

EL USO DE YUCA Y CAMOTE EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA, COMO RECURSO POTENCIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ALMIDONES Y ALTERNATIVA DE DESARROLLO PARA LA AGRICULTURA RURAL

*Silvio Oswaldo Ramón-Avalos¹
Gerónimo Arámbula-Villa²
José Luis Rosas-Acevedo³*

Introducción

En los países industrializados, el almidón es obtenido principalmente de cereales como el maíz, trigo, arroz o tubérculos como la papa. En México, la producción de cereales no es suficiente para consumo humano, alimentación animal y uso industrial, por lo que se importan millones de toneladas de estos granos. Ante esta situación, es necesario buscar otros recursos no tradicionales ricos en almidón como posibles materias primas sustituyendo los cereales como fuente de almidón. Para nuestro país, la yuca y el camote, representan alternativa para su cultivo y dada su composición química pueden ser considerados como recurso potencial para la obtención de almidón.

Este, se encuentra en todas las formas de plantas con hojas verdes, localizado en las raíces, tallos, semillas o frutos. Además de carbohidrato de reserva, el hombre ha encontrado otros usos para el almidón, extendiendo su diseño original como fuente biológica de energía.

El almidón puede funcionar, como aditivo o materia prima principal, en productos industriales, ya sean alimentos, farmacéuticos, papelería, textiles o adhesivos, impartiendo características bien diferenciadas al producto al que haya sido adicionado y según sea el origen. Los almidones nativos utilizados en la industria alimentaria, presentan diferentes características fisicoquímicas; que se deben a tres factores principalmente: a los diferentes tipos de estructura del gránulo de almidón, a la proporción existente entre las cadenas de amilosa y amilopectina y a la presencia de otras sustancias diferentes al almidón, que al interactuar con él, lo hacen mas susceptible a las condiciones de proceso (Balagopalan, *et al.*, 1988: 144-190; Molins, 1991: 30-35, 65-77, 235-240).

El uso de los almidones nativos en el procesamiento de los alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o bien por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento, debido a esto se han desarrollado procesos de modificación física y química de los almidones nativos, estos estudios han contribuido ampliando y mejorando la gama de sus propiedades funcionales, permitiendo desarrollar nuevos productos, encontrar aplicaciones y cubrir los requerimientos del industrial, dentro del procesamiento de alimentos (Light, 1990:1081-1092; Rosalina, 2002: 191-202).

En la actualidad, los almidones modificados tienen gran demanda debido a los innumerables usos que se les pueden dar no sólo en la industria de los alimentos, sino en otras áreas, pero es precisamente en la industria de los alimentos, donde cobra una mayor importancia debido a sus propiedades funcionales que hacen del almidón un aditivo o ingrediente de bajo costo, que además se encuentra en abundancia en la naturaleza (Alvarado, *et al.*, 2004: 130).

¹Maestro en Ciencias en Alimentos. Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Maestría en Ciencias en Alimentos. Tuxtepec, Oaxaca, México email. oravalos_3@hotmail.com. ² Dr. en Biotecnología y Bioingeniería. (Miembro del

SNI) CINVESTAV-Unidad Querétaro. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN.³ Dr. en Biotecnología. (Miembro del SNI). Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional. Universidad Autónoma de Guerrero. Acapulco, Guerrero, México

Yuca

El nombre científico para este tubérculo, es *Manihot esculenta* Crantz. Su nombre común depende del país donde se localice. En los países sudamericanos y en el Oeste de África se le conoce como mandioca, en México como yuca, en Sri Lanka y países asiáticos como tapioca. La yuca se desarrolla al nivel del mar y hasta una altura de los 2000 m, en la zona ecológica conocida como el "cinturón de yuca" que se localiza en los 30° de altitud Norte y Sur del Ecuador. Crece en regiones con temperaturas ambientales desde 18 hasta los 35°C; con precipitación pluvial entre 50 y 500 mm, alta humedad y considerable incidencia de la luz del sol, con suelos de pH de hasta un valor de 9, o arcillosos (Onuma y Kosikowski, 1982: 259-275).

La producción mundial de yuca, estimada para 1999, fue de 164.3×10^6 ton. El rendimiento en las plantaciones existentes es muy variable, dependiendo de la región donde se localicen, en la India, en 1993, se obtuvieron hasta 23.5 ton de tubérculos por hectárea sembrada y en China 15.5, mientras que en el África subSahariana solo 7 ton/ha. En la mayoría de bs países productores, el 59% al 70% de la producción, e utiliza en la alimentación humana, del 20 al 24 % como forraje y el 10% en otros usos industriales. Nigeria es el país mayor productor de yuca, el segundo productor es Brasil, seguido de Zaire, Tailandia, Indonesia, Ghana e India (Scott, *et al.*, 2000).

En América Latina el área sembrada de yuca y camote se ha mantenido estable pero la producción ha disminuido. Así como también el uso de este tubérculo como alimento directo, debido a la urbanización y al cambio de los hábitos de consumo de la población. Sin embargo, en la industria alimentaria y como alimento animal se ha incrementado su uso (Scott, *et al.*, 2000). En México la producción en el 2004 de yuca fue de 1,600 ton. Está muy diseminada y se cultiva únicamente a nivel de parcela, en 16 estados (FAO, 2005).

Según Scott, *et al.* (2000), las prioridades de investigación sobre la producción, involucran evaluaciones de mercado e identificación de enlaces entre productores, procesadores y formuladores de políticas de producción; todo esto, respaldado por investigaciones agroecológicas y sobre usos específicos de la yuca.

El tiempo en que la raíz adquiere su madurez completa varía con el clima, puede ser cosechada a los 5-6 meses en zonas cálidas con bastante lluvia, o hasta los 18 meses en zonas de clima frío, o con periodos de sequía prolongada (Buitrago, 1990). En Brasil, el periodo de desarrollo es de 10 meses. Su rendimiento es muy variable, desde 12 hasta 48 ton/ha, la producción de yuca requiere pocos nutrientes y se adapta a una amplia variedad de condiciones ecológicas. En los campos experimentales de producción agrícola se han desarrollado variedades con rendimientos altos (hasta de 80 ton/ha) y resistentes a enfermedades e insectos (Montaldo, 1991: 131-288).

Las condiciones del clima al sembrar afectan la plantación, pero en general, la fecha de siembra de la yuca es relativamente flexible, si se siembra al inicio del periodo de lluvias, prospera bien y produce mejor, sin embargo, puede desarrollarse bien con baja precipitación pluvial o largos periodos de sequía (Corbishley, 1984:469-476; Buitrago, 1990).

