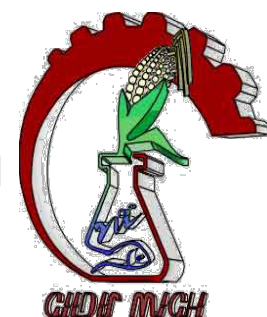




INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL

CIIDIR-IPN-MICHOACÁN.



**“OBTENCIÓN DE MALTODEXTRINAS POR VÍA
ENZIMÁTICA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE CAMOTE
(*Ipomoea batatas*)”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
PRODUCCION AGICOLA SUSTENTABLE**

PRESENTA

ING. LUIS MEDINA GARCÍA

Directores de tesis

DR. JOSE LUIS MONTAÑEZ SOTO

M. en C. IGNACIO GARCÍA RUIZ

JIQUILPAN MICHOACÁN. NOVIEMBRE DE 2013



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Mich; siendo las 12:00 horas del día 3 del mes de octubre del 2013 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR – MICH. para examinar la tesis titulada:

Obtención de maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote "*Ipomea batatas*"

Presentada por el alumno:

Medina	García	Luis
Apellido paterno	Apellido materno	Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	3	3	4
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. José Luis Montañez Soto

M.C. Ignacio García Ruíz

Dra. Rebeca Flores Magallón

Dr. José Venegas González

Dr. Luis Fernando Ceja Torres



PRESIDENTE DE COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Guillermo Herrera Arreola



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Jiquilpan de Juárez Michoacán el día 25 del mes Octubre del año 2013, el (la) que suscribe Ing. Luis Medina García, alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable con número de registro B091334, adscrito a C.I.I.D.I.R. I.P.N. Unidad Michoacán, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. José Luis Montañez Soto y M. en C. Ignacio García Ruiz, y cede los derechos del trabajo intitulado “Obtención de maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*)”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección luismg-59@hotmail.com; montasoto@yahoo.com.mx; igarcia2001@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. Luis Medina García

Nombre y firma

El presente trabajo de investigación fue realizado en el laboratorio de Bromatología de Alimentos del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Michoacán (CIIDIR-IPN-MICH), bajo la dirección del Dr. José Luis Montañez Soto y del M. en C. Ignacio García Ruiz, a quienes agradezco enormemente que en todo momento, me brindaron su orientación, atención y apoyo.

Agradezco al Instituto Politécnico Nacional por el apoyo económico que me fue otorgado a través de la beca institucional y el sistema de becas PIFI, ya que sin dichos apoyos no me hubiera sido posible realizar la Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable.

C O N T E N I D O

	Página
INDICE GENERAL	1
RESUMEN	4
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	10
NOMENCLATURA	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Almidón	13
1.1.1 Formación del gránulo	15
1.1.2 Composición química	15
1.1.3 Estructura Química	17
1.1.4 Propiedades	19
1.1.4.1 Gelatinización	20
1.1.4.2 Retrogradación	21
1.1.4.3 Birrefringencia	21
1.1.5 Fuentes de almidón	22
1.1.6 Usos del almidón	23
1.2 Amilasas	23
1.2.1 α -Amilasa	25
1.3 Maltodextrinas	26
1.3.1 Propiedades funcionales	27
1.3.2 Características particulares	28
1.3.3 Aplicaciones	28
1.3.4 Métodos de obtención	29
1.3.5 Producción nacional e importaciones	30
1.3.5 Fuentes de obtención	31
1.4 Camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	32
1.4.1 Origen	33
1.4.2 Propiedades nutricionales	35

1.4.3 Producción mundial y nacional	37
1.5 Justificación	40
1.6 Hipótesis	41
1.7 Objetivo general	41
1.8 Objetivos específicos	41
2. MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.1 Material biológico	43
2.2 Reactivos	43
2.3 Equipo	43
2.4 Métodos	44
2.4.1 Caracterización física del tubérculo	44
2.4.2 Obtención de la harina	45
2.4.2.1 Análisis químico proximal de la harina	45
2.4.3 Extracción del almidón	45
2.4.3.1 Análisis químico proximal del almidón	46
2.4.3.2 Contenido de amilosa aparente y total	46
2.4.3.3 Microscopía óptica	47
2.4.3.4 Propiedades funcionales	48
2.4.3.4.1 Capacidad de retención de agua	48
2.4.3.4.2 Solubilidad y factor de hinchamiento	49
2.4.3.4.3 Claridad de las dispersiones	49
2.4.3.4.4 Estabilidad al descongelamiento	50
2.4.3.4.5 Retrogradación	50
2.4.4 Obtención de maltodextrinas	51
2.4.4.1 Estimación del tiempo de hidrólisis	51
2.4.4.2 Obtención de maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 Equivalentes de dextrosa	51
2.4.4.3 Caracterización química	53
2.4.4.4 Propiedades fisicoquímicas	53
2.4.4.4.1 Variación del punto de congelación	54
2.4.4.4.2 Peso molecular promedio	55

2.4.4.4.3 Grado de polimerización promedio	55
2.4.4.4.4 Osmolalidad de las soluciones	55
2.4.4.5 Propiedades funcionales de las maltodextrinas	56
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	57
3.1 Caracterización del tubérculo de camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	58
3.1.1 Características físicas y porción comestible	58
3.1.2 Composición química del camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	60
3.2 Composición química del almidón	64
3.2.1 Morfología de los gránulos de almidón	70
3.2.2 Propiedades funcionales del almidón	72
3.2.2.1 Capacidad de retención de agua	72
3.2.2.2 Factor de hinchamiento	73
3.2.2.3 Solubilidad	75
3.2.2.4 Claridad de las dispersiones	76
3.2.2.5 Estabilidad al descongelamiento	78
3.2.2.6 Retrogradación	79
3.3 Obtención y caracterización de maltodextrinas	81
3.3.1 Caracterización química de las maltodextrinas	82
3.3.2 Caracterización fisicoquímica de las maltodextrinas	83
3.3.2.1 Variación del punto de congelación con la concentración de sólidos	83
3.3.2.2 Peso molecular promedio y grado de polimerización promedio	84
3.3.2.3 Osmolalidad de las soluciones	86
3.3.3 Propiedades funcionales de las maltodextrinas	87
3.3.3.1 Capacidad de retención de agua, solubilidad y factor de hinchamiento	87
4. CONCLUSIONES	90
5. BIBLIOGRAFÍA	92

R E S U M E N

Se les llama maltodextrinas, a toda una familia de productos derivados de la hidrólisis controlada del almidón, están constituidos por una mezcla de carbohidratos con diferentes grados de polimerización y por ende, diferentes pesos moleculares y su contenido de azúcares reductores directos (ARD) expresados en términos de equivalentes de dextrosa (ED) es menor a 20%. Comercialmente se clasifican en base a su contenido de ED, siendo las más demandadas aquellas que presentan un contenido de ED de 5, 10, 15 y 20%. De acuerdo a su perfil de carbohidratos y a su contenido de ARD expresados en términos de ED, las maltodextrinas presentan diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales, lo que las ha convertido en uno de los aditivos más ampliamente utilizados en la industria alimentaria y farmacéutica; desempeñándose como estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasas y aceites, agente encapsulante o vehículo en procesos de secado por aspersión, ayudan a controlar el dulzor, la osmolalidad, la higroscopicidad, la viscosidad y las reacciones de oscurecimiento y también sirven para dar cuerpo y textura. Se obtienen mediante procesos de hidrólisis ácida, enzimática o mixta, del almidón de maíz, principalmente, aunque es posible obtenerlas a partir de cualquier materia prima que almacene almidón, lo cual dependerá de la disponibilidad y precios de dichas materias primas en cada país. Para satisfacer la demanda de estos insumos, México recurre a la importación de grandes volúmenes tanto de maíz, como de almidón y maltodextrinas, lo cual representa una constante fuga de divisas y una dependencia tecnológica para el país, por lo que es necesario desarrollar la tecnología propia que nos permita aprovechar nuestras materias primas para la obtención de estos importantes insumos de la industria alimentaria y farmacéutica y de esta forma, disminuir y hasta eliminar sus importaciones, así como la dependencia tecnológica externa, dando además un mayor valor agregado a nuestros recursos naturales ya que en México se producen varias materias primas que pudieran emplearse como fuente de obtención de estos importantes insumos. El objetivo del presente trabajo de investigación consistió en producir maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón del camote (*Ipomoea batatas*); materia prima que es ampliamente cultivada en varios estados de la República Mexicana.

Inicialmente se realizó el análisis químico proximal de los tubérculos del camote (*Ipomoea batatas* variedad nylon), después se llevó a cabo la extracción y caracterización del almidón y posteriormente se determinaron las condiciones de hidrólisis óptimas para el proceso de obtención de maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 ED. Finalmente se realizó la caracterización fisicoquímica y funcional de cada una de las maltodextrinas obtenidas.

Las propiedades funcionales del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) son similares a las que presentan los principales almidones comerciales como el almidón de maíz y el almidón de papa. Las condiciones de hidrólisis establecidas en el proceso de obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimática del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fueron: temperatura 50°C, concentración de almidón al 10% p/p, pH 6.9 y una concentración de la enzima α -amilasa de *Aspergillus oryzae* 10 $\mu\text{g/mL}$. Bajo estas condiciones, la cinética de hidrólisis del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) con respecto al tiempo, se apega a una reacción de primer orden, debido a que la producción de azúcares reductores directos expresados en términos de equivalentes de dextrosa, fue directamente proporcional al tiempo de reacción. Las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) presentan propiedades fisicoquímicas y funcionales muy similares a las que presentan las maltodextrinas comerciales, las cuales son obtenidas a partir de almidón de maíz principalmente. El grado de hidrólisis de la molécula de almidón afecta fuertemente las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las maltodextrinas obtenidas; su incremento causa la disminución del grado de polimerización promedio y por ende, del peso molecular promedio de los constituyentes presentes; lo cual ocasiona el abatimiento del punto de congelación y el incremento en la osmolalidad de las soluciones preparadas con dichos productos. La solubilidad, la capacidad de retención de agua y el factor de hinchamiento también son afectados por el grado de hidrólisis de la molécula de almidón. La alta productividad del cultivo (toneladas por hectárea), y el alto contenido de almidón en el tubérculo, y la facilidad del proceso de extracción del almidón, convierten al camote (*Ipomoea batatas*) en una atractiva materia prima a partir de la cual se pueden obtener los almidones y derivados como las maltodextrinas que demanda la industria alimentaria y farmacéutica.

A B S T R A C T

Maltodextrins are a whole family of products derived from the controlled hydrolysis of starch, they are constituted by a carbohydrates mixture with different degrees of polymerization and thus deferens molecular weights and its direct reducing sugars (ARD) content, expressed in terms of dextrose equivalent (DE) is less than 20%. Commercially are classified based on their DE content, being the most common those whose DE content are 5, 10, 15 and 20%. According to its carbohydrate profile and to its ARD content, expressed as DE content, maltodextrins have different physicochemical and functional properties, which make it them one of the additives most widely used in food and pharmaceutical industry, because they serving as stabilizers, thickeners, extenders, fat replacers and oils, encapsulant agent or vehicle in spray drying processes, help control the sweetness, osmolality, hygroscopicity, viscosity and browning reactions, and also serve to provide body and texture. Maltodextrins are obtained by acid, enzymatic or mixed hydrolysis processes corn starch, mainly, but they can get from any raw material containing starch, which depend on the availability and prices of these raw materials in each country. To meet the demand for these inputs, Mexico import large volumes as maize as starch and maltodextrins, which represents a constant flight of capital and technological dependence for the country, so it is necessary to develop the technology own that allows us to leverage our raw materials for the production of these important additives of food and pharmaceutical industry and thus, reduce and even eliminate their imports and external technological dependence, also giving greater value to our natural resources because in Mexico there are several materials that could be used as a source for obtain these important inputs. The objective of this research was to produce maltodextrins enzymatically from starch yam (*Ipomoea batatas*), raw material that is widely cultivated in several states of the Mexican Republic.

Initially the proximate chemical analysis of the yam tubers (*Ipomoea batatas* variety nylon) was conducted; after the extraction and characterization of the starch was done and subsequently the optimal hydrolysis conditions for the production process of maltodextrins with 5, 10, 15 and 20 ED were determined. Finally the physicochemical

and functional characterizations of each one of the obtained maltodextrins were performed.

The functional properties of yam starch (*Ipomoea batatas*) are similar to those that present major commercial starches such as corn starch and potato starch. The hydrolysis conditions established in the process to obtaining maltodextrins by enzymatic hydrolysis of yam starch (*Ipomoea batatas*) were: temperature 50 ° C, starch concentration 10% w/w, pH 6.9 and enzyme concentration from *Aspergillus oryzae* α -amylase 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Under these conditions the kinetics of hydrolysis of yam starch (*Ipomoea batatas*) with respect to time, followed a kinetic first order reaction, because the production of direct reducing sugars (DRS) expressed in terms of dextrose equivalent (DE), was directly proportional with the time reaction. Maltodextrins obtained from yam starch (*Ipomoea batatas*) exhibit physicochemical and functional properties similar to those that have the commercial maltodextrins, which are obtained from corn starch mainly. The degree of hydrolysis of the starch molecule strongly affects the physicochemical and functional properties of the maltodextrins obtained, its increase causes decreased average degree of polymerization and therefore of the average molecular weight of the constituents present, which causes the lowering of the freezing point and increase in the osmolality of the solutions prepared with these products. Solubility, the water retention capacity and swelling factor are also affected by the degree of hydrolysis of the starch molecule. The high crop productivity (tons per hectare), and the high content of starch in the tuber, and the ease of the process of extracting starch, converted to *Ipomoea batatas* in an attractive raw material from which it can obtain starches and derivatives like maltodextrins, products that demanded by the food and pharmaceutical industries.

