk and type of starter culture on the rheological characteristics of the type plain yogurt smoothie. *Agroind Sci* 2 (2012): 173-180

Espinosa Solís, V. 2008. Estudios estructurales de almidón de fuentes no convencionales: mango (*Manguifera indica* L.) y plátano (*Musa paradisiaca* L.). Tesis de maestría. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional. Yautepec, Morelos, México. 84 p. Disponible el 09 de mayo de 2017 en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3598/ESTUDIOSESTRUCTURALES.pdf?sequence=1>

Faisant, N., A. Bulèon, P. Colonna, C. Molis, S. Lartigue, J. P. Galmiche, and M. Champ. 1995. Digestion of raw banana starch in the small intestine of healthy humans: structural features of resistant starch. *Br. J. Nutr.* 73:111-123

FAO. 1998. Los almidones tropicales no llegan al mercado. FAO: Departamento de agricultura y protección al consumidor. Revista "Enfoques". Disponible el 09 de mayo de 2017 en: <http://www.fao.org/ag/esp/revista/9809/spot3.htm>

FAO. 1999. Los carbohidratos en la nutrición humana. Estudio FAO alimentación y nutrición (66). Informe de una consulta mixta FAO/OMS de expertos. Roma, Italia, 14 – 18 de abril de 1997. p. 86

FAO. 2003. FAOSTAT statistic database (last update may 2004). Agriculture. Rome, Italy.

FAO. 2015. Perspectivas alimentarias. Resúmenes de mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Octubre de 2015. Roma, Italia. pp. 4-6

French, D. 1972. Fine structure of starch and its relationship to the organization of starch granules. *Denpun Kaganu.* 19:8 – 25

Gavilán, A. 2010. Aditivos y bioaditivos. Fronteras en la tecnología de los alimentos, del 4 al 9 de julio de 2010. Asociación de fabricantes y comercializadores de aditivos y complementos alimentarios. Centro de Ciencias de Benasque Pedro Pascual. Huesca, España. Disponible el 10 de mayo de 2017 en: http://benasque.org/2010fronterastalim/talks_contr/071Andres_Gavilan.pdf

Geera, B. P., J. E. Nelson, E. Souza, K. C. Huber. 2006. Composition and properties of A- and B type starch granule of wild-type, partial waxy, and waxy soft wheat. *Cereal Chem.* 83:551-557

González Andrade, S. y Brugués Rodríguez, A. 2010. Producción de biocombustibles con maíz: un análisis de bienestar en México. *Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*, 6(1): 73 – 85

Granados-Sánchez, D. y López-Ríos, G. F. 1999. Un recurso forestal de zonas áridas: calabacilla loca (*Cucurbita foetidissima* HBK). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 5(1): 35-40

Guilbot, A., and C. Mercier. 1985. Starch. In: *The Polysaccharides*. Aspinall, O. (ed.). Academic Press. New York. USA. 209 p.

Gujaska, E., Reinhard W. D., Khan K. 1994. Physicochemical Properties of Field pea, Pinto and Navy Bean Starches. *Journal Food Science*, 59, 634– 636

Hernández Rodríguez, M. y Sastre Gallegos, A. 1999. Tratado de nutrición. Ed. Díaz Santos. Madrid, España. p. 60

Hizukuri, s. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*. 147:342 – 347

Hoseney, R. C. 1998. Principles of Cereal Science and Technology. 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 378 p

Hoover, R., and W. Ratnayake. 2002. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada. *Food Chem.* 78: 489–498

Huang, Z. Q., Lu, J. P., Li, X. H., & Tong, Z. F. 2007. Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch. *Carbohydrate Polymers*, 68(1): 128-135

Jane J, Y Y Chen, L F Lee, A E McPherson, K S Wong, M Radosavljevic, T Kasemsuwan. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* 7:629-637

Jiménez-Hernández, J.; Meneses-Esparza F.; Rosendo-Escobar, J.; Vivar-Vera, M. A.; Bello-Pérez, L. A. & García-Suárez, F. J. 2011. Extraction and characterization of starch from *Enterolobium cyclocarpum* seeds, *CyTA - Journal of Food*, 9(2): 89-95

Jiménez-Hernández, J., Salazae-Montoya, J.A., Ramos-Ramírez E.G. 2007. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohidrate Polymers*. 68: 679-686.