La yuca se adapta bien a las condiciones marginales de los trópicos, pero no tolera encharcamientos en el suelo ni condiciones salinas y aunque se produce mejor en suelos fértiles, con riego adecuado, tiene la ventaja de crecer en suelos ácidos de escasa fertilidad, (Tabla 1), pudiéndose cultivar asociada con otras especies como el maíz o alguna leguminosa (Buitrago, 1990).

La tabla 2 presenta el análisis químico de la composición de la harina, que es el producto seco de la raíz entera pelada y molida.

Tabla 1. Principales características agronómicas de la yuca.

Características:	
Periodo de crecimiento en meses	9-24
Planta anual o perenne	Perenne
Precipitación óptima (cm)	100-150
Temperatura óptima (°C)	25-29
Resistente a la sequía	Si
pH óptimo	5-6
Fertilidad orgánica	Baja
Materia orgánica requerida	Baja
Crece en suelo pantanoso inundado	No
Material de siembra	Tallos
Tiempo de almacenamiento en el suelo	Largo
Duración en poscosecha	Corta

Fuente: Scott *et al.*, (2000).

Tabla 2. Análisis químico de tubérculos de cinco variedades de yuca en Tabasco

Componentes	Criolla papa	Criolla coloradita	Esmeralda	Criolla Ocuapan	Sabanera
Materia seca (g/100g)	41.3	34.17	33.76	37.34	38.06
Humedad (g/100g)	58.70	65.83	66.24	62.54	61.94
Proteína (g/100g)	1.95	1.67	1.68	2.72	1.37
Fibra (g/100g)	2.30	3.27	1.95	2.98	2.74
Grasa (g/100g)	0.36	0.40	0.32	0.68	0.50
Cenizas (g/100g)	2.53	3.01	3.31	3.09	2.82
Extracto no nitrogenado (g/100g)	34.16	25.82	26.50	27.99	30.64

Fuente: Gallegos y Cruz (1996).

Dos de las características más importantes del almidón de yuca son, su bajo contenido de otros constituyentes diferentes a la amilosa y amilopectina, por lo que la extracción y obtención del almidón es fácil y el producto obtenido es de alta pureza. Además, su bajo contenido de amilosa 15-29 %, le imparte características especiales, diferentes al almidón del maíz y de otros cereales (Scott, *et al.*, 2000). En la Tabla 3 se presenta la composición promedio y algunas características fisicoquímicas del tubérculo de yuca.

En cuanto a la susceptibilidad al deterioro, se ha reportado una durabilidad máxima de 12 días, pero en los estudios realizados por Gallegos y Cruz (1996) se encontró, que la variedad menos susceptible al deterioro durante el almacenamiento, fue la criolla papa, con tiempo de utilidad de 8 días. Así mismo, la cantidad de ácido cianhídrico fue media en esta variedad e igual que en las variedades sabanera y esmeralda, mientras que las variedades criolla coloradita y criolla ocupan presentan un contenido mayor de hasta 50 –100 mg/Kg. Con respecto al tiempo de cocción, para la variedad sabanera fue de 11 min, criolla coloradita 14 min y criolla papa 15, mientras que esmeralda y criolla ocupan fueron las de mayor dureza con un tiempo de cocción de 17 y 18 min, respectivamente. En el contenido de almidón las variedades criolla papa y sabanera fueron las de mayor contenido, con 32.98 y 30.64 % respectivamente (Gallegos y Cruz, 1996).

Tabla 3. Composición y características del tubérculo de yuca.

COMPONENTES	
Materia seca (%)	30-40
Almidón (% del peso fresco)	27-36
Azúcares totales (% del peso fresco)	0.5-2.5
Proteínas (% del peso fresco)	0.5-2.0
Fibra (% del peso fresco)	1.0
Lípidos (% del peso fresco)	0.5
Amilosa (% del peso seco)	15-29
Vitamina C (mg/ 100 g peso fresco)	50
Ceniza (% del peso fresco)	0.5-1.5
CARACTERÍSTICAS	
Energía (kJ/ 100g)	607
Factores antinutricionales	Cianógenos
Tasa de extracción de almidón (%)	22-25
Tamaño del gránulo de almidón (μ)	5-50
Viscosidad máxima (UB)	700 - 1100
Temperatura de gelatinización (°C)	49-73

Fuente: Scott , *et al.*, (2000).