INDICE DE TABLAS

TABLA	TITULO DE LA TABLA	PAGINA
1	Composición química promedio de los almidones comerciales	16
2	Contenido de amilosa, amilopectina y su grado de polimerización promedio en almidones de distintas fuentes botánicas	19
3	Composición de las principales fuentes comerciales de almidón	22
4	Parámetros cinéticos de la α -amilasa de mayor interés en la industria	26
5	Valor nutricional del camote por cada 100 g de producto fresco	36
6	Producción a nacional de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) en el año 2010	38
7	Producción de camote en el estado de Michoacán en el año 2010.	39
8	Comparación de las características físicas que presentan algunas especies de tubérculos.	59
9	Composición química proximal del camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	60
10	Composición química porcentual del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	65
11	Variación de la claridad de las dispersiones de almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) con respecto al tiempo y a la temperatura de reposo.	76
12	Estabilidad al descongelamiento de las dispersiones de almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	78
13	Retrogradación del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) a diferentes tiempos de almacenamiento a 4°C.	80
14	Desviación entre la maltodextrina obtenida con respecto a la maltodextrina deseada a partir del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	82
15	Caracterización química de las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	83

16	Efecto de la concentración de sólidos y el contenido de equivalentes de dextrosa en el punto de congelación de las soluciones de maltodextrinas obtenidas a partir del camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	84
17	Comparación del peso molecular promedio y grado de polimerización promedio de maltodextrinas de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) y maltodextrinas de maíz.	85
18	Variación de las propiedades funcionales de las maltodextrinas de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) en función de su contenido de equivalentes de dextrosa	88

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO DE LA FIGURA	PAGINA
1	Micrografías de gránulos de almidón de diversas fuentes	14
2	Estructura química de amilosa y amilopectina	18
3	Proceso de gelatinización del almidón	20
4	Cruz de malta presente en los gránulos de almidón de papa	21
5	Hidrólisis del almidón por las diferentes enzimas amilolíticas	24
6	Variación de las propiedades funcionales de las maltodextrinas y los jarabes en función de su contenido de equivalentes de dextrosa	25
7	Evolución de las importaciones nacionales de almidones y derivados durante el periodo de 2008-2012.	31
8	Camote (<i>Ipomoea batatas</i>) de la variedad denominada nylon	33
9	Cosecha de camote (<i>Ipomoea batatas</i> variedad nylon).	35
10	Diagrama de flujo en el proceso de obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimática del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	53
11	Tubérculos de camote (<i>Ipomoea batatas</i> variedad nylon).	58
12	Microfotografía de los gránulos de almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>).	71
13	Capacidad de retención de agua del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) a diferentes temperaturas.	72
14	Factor de hinchamiento del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) a diferentes temperaturas.	73
15	Solubilidad del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>) a diferentes temperaturas.	75
16	Variación del contenido de equivalentes de dextrosa con respecto al tiempo de hidrólisis del almidón de camote (<i>Ipomoea batatas</i>). Condiciones: T = 50°C; pH = 6.9; [E] = 10 µg/mL; [S] = 10%.	81
17	Variación de la osmolalidad con la concentración de sólidos y el contenido de equivalentes de dextrosa en maltodextrinas de camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	86

NOMENCLATURA

ARD.- Azúcares reductores directos
ART.- Azúcares reductores totales
BH.- Base húmeda
BS.- Base seca
CRH.- Capacidad de retención de humedad
DMSO.- Dimetilsulfóxido
ED.- Equivalentes de dextrosa
FDA.- Food and Drug Administration
FH.- Factor de hinchamiento
GPP.- Grado de polimerización promedio
GRASS.- Generally recognized as safe
Ha.- Hectárea
HCL Ácido clorhídrico
HPLC.- Cromatografía líquida de alta presión
HR Humedad relativa
KI.- Yoduro de potasio
mL.- Mililitros
NaCl.- Cloruro de sodio (sal de mesa).
nm.- Nanómetros
PMP.- Peso molecular promedio
SOL.- Solubilidad
Ton.- Toneladas
Ton/Ha.- Toneladas /Hectárea
 μm .- Micras

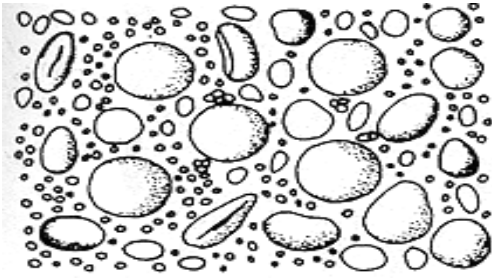
1. INTRODUCCIÓN

1.1. ALMIDÓN

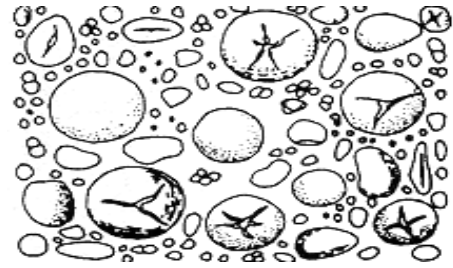
El almidón es un polisacárido que se encuentra en forma granular, en las semillas, raíces, tubérculos y tallos de las plantas, en las que constituye su principal forma de reserva energética que es utilizada durante los periodos de dormancia o latencia, germinación y crecimiento (Sivack y Preiss 1998). Es un biopolímero que ha constituido una parte importante en la dieta del hombre desde tiempos prehistóricos y desde el punto de vista comercial, es el polisacárido más abundante e importante después de la celulosa (Biliaderis, 1991). El tamaño de los gránulos varía de 2 a 100 μm y su forma puede ser redonda, ovalada, poligonal, lenticular e irregular (Figura 1). El tamaño y forma de los gránulos de almidón son característicos de cada fuente botánica y resultan de gran utilidad para su identificación al microscopio (Badui, 2001).

Los gránulos de almidón son extraídos por medios físicos para su utilización en diversas industrias, entre las que destaca la industria alimentaria, debido a las propiedades funcionales que imparte a los productos donde se adiciona. La técnica para su preparación se conocía ya en el antiguo Egipto, quienes lo utilizaban especialmente para dar resistencia al papiro, y como apresto de tejidos. Actualmente la industria alimentaria es un gran consumidor, al ser el más barato de los materiales gelificantes (Bello et al., 2000).

La propiedad más importante que tiene el almidón es su capacidad para producir pastas viscosas cuando se disuelve en agua caliente. El almidón y sus derivados son ampliamente utilizados en la manufactura de una gran variedad de alimentos, fármacos, pegamentos, textiles, papel, empaques y material de construcción (García et al., 2000b; Shamekh et al., 2002). Estudios recientes sugieren que los almidones pueden ser utilizados en la elaboración de películas comestibles, debido a sus características de barrera a ciertos gases como el oxígeno (O_2), el bióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua y el etileno, barrera a aceites y aromas; y a que pueden prolongar la vida útil de productos altamente perecederos como los frutos, conservando sus propiedades sensoriales (Krochta y De Mulder, 1997; Shahidi et al., 1999; Halley et al., 2001; Shaw et al., 2002; Rindlav y Gatenholm, 2003).



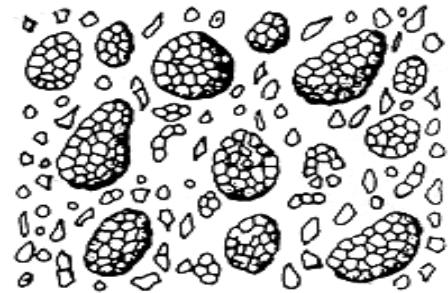
Trigo



Centeno



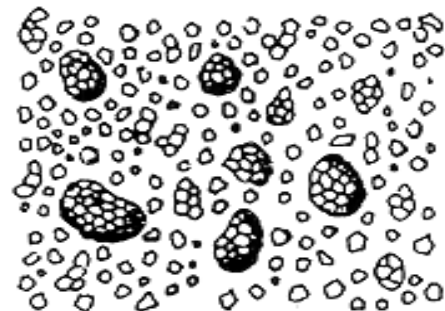
Cebada



Avena



Maíz



Arroz



Papa



Tapioca

Figura 1. Micrografías de gránulos de almidón de diversas fuentes (Badui, 2001).

1.1.1. FORMACIÓN DEL GRÁNULO

Durante la formación del gránulo, la planta deposita el almidón en capas concéntricas sucesivas y superpuestas alrededor de un núcleo central denominado “hiliium”, formando así un gránulo compacto. Cuando están al alcance moléculas adyacentes de amilosa y algunas ramificaciones de amilopectina se asocian a través de puentes de hidrógeno en forma paralela, formando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas (Tester *et al.*, 2001). Estas micelas mantienen unido al gránulo, permitiendo su hinchamiento en agua caliente y la solubilización de moléculas individuales de almidón, sin rompimiento del gránulo. Estas áreas micelares altamente cristalinas y orientadas explican la capacidad de los gránulos sin gelatinizar para rotar el plano de la luz polarizada, produciendo una cruz característica de interferencia, llamada “cruz de malta” (Hsu *et al.*, 2000).

1.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente y del proceso de obtención y purificación, y de las condiciones de almacenamiento (Beynum and Roels, 1985). Los gránulos de almidón contienen entre 6 a 16% de humedad y pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos (Tabla 1). El máximo contenido de humedad sugerida para un almacenamiento seguro en los almidones es de 13%, dado que un contenido mayor de humedad puede ocasionar un daño microbiano y por tanto el deterioro en la calidad del polímero (Moorthy, 2002).

Los almidones de tubérculos como la papa, camote y tapioca contienen pequeñas cantidades de sustancias grasas (<0.1%), en comparación con los almidones provenientes de cereales como el maíz, trigo, arroz y sorgo, cuyo contenido de lípidos oscila entre 0.6 a 0.8%. Estos lípidos forman complejos con la amilosa y son insolubles en agua fría; sin embargo, se disocian al calentarse por arriba de 125°C. La presencia de los lípidos modifica las propiedades reológicas y reprime el poder de hinchamiento y solubilidad de los almidones. También son responsables de la

opacidad de las dispersiones de almidón, así como de su rancidez, la cual puede producirse durante el almacenamiento de los granos y/o del almidón (Beynum and Roels, 1985; Hsu *et al.*, 2000).

Tabla 1. Composición química promedio de los almidones comerciales

Fuente	Humedad ¹ %	Lípidos %	Proteínas ² %	Fósforo %	Cenizas %
Maíz	13	0.60	0.35	0.015	0.10
Papa	19	0.05	0.06	0.080	0.40
Trigo	14	0.80	0.40	0.060	0.15
Tapioca	13	0.10	0.10	0.010	0.20
Maíz ceroso	13	0.20	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.70	0.30	---	0.08
Arroz	---	0.80	0.45	0.100	0.50
Sagú	---	0.10	0.10	0.020	0.20
Amilomaíz	13	0.40	---	0.070	0.20
Camote	13	---	---	---	0.10

1: Contenido de humedad a una humedad relativa del 65%.

2: Contenido de proteína calculado en base al porcentaje de nitrógeno x 6.25.

También los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteína (<0.1%) en comparación con los almidones de cereales, los cuales contienen de 0.3 a 0.5%, estas pueden conferir al almidón un aroma y sabor a harina así como capacidad espumante. Cerca del 10% de las proteínas asociadas al almidón, se encuentran en la superficie del gránulo y pueden ser fácilmente extraídas con agua o soluciones salinas. Estas proteínas pueden afectar la carga superficial del gránulo, lo cual afecta directamente la velocidad de hidratación, velocidad de hinchamiento, así como en la gelatinización del mismo (Beynum and Roels, 1985). Entre las proteínas que pueden estar asociadas a la superficie del gránulo, están la α -amilasa, las cuales resultan de gran importancia, ya que por su poder hidrolítico afectan las propiedades reológicas, tales como la viscosidad de la dispersión del almidón. Por ello es

importante eliminarlas en los lavados durante el procesamiento de este polímero (Moorthy, 2002).

Adicionalmente los almidones comerciales contienen cantidades traza de materiales inorgánicos entre los que destaca el fósforo, el cual se encuentra principalmente como fosfolípidos en los almidones de cereales, mientras que en el almidón de papa el fósforo se encuentra en forma de grupos fosfato, esterificados al C-6 de los residuos de glucosa en la molécula de amilopectina. La frecuencia de grupos fosfato en el almidón de papa oscila de 1 grupo fosfato por cada 200 a 400 unidades de glucosa, lo que confiere al gránulo una carga superficial negativa que imparte propiedades de un polielectrolito cuando el almidón es dispersado en soluciones acuosas. Es por ello que los gránulos de almidón de papa presentan un rápido hinchamiento del gránulo y por ende, un fuerte aumento de la viscosidad de las dispersiones, en comparación con almidones de cereales (Whistler, 1984; Beynum and Roels, 1985; Moorthy, 2002).

1.1.3. ESTRUCTURA QUÍMICA

Químicamente el almidón es un homopolisacárido formado por moléculas de D-glucosa unidas una a otra a través del oxígeno del C-1, unión que se conoce como enlace glucosídico y puede ser $\alpha(1,4)$ o $\alpha(1,6)$, dependiendo de si la unión es entre el C-1 de una molécula de glucosa y el C-4 o el C-6 de la siguiente molécula de glucosa, respectivamente. El enlace glucosídico es estable en condiciones alcalinas pero puede hidrolizarse en condiciones ácidas o por acción enzimática. El residuo de glucosa que se encuentra al final de la cadena polimérica presenta un grupo aldehído que actúa como grupo reductor razón por la cual se le conoce como extremo reductor de la molécula (Beynum and Roels, 1985).

Estructuralmente el almidón está constituido por una mezcla de amilosa y de amilopectina, cuya proporción y grado de polimerización varía de acuerdo a la fuente botánica (Figura 2). La amilosa es un polisacárido constituido por largas cadenas lineales dispuestas en forma helicoidal, en las que todas las moléculas de glucosa se

encuentran unidas por enlaces α (1-4), y cada seis residuos de glucosa forman una vuelta en torno al eje de simetría de la molécula (Figura 2). El grado de polimerización de la amilosa depende tanto de la fuente de obtención como de su estado de madurez, y se encuentra comprendido entre 250 y 6000 unidades de glucosa, lo que arroja pesos moleculares de hasta 1 millón de daltones (Tabla 2) (Beynum y Roels, 1985). La amilosa forma complejos de color azul con el yodo. Para que se desarrolle perfectamente la coloración azul intenso del complejo amilosa-yodo se requiere un mínimo de 40 residuos de glucosa, las cadenas muy cortas de amilosa produce un complejo de color rojo en lugar de azul característico. Esta propiedad es utilizada para la identificación de almidones que contienen amilosa (Badui, 2001).