Jobling, S. 2004. Improving starch for food and industrial applications. *Curr. Opin. Plant Biol.* 7: 210–218

Juárez, Z. N.; Bárcenas-Pozos, M. E. y Hernández R. L. 2014. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 8(1): 79-93

Juliano, B. O. 1994. El arroz en la nutrición humana. Colección FAO: alimentación y nutrición. Roma, Italia. p. 131

Kempf, W. 1984. Recent trends in European Community and West German starch industries. *Starch*, 36: 333-341

Kholi, M. M. y Martino, D. L. (eds.). 1998. Explorando altos rendimientos de trigo. CIMMYT e INIA. La Estanzuela, Colonia, Uruguay. p. 293

Li, J. H., T Vasanthan, R Hoover, B G Rosnagel. 2003. Starch from hull-less barley: ultrastructure and distribution of granule-bound proteins. *Cereal Chem.* 80:524-532.

Lira Saade, R.; Eguiarte Fruns, L. y Montes Hernández, S. 2009. Proyecto recopilación y análisis de la información existente de los géneros *Cucurbita* y *Sechium* que crecen y/o se cultivan en México. Informe final (noviembre, 2009). FES Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. Disponible el 10 de mayo de 2017 en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/centrosOrigen/Cucurbita%20y%20Sechium/1er_Informe/Primer%20informe%20Cucurbita%20y%20Sechium.pdf

MacAllister, R.V. 1979. Nutritive sweeteners made from starch. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry.* (36): 15 – 56

Manni, D., y Santiago, L. 2008. Desarrollo de biomateriales a partir de almidón de amaranto modificado. 2do. Encuentro de jóvenes investigadores en ciencia y tecnología de materiales – Posadas – Misiones, Argentina. 16 y 17 de octubre de 2008. Asociación Argentina de Materiales. Disponible el 10 de mayo de 2017 en: http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/jovenesSAM08/Trabajos_completos/11.Biomateriales/11113_ManniD.pdf

Mano, J. E., D. Koniarova, and R. L. Reis, 2003. Thermal properties of thermoplastic starch/synthetic polymer blends with potential biomedical applicability. *J. Mater. Sci. — Mater. M.* 14: 127–135.

Méndez, A. 2010. Extracción de Almidón de 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. Tesis de licenciatura. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala.

Meyer, A. 1895. Untersuchungen über die stärkekörner. Fisher. Jena, Germany.

Meyer, K. H., Bernfeld, P., Rathgeb, P. and Gürtler, P. 1948. Recherches sur l'amidon, 41. La dégradation de l'amylopectine par la β -amylase. HCA, 31: 1536–1540

Miramont, S. 2012. Recubrimientos elaborados a partir de biopolímeros para el soporte de sustancias con actividad antimicrobiana: carvacrol y sorbatos. Tesis de maestría. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires. Ciudad autónoma de Buenos Aires, Argentina. pp. 17-23. Disponible el 09 de mayo de 2017 en: <http://posgrado.frba.utn.edu.ar/investigacion/tesis/MTA-2012-Sofia%20Miramont.pdf>

Miyazaki, M.; Van Hung, P.; Maeda, T. and Morita, N. 2006. Recent Advances in Application of Modified Starch. *Trends in Food Science and Technology*. 17(11): 591-599

Montaldo, A. 1984. Mejoramiento de la papa. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. p. 123

Moraes, Izabel C.F.^a, Rosemary A. Carvalho^a, Ana Mônica Q.B. Bittante^a, Javier Solorza-Feria^b, Paulo J.A. Sobral. 2009. Film forming solutions based on gelatin and poly(vinyl alcohol) blends: Thermal and rheological characterizations. *Journal of Food Engineering*. 95(4):588 – 596

Narváez-González, E. D.; Figueroa-Cárdenas, J. D.; Taba, S.; 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): 269 – 277

Nikuni, Z. 1969. Denpun and chori (starch and cookery). *Chorikagaku*. 2:6 – 14.