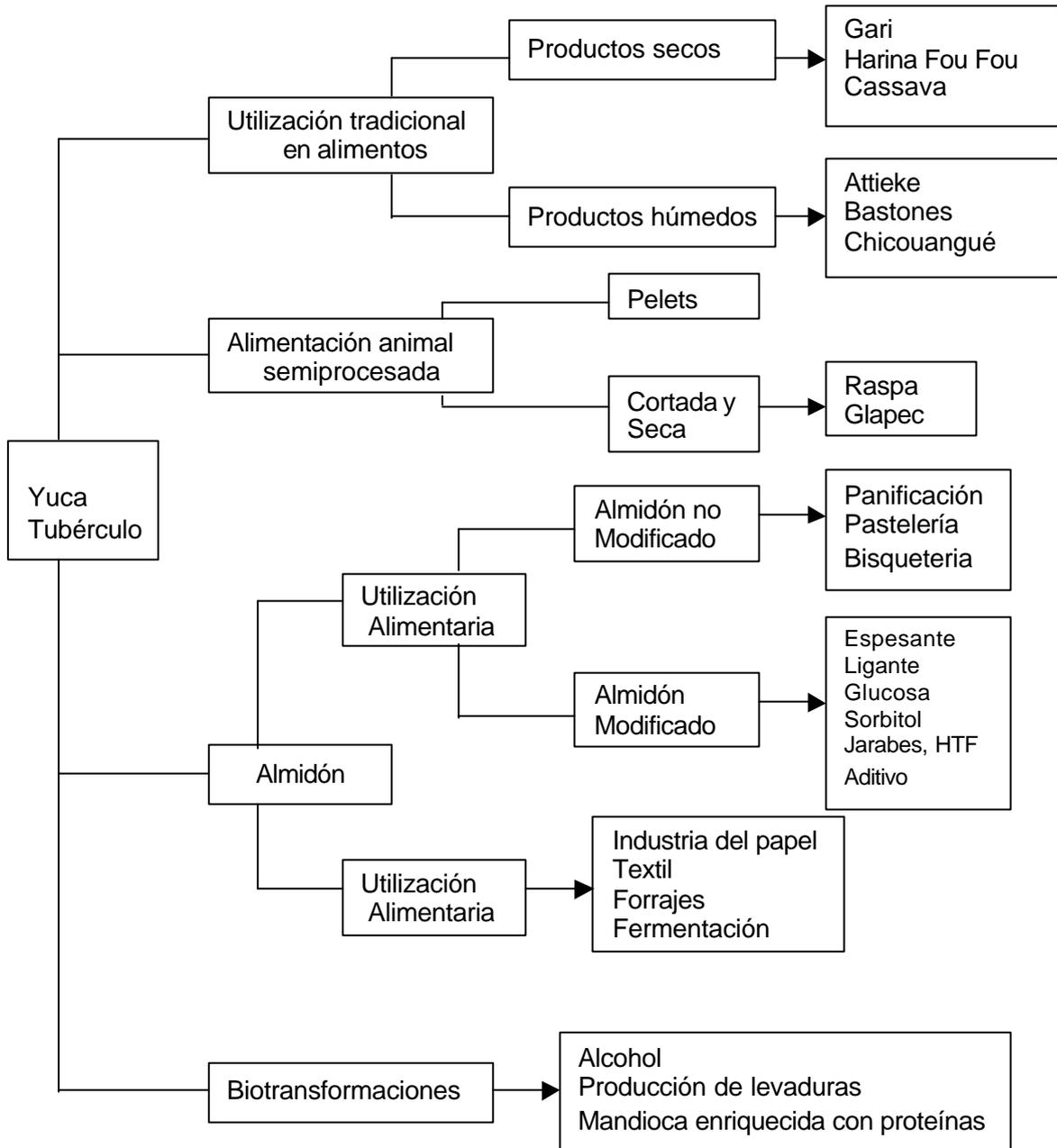
Normalmente la elaboración de harina y/o almidón es el primer paso en el proceso de industrialización de la yuca. En la figura 1 se presentan los productos industriales más frecuentes de utilización de raíces de yuca los cuales comprenden: harina, “raspas o trocitos”, almidón, tapioca, alcohol, ácido láctico, glucosa, dextrinas y gomas, de estos productos, el almidón es el que ha permitido mayor versatilidad de usos (Buitrago, 1990; Monroy, 1991).

El almidón de yuca, es muy apreciado en la industria debido a su viscosidad inusual, además, al gelatinizar forma geles suaves, incoloros, sin olor y transparentes y relativamente estables a la retrogradación (Onuma y Kosikowski, 1982:259-275; Balagopalan *et al.*, 1988:144-190).

Su gran porcentaje de cadenas ramificadas le proporcionan una gran resistencia al esfuerzo mecánico, debido a esto es utilizado en la industria del papel para la manufactura de cartones laminados o corrugados y bolsas, también en la industria cervecera, ha sustituido al almidón de maíz que se adicionaba a la malta, debido a que no desarrolla sabor residual (Onuma y Kosikowski, 1982: 259-275). Este tipo de almidón se recomienda como un ligador de agua y agente texturizante natural, para mejorar la expansión en botanas elaboradas a partir de pastas extruidas, en rellenos de pay tipo costras para reducir el rompimiento de la superficie y en alimentos procesados para bebe (National Starch and Chemical Company, 1997).

También se ha incrementado la incorporación del almidón de yuca al proceso de obtención de polímeros plásticos debido a algunas de sus características como son, su tamaño de partícula, propiedades de flujo, ser poco abrasivo y biodegradable. Al ser incorporado a las redes de polímeros, se han encontrado nuevos usos, ya que el almidón es polar e hidrofílico, en contraste con los polímeros que son hidrofóbicos. Debido a este nuevo uso, se han realizado estudios acerca de la solubilidad del almidón de yuca en solventes diferentes al agua, como son, glicerol, etanodiol, dimetilsulfóxido y formalina (Moorthy, 1982: 372-374).

Figura 1. Utilización de los tubérculos de yuca (Monroy, 1991).



Camote.

También co

nocido como batata (*Ipomeae batatas*), se creó que su centro de origen es la América tropical, ya que las antiguas civilizaciones peruana y maya ya lo cultivaban. Los principales productores de camote en Asia, son: Corea, China, Indonesia, Japón y Taiwán, aunque en la India existe un interés creciente por su cultivo. América ocupa el tercer lugar como continente productor, y el país con mas área dedicada a este cultivo y principal productor comercial es Brasil, aunque en este país, el camote solo se destina al uso doméstico y no interviene en el comercio internacional, en estado fresco o en forma elaborada. El segundo país productor americano es Cuba, seguido de Haití y Estados Unidos de Norteamérica (FAO, 1990; Montaldo, 1991: 131-288).

Se han reconocido 15 especies del género, once de las cuales solo crecen en el Continente Americano y las otras cuatro en diferentes países. Se cultiva durante todo el año en el trópico y en Japón, Estados Unidos y Argentina, solo en la estación estival libre de heladas. En Nueva Guinea, Indonesia, Japón, China y Corea, el camote ha llegado a constituir parte importante en la dieta diaria.

El consumo *per cápita* de este tubérculo ha declinado durante las dos últimas décadas (Truong y Walter, 1994: 1175-1180), la cantidad de tubérculo utilizada en el mundo para consumo humano, disminuyó de 88.0×10^6 ton en 1983 hasta 70.10×10^6 ton en 1996, mientras que el uso como forraje aumentó de 37.80×10^6 ton en 1983 hasta 58.10×10^6 ton en 1996 de las cuales el 98.7 % de la producción, corresponde a China (Scott *et al.*, 2000).

El camote en China, se utiliza como base de la industria de la crianza de cerdos, de lo cual China es el primer productor, además de utilizarse como forraje, se utiliza como fuente de almidón para la fabricación de fideos (2×10^6 ton/año). Los residuos de esta extracción, se aprovechan también para la alimentación animal (Scott *et al.*, 2000).

El camote ocupa el séptimo lugar en la producción agrícola mundial después del trigo, arroz, maíz, papa, cebada y yuca, con una producción de 135.80×10^6 ton en 1996. En América Latina la producción de camote se ha estancado o contraído. Aún así, la tasa de crecimiento proyectada para el camote como alimento humano para el periodo 1993 al 2020 es de 2.7% anual (Scott, *et al.*, 2000). En México la producción de camote en el 2004 fue de 50,000 ton. Al igual que la yuca, se cultiva únicamente a nivel de parcela (FAO, 2005).

Tabla 4. Principales características agronómicas del camote.