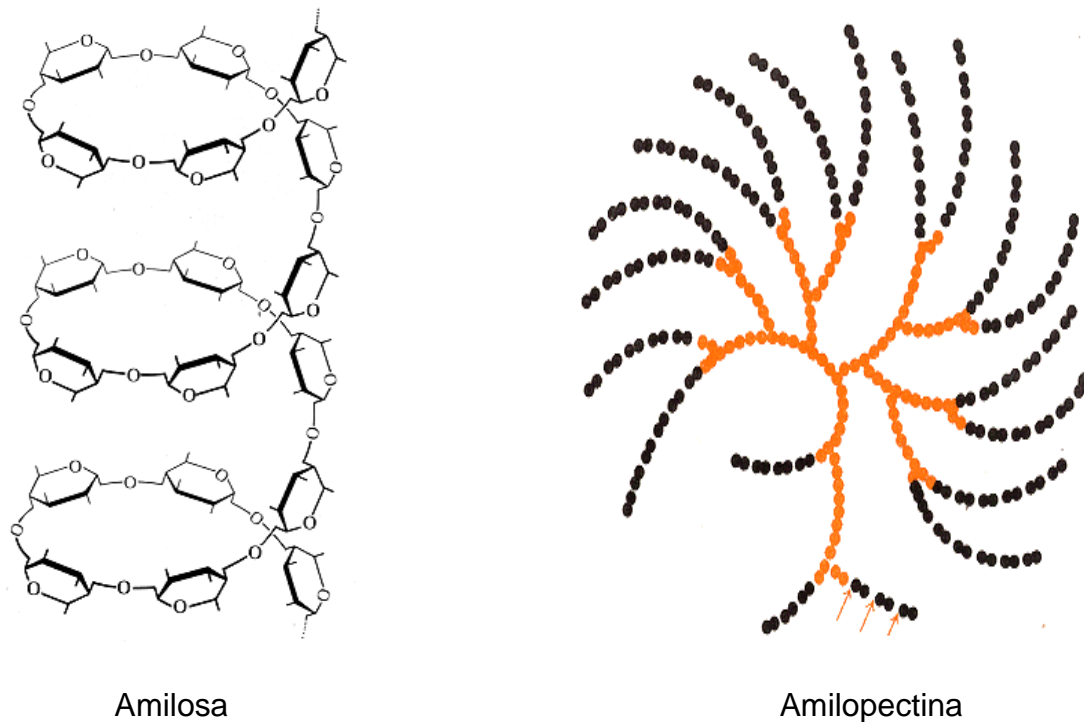


Figura 2. Estructura química de amilosa y amilopectina (Badui, 2001).

Por su parte, la amilopectina es un polisacárido formado por unidades de glucosa y presenta una estructura altamente ramificada, el grado de polimerización de cada una de estas ramas va de 10 a 60 residuos de glucosa y se encuentran localizadas a una distancia media de 10 a 15 unidades lineales de glucosa. La distribución y el tamaño de estas ramificaciones varían de acuerdo a la fuente botánica de la cual

procede (Figura 2). Las uniones entre los residuos de glucosa en las porciones lineales son enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$, mientras que en los puntos de ramificación los residuos de glucosa se encuentran unidos por enlaces glucosídicos $\alpha(1-6)$, los cuales alcanzan una proporción superior al 5% del total de uniones en la molécula de amilopectina. La amilopectina constituye una de las mayores moléculas en la naturaleza, alcanza grados de polimerización superiores a 2, 000,000 de unidades de glucosa y pesos moleculares del orden de los 200, 000,000 de Daltones. Se ha determinado que no existen diferencias marcadas en el peso molecular de la amilopectina de distintas fuentes botánicas (Tabla 2) (Beynum and Roels, 1985).

Tabla 2. Contenido de amilosa, amilopectina y su grado de polimerización promedio en almidones de distintas fuentes botánicas

Fuente de almidón	Amilosa %	Amilopectina %	GPP* amilosa	GPP* amilopectina
Maíz	28	72	800	2, 000,000
Papa	21	79	3000	2, 200,000
Trigo	28	72	800	2,000,000
Tapioca	17	83	---	2,250,000
Maíz céreo	0	100	---	2,000,000
Sorgo	28	72	---	---
Arroz	17	83	---	---
Sagú	27	73	---	---
Arrurruz	20	80	---	---
Amilomaiz	50 - 80	20 – 50	---	---

*GPP: Grado de polimerización promedio

1.1.4. PROPIEDADES

Entre las propiedades que presenta el almidón están principalmente la gelatinización, la retrogradación, birrefringencia y difracción de rayos X. Estos fenómenos pueden ayudar a explicar la estabilidad del biopolímero y por tanto sugerir sus adecuadas aplicaciones (Biliaderis, 1991).

1.1.4.1. GELATINIZACION

La gelatinización del almidón es un proceso en el cual se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado donde se absorbe calor; es decir, la gelatinización transforma a los gránulos insolubles en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual (Figura 3). Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría; sin embargo, al aplicar calor se hidratan e hinchan rápidamente hasta formar pastas viscosas. Este hinchamiento de los gránulos de almidón es reversible hasta una cierta temperatura conocida como temperatura de gelatinización, la cual es característica de cada tipo de almidón y corresponde a la temperatura a la cual se alcanza el máximo de viscosidad y se pierde la birrefringencia (Beynum and Roels, 1985; Biliaderis, 1991).

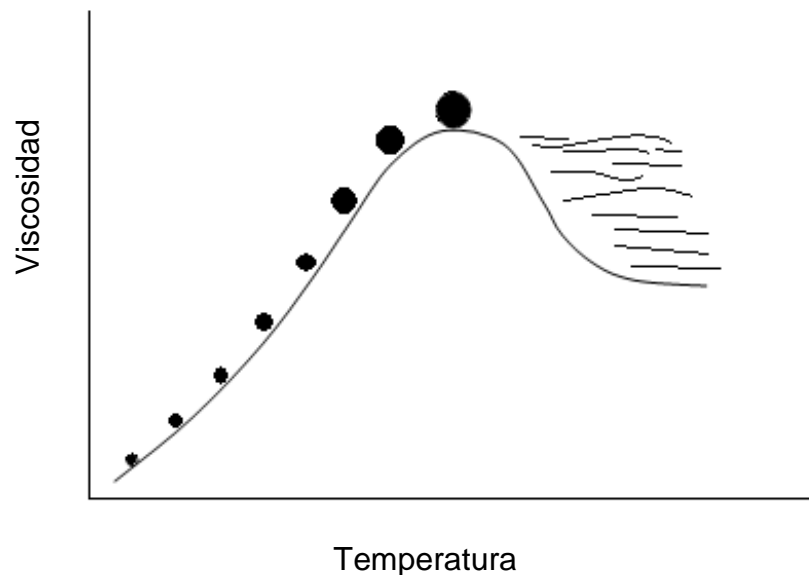


Figura 3. Proceso de gelatinización del almidón (Badui, 2001).

Entre los factores que determinan el proceso de gelatinización destacan la relación y el contenido de amilosa y amilopectina, su grado de polimerización, así como el tamaño del gránulo de almidón. La relación en el contenido de amilosa y amilopectina es de suma importancia para la obtención de geles con buenas propiedades mecánicas, de solubilidad y de baja degradabilidad (Biliaderis, 1991). Son preferibles los almidones ricos en amilosa debido a que pueden formar geles con buenas propiedades mecánicas y con alta resistencia a la degradación química o enzimática; sin embargo, estos almidones tienen la desventaja de ser poco solubles,

formar sistemas opacos y presentan tendencia a retrogradar, debido a su alto contenido de amilosa (Beynum and Roels, 1985; Biliaderis, 1991).

1.1.4.2. RETROGRADACIÓN

La retrogradación es un proceso que implica insolubilización y precipitación espontánea de las moléculas de amilosa principalmente. Ello debido a que sus cadenas lineales se orientan paralelamente e interaccionan entre sí a través de sus múltiples grupos hidroxilos, por medio de puentes de hidrógeno. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está íntimamente relacionada a su contenido de amilosa, ya que la amilopectina es más difícil que la desarrolle, debido a que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes (Beynum and Roels, 1985; Badui, 2001).

1.1.4.3. BIRREFRINGENCIA

La birrefringencia indica la capacidad que tienen los gránulos de almidón para refractar la luz en dos direcciones, es decir, tienen dos índices de refracción, por lo que cuando se irradian con luz polarizada desarrollan la típica “cruz de malta” (Figura 4) (Jiménez et al., 2007). Este proceso se debe a que dentro del gránulo se localizan zonas cristalinas de moléculas de amilopectina y amilosa ordenadas paralelamente a través de puentes de hidrógeno, así como zonas amorfas formadas principalmente por la amilosa, las cuales no tienen posibilidad de asociarse entre sí o con las moléculas de amilopectina (Beynum and Roels 1985; Biliaderis, 1991).

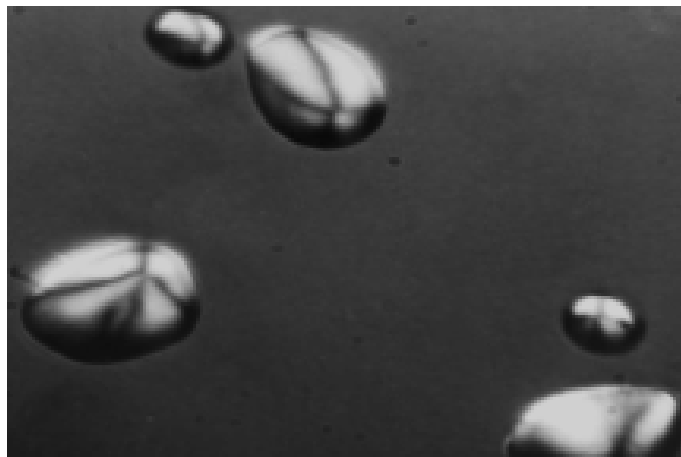


Figura 4. Cruz de malta presente en los gránulos de almidón de papa

1.1.5. FUENTES DE ALMIDÓN

Las principales fuentes comerciales de almidón son: semillas o granos de cereales (maíz, trigo, sorgo y arroz), tubérculos (papa), raíces (tapioca y camote) y el tallo de la palma de sagú (Bello et al., 2000). La composición de estas materias primas, varía de acuerdo a factores tales como la edad, el suelo, la variedad y el clima, entre otros (Tabla 3). Actualmente el 75% de la producción mundial de almidón se obtiene a partir del maíz, lo cual obedece a su relativo bajo costo y a su gran disponibilidad (Baynum and Roels 1985).

Tabla 3. Composición de las principales fuentes comerciales de almidón

Fuente	Almidón ¹ % _(BH)	Humedad %	Proteína %	Grasa %	Diámetro del gránulo (µm)	Almidón ² % _(BS)
Maíz	60	16	9	4.0	15	71
Papa	18	78	2	0.1	33	82
Trigo	64	14	13	2.0	15	74
Tapioca	26	6	1	0.3	20	77
Maíz ceroso	57	20	11	5.0	15	71
Sorgo	63	16	9	3.0	15	75
Arroz	78	12	8	0.5	5	89
Camote	23	68	1.5	0.3	15	72
Arrurruz	25	70	---	---	30	83

1: Porcentaje expresado en base húmeda. 2: Porcentaje expresado en base seca.

Los almidones generalmente contienen del 17 – 27% de amilosa y el resto de amilopectina. Algunos cereales como el maíz, el arroz y el trigo, presentan variedades de almidones céreos, los cuales están constituidos principalmente por amilopectina, pero también existen otras variedades que tienen hasta un 90% de amilosa (Baynum and Roels, 1985).

1.1.6. USOS DEL ALMIDÓN

El almidón nativo se obtiene por procesos conocidos como de molienda húmeda o de molienda seca, sus aplicaciones en el área de alimentos se encuentran muy restringidas debido a la baja estabilidad de sus suspensiones y geles, dichas aplicaciones están centradas en explotar sus relativamente bajas propiedades funcionales como agente gelificante y espesante. Es por ello que, para incrementar las propiedades funcionales del almidón, se ha recurrido a la realización de algunos cambios físicos, químicos o enzimáticos en su molécula, ampliando de esta forma la gama de productos con características específicas encaminadas a cubrir una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de las industrias alimentaria y farmacéutica (Rocha et al., 2005)

Una manera fácil y rápida para obtener carbohidratos con propiedades funcionales específicas es a través de la hidrólisis del almidón. El equivalente de dextrosa (ED) es una medida del grado de hidrólisis de la molécula de almidón, y se define como el contenido de azúcar reductores directos (ARD), expresado en por ciento de glucosa en una base seca. Dependiendo del grado de hidrólisis de la molécula de almidón se puede obtener toda una gama de productos que, de acuerdo con su contenido de ED, se clasifican en maltodextrinas y jarabes; las maltodextrinas presentan un $ED < 20$, y los jarabes tienen un $ED \geq 20$ (McPherson y Seib, 1997).

1.2. AMILASAS

Con el nombre de amilasas se les conoce a todas aquellas enzimas que catalizan la hidrólisis del almidón, el glucógeno y polisacáridos derivados: son producidas por un gran número de animales, plantas y microorganismos. De acuerdo a su modo de acción sobre la molécula del sustrato (Figura 5), estas enzimas se clasifican en:

- Endoamilasas: (α -amilasa).
- Exo-amilasas: (β -amilasa y glucoamilasa).
- Amilasas desramificantes: (pululanasa e isoamilasa).

La α -amilasa es una enzima que hidroliza en forma aleatoria los enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$ del interior del sustrato, mientras que la β -amilasa separa sucesivamente unidades de maltosa a partir del extremo no reductor de la molécula. Ninguna de estas enzimas es capaz de hidrolizar el enlace glucosídico $\alpha(1-6)$ en los puntos de ramificación de la molécula de amilopectina. Por otra parte, la glucoamilasa separa sucesivamente unidades de glucosa a partir del extremo no reductor de la molécula del sustrato y también es capaz de hidrolizar el enlace glucosídico $\alpha(1-6)$, aunque lo realiza a una velocidad menor con respecto a la velocidad de hidrólisis del enlace glucosídico $\alpha(1-4)$. La pululanasa e isoamilasa son enzimas desramificantes que hidrolizan exclusivamente los enlaces glucosídicos $\alpha(1-6)$ de la molécula de amilopectina (Figura 5) (Schwardt, 1990). De todas estas enzimas, las α -amilasa son las enzimas más utilizadas en los procesos de obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimáticas del almidón (Douglas and Clarence., 1991).