Pamplona Roger, J. D. 1999. Enciclopedia de los alimentos y su poder curativo: tratado de bromatología y dietoterapia. Vol. II. Ed. Safeliz. Madrid, España. pp. 70-72

Paredes-López, O., L. Bello-Pérez A., López, M. G. (1994). Amylopectin: Structural gelatinization and retrogradation studies. *Food Chemistry*, 50: 411-418

Peng M, M Gao, E-S M Abdel-Aal, P Hucl, R N Chibbar. 1999. Separation and characterization of A- and B-type starch granules in wheat endosperm. *Cereal Chem.* 76:375-379

Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Ramos-Rivera, D., & Rosales-Rivera, A. (2011). Estudio de las propiedades térmicas de harinas de maíz producidas por tratamiento térmico-alcálico. *Ingeniería y Ciencia*, 7(14): 119-142.

Primo Yúfera, E. 2007. Química orgánica básica y aplicada. De la molécula a la industria. Tomo II. Ed. Reverté. Barcelona, España. p. 879

Raeker, M. Ö., C. S. Gaines, P. L. Finney, and T. Donelson. 1998. Granule size distribution and chemical composition of starches from 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chem.* 75:721-728.

Reveles Saucedo, F. O.; Rosales Serna, R.; Nava Berúmen, C. A. 2010. Identificación de especies vegetales con potencial para la producción de biocombustibles líquidos en Durango, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(1): 45-54

Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México. 2da. Ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán, México.

Sabatier, J. 2005. Entrecruzamiento de un almidón comercial utilizando epíclorhidrina y trimetafosfato de sodio. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 8(1): 16-23.

Schoch, T. J. 1942. Fractionation of starch by selective precipitation with butanol. *J. Am. Chem. Soc.* 64:2957-2961

Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In: Methods in Carbohydrate Chemistry, Vol. 4. R. L. Whistler, ed. Academic Press: New York, USA. Pp. 106 – 108

Seetharaman, K., Tziotis, A., Borrás, F., White, P. J., Ferrer, M., & Robutti, J. 2001. Thermal and Functional Characterization of Starch from Argentinean Corn 1. *Cereal Chemistry*, 78(4): 379-386

Stevenson, W. C. 1948. Kansas wild flowers. University of Kansas Press. USA. p. 263

Stoddard, F. L. 1999. Survey of starch particle-size distribution in wheat and related species. *Cereal Chem.* 76:145-149

Suárez, L. y Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales. *Cultivos Tropicales*. 32(3): 27-35

Swinkels, J. J. M. 1996. Industrial starch chemistry: Properties, modifications and applications of starches. AVEBE. Veendam, Netherlands. 48 p.

Taggart, P., and A. C. Eliasson. 2004. "Starch as an ingredient: manufacture and applications." *Starch in food: Structure, function and applications* (2004): 363-392.

Tang, H., H. Ando, K. Watanabe, Y. Takeda, T. Mitsunaga. 2000. Some physicochemical properties of small-, medium-, and large-granule starches in fractions of waxy barley grain. *Cereal Chem.* 77:27-31

Thomas, D. J., and W. A. Atwell. 1999. Starches: Practical Guides for the Food Industry. St. Pa

Vázquez Castillo, W. A. 1993. Temperatura, fenología y calidad física en la semilla de maíz (*Zea mays* L.). Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 99 p.

Villaseñor L., J. L. y F. J. Espinosa G. 1998. Catálogo de malezas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México, D.F.

Wang, L. Z.; White, P. J. 1994(a). Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 443-450

Wang, L. Z.; White, P. J. 1994(b). Structure and properties of amylose, amylopectin and Intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry*, v. 71, n. 5, p. 263-268

Zhao, J., & Whistler, R. L. 1994. Spherical aggregates of starch granules as flavor carriers. *Food Technology*, 48(7): 104-105.

Zinn, R. A. and De Peters, E. J., 1991. Comparative feeding value of tapioca pellets for feedlot cattle. *J. Anim. Sci.*, 69: 4726-4733

Zobel, H. F. 1988. Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review. *Starch/Stärke*, 40: 44–50.