Características	
Periodo de crecimiento en meses	3-8
Planta anual o perenne	Perenne
Precipitación óptima (cm)	75-100
Temperatura óptima (°C)	>24
Resistente a la sequía	Si
PH óptimo	5,6-6,6
Fertilidad orgánica	Baja
Materia orgánica requerida	Baja
Crece en suelo pantanoso inundado	No
Material de siembra	Enredaderas, Estacas
Tiempo de almacenamiento en el suelo	Largo
Duración en poscosecha	Corta

Fuente: Scott *et al.* (2000).

Un aspecto importante en este cultivo, es que su producción es fácil y económica. Aunque es un cultivo secundario, el camote produce grandes rendimientos. A nivel mundial los rendimientos promedios son de: 15.0 a 19.1 t/ha; y su hábito agresivo de crecimiento elimina las malas hierbas, rindiendo más carbohidratos por hectárea que otro tipo de tubérculos, sin embargo su utilización en la alimentación humana, no es muy difundida por su sabor dulce y su textura harinosa (Truong, *et al.*, 1986: 421-425; FAO, 1990).

Casi todas las variedades mexicanas de camote son de cáscara anaranjado pálido o rojiza, con pulpa anaranjada intensa, que producen en 5 a 7 meses de desarrollo, alto contenido en caroteno y buen rendimiento (Montaldo, 1991: 131-288) en la Tabla 4 se enlistan las principales características agronómicas del camote.

El camote se clasifica en dos tipos según su utilización,; tipo pulpa seca y tipo pulpa húmeda. En Asia se prefiere el de pulpa seca, dura, blanca, con alto contenido de almidón, poca proteína y carotenos que se utiliza en la industria de extracción del almidón, producción de alcohol y alimentación animal; mientras que en los países de occidente, el camote es principalmente para la alimentación humana por lo que se prefiere que tenga más proteína y caroteno.

En los lugares donde la industria conservera del camote, ha logrado desarrollarse, ya se tienen completamente mecanizadas las operaciones de cosecha, curado y manejo del tubérculo y la única intervención manual es para eliminar materia prima defectuosa. Las perspectivas para industrializar el camote son evidentes, debido a que soporta condiciones tanto de precipitación pluvial alta como sequías, las plantaciones alcanzan rendimientos altos, su ciclo de producción es corto y su contenido de carbohidratos sobrepasa el 25% (Montaldo, 1991: 131-288).

El consumo de raíces y tubérculos, como alimento humano, en los países en desarrollo aumentó el 22% durante el periodo comprendido entre 1983 y 1996, mientras que para la alimentación animal en el mismo periodo, hubo un incremento del 50%. En 1996, la yuca fue el producto de este tipo más consumido por el hombre (93 millones de toneladas), seguida del camote (69 millones de toneladas) y la papa (65 millones de toneladas) (Scott *et al.*, 2000).

Respecto a la composición del camote, la Tabla 5 presenta la composición promedio para este tubérculo. El contenido promedio de proteínas oscila entre 1 a 2.5 %, con contenidos de almidón de 18 a 28%. El contenido de agua en las variedades harinosas, es de 50 a 60 % pero en las blandas y glutinosas puede constituir más del 80 % del tubérculo.

Tabla 5. Composición y características del tubérculo de camote.

COMPONENTES	
Materia seca (%)	19-35
Almidón (% del peso fresco)	18-28
Azúcares totales (% del peso fresco)	1.5-5.0
Proteínas (% del peso fresco)	1.0-2.5
Fibra (% del peso fresco)	1.0
Lípidos (% del peso fresco)	0.5-6.5
Vitamina A (μg / 100 g peso fresco)	900
Vitamina C (mg/ 100 g peso fresco)	35
Ceniza (% del peso fresco):	1.0
Ca (mg)	70
P	200
CARACTERÍSTICAS	
Energía (kJ/ 100g)	490
Factores antinutricionales	Inhibidores de la tripsina
Tasa de extracción de almidón (%)	10-15
Tamaño del gránulo de almidón (μ)	2-42
Amilosa (% del peso seco)	8-32
Viscosidad máxima (UB)	Nd
Temperatura de gelatinización ($^{\circ}\text{C}$)	58-65

Fuente: Scott, *et al.*, (2000).

Almidón.

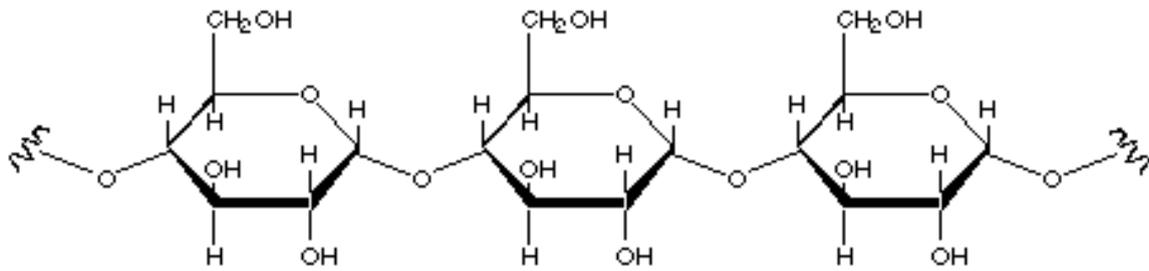
El almidón constituye la principal reserva alimenticia de todas las plantas. Este polisacárido se almacena en tallos, como la palmera sagú, o en tubérculos, como en las papas, yuca y camote (Fox, 1997: 122-128).

Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles a temperatura ambiente. Se hidratan muy poco en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35% (Coultate, 1984: 26-31).

Moléculas del almidón.

El almidón consta de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. La amilosa esta constituida por largas cadenas de restos de α -D-glucopiranosil unidos a través de enlaces glucosídicos α -1,4, y pesos moleculares hasta de un millón (Coultate, 1984: 26-31). Tiene la facilidad de adquirir una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de hélice consta de seis moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice. La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa.