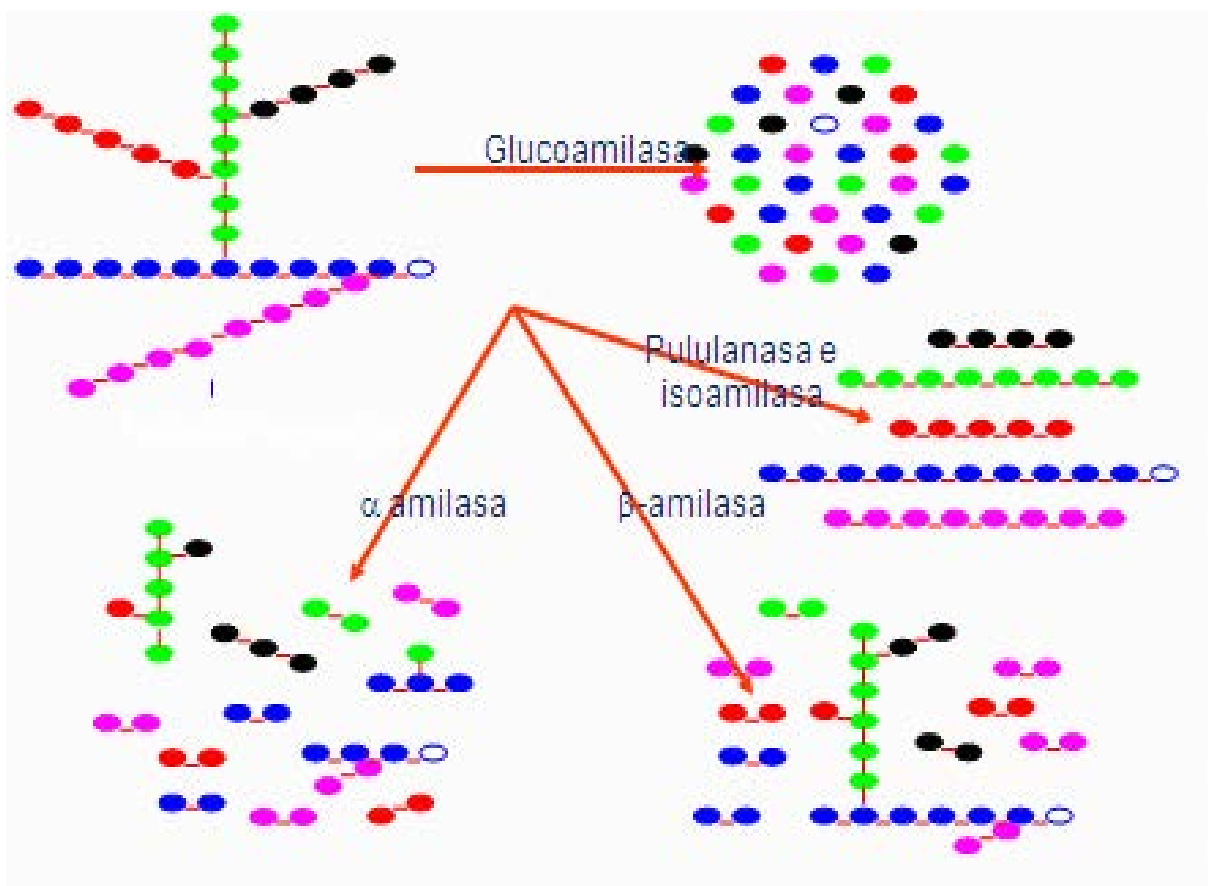


Figura 5. Hidrólisis del almidón por las diferentes enzimas amilolíticas. Dónde: (●, ●, ● y ●) son residuos de glucosa; (|) enlace glucosídico y (○) extremo reductor.

1.2.1. α -AMILASA

La α -amilasa (E.C. 3.2.1.1, $\alpha(1-4)$ glucan-glucanohidrolasa), es llamada de esta forma debido a que los productos de la hidrólisis adoptan la configuración (α) en el átomo de carbono anomérico; cataliza la hidrólisis aleatoria de los enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$ del interior del sustrato. Además de hidrolizar el almidón, también actúa sobre las moléculas de glucógeno, las fracciones de amilosa y amilopectina, así como otras dextrinas (Whitaker, 1994). Esta enzima es producida por una amplia variedad de organismos y está presente en mamíferos, plantas y microorganismos.

Las α -amilasas son estables generalmente en intervalo de pH de 5.5 a 8.0, pero existen excepciones hacia ambos lados de la escala, principalmente entre las enzimas de origen microbiano. Por ejemplo, la α -amilasa de *Bacillus sp.* 11-1S, presenta pH óptimo de 2.0, mientras que el pH óptimo de la α -amilasa de *Bacillus* N° A-40-2, es de 10.5. Janecek y Balaz (1992) mencionan que el amplio intervalo de pH en la actividad de las α -amilasas individuales, es un indicativo de su adaptabilidad a las circunstancias cambiantes del medio ambiente.

Por otra parte, la mayoría de las α -amilasas presentan actividad optima a temperaturas comprendidas entre 50 y 60°C, pero también se han reportado temperaturas de máxima actividad a 25°C para la α -amilasa de *Fusarium oxisporum*, mientras que la mayor temperatura de actividad optima la presenta hasta el momento la α -amilasa de *B. liqueniformis* CUMC 305, la cual es de 90°C (Janecek y Balaz, 1992).

Otra característica importante que distingue a los diferentes tipos de α -amilasas estudiadas es la correspondiente a los productos finales derivados de la hidrólisis del almidón. Estos productos pueden diferir tanto en tamaño como en configuración y en proporción de cada uno de ellos con respecto al total. Por un lado, esta enzima es capaz de hidrolizar completamente la molécula de amilosa hasta unidades de glucosa y maltosa, mientras que la molécula de amilopectina solo es hidrolizada parcialmente quedando como productos residuales moléculas de oligosacáridos

integrados por 2 a 7 unidades de glucosa dependiendo de la fuente de obtención a la α -amilasa utilizada (Tabla 4) (Atkinson y Mavituna, 1991).

Tabla 4. Parámetros cinéticos de la α -amilasa de mayor interés en la industria

Fuente	pH óptimo	Temperatura óptima (°C)	Punto isoeléctrico	PM* (g/mol)	Productos finales
Malta de Cebada	5-6	50-60	5.75	60,000	G2, G4 y G5
Páncreas porcino	6-7	40-50	5.2-5.6	45,000	G2 y G3
<i>Aspergillus oryzae</i>	4.5-5.5	40-50	---	51,000	G2 y G3
<i>B. amiloliquefaciens</i>	5.9	70	5.2	49,000	G5, G6 y G7
<i>B. licheniformis</i>	7.7-9.0	90	5.2	62,000	G2, G3 y G5
<i>B. subtilis</i>	6.8	60	---	41,000	G2, G4 y G6

* PM: Peso molecular. G2, G3, G4, G5, G6 y G7 corresponden a unidades de maltosa, maltotriosa, maltotetraosa, maltopentosa, maltohexosa y maltoheptaosa, respectivamente.

1.3. MALTODEXTRINAS

La Food and Drug Administration (FDA) define a las maltodextrinas como aquellos productos derivados de la hidrólisis del almidón, integrados por polisacáridos nutritivos, no dulces, constituidos por una mezcla de carbohidratos con diferente grado de polimerización, donde las moléculas de D-glucosa, se encuentran unidas principalmente por enlaces glucosídicos $\alpha(1-4)$ y en conjunto presentan un contenido de azúcares reductores directos (ARD), expresados éstos en términos de equivalentes de dextrosa ED<20; se presentan en forma de polvo blanco ó soluciones líquidas concentradas y son clasificadas como ingredientes GRASS (generally recognized as safe) (GPC, 1996).

Comercialmente las maltodextrinas se clasifican en base a su contenido de azúcares reductores directos, expresados como equivalentes de dextrosa. Esta clasificación de las maltodextrinas no es la más precisa, pero si es la más utilizada en la industria debido a la rapidez y economía de su determinación. El perfil de carbohidratos que integran las maltodextrinas; es decir, su grado de polimerización promedio (GPP), su linealidad y su grado de ramificación, se ve influenciado por la fuente y concentración

del almidón de partida, el método de obtención y las condiciones de hidrólisis (temperatura y tiempo), también como por el tipo y concentración del ácido o la enzima utilizada durante la hidrólisis del almidón, lo cual significa que pueden existir maltodextrinas con el mismo valor en ED, pero diferente perfil en su composición de carbohidratos, lo cual proporcionará diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales a cada uno de estos productos (Marchal et al., 1999).

1.3.1. PROPIEDADES FUNCIONALES

Dependiendo del perfil de carbohidratos que las integran y de su contenido de ED, las maltodextrinas presentan diferentes propiedades fisicoquímicas y funcionales (Figura 6), su utilización en la industria de alimentos y productos farmacéuticos, nos brinda los siguientes beneficios: mejoran el cuerpo y la textura, no imparten gusto harinoso, controlan el dulzor y la higroscopicidad, reducen la cristalización, control del oscurecimiento no enzimático, no enmascara sabores, incrementan la solubilidad en el agua fría, control del punto de congelación y la osmolalidad, son excelentes agentes tableteadores, vehículos o acarreadores, (GPC, 1996).

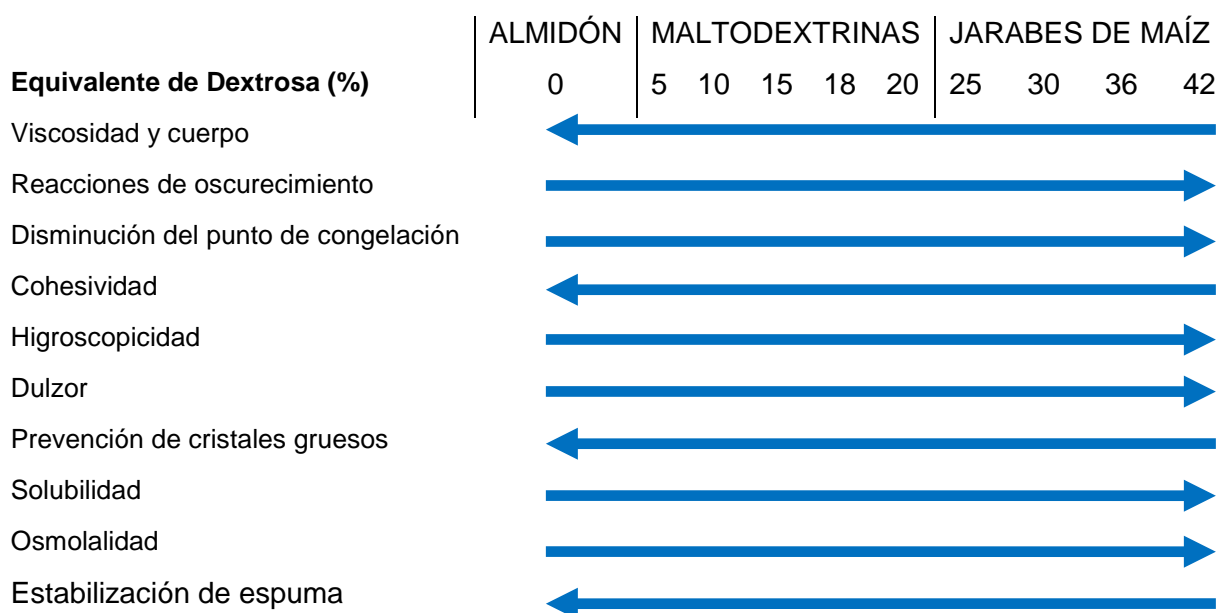


Figura 6. Variación de las propiedades funcionales de las maltodextrinas y los jarabes en función de su contenido de equivalentes de dextrosa.

1.3.2. CARACTERISTICAS PARTICULARES

- Maltodextrinas con $DE \approx 5\%$ son excelentes agentes formadores de películas opalescentes, adicionan viscosidad a niveles de sólidos del 20 al 40%, presentan extremadamente baja higroscopicidad y muy baja tendencia al oscurecimiento, no proporcionan dulzor y contribuyen a la palatabilidad de los alimentos, son solubles a concentraciones del 15% de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 10\%$ presentan un poder edulcorante mínimo, muy baja higroscopicidad y baja tendencia al oscurecimiento; son solubles a concentraciones superiores al 30% de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 15\%$ presentan un ligero poder edulcorante, baja higroscopicidad y una baja tendencia al oscurecimiento; forman soluciones claras a concentraciones superiores al 50 % de sólidos a una temperatura de 20°C .
- Maltodextrinas con $DE \approx 20\%$ presentan un ligero poder edulcorante, moderada higroscopicidad y moderada tendencia al oscurecimiento, sus soluciones son claras a concentraciones mayores de 60% de sólidos y a 20°C .

1.3.3.- APLICACIONES

Las maltodextrinas tienen una gran variedad de aplicaciones, principalmente en la industria alimenticia y farmacéutica donde funcionan como: agentes estabilizantes, espesantes, extensores, reemplazadores de grasas y aceites en aderezos para ensaladas, margarinas y postres congelados, agentes encapsulantes o vehículos para procesos de secado por aspersion de pigmentos naturales, aceites esenciales, sabores, etc., ayudan a controlar la textura, la higroscopicidad y la densidad en algunos alimentos (Shamek *et al.*, 2002).

Recientemente se han utilizado soluciones concentradas de maltodextrinas como alimento para personas que presentan falla renal crónica, cirrosis hepática, trastornos en el metabolismo de aminoácidos y en aquellas condiciones dietéticas especiales que requieren de alimentos de alto aporte energético, pero de poco volumen de fluido y bajo contenido de electrolitos (DEIA, 2010).

1.3.4. MÉTODOS DE OBTENCIÓN

En la industria las maltodextrinas se obtienen a partir del almidón de maíz principalmente, la hidrólisis de éste polímero puede realizarse por métodos químicos (mediante el uso de ácidos tales como el clorhídrico o el sulfúrico), por métodos enzimáticos (mediante el uso de enzimas amilolíticas), o bien, mediante una combinación de ambos métodos (Lumdubwong and Seib, 2001). La hidrólisis ácida es un proceso en el cual la molécula de almidón es cortada al azar, lo cual produce una mezcla no controlada de moléculas con diferentes pesos moleculares. La hidrólisis enzimática del almidón ha reemplazado gradualmente los procesos de hidrólisis ácidas debido a las ventajas que presenta, entre ellas se tienen (Wang, 2000, 2001):

- Condiciones de hidrólisis más suaves (temperatura, presión, pH)
- Mayor precisión y control en su realización
- Menor cantidad de subproductos
- Mayor especificidad
- Mayor control en el grado de hidrólisis deseado
- No se obtienen materiales coloridos ni de sabor amargo
- Eliminación de las etapas de refinamiento para eliminación de cenizas y materiales coloridos.

El proceso de elaboración de las maltodextrinas inicia con la preparación de una dispersión de almidón, la cual es calentada a ebullición durante 5 minutos, a fin de provocar la gelatinización del almidón; es decir, disolver los gránulos, dispersar sus constituyentes amilosa y amilopectina y de esta forma, facilitar la acción de las enzimas amilolíticas empleadas durante la siguiente etapa del proceso que comprende la hidrólisis del almidón, operación que debe realizarse bajo condiciones de proceso muy controladas, como son: la temperatura, el pH, la concentración de enzima, la concentración de sustrato y el tiempo de reacción; a fin de obtener las maltodextrinas con el perfil de carbohidratos y el ED deseado.

Transcurrido el tiempo de hidrólisis establecido, la reacción se suspende por inactivación de la enzima, actividad que se realiza por calentamiento a ebullición de

la mezcla de reacción cuando la enzima utilizada es termolábil o bien, por modificación del pH mediante el uso de HCl cuando la enzima utilizada es termo resistente. El producto de la reacción es posteriormente centrifugado y filtrado para eliminar partículas sólidas en suspensión, y el licor obtenido es pasado a través de columnas de carbón activado, previo a la etapa de concentración y su posterior secado por aspersion y empaclado (Guzmán y Paredes, 1995).

Mucho trabajo de investigación se ha realizado con objeto de optimizar el proceso de obtención de maltodextrinas por vía enzimática. Resulta difícil hacer una comparación entre ellos debido a que se han llevado a cabo bajo distintas condiciones de operación y en muchos de los casos, partiendo de diferentes fuentes botánicas de almidón y empleando diferentes fuentes de enzimas (Raja *et al.*, 1989).

Dado que para lograr la gelatinización del almidón se requiere de una gran cantidad de energía, se han realizado muchos intentos por disminuir o eliminar esta etapa mediante el uso de enzimas termoestables o bien, mediante ácidos que requieran de menores temperaturas en la hidrólisis del almidón. Se han intentado también la obtención de maltodextrinas mediante la degradación del almidón por medio de microondas, proceso que ha resultado inoperante debido al desarrollo de aromas, sabores y coloraciones indeseadas en el producto final, como consecuencia de las altas temperaturas aplicadas (Wang, 2000, 2001).

1.3.5. PRODUCCIÓN NACIONAL E IMPORTACIONES

Dado que México es deficitario en la producción de almidones y derivados entre los que se encuentran las maltodextrinas, para satisfacer la demanda nacional de estos insumos, se recurre a la importación, ya sea que se importe el cereal (maíz) a partir del cual se obtenga el almidón que se utiliza para la producción de maltodextrinas o bien, que se importe directamente el almidón y sus derivados, a fin de cubrir la demanda nacional de estos importantes insumos que demanda la industria alimentaria y farmacéutica (INEGI, 2013).

La fuga de divisas por concepto de las importaciones de almidones y derivados asciende a varios cientos de millones de dólares anuales (Figura 7), y entre los principales países exportadores de estos insumos se encuentra Estados Unidos, Canadá, Alemania, Chile, Holanda y China; siendo los Estados Unidos de América el país del cual se importó el 82.75% promedio anual de éstos insumos (INEGI, 2013).

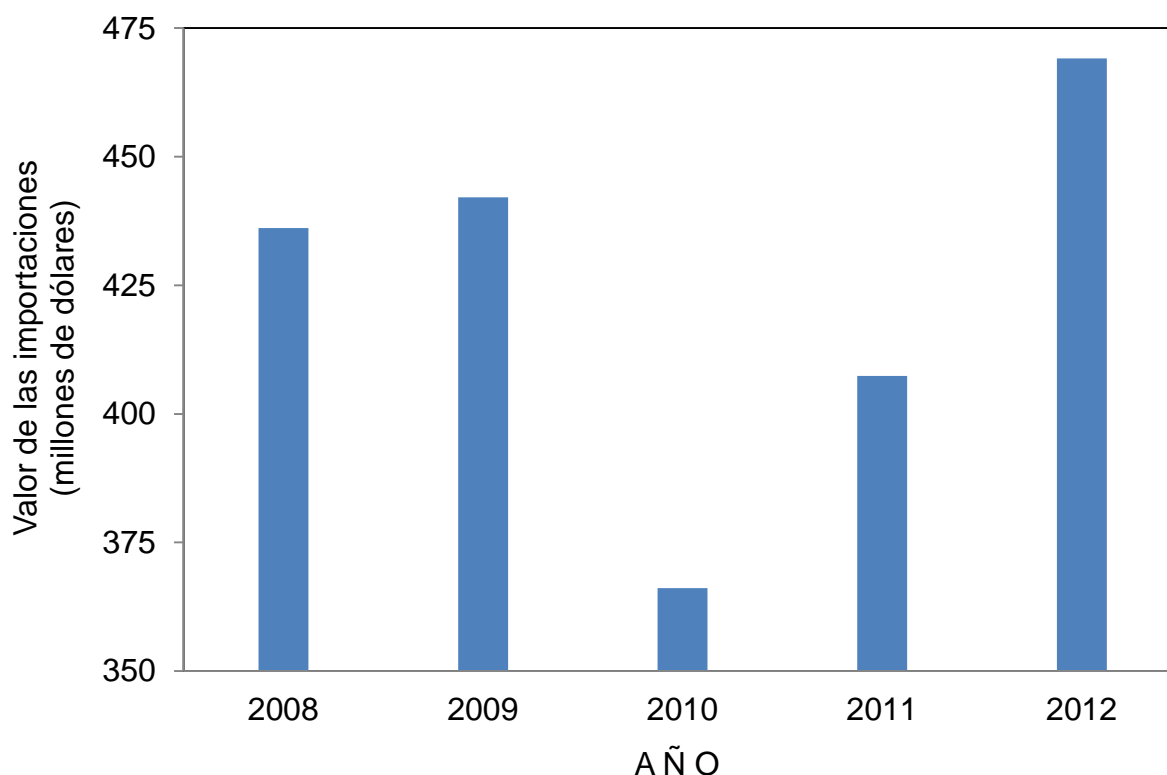


Figura 7: Evolución de las importaciones nacionales de almidones y derivados durante el periodo de 2008-2012

1.3.6 FUENTES DE OBTENCIÓN

Comercialmente las maltodextrinas son producidas mediante la hidrólisis controlada del almidón y corresponde al almidón de maíz ser la principal materia prima utilizada en la producción industrial de estos insumos a nivel mundial (Abraham *et al.*, 1998). Sin embargo, las maltodextrinas también han sido obtenidas a partir de almidones de papa (Absar *et al.*, 2009; Delgado *et al.*, 2009; Guerra *et al.*, 2012), trigo (McPherson y Seib, 1997), yuca (Rocha *et al.*, 2005; Khatoon *et al.*, 2009), sorgo, arroz (Wang y Wang, 2000; Khatoon *et al.*, 2009), amaranto (Guzmán y Paredes, 1995), plátano

(Bello et al., 2002), así como de tubérculos de malanga (*Colocasia esculenta*) (Antonio et al., 2009) y de chayote (*Sechium edule*) (Jiménez et al., 2007). En el mercado existen maltodextrinas de maíz, papa y arroz; cada una de las cuales tendrá propiedades muy particulares debido a las diferencias inherentes en la composición y estructura química del almidón de partida (Wang, 2000; 2001). A nivel mundial, la fuente de almidón para la producción industrial de maltodextrinas dependerá de la disponibilidad y precio de las materias primas producidas en cada país (Jing et al., 2011).

1.4. CAMOTE (*Ipomoea batatas*)

El camote (*Ipomoea batatas L*), del náhuatl “camohtli”, es uno de los cultivos más importantes y ampliamente conocido por ser consumido en más de 100 países, aunque el 95% de la producción mundial se obtiene en países en vías de desarrollo, donde ocupa el 5º lugar en importancia después del arroz, trigo, maíz y la yuca; con una producción anual mayor a 135 millones de toneladas (FAOSTAT, 2013). Este tubérculo es consumido desde tiempos ancestrales en Colombia, Costa Rica, El Salvador Guatemala, México, Nicaragua, Panamá y Perú y Filipinas. Es un alimento reconocido como eficaz en la lucha contra la desnutrición debido a sus características nutritivas, facilidad de cultivo y productividad.

El camote es uno de los cultivos más antiguos y valiosos, sembrados ampliamente en los países en vías de desarrollo. Destaca por su rusticidad y su alta productividad por unidad de área y de tiempo y es un cultivo rico en vitaminas y minerales. En muchos países su principal uso se centra en la alimentación humana y en la alimentación de animales tales como: porcinos, bovinos, aves, ovinos y conejos. Es una planta anual, herbácea, rastrera, en ocasiones con ápices volubles, glabra o pubescente, con raíces adventicias y tuberosas. Presenta raíces engrosadas comestibles por lo que ha sido muy apreciado desde la antigüedad. Se propaga vegetativamente por segmentos de tallos y raramente por las raíces tuberosas y semillas. Las raíces del camote son abundantes y ramificadas, producen falsos tubérculos de formas y colores variados (según su variedad). El camote pesa entre

0.5 y 3 kg y su forma es alargada, aunque existen ejemplares casi esféricos. Existen más de 400 variedades que se diferencian tanto por el color de su piel y de la carne, como por su textura suave o áspera. Las más comunes son las de piel roja o rosada y carne blanca. Otros nombres con que se conoce al camote son: boniato, batata, chaco, papa dulce (Figura 8).



Figura 8. Camote (*Ipomoea batatas*) de la variedad denominada nylon

1.4.1. ORIGEN

Existen dos teorías sobre el origen y domesticación del camote, una lo considera oriundo del continente americano, situándolo en México y Centroamérica, en virtud de la división del material genético y por la evidencia arqueológica de la antigüedad de su cultivo. La otra teoría defiende su origen en China. Sin embargo, en la actualidad se acepta que es originario de América Latina, al tener en cuenta que existe mayor cantidad de especies que en el continente Asiático, con alto potencial de rendimiento y con mayor desarrollo vegetativo, favoreciendo la floración y la fructificación (Austin, 1988).

Estudios de diversidad genética en regiones tropicales de América, utilizando marcadores moleculares AFLP, encontraron la mayor diversidad en América Central y considerando la riqueza de especies silvestres *Ipomoea* que se encuentra en la región, proveen fuerte evidencia de que en América Central se encuentra el centro de origen del camote (Zhang et al., 2000^a). Perú es el lugar donde se han encontrado rastros más antiguos de su consumo y domesticación. Ciertas investigaciones muestran que se cultivó desde hace más de 10 mil años en la región de Ayacucho.

El género *Ipomoea* de la familia Convolvulaceae tiene alrededor de 600 especies distribuidas en los trópicos y subtropicos de todo el mundo. Aunque es originaria de Sudamérica y América Central, su facilidad para adaptarse a diversos lugares ha permitido el cultivo del camote en los cinco continentes. Su producción y consumo se ha extendido a más de 100 países. Según estadísticas de la FAO, en el año 2005, China fue el principal productor de camote, cultivando el 83% del total mundial; Islas Salomón tiene la mayor producción *per cápita* del mundo: 160 kg por persona por año (FAOSTAT, 2013).

El camote es una planta de la familia Convolvulaceae que tiene similitudes con la papa en la forma de cultivo y en propiedades nutricionales. Sin embargo, el camote es una raíz de reserva, a diferencia de la papa que es un tubérculo o esqueje engrosado. Ambos se caracterizan por poseer raíces tuberosas (falsos tubérculos) que son tiernas, harinosas y azucaradas. Tanto la papa como el camote son de crecimiento rastrero, sus frutos los produce en el interior del suelo y junto a ellos están las raíces normales. Las variedades más destacables son: batata acuática (*Ipomoea aquatica*) originaria de las zonas tropicales donde se cultiva con exclusividad; y boniato, que se caracteriza por su carne anaranjada y dulce. Las más cultivadas son el camote pálido de cáscara amarilla clara y pulpa seca menos dulce; y el camote oscuro de cáscara rojiza y pulpa jugosa, anaranjada oscura.

En México se producen diferentes variedades de camote entre las que destacan: Taro, Imperial-INIA, INIA-100- uambachero, Eland (carne amarillorajiza), Centennial (carne rojiza) (SAGARPA, 2008). Las condiciones idóneas para su cultivo son una

temperatura media durante el periodo de crecimiento superior a los 21°C, un ambiente húmedo (80-85% HR) y buena luminosidad. Soporta muy bien el calor, el problema de su cultivo radica en que es una planta muy sensible a las heladas y frío.

La temperatura mínima de crecimiento es 12°C. Se puede sembrar en diferentes épocas del año, todo depende de la demanda del mercado y del buen manejo del suelo, sobre todo del levantamiento de las camas de siembra y del buen control de malezas (Figura 9); lo ideal quizás es en febrero y se trasplantan en abril y mayo, una vez pasado el peligro de las heladas.



Figura 9. Cosecha de camote (*Ipomoea batatas*).

1.4.2. PROPIEDADES NUTRICIONALES

El camote es un excelente productor de energía debido a que sus raíces de reserva están compuestas principalmente de almidón, cuyo contenido varía de 50-70% de la

materia seca, lo que representa aproximadamente el 30% del peso fresco según los distintos cultivos. Además del almidón, los principales constituyentes del camote son azúcares, fibras, proteínas, minerales y vitaminas (Tabla 5) (Babu et al., 1990).

Tabla 5. Valor nutricional del camote por cada 100 g de producto fresco

Componente	Contenido	Componente	Contenido
Carbohidratos	20.1 g	Ácido fólico (B9)	11 µg
Almidón	12.7 g		
Azúcares	4.2 g		
Grasas	0.1 g	Vitamina C	2.4 mg
Proteínas	1.6 g	Calcio	30 mg
Vitamina A	709 µg	Hierro	0.6 mg
β-caroteno	8509 µg		
Tiamina (B1)	0.1 mg	Magnesio	25 mg
Riboflavina (B2)	0.1 mg	Fosforo	47 mg
Niacina B3	0.61 mg	Potasio	337 mg
Ácido pantoténico (B5)	0.8 mg	Zinc	0.3 mg
Vitamina B6	0.2 mg	Energía	90 kcal

Sin embargo, a pesar de su gran potencial, su alta producción, su gran adaptabilidad, y su alta tolerancia al estrés, este cultivo solo ha cobrado importancia en tiempos de guerra, calamidad o hambruna (Villarreal, 1982), razón por la cual, el camote presenta un gran historial como “salvavidas”. El camote llegó a Europa en el siglo XVI, y diversos países lo adoptaron como una excelente arma en las distintas guerras contra la hambruna por sus propiedades nutrimentales. En Japón ha sido utilizado en repetidas ocasiones para alimentar a su población, después que los tifones habían devastado sus cultivos de arroz, o en Uganda, donde un virus arrasó con los cultivos de yuca en la década de los 90's, las comunidades rurales dependieron del camote para sobrevivir.