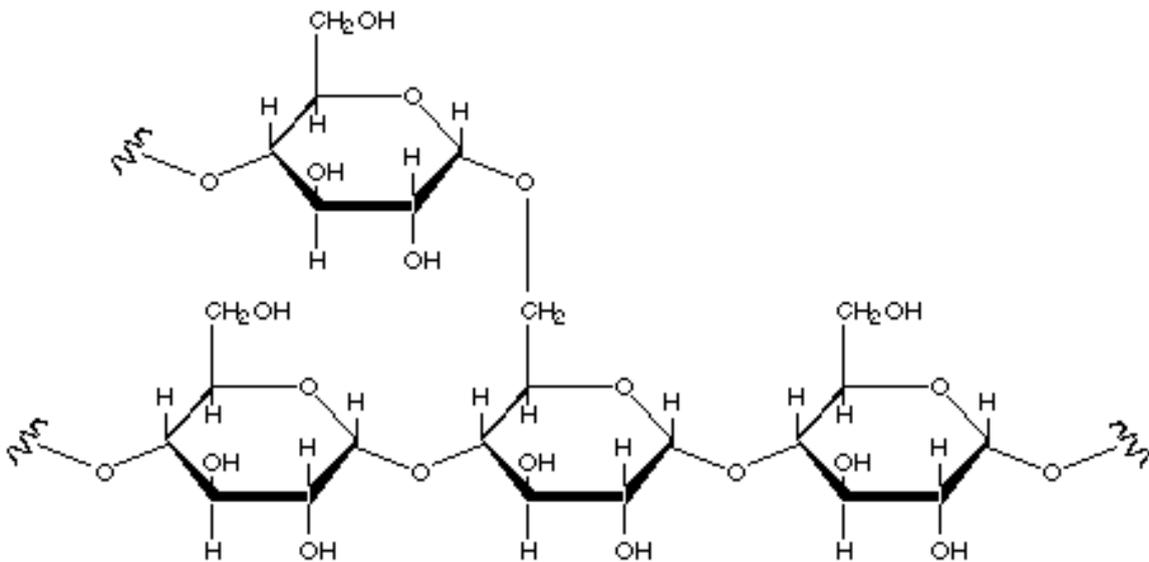
Los dos almidones de maíz comúnmente conocidos como ricos en amilosa que existen comercialmente poseen contenidos aparentes de masa alrededor del 52% y del 70-75% (Fox, 1997: 122-128). La figura 2 muestra la estructura de la amilosa.



Fox, 1997: 122-128.

Figura 2. Estructura de la amilosa

La amilopectina (figura 3) se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol; las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones. La amilopectina constituye alrededor del 75% de los almidones más comunes. Algunos almidones están constituidos exclusivamente por amilopectina y son conocidos como céreos (Fox, 1997: 122-128).



Fox, 1997: 122-128.

Figura 3. Estructura de la amilopectina

Las propiedades funcionales del almidón, dependen de varios factores, entre ellos, el tipo de clima o región geográfica donde se desarrolle la planta (García y Walter, 1998: 331-337), la proporción de amilosa y amilopectina en la estructura molecular del gránulo que cada uno de los dos componentes que lo conforman, guarden en la estructura molecular de estas cadenas, la arquitectura del gránulo y la presencia de otras sustancias que pueden interaccionar y cuya presencia depende de la pureza después de su extracción (Balagopalan, *et al.*, 1988: 144-190; Kokini, *et al.*, 1992: 124-138, Aparicio, *et al.*, 2003: 6-7).

Sin embargo, se ha encontrado, que de todos los factores mencionados, la concentración de sus componentes amilosa y amilopectina, es el factor que ejerce mayor influencia en el comportamiento del almidón y que dependiendo de su origen, los almidones pueden

contener, de manera general, 20-39 g de amilosa y 61 a 80 g de amilopectina/100 g de almidón, pero en algunos casos específicos estas proporciones se presentan en la tabla 6.

Tabla 6. Contenido de amilosa y amilopectina en almidones nativos.

ORIGEN DEL ALMIDON	AMILOSA (g/100g DE ALMIDON)	AMILOPECTINA (g/100 g DE ALMIDON)
Chícharo	36.2	63.8
Trigo	28	72
Maíz	26.2-28	72-73.8
Maíz ceroso	0-1	99-100
Papa	21	79
Arroz	17.3	82.7
Arroz ceroso	0-2	98-100
Yuca	17	83
Plátano	9.11-17.16	91.99-82.4
Camote	24	76

Fuente: Eggleston, *et al.*, 1992: 121-128.

En el gránulo, existen niveles de organización interna y diferencias entre la naturaleza de su envoltura; relacionados con la facilidad y grado de hinchamiento del gránulo y pérdida de estructura; así como también, con la eficiencia de las reacciones y grado de sustitución obtenido, cuando un almidón se hace reaccionar con sustancias para obtener algún derivado. Para gránulos que deben ser expandidos a todo su potencial cuando son calentados en agua, es esencial que la amilopectina conserve su integridad estructural, también el daño mecánico tiene un efecto marcado sobre las propiedades fisicoquímicas del almidón.

Si la amilopectina es hidrolizada por métodos químicos y enzimáticos el poder de hinchamiento es reducido; ya que el hinchamiento es una propiedad primaria de la amilopectina y es regulada por la cristalinidad de los almidones (Tester y Karkalas, 1996: 271-277).

Cuando los gránulos se rompen, crean una serie de fracciones que juegan un papel diferente cada uno, en las propiedades de gelatinización e hinchamiento de los gránulos; tales fracciones son: gránulos nativos, gránulos fragmentados (ordenados o formadores de gel) y material soluble de bajo peso molecular. Los fragmentos ordenados, son derivados de la pared rota del gránulo y detiene el alto nivel de su estructura nativa íntegra; los fragmentos formadores de gel se comportan como tal en agua fría y carecen de integridad ordenada. Mientras que los fragmentos de bajo peso molecular son producidos cuando se rompen las regiones de las ramificaciones formadas por glucosas con enlace glucosídico α (1,6) y todos ellos son de longitud comparable. Ambos fragmentos son hidrolizados por la enzima α -amilasa.

El almidón puede funcionar, como aditivo o materia prima principal. En productos industriales, ya sean alimentos, farmacéuticos, papelería, textiles o adhesivos, impartiendo características bien diferenciadas al producto al que haya sido adicionado y según sea el origen. Los almidones nativos utilizados en la industria alimentaria, presentan diferentes características fisicoquímicas; que se deben a tres factores principalmente: a los diferentes tipos de estructura del gránulo de almidón, a la proporción existente entre las cadenas de amilosa y amilopectina y a la presencia de otras sustancias diferentes al almidón, que al

interaccionar con el, lo hacen mas susceptible a las condiciones de proceso (Balagopalan, *et al.*, 1988: 144-190; Molins, 1991: 30-35, 65-77 y 235-240).