En raíces frescas el contenido de azúcares va de un 6 – 14% de la materia seca. Procesos como el horneado y el hervido ocasionan un drástico incremento en la concentración de azúcares debido a la hidrólisis del almidón, principalmente por la

enzima α -amilasa (Babu et al., 1990). Como en la mayoría de las raíces de reserva y tubérculos, el contenido de proteínas es bajo y oscila del 1-4% del peso fresco. En el caso de los aminoácidos, las proteínas del camote son deficientes en cisteína, metionina, lisina y leucina, pero ricos en otros como son el aspártico y el glutámico (Babu et al., 1990). Cabe resaltarse que el más importante aporte del camote yace en su habilidad de producir grandes cantidades de β -caroteno, el cual actúa como precursor de la vitamina A (Woolfe, 1991).

1.4.3. PRODUCCIÓN MUNDIAL Y NACIONAL

La superficie total mundial cultivada con camote (*Ipomoea batatas*) oscila alrededor de 9 millones de hectáreas, las cuales producen 127, 139,553 toneladas anuales. El 90,5% del área dedicada al cultivo de camote se encuentra en el continente asiático, donde se obtiene el 91% de la producción mundial (FAOSTAT, 2013).

En la Tabla 6 se presentan los datos sobre el área de cultivo, la producción nacional, el precio y el valor de la producción del camote en cada uno de los estados de la República Mexicana durante el año 2010 (SAGARPA, 2010).

De acuerdo con Olmos-Barrera, en México se cultivan variedades del camote con pulpa blanca, amarilla, naranja, rojiza o púrpura en dos ciclos agrícolas: el de primavera-verano y el de otoño-invierno. Además, el camote se cultiva prácticamente en todos los estados de la República Mexicana, obteniéndose una producción aproximada de 61,098 toneladas en 2,908 hectáreas, lo que arroja un rendimiento promedio de 21 toneladas por hectárea. Los estados más productivos son Guanajuato y Michoacán, con una producción promedio anual de 19,505 y de 14,830 toneladas respectivamente, mientras que los estados con mayores rendimientos obtenidos (toneladas por hectárea), independientemente del área sembrada, son: Yucatán (26.87), Baja California Sur (26.00), Guanajuato (25.70), Michoacán (24.68), Colima (24.63) y Chihuahua (22.49).

Tabla 6. Producción a nacional de camote (*Ipomoea batatas*) en el año 2010

ESTADO	Siembra (Ha)	Cosecha (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor (\$ x 1000)
Aguas Calientes	23	23	295	12.83	2,905	857
Baja California Sur	6	6	143	26.00	4,198	600
Campeche	2	2	22	11.00	5,000	110
Chiapas	14	14	84	6.00	4,000	336
Chihuahua	70	70	1,573	22.49	2,680	4,217
Colima	41	41	1,010	24.63	4,000	4,040
Durango	20	20	364	18.20	7,286	2,652
Guanajuato	759	759	19,505	25.70	2,424	47,279
Gurrero	93	87	792	9.16	2,988	2,367
Jalisco	52	52	447	8.59	3,467	1,549
México	73	73	1,233	17.01	2,707	3,337
Michoacán	601	601	14,830	24.68	3,678	54,542
Morelos	120	120	1,164	9.70	3,399	3,956
Nayarit	80	80	984	12.30	2,499	2,459
Oaxaca	40	40	360	9.00	5,020	1,807
Puebla	37	37	354	9.58	1,356	481
Querétaro	3	3	16	5.30	7,100	113
San Luis Potosí	28	28	528	18.86	2,220	1,172
Tabasco	69	57	505	8.86	3,713	1,875
Veracruz	200	200	3,299	16.50	3,162	10,432
Yucatán	74	74	1,989	26.87	4,841	9,628
Zacatecas	86	86	1,566	18.21	5,138	8,046

De 1990 a 2004 se ha verificado un incremento en extensión de área cultivada en casi todos los estados con mayor producción de camote, a excepción de Guerrero, Yucatán y Michoacán, donde ha disminuido aunque su producción en toneladas va

en aumento, tal vez debido a mejores técnicas de cultivo y a la aplicación de insumos antes no utilizados. Lo que sorprende es el incremento en la producción de camote en los estados de “clima templado” (Chihuahua y Guanajuato), que ahora se promueve sobre todo en condiciones de riego y no sólo en áreas de temporal. Esto sin duda ha permitido aumentar su rendimiento en los últimos quince años; en el caso de Guanajuato su producción se ha incrementado en casi 400%, mientras que en los estados de Aguascalientes, México, Nayarit, Yucatán, Jalisco y Chihuahua, su producción se ha incrementado en más de 100% (Linares y Ramírez, 2008).

Vistahermosa es el municipio del Estado de Michoacán donde se destina la mayor superficie (150 hectáreas) para el cultivo del camote (*Ipomoea batatas*) (Tabla 7). También en este municipio se obtiene la mayor producción de camote (4,500 toneladas anuales aproximadamente), así como el mayor rendimiento por hectárea (30 toneladas). Mujica es el segundo municipio del Estado de Michoacán con mayor superficie (97 hectáreas) destinadas al cultivo del camote (SAGARPA, 2010).

Tabla 7. Producción de camote en el estado de Michoacán en el año 2010.

Municipio	Siembra (Ha)	Cosecha (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor (Miles de pesos)
Briseñas	31	31	743	24.0	2,820	2,096
Indaparapeo	45	45	900	20.0	4,400	3,960
José Sixto V.	62	62	1,640	26.4	5,073	8,320
Maravatio	35	35	530	15.1	4,671	2,475
Mújica	97	97	2,068	21.3	3,368	6,966
Pajacuarán	53	53	1,347	25.4	2,865	3,857
Panindícuaro	5	5	125	25.0	4,000	500
Sahuayo	38	38	929	24.4	2,819	2,619
Venustiano C.	50	50	1,200	24.0	2,800	3,359
Villamar	15	15	359	24.0	2,800	1,006
Vistahermosa	150	150	4,500	30.0	4,000	18,000

El desarrollo del cultivo del camote (*Ipomoea batatas* L.), ofrece diversas ventajas económicas para muchos países, ya que se puede emplear en la alimentación humana y animal, así como en la industria, y puede también ser utilizado como forraje y abono verde.

Existe una gran variabilidad en el precio que se paga por el camote en cada uno de los centros de producción, ya sea nacional o estatal. A nivel nacional los precios van desde \$1,356 pesos x tonelada en el estado de Puebla hasta los \$7,286 pesos por tonelada que se pagan en el estado de Querétaro. A nivel estado el camote se cotizó a razón de \$2,800 la tonelada en los municipios de Venustiano Carranza y de Villamar, hasta los \$5,073 por tonelada que se pagan en el municipio de José Sixto V. Esta disparidad en el precio de mercado, se ha convertido en un factor que desmotiva a los productores y por lo tanto, limita el cultivo del camote (*Ipomoea batatas*), tanto a nivel estatal como a nivel nacional.

1.5. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los almidones y derivados como son las maltodextrinas, presentan cada vez una mayor variedad de aplicaciones, tanto en la industria alimentaria como en la industria farmacéutica; su demanda anual rebasa la capacidad de producción nacional y para cubrirla, se recurre a la importación de grandes volúmenes tanto de maíz como de almidones y derivados, lo que genera una constante fuga de divisas y una dependencia tecnológica para nuestro país. En este sentido, es urgente encontrar alternativas y desarrollar la tecnología propia que nos permita obtener estos importantes aditivos de la industria alimentaria y farmacéutica y de esta forma, disminuir o eliminar tanto sus importaciones, como la dependencia tecnológica hacia el exterior, dando además un mayor valor agregado a nuestros recursos naturales y creando mayores y mejor remuneradas fuentes de empleo.

La alta productividad del cultivo (toneladas por hectárea), y el alto contenido de almidón en el tubérculo, convierten al camote (*Ipomoea batatas*) en una atractiva

materia prima a partir de la cual se pueden obtener los almidones y derivados como las maltodextrinas que demanda la industria alimentaria y farmacéutica.

1.6. HIPÓTESIS

A partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se pueden obtener maltodextrinas con propiedades funcionales similares o superiores a las que presentan las maltodextrinas comerciales obtenidas de otras fuentes botánicas.

1.7. OBJETIVO GENERAL

Producir maltodextrinas por vía enzimática a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*).

1.8. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el almidón de camote (*Ipomoea batatas*)
- Determinar las condiciones del proceso (concentración de almidón, de enzima y tiempo de reacción) para la obtención de maltodextrinas con diferente contenido de equivalentes de dextrosa.
- Clasificar las maltodextrinas obtenidas de acuerdo con su contenido de azúcares reductores directos, expresados como equivalente de dextrosa.
- Determinar el punto crioscópico, peso molecular promedio, grado de polimerización promedio, para las diferentes maltodextrinas obtenidas.
- Determinar las propiedades funcionales (Índice de solubilidad, Índice de absorción de agua y factor de hinchamiento) de las maltodextrinas obtenidas.
- De acuerdo con las propiedades funcionales citadas en la literatura, proponer algunas recomendaciones de uso para cada una de las maltodextrinas obtenidas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIAL BIOLÓGICO

Los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) variedad Nylon libres de daño ya sea físico, microbiológico o por ataque de insectos, fueron obtenidos en un cultivo del municipio de Vista Hermosa, Michoacán, México.

2.2. REACTIVOS

Enzima α -amilasa bacteriana (EC. 3.2.1.1) y amiloglucosidasa (EC. 3.2.1.3) (Sigma, México), Maltosa (Merck, USA), Ácido 3-5 Dinitrosalicílico (Sigma, México), Ácido clorhídrico al 37% de pureza (Merck, USA), Soluciones de Fehling A y B (Sigma, México), Dimetilsulfóxido (DMSO)(Sigma, México)

2.3. EQUIPO

Balanza analítica Mettler Toledo modelo AB-204. Número de serie 1113380257, sensibilidad de 0.00001 g y capacidad de 210 g. (Metler-Toledo, México).

Balanza granataria Ohaus modelo BD-6000, número de serie 11555 AD, con capacidad de 6000 g y sensibilidad de 1 gramo (Ohaus, Suiza).

Centrífuga Beckman modelo J2-HS con número de serie JA92L23 y catálogo número 360302 (Beckman, Alemania).

Liofilizadora Labconco Freeze dry/Shell Freeze sistema. Lymph Lock 6, con una temperatura de enfriamiento de -40°C y una presión de vacío de 0.033 mBar. (Labconco, Inglaterra).

Espectrofotómetro UV-Visible (Variant, USA).

Parrilla eléctrica Thermolyne type 1000 stir plate, modelo SPA1025B y número de serie 27340511 (Thermolyne Corporation, USA).

Licuada Osterizer modelo 853-10 (Osterizer, México).

Material de vidrio de uso común en el laboratorio

Estufa Blue M (Electric Company, USA).

Crioscopio modelo 4DII digimatic automatic con alcance de 0 a -0.001 °C, tamaño de muestra de 2 mL y precisión de 0.002°C. (Advanced Instrument, Inc., USA).

Molino de martillos (IKA®, Alemania)

Cortadora de cuchillas marca Mapisa (Mapisa, México)

Tamiz de 250 µm de apertura de malla (Montinox, México)

Microscopio óptico modelo MC 80DX equipado con objetivos de 63x y 25x y cámara Zeiss (Carl Zeiss, Alemania).

2.4. MÉTODOS

2.4.1. Caracterización física del tubérculo

Las características físicas (morfología, tamaño, peso y color) de los tubérculos, así como el rendimiento de la porción comestible del camote (*Ipomoea batatas*), fueron evaluadas. En la morfología se describe la forma y apariencia externa de los tubérculos. Mediante el empleo de un vernier (Mitutoyo, Japón) se determinó tanto la longitud como el diámetro promedio de diez tubérculos. También mediante el empleo de una balanza granataria se determinó el peso promedio de 10 tubérculos. Posteriormente el color externo de los tubérculos; es decir, la coloración de la cáscara fue determinado visualmente. Finalmente la porción comestible de los camotes se determinó de la siguiente forma: dado que la piel de los tubérculos es muy delgada, la mayoría de las personas consumen estos camotes sin eliminar su piel, es decir, los camotes son preparados para su consumo en forma íntegra, después de ser lavados minuciosamente. Cabe destacar que para efectos de este estudio, se consideró como porción comestible a la fracción que resulta después de lavar y eliminar la piel de los tubérculos mediante la ayuda de un pelador comercial de papas. El rendimiento de la porción comestible fue estimado como el cociente del peso de los tubérculos ya pelados, (porción comestible), dividido entre el peso de los tubérculos íntegros y multiplicados por cien (Ecuación 1).

$$\% \text{ Rendimiento comestible} = \frac{(\text{Porción comestible (g)})}{(\text{Tubérculo entero (g)}) \times 100} \dots (1)$$

2.4.2. Obtención de la harina de camote

Los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fueron lavados, escurridos y posteriormente fueron cortados en rodajas de aproximadamente 3 mm de espesor mediante una cortadora de cuchillas marca Mapisa (Mapisa, México). Enseguida las rodajas fueron esparcidas uniformemente en charolas que se introdujeron en un horno de tiro forzado, con objeto de llevar a cabo el secado de las rodajas. La temperatura de secado fue de 50°C durante 48 horas. Concluido el secado, las hojuelas fueron molidas en un molino de martillos (IKA®, Alemania) y la harina fue tamizada a través de una malla de 250 µm de apertura. Una vez tamizada, la harina fue envasada en frascos de plástico con tapa hermética, los cuales fueron debidamente identificados y almacenados en un lugar seco y a temperatura ambiente para su posterior uso y análisis.

2.4.2.1. Análisis químico proximal de la harina

Se determinaron humedad, proteínas, lípidos, fibra cruda, cenizas y carbohidratos por los métodos descritos en el AOAC (1995). Las determinaciones químicas fueron realizadas en las muestras secas. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y solo se presenta el valor promedio y la desviación estándar.