El uso de los almidones nativos en el procesamiento de los alimentos está limitado principalmente por su tendencia a retrogradar y presentar sinéresis, o bien por la inestabilidad de su viscosidad durante el procesamiento. Tratando de modificar esta característica se han desarrollado procesos de modificación física y química como el entrecruzamiento de los almidones nativos. Estos estudios han ampliado y mejorado la gama de sus propiedades funcionales, permitiendo desarrollar nuevos productos, encontrar nuevas aplicaciones y cubrir los requerimientos del industrial, dentro del procesamiento de alimentos (Light, 1990: 1081-1092; Rosalina y Bhattacharya, 2002: 191-202, Aparicio, *et al.*, 2003: 2).

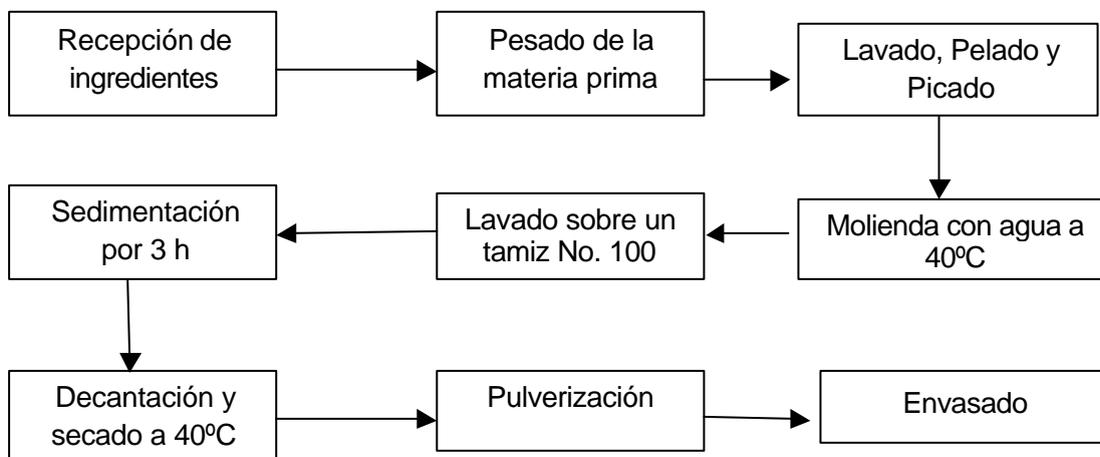
El proceso de pregelatinización incrementa la solubilidad pero restringe la capacidad de hinchamiento del gránulo y la viscosidad del almidón. Los cambios químicos como el entrecruzamiento, inducen la formación de enlaces transversales, estabilizando la estructura, y con esto la viscosidad en alimentos procesados a temperaturas de 90°C. La sustitución de los grupos hidroxilo de algunas moléculas de la glucosa en el almidón, por grupos acetilo, hidroxipropilo y fosfato, elevan la capacidad de retención de agua e impiden los fenómenos de recristalización, retrogradación y sinéresis en los geles durante el almacenamiento (Light, 1990: 1081-1092; Molins, 1991: 30-35, 65-77, 235-240; Rosalina y Bhattacharya, 2002: 191-202; Aparicio, *et al.*, 2003, 2).

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, maíz céreo, maíz amiloso, trigo, varios tipos de arroz, y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de papa, batata y tapioca. Tanto los almidones comerciales como los almidones modificados tienen múltiples posibles aplicaciones en los alimentos, que incluyen las siguientes: adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente antienviejamiento de pan, gelificante, humectante, estabilizante, texturizante y espesante.

Proceso de extracción del almidón.

El almidón de yuca y camote, fue extraído, al siguiente día del muestreo, utilizando y combinando los métodos de Bruisman (FAO, 1990: 1-50) y Molina, *et al.*, (1996: 19-25), como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Forma de extracción de los almidones



(FAO, 1990: 1-50 y Molina, *et al.*, 1996: 19-25).

Para la obtención de almidón de la yuca, las raíces se cortan finamente en rebanadas de 3 a 5 cm, las paredes celulares se rompen, por medio de un molido, convirtiéndose en pulpa y el almidón es recuperado por una serie de lavados. El líquido resultante del lavado pasa a través de tamices, cada vez mas finos, donde son eliminadas algunas pequeñas impurezas que pudieran estar presentes. Posteriormente se centrifuga para separar las fibras finas remanentes y materiales solubles, esta operación, se repite, adicionando agua limpia cada vez, con la finalidad de obtener almidón de mayor pureza (Corbishley, 1984: 469-476).

En cada operación de centrifugado, el almidón puede fermentarse, disminuyendo la cantidad y calidad del producto obtenido, para controlar la actividad microbiana y evitar el posterior deterioro del almidón, al agua de lavado se adiciona 0.5 g/L de bisulfito de sodio. En el proceso de purificación, el agua es eliminada por medio de filtración al vacío, posteriormente el producto se seca ya sea por tambor, túnel o en secado tipo flash que es el mas común, hasta 12 % de humedad. El polvo obtenido se pulveriza, tamiza y se envasa para su almacenamiento (Corbishley, 1984: 469-476).

Almidones entrecruzados.

El almidón ideal para muchos productos alimenticios, es aquel, que a concentraciones menores al 10%, produce una textura blanda y suave, con un cuerpo pesado y fuerza del gel aceptable, que permanece blando y flexible a bajas temperaturas y que retiene su capacidad de espesamiento a altas temperaturas y fuerzas de corte. El uso de almidones nativos en el procesamiento de alimentos, esta limitado debido a su tendencia a retrogradar y sufrir sinéresis, o en otros casos, a que sus geles son demasiados viscosos para la aplicación requerida. Debido a esta problemática, además de mezclas, se han desarrollado derivados como ésteres, éteres y productos despolimerizados que se denominan almidones modificados y que al cumplir con las características requeridas, son mas utilizados que los nativos de donde proceden (Rosalina y Bhattacharya, 2002: 191-202).

Los almidones que han sido modificados primero, por medio de la formación de hidroxietil o hidroxipropil éteres y posteriormente se han obtenido sus derivados catiónicos, producen geles más estables, translúcidos y con menor tendencia a retrogradar. Debido a que mejoran la textura y resistencia al pH y temperatura, son usados como espesantes y en productos lácteos; así mismo, reacciones como la succinilación de los almidones de maíz y amaranto, mejoran su capacidad de hinchamiento, la claridad de sus pastas y mejoran su estabilidad a la congelación/descongelación. Con la finalidad de obtener características requeridas por la industria, se han desarrollado métodos de modificación que pueden ser físicos, químicos o genéticos, y que además se han combinado entre sí para que el almidón adquiriera una característica específica requerida por los procesadores de alimentos (Molins, 1991: 30-35, 65-77 y 235-240; Rosalina y Bhattacharya, 2002: 191-202).