2.4.3. Extracción del almidón

El almidón de camote (*Ipomoea Batatas*), fueron extraídos utilizando una modificación a la técnica de Ganga and Corke (1999). Tubérculos libres de cáscara y rebanados en cubos de 1 cm aproximadamente fueron mezclados con 3 volúmenes de agua destilada y licuados en una licuadora Osterizer modelo 853-10 (Osterizer, México) por 1 min a la máxima velocidad. La suspensión obtenida fue transferida a un vaso de precipitados y mantenida en reposo por 40 min. Después, la suspensión fue decantada y el sobrenadante (pulpa), fue licuado

nuevamente con agua destilada y dejado en reposo 40 min. El sedimento con el almidón, fue licuado nuevamente en la licuadora por 4 min a la máxima velocidad y dejado en reposo por 30 min, posteriormente fue filtrado a través de una malla de 250 μm de apertura (Montinox®, México). Los sólidos remanentes en el tamiz (pulpa), fueron eliminados, mientras que el filtrado (almidón), fue lavado hasta que el agua de lavado fue translúcida, lo cual indicó que el almidón había sido extraído. Posteriormente el producto fue secado a 45°C por 24 h en una estufa Blue M (Electric Company®, USA) y finalmente fue molido usando un molino analítico (IKA®, Alemania) y tamizado a través de malla con apertura de 250 μm . El almidón así obtenido fue envasado en un contenedores de plástico con tapa hermética, debidamente identificado y almacenado a temperatura ambiente para su posterior análisis.

2.4.3.1. Análisis químico proximal del almidón

El contenido de humedad, cenizas, proteínas, lípidos, fibra cruda, y carbohidratos en el almidón de camote fueron determinados de acuerdo a la metodología analítica propuesta en el AOAC (1995). El contenido de carbohidratos totales en los almidones fue determinado por el método del fenol-sulfúrico antrona (Dubois et al., 1956). Posteriormente el contenido de almidón fue determinado por el método enzimático descrito por Rose et al. (1991), el cual consistió en disolver el almidón en un medio alcalino (pH=9) y posteriormente neutralizar (pH=5.1) y digerir con una mezcla de las enzimas α -amilasa (EC. 3.2.1.1) y amiloglucosidasa (EC. 3.2.1.3) (200:1 respectivamente). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado y solo se presenta el valor promedio y la desviación estándar.

2.4.3.2. Contenido de amilosa aparente y total

El contenido de amilosa total y aparente fue determinado mediante el método propuesto por (Hoover y Ratnayake, 2001), el cual está basado en que la amilosa

tiene una afinidad de formar complejos con el yodo, con una capacidad de enlazamiento de 20 mg de yodo por 100 mg de amilosa, los complejos producen una coloración azul que puede ser cuantificado colorimétricamente (Buleon et al., 1998). Para determinar el contenido de amilosa aparente en el almidón de camote, en un matraz Erlenmeyer fueron disueltos 20 mg de almidón (base seca, bs) en 8 ml de dimetilsulfóxido (DMSO) al 90%, la dispersión fue agitada vigorosamente por 20 min y posteriormente se calentada a 85°C por 15 min. Enseguida la mezcla se enfrió y se aforó a 25 ml con agua destilada. Posteriormente 1 ml de esta dispersión fue transferido a un matraz aforado de 50 ml, al cual se le agregan 40 ml de agua destilada y 5 ml de una solución de yoduro (I y KI). Finalmente se aforó con agua destilada, se homogenizo y se dejó reposar por 15 min antes de leer la absorbancia de 600 nm.

Por otro lado, la cantidad de amilosa total fue determinada mediante el mismo procedimiento anteriormente descrito, con la diferencia de que el almidón fue previamente desengrasado con n-propanol (3:1 v/v) a reflujo durante 7 horas, con la finalidad de remover los lípidos que se encuentran enlazados a la amilosa. Para estimar el contenido de amilosa se preparó una curva estándar, la cual fue elaborada mediante una mezcla con diferentes proporciones de amilosa y amilopectina grado reactivo, donde la suma de amilosa y amilopectina corresponde al 100 %.

2.4.3.3. Microscopia óptica

La forma y tamaño de los gránulos se determinó por el método de Mac Masters (1964), mediante observación microscópica directa, utilizando microscopio óptico MC 80DX (Carl Zeiss, Alemania) equipado con objetivos de 63x y 25x y cámara Zeiss. Las muestras fueron montadas en el portaobjetos. Los gránulos de almidón fueron observados con luz polarizada y luz normal. Los gránulos también fueron teñidos con una solución de yoduro (0.2% I₂ y 2% de KI) y observados en campo claro. Las microscopías fueron tomadas a 250 y 600x. Se empleó un microscopio

óptico (Carl Zeiss, Alemania), equipado con cámara adaptable Zeiss y objetivos de 10X, 40 y 100X. las muestras fueron montadas en el portaobjetos y los gránulos de almidón fueron observados con luz normal. Adicionalmente, los gránulos fueron teñidos con una solución de yoduro (0.2% de I₂ y 2% de KI)

2.4.3.4. Propiedades funcionales

La evaluación de las propiedades funcionales del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) incluyó la determinación de la capacidad de retención de agua (CRA), la solubilidad (%), el factor de hinchamiento (FH), la claridad de las dispersiones, la estabilidad al descongelamiento y la retrogradación; cada una de estas determinaciones fue realizada por triplicado y los datos presentados corresponden a los valores promedio con su desviación estándar.

2.4.3.4.1. Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua (CRA) del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se determinó de acuerdo al método descrito por Niba et al., (2001), el cual consiste en lo siguiente. En cuatro tubos de centrifuga previamente pesados se adicionaron 20 mL de dispersión de almidón al 1% (p/p) en cada tubo. Los tubos fueron agitados y colocados en un baño maría a temperaturas de 50, 60, 70 y 80°C durante 15 min, con agitación a los 5 y 10 mín. Posteriormente, los tubos fueron centrifugados a 2300 rpm durante 15 min. El sobrenadante fue decantado y los tubos fueron mantenidos en reposo durante 10 min., al cabo de los cuales, los tubos fueron drenados y pesados. Finalmente la ganancia en peso fue utilizada para calcular la CRA, de acuerdo a la Ecuación 2.

$$\text{CRA} = \frac{\text{Peso del gel (g)} - \text{peso de la muestra (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} = \text{g agua / g muestra....(2)}$$

2.4.3.4.2. Solubilidad y factor de hinchamiento

La determinación del porcentaje de solubilidad (SOL) y el factor de hinchamiento (FH) del almidón de camote (*Ipomoea batatas*), fueron determinados de acuerdo a la metodología descrita por Crosbie (1991), la cual consiste en lo siguiente. En tubos de centrífuga con tapa previamente pesados fueron colocados 20 mL de dispersiones de almidón al 1% p/p. Enseguida los tubos fueron agitados y colocados en un baño maría a temperaturas de 40, 50, 60, 70, 80 y 90 90°C respectivamente, durante 30 min y con agitación cada 5 min. Posteriormente las suspensiones fueron centrifugadas a 5100 rpm durante 15 min. El sobrenadante fue decantado y el peso del gel obtenido fue determinado por diferencia entre el peso del tubo con sedimento menos el peso del tubo vacío. La estimación de la solubilidad y el factor de hinchamiento del almidón fueron determinadas mediante las ecuaciones 3 y 4, respectivamente.

$$\text{SOL} = \frac{\text{Peso de sólidos solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \dots(3)$$

$$\text{FH} = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g) - Peso de sólidos solubles (g)}} \dots (4)$$

2.4.3.4.3. Claridad de las dispersiones

La claridad de las dispersiones del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fue determinada de acuerdo al método de Crosbie et al., (1991), el cual consiste en lo siguiente. En tubos con tapa rosca se colocaron 50 mg de almidón en 5 mL de agua destilada (dispersiones al 1% p/p). Enseguida los tubos fueron colocados en un baño maría a ebullición durante 30 minutos y con agitación cada 5 min. Posteriormente los tubos fueron enfriados a temperatura ambiente y finalmente la transmitancia de las dispersiones fue leída a 650 nm, empleando como blanco agua destilada.

2.4.3.4.4. Estabilidad al descongelamiento

La estabilidad al descongelamiento de las dispersiones del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fue determinada de acuerdo al método de Crosbie et al., (1991), el cual consiste en lo siguiente. Se prepararon 100 mL de dispersiones de almidón al 2% p/p, utilizando agua destilada como agente dispersante. Las dispersiones fueron almacenadas congeladas y mantenidas a -20°C durante un periodo de 22 horas, al cabo de las cuales, las dispersiones fueron colocadas en un baño maría a una temperatura de 30°C durante 90 minutos. Posteriormente las dispersiones fueron centrifugadas a 4000 rpm durante 15 min al termino de los cuales, el líquido sobrenadante fue decantado y pesado. Posteriormente la misma muestra fue congelada y mantenida a -20°C/22 h y el procedimiento se repite por 3 ciclos, registrando el porcentaje de agua liberada en cada ciclo.

2.4.3.4.5. Retrogradación

La retrogradación del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fue determinada de acuerdo al método de Lovedeep et al., (2002), el cual consiste en lo siguiente. Se prepararon dispersiones de almidón al 2% (p/p), utilizando agua destilada como agente dispersante. Las dispersiones fueron colocadas en un baño maría a 85°C durante 30 min, al cabo de los cuales, las muestras fueron enfriadas rápidamente en un baño de agua con hielo. Enseguida las muestras fueron almacenadas en refrigeración a 4°C, por tiempos de 24, 48, 72, 96 y 120 h. Posteriormente las muestras fueron centrifugadas a 4000 rpm/15 min y el agua lixiviada fue determinada en cada caso. Finalmente la tasa de sinéresis fue calculada como la relación entre el peso del agua lixiviada entre el peso del gel y multiplicado por 100 (Ecuación 5).

$$\text{Tasa de sinéresis} = \frac{\text{Peso del agua lixiviada (g)}}{\text{Peso del gel (g)}} \times 100 \dots (5)$$

2.4.4. Obtención de maltodextrinas

2.4.4.1. Estimación del tiempo de hidrólisis necesario para obtener maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 Equivalentes de dextrosa

La obtención de maltodextrinas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se llevó a cabo aplicando la metodología propuesta por Montañez (1999), la cual consiste en lo siguiente. Inicialmente se prepararon dispersiones de almidón al 10% (p/p), empleando regulador de fosfatos a una concentración 0.02M y pH 6.9 como agente dispersante. Las dispersiones fueron calentadas a ebullición durante 5 min, a fin de lograr la solubilización y gelatinización del almidón y de esta forma, hacerlo disponible enzimáticamente. Enseguida las dispersiones fueron enfriadas y colocadas en un baño maría a 50°C y una vez atemperadas, les fue adicionada la cantidad necesaria de enzima α -amilasa (EC. 3.2.1.1) de *Aspergillus oryzae* previamente disuelta en una pequeña cantidad de buffer para obtener una concentración final de 10 μ g de enzima/mL de solución. La mezcla se mantuvo en agitación constante y a una temperatura de 50°C. Se consideraron tiempos de 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 120 minutos de incubación. Una vez finalizado el tiempo de hidrólisis establecido, la mezcla de reacción fue calentada a ebullición durante un minuto, a fin de inactivar la enzima. Finalmente se cuantificaron los azúcares reductores directos (ARD) (Miller, 1956) presentes en las muestra hidrolizadas a los diferentes tiempos, y con ellos se obtuvo el contenido de equivalentes de dextrosa (ED) (Delheye and Moreels, 1988). Con esta información se hizo la representación gráfica de contenido de equivalentes de dextrosa contra tiempo de hidrólisis, a fin de determinar gráficamente los tiempos de hidrolisis requeridos para obtener maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 equivalentes de dextrosa, tal como se encuentran en el mercado las maltodextrinas comerciales de almidón de maíz.

2.4.4.2. Obtención de maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 ED

A fin de contar con una cantidad suficiente de maltodextrinas con los equivalentes de dextrosa requeridos (5, 10, 15 y 20) y de esta forma, corroborar los tiempos de hidrólisis estimados en el punto anterior, necesarios para obtener cada una de las

maltodextrinas mencionadas, así como de disponer de suficiente para llevar a cabo la caracterización fisicoquímica y funcional de cada una de las maltodextrinas mencionadas, se procedió a la obtención de aproximadamente 50 gramos de cada una de las maltodextrinas de interés. Para ello, el obtener las maltodextrinas con el contenido de equivalentes de dextrosa deseado, fue similar al descrito anteriormente, sólo que en este caso, inicialmente se prepararon 2 L de una dispersión de almidón de camote (*Ipomoea batatas*) al 10% (p/p), empleando regulador de fosfatos a una concentración 0.02M y pH 6.9 como agente dispersante. La dispersión fue calentada a ebullición durante 5 min, a fin de lograr la solubilización y gelatinización del almidón y de esta forma, hacerlo disponible enzimáticamente. Concluido el tiempo de ebullición, la dispersión de almidón fue enfriada a temperatura ambiente y repartida en 4 matraces Erlenmeyer de 2 L de capacidad, colocando 500 mL de la dispersión de almidón previamente gelatinizado en cada uno de ellos. Los matraces fueron colocados en un baño maría a 50°C y agitación constante. Una vez atemperados, se les adicionó la enzima α -amilasa a una concentración final de 100 μ g/mL. La mezcla de reacción se homogenizó vigorosamente y se mantuvo a 50°C y agitación constante. Una vez transcurrido el tiempo de hidrólisis encontrado en el punto anterior para obtener cada una de las maltodextrinas de interés, el matraz correspondiente se retiró del baño maría e inmediatamente la mezcla de reacción se calentó a ebullición por 3 min, a fin de inactivar la encima y de esta forma, suspender la hidrólisis del almidón y derivados presentes en la mezcla de reacción. Posteriormente las mezclas fueron enfriadas, congeladas y liofilizadas, obteniéndose así las maltodextrinas correspondientes en forma de polvo blanco que después de moler en mortero y tamizar a través de una malla de 100 μ m de apertura de poro, fueron envasadas en frascos de vidrio con tapa hermética, debidamente identificados y almacenados en un lugar fresco y seco para su análisis posterior.

En la figura 8 se muestra el diagrama de flujo aplicado en este proceso de obtención de maltodextrinas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) y con un contenido de 5, 10, 15 y 20 equivalentes de dextrosa.