Los almidones modificados pueden sustituir a espesantes y gelificantes, pero también a estabilizadores y emulgentes. Son utilizados como agentes de recubrimiento en glaseados. Además se han encontrado otros usos para el almidón nativo, extendiendo su diseño original como fuente biológica de energía; es utilizado extensamente en industrias como la de alimentos, papel, textil o adhesivos, e incluso, en la perforación de pozos petroleros.

Este producto puede funcionar, ya sea como aditivo o materia prima principal, impartiendo características bien diferenciadas, según la fuente de donde haya sido extraído ya sea obtenido de cereales, con procesos de alto costo, o bien de tubérculos, como yuca y papa con procesos más económicos, que implican únicamente operaciones sencillas como son: molienda, tamizado, decantación, centrifugación, secado y posterior modificación.

Los almidones modificados se utilizan en la fabricación de helados, conservas y salsas espesas del tipo de las utilizadas en la cocina China. En España se limita el uso de los almidones modificados solamente en la elaboración de yogures y de conservas vegetales. En los demás casos, el único límite es la buena práctica de fabricación. Los almidones modificados se metabolizan de una forma semejante al almidón natural, rompiéndose en el aparato digestivo y formando azúcares más sencillos y finalmente glucosa, que es absorbida. Aportan por lo tanto a la dieta aproximadamente las mismas calorías que otro azúcar cualquiera. Algunos de los restos modificados (su proporción es muy pequeña, como ya se ha indicado) no pueden asimilarse y son eliminados o utilizados por las bacterias intestinales. Se consideran en general aditivos totalmente seguros e inocuos (Light, 1990: 1081-1092; Molins, 1991: 30-35, 65-77 y 235-240).

Actualmente, se producen almidones modificados, ya sea químicamente por entrecruzamiento, esterificación, hidrólisis química y enzimática; por modificación física, como la pregelatinización; o bien por modificación genética como la hibridación. Las características evaluadas en los almidones modificados, han sido principalmente, aquellas que presentan una relación estrecha en su comportamiento con el agua a diferentes temperaturas, como son: solubilidad, capacidad de retención de agua, hinchamiento, temperatura de gelatinización, claridad, estabilidad de los geles cuando son expuestos a temperaturas de refrigeración, comportamiento de la viscosidad de sus pastas, durante un ciclo de calentamiento, textura y consistencia de sus geles (Perera y Hoover, 1999: 371-375).

De acuerdo a Light (1990: 1081-1092) las razones para modificar los almidones son las siguientes:

- ◆ Para modificar sus características de cocimiento.
- ◆ Para disminuir la retrogradación.
- ◆ Para disminuir la tendencia de las pastas a gelatinizar.
- ◆ Para incrementar la estabilidad de las pastas a procesos de congelación-descongelación.
- ◆ Para mejorar la textura de sus pastas y geles.
- ◆ Para mejorar la formación de películas.
- ◆ Para mejorar las características de adhesión.
- ◆ Para mejorar sus propiedades como estabilizantes de emulsiones.

El endurecimiento del pan, se puede retardar utilizando ciertos aditivos que retrasan el endurecimiento, como los emulgentes y en particular el monoestereato de glicerol, el cual se considera que forma complejos con el almidón gelatinizado retrasando con esto la cristalización.

Los almidones fosfatados (modificados) son usados ampliamente en la industria de los alimentos y otras áreas, aunque es precisamente en la industria de alimentos, donde cobran mayor importancia debido a sus propiedades funcionales que hacen del almidón un aditivo o ingrediente de bajo costo, que además es biodegradable y renovable.

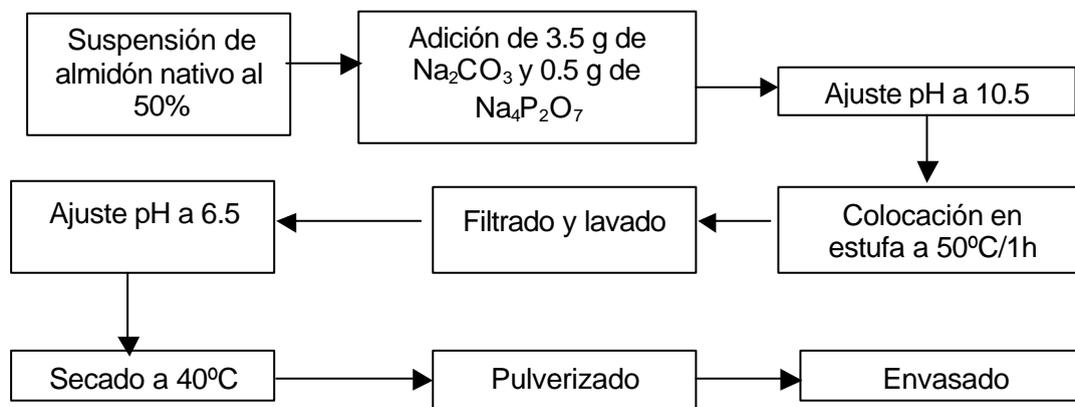
Los almidones modificados se utilizan en la fabricación de helados, panificación y pastelería, conservas y salsas espesas del tipo de las utilizadas en la cocina china donde se aprovechan las características del almidón tales como adhesión, ligante, revestimiento, estabilización de emulsiones, gelificación, transparencia de geles, mantenimiento de la humedad y espesantes, mejorando la frescura y cualidades del almacenamiento de los productos alimenticios donde son utilizados como aditivos (Karaoglu, *et al.*, 2001: 162-169).

La adición de almidones modificados a las formulaciones de pastel, incrementa la suavidad y vida de anaquel de los mismos, aunque disminuye el volumen ligeramente, ha sido recomendado para mejorar la calidad del pan (Karaoglu, *et al.*, 2001: 162-169).

Proceso de entrecruzamiento del almidón.

Para la modificación de los almidones nativos se utiliza la siguiente técnica (Tabla 5): Entrecruzamiento con trimetafosfato de sodio (Lii y Chang, 1987: 314-330). A 200 mL de una suspensión de almidón nativo al 50 %, se le adicionan 3.5 g de carbonato de sodio, y 0.5 g de trimetafosfato de sodio. El ph se ajusta a 10.5 con solución de 0.1 N NaOH y la mezcla se coloca en una estufa a 50° C durante 1 h, se filtra, se lava 3 veces con agua destilada, se ajusta el ph a 6.5 con 0.5 N HCl para posteriormente secarse a 40° C. El almidón modificado obtenido se pulveriza en un molino antes de almacenarlo.

Figura 5. Proceso de entrecruzamiento del almidón.



Conclusiones

Debido a que los almidones modificados de yuca y camote presentan propiedades como la elevación de la capacidad de retención de agua, la disminución de la recristalización y la retrogradación al formar geles durante el almacenamiento, este trabajo tuvo la finalidad de estudiar el efecto económico en el manejo de almidones modificados de yuca y camote para la industria alimenticia, como una alternativa para darle uso a estos recursos naturales, para fomentar su producción y generar más fuentes de empleo en las zonas donde se pueda cultivar, así mismo, propiciar la asesoría técnica para ayudar y financiar empresas que se encarguen de transformar esta materia prima que es fácil de producir y económicamente rentable.

Se han realizado trabajos de investigación utilizando los almidones entrecruzados de yuca y camote para la panificación, encontrando buena respuesta con el uso de ellos, ya que retardan el endurecimiento del pan. De tal modo que la utilidad de este tipo de recurso natural para las regiones productoras (sobre todo para las del sureste mexicano) es alentadora para incrementar su siembra (ya que se cultivan en mínima escala) y su desarrollo industrial, en componentes para sopas y salsas, pudines instantáneos y alimentos infantiles horneados, lo que le da al recurso un potencial no explotado masivamente.

Bibliografía.

- Alvarado-Gutiérrez I., Martínez-Bustos F., Morales-Sánchez E., Gaytán-Martínez M., Veles-Medina J. J., Gutiérrez-Arias, E., 2004. Obtención y caracterización de almidones fosfatados de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y Jícama (*Pachyrhizus erosus L. Urban*) mediante el método no convencional de calentamiento ohmico. II Simposio Internacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. (Villa Hermosa, Tabasco, México) p: 130.
- Aparicio, M. A., Waliszewski, K., Monroy-Rivera, J. A., 2003. Caracterización fisicoquímica de los almidones nativos y modificados de yuca (*Manihot esculenta Crantz*), camote (*Ipomoea batata (L) Lam*) y plátano valery (*Musa cavendish*). Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Veracruz.
- Balagopalan, C., Padmaja, G., Nanda, S. K. y Moorthy S. N. 1988. Cassava in food, feed, and industry. CRC. Press, Inc. Boca Ratón, Fla, EUA. pp: 144 – 190.
- Buitrago A. J. A. 1990. La Yuca en la Alimentación Animal. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- Corbishley, D. A. 1984. Tapioca, Arrowroot and Sago Starches Production. Starch 2nd. Ed. Academic Press, Inc., San Diego, Ca., EUA. p: 469-476.
- Coultate, T. P. 1984. The chemistry of its components. 1^a Edición. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp: 26 – 31.
- Eggleston, G. I., Swennen, H. R. y Akoni, S. I. 1992 Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids and cooking bananas. *Starch* 44: 121-128.
- FAO.1990. Utilización de alimentos tropicales: raíces y tubérculos. Estudio FAO Alimentación y Nutrición 47/2. Roma, Italia. pp: 1 – 50.
- FAO, 2005. <http://www.fao.org>. Fecha de consulta 25 de agosto del 2005.
- Fox, B. A., Cameron, A. G. 1997. Ciencia de los alimentos, nutrición y salud. Primera reimpresión. Editorial Limusa, México, D. F. pp: 122 – 128.

- Gallegos, M. L y H. A. Cruz. 1996. Evaluación de las Características Físicas y Composición Química de Cinco Variedades de Yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tesis Licenciatura. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Villahermosa, Tab.
- García, A. M. y Walter, W. M. 1998. Physicochemical characterization of starch from peruvian sweet potato selections. *Starch* 50: 331-337.
- Karaoglu, M. M., Kotancilar, H. G. y Celik, L. 2001. Effects of utilization of modified starches on the cake quality. *Starch/Stärke*. 53: 162-169.
- Kokini, J. L., Lai, L-S. L. y Chedid, L. 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Technol.* 3: 124-138.
- Lii, Ch. y Chang, S. 1987. The properties of some modified starches and their applications. In: Modified starches and their applications. Cap. 25 p: 314-330.
- Light, J. M. 1990. Modified food starches : Why, What, Where, and How. *Cereal Foods World* 35: 1081- 1092.
- Molina, M., Pereira, F. y Chel, L. 1996. Optimización del proceso de extracción del almidón de la malanga (*Xanthosoma sagittifolium*). XX Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. (Mexico). 24:19-25.
- Molins, A. R. 1991. Phosphates in food. CRC PRESS, Inc. Boca Ratón FL, EUA. p:30-35, 65-77 y 235-240.
- Monroy Rivera J. A. 1991. Elimination de l'acide cyanhydrique du manioc au cours du séchage à l'air chaud. Etudes préliminaires. Tesis de doctorado Ecole Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires. Massy, Francia.
- Montaldo, A. 1991. Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 2ª Ed. p: 131-288.
- Moorthy, S. N. 1982. Behaviour of Cassava Starch in Various Solvents. *Starch* 34: 372-374.
- Onuma, O. B. y Kosikowski, V. F. 1982. Cassava as a food. *Crit Rev. Food Sci. Nutr.* 17: 259-275.
- Perera, C. y Hoover, R. 1999. Influence of hidroxypropylation on retrogradation properties native. Defatted and heat-moisture treated potato starch. *Food Chem.* 64: 361-375.
- Rosalina y Bhattacharya, M. 2002. Dynamic rheological measurements and analysis of starch gels. *Carbohydr. Polym.* 48: 191-202.
- Scott, G. J., Rosegrant, M. W. y Ringler, C. 2000. Raíces y Tubérculos para el Siglo 21. Tendencias, Proyecciones y Opciones de Política. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias. Washington, D. C., EUA y Centro Internacional de la Papa. Lima, Perú.
- Tester, R. F. y Karkalas, J. 1996. Swelling and gelatinization of oat starches. *Cereal Chem.* 73: 271-277.
- Truong, V. D., Biermann, J. Ch. y Marlett, A. J. 1986. Simple sugars, oligosaccharides, and starch concentrations in raw and cooked sweet potato. *J. Agr. Food Chem.* 34: 421-425.
- Truong, V.D. y W.M. Walter, Jr. 1994. Physical and Sensory Properties of Sweetpotato Puree Texturized with Cellulose Derivatives. *J. Food Sci.* 59: 1175-1180.