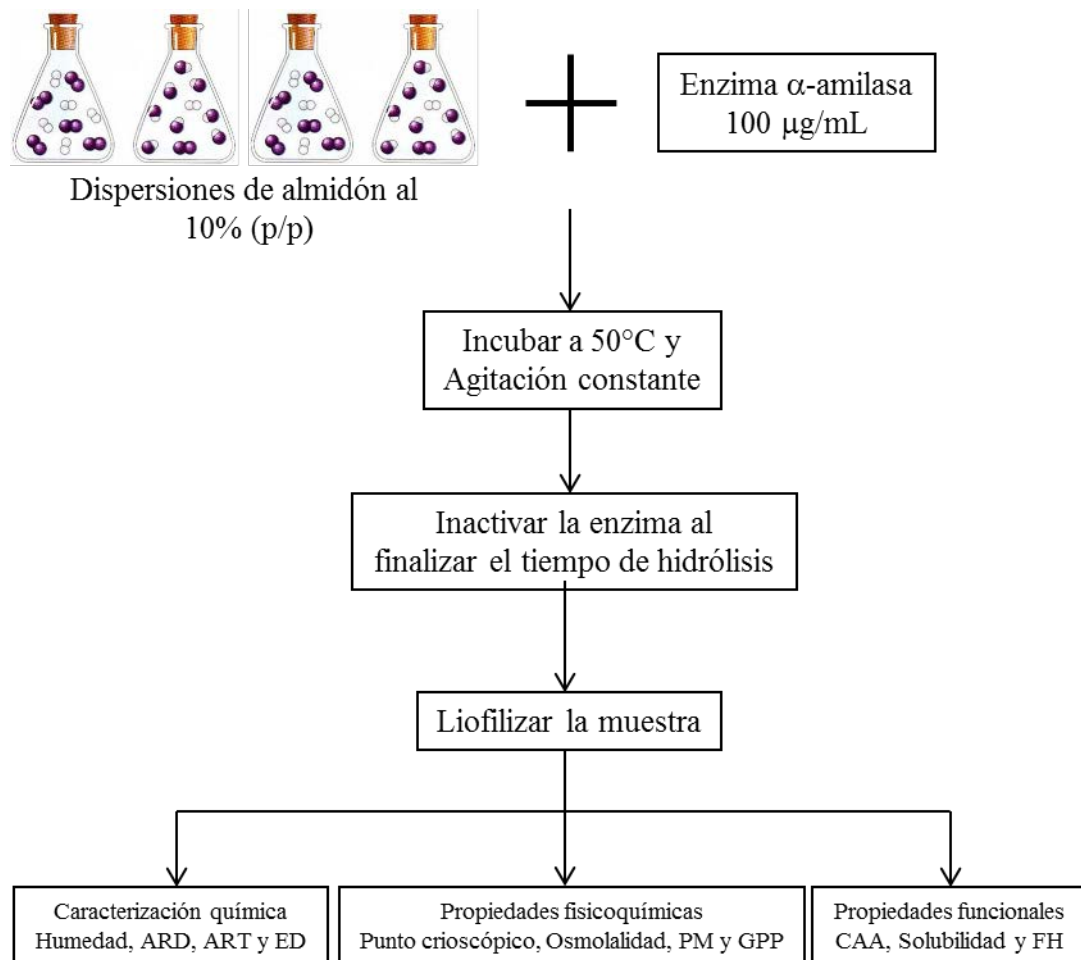


Figura 10: Diagrama de flujo en el proceso de obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimática del almidón de camote (*Ipomoea batatas*)

2.4.4.3. Caracterización química

La caracterización química de cada una de las maltodextrinas obtenidas se llevó a cabo de la siguiente forma. Su contenido de humedad se determinó de acuerdo al método de pérdida de peso en termobalanza (AOAC, 1995). El contenido de azúcares reductores directos (ARD) y de azúcares reductores totales (ART) se determinó por el método del ácido 3,5 dinitrosalicílico (Miller 1959).

2.4.4.4. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas como son: la osmolalidad, el peso molecular promedio (PMP) y el grado de polimerización promedio (GPP) de cada una de las

maltodextrinas obtenidas se determinaron a partir del punto crioscópico de sus soluciones, siguiendo la siguiente metodología.

2.4.4.4.1 Variación del punto de congelación

Fundamento: Cuando a un disolvente como el agua se le adiciona un soluto, su presión de vapor, punto de congelación, punto de ebullición y su presión osmótica se modifican. En el caso de adicionar solutos no volátiles como azúcares o sales, la presión de vapor del disolvente se disminuye, su punto de ebullición aumenta, el punto de congelación disminuye y su presión osmótica se modifica. Estos efectos producidos por la adición de solutos no volátiles al agua reciben el nombre de propiedades coligativas de las soluciones y son independientes de la naturaleza del soluto, pero no del número de moléculas o de partículas existentes en la solución. Cuando una disolución que contiene un soluto no volátil se enfría, el disolvente se congela antes que el soluto y la diferencia entre ambas temperaturas de congelación es conocida como el punto crioscópico de la dilución y es proporcional a la concentración de la solución, de acuerdo con la ley de Raoult (Castellan, 1990). Este principio se aplica en los crioscopos modernos para determinar el punto de congelación de las disoluciones.

La variación del punto crioscópico con respecto a la concentración de sólidos y al contenido de equivalentes de dextrosa de cada una de las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*), se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Montañez (1999), la cual consiste en lo siguiente. Inicialmente se prepararon 10 mL de soluciones con 5, 10, 15 y 20 % (p/p) de sólidos de cada una de las maltodextrinas obtenidas, utilizando agua como disolvente. Las muestras fueron homogeneizadas por agitación vigorosa y mantenidas en reposo durante 30 minutos. Posteriormente se determinó el punto crioscópico de cada una de las soluciones, mediante la utilización del crioscopio digital automático (Advanced Instrument, Inc., USA), el cual requiere un tamaño de muestra de 2 mL, presenta un alcance de 0 a -0.001 °C, y tiene una precisión de 0.002°C. Esta determinación se hizo por triplicado y los resultados presentados corresponden al valor promedio y la desviación estándar de la serie.

2.4.4.4.2. Peso molecular promedio

El peso molecular promedio (PMP) de cada una de las maltodextrinas obtenidas se obtiene fácilmente una vez que se conoce el punto crioscópico de sus disoluciones, mediante la aplicación del siguiente razonamiento matemático:

$$M_2 = 1000 (K_f / \theta_f) (W_2/W_1) \dots (6)$$

donde:

θ_f Es el punto de congelación de la solución

K_f Constante crioscópica del disolvente (para el agua $K_f = 1.86 \text{ Kg. } ^\circ\text{K/Mol}$)

W_1 Cantidad de disolvente (agua) en gramos

W_2 Cantidad de soluto

M_2 Peso molecular del promedio de los solutos

2.4.4.4.3. Grado de polimerización promedio

Una vez conocido el peso molecular promedio de los constituyentes que integran las diferentes maltodextrinas obtenidas, y partiendo de la premisa de que dichos constituyentes están integrados por oligosacáridos y polisacáridos formados exclusivamente por unidades de glucosa, procedemos a estimar su grado de polimerización promedio (GPP), aplicando la siguiente fórmula (Ecuación 7).

$$\text{GPP} = M_2 / 162 \dots(7)$$

En dicha ecuación, M_2 corresponde al peso molecular promedio de los solutos y la constante (162) corresponde al peso molecular de un residuo de glucosa (GPC, 1989).

2.4.4.4.4. Osmolalidad de las soluciones

La osmolalidad de las soluciones de cada una de las maltodextrinas obtenidas, también la podemos calcular a partir del punto crioscópico de sus soluciones, mediante la aplicación de la siguiente fórmula (Ecuación 8):

$$m = \theta_f / K_f \dots (8)$$

donde m corresponde a la osmolalidad de la solución (miliosmoles / kg de agua (GPC, 1996).

2.4.4.5. Propiedades funcionales de las maltodextrinas

En la evaluación de las propiedades funcionales de las diferentes maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se incluyó la capacidad de retención de agua (CRA), la solubilidad, el factor de hinchamiento (FH), la claridad de las dispersiones, la estabilidad al descongelamiento y la retrogradación. Cada determinación fue realizada por triplicado y empleando la misma metodología empleada en la caracterización del almidón.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DEL TUBÉRCULO DE CAMOTE (*Ipomoea batatas*).

3.1.1. Características físicas y porción comestible

Los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas* variedad Nylon) presentaron formas cilíndricas que van de alargadas a ovaladas y con superficies lisas; su cáscara presenta una coloración rosada a morado tenue y es de estructura delgada (Figura 11), por lo que se facilita su eliminación manual, aunque se puede consumir o utilizar en ciertos procesos ya sea con o sin cáscara, debido a esto, su porción comestible puede llegar a ser de un 91% cuando se elimina la cáscara y hasta el 100% cuando se consume íntegramente. La porción comestible del camote resulta similar al que presentan otros tubérculos como la papa (*Solanum tuberosum*) (Jiménez et al., 2006), el camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparsiflora*) (Guizar, 2009); pero superior al de otros tubérculos como el chayote (*Sechium edule* S.) (Jimenez et al., 2007), el ñame congo (*D. bulbifera*) y el tubérculo de *D. trifida*, cuya porción comestible llega al 85% y al 77.01%, respectivamente (Rincón et al., 2000).



Figura 11: Tubérculos de camote (*Ipomoea batatas* variedad nylon)

La porción comestible del camote (*Ipomoea batatas*) también fue mayor que el reportado para el tubérculo sudamericano zulú (*Maranta arundinacea* L.), para el cual se reporta una porción comestible del 88% (Pérez et al., 1997). La delgada cáscara que presenta el camote (*Ipomoea batatas*) es consecuencia de que este tubérculo se pueda consumir íntegramente sin necesidad de eliminar dicha cascara. También el camote (*Ipomoea batatas*) se puede utilizar íntegramente en muchos procesos industriales como sería para la obtención de maltodextrinas por vía enzimática, debido a que las enzimas α -amilasas son altamente específicas para hidrolizar al almidón, sin que las afecten los constituyentes de la cascara del camote.

En la Tabla 8 se presentan las características físicas como el peso, la longitud, el ancho y la porción comestible del camote (*Ipomoea batatas*), y se comparan con las que presentan otros tubérculos como la papa (*Solanum tuberosum*), el Chayote (*Sechium edule* S.), así como los tubérculos de algunas especies de Dioscoreas.

Tabla 8: Comparación de las características físicas que presentan algunas especies de tubérculos.

Característica	Peso g	Longitud mm	Diámetro mm	Porción Comestible (%)
<i>Ipomoea batatas</i>	370 - 2200	130-310	80-150	91-100
<i>S. tuberosum</i> ¹	50-250	70-300	70-200	90-100
<i>Sechium edule</i> ¹	480-930	280-430	40-100	86-90
<i>D. remotiflora</i> ²	350-100	150-600	40-70	90-100
<i>D. sparciflora</i> ²	400-1100	220-500	45-75	90-100
<i>D. bulbifera</i> ³	97-281	27-94	26-78	85-100

1: Jiménez et al., (2007); 2: Guizar (2009); Rincón et al, (2000);

Podemos observar que los tubérculos de *Ipomoea batatas* son de mayor peso y de mayor diámetro que el resto de los tubérculos comparados. También observamos que la porción comestible de todos estos tubérculos puede llegar a ser hasta de 100%, debido a que su cascara es muy delgada y se puede consumir íntegramente, aportando así una buena proporción de fibra dietética.

3.1.2 Composición química del camote (*Ipomoea batatas*)

La composición química proximal de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) se muestra en la Tabla 9. Al igual que en la gran mayoría de los tubérculos alimenticios, la humedad representa el principal constituyente del camote. La humedad de los tubérculos depende de manera directa de la etapa en que es cosechado, la fertilidad del suelo, el régimen de agua (Huang *et al.*, 2007). Comparativamente el contenido de humedad en el camote (*Ipomoea batatas*) fue menor al que presentan otros tubérculos como la papa, cuyo contenido de humedad es de 80.06% (Jiménez *et al.*, 2007), los tubérculos de chayote cuyo contenido de humedad es de 81.30% (Jiménez *et al.*, 2007), los tubérculos de camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*), cuyo contenido de humedad se ha reportado que es de 82.18 y 81.13%, respectivamente (Guizar, 2008).

Tabla 9: Composición química proximal del camote (*Ipomoea batatas*)

Determinación	Contenido (g/100g)	
	%BH ¹	%BS ²
Humedad	76.00 ± 0.4	---
Cenizas	1.60 ± 0.05	6.67
Lípidos	0.40 ± 0.03	1.67
Proteínas (nx5.75)	1.4 ± 0.03	5.83
Carbohidratos	19.5 ± 0.22	81.25
Almidón	18.08 ± 0.20	75.33
ARD	1.42 ± 0.1	5.46
Fibra cruda	1.10 ± 0.02	5.92
Energía (Kcal/100g)	87.2	363.35
Rendimiento de almidón	20.08	77.23

1: porciento en base húmeda, 2: porciento en base seca

En base húmeda el segundo constituyente en importancia en la composición del camote (*Ipomoea batatas*) está representado por los carbohidratos, cuyo contenido fue de $19.5 \pm 0.22\%$ y llega hasta un 81.25% en base seca. Valores similares en el contenido de carbohidratos se han reportado para tubérculos de diferentes variedades de *Dioscorea* (Guizar, 2008; Rincon *et al.*, 2007; Huang *et al.*, 2000), así como en tubérculos de papa cuyo contenido de carbohidratos llega a un 85% en base seca (Wolfgang *et al.*, 1999; Jiménez 2006), y en los tubérculos de chayote (*Sechium edule*) (Jiménez 2006).

Los carbohidratos presentes en el camote están constituidos por dos fracciones principales que son el almidón y los azúcares reductores directos. La mayor fracción corresponde al almidón, cuyo contenido en base seca alcanzó el 75.33%. Contenidos similares de almidón han sido reportados en los tubérculos de chayote (Aung *et al.*, 1991; Lira, 1996; Jiménez *et al.*, 2007), en los tubérculos de papa (Wolfgang *et al.*, 1999; Jiménez *et al.*, 2007), y en los tubérculos de diferentes variedades de camote de cerro (*Dioscorea remotiflora* y *D. sparciflora*) (Guizar, 2008). Otros tubérculos como el guapo o arrurruz (*Myrosma cannifolia*) presentan un contenido de almidón de apenas 43.8 g/100g base seca (Rincón *et al.*, 1999).

Dado su alto contenido de almidón, comparativamente los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*), también pueden emplearse para la obtención de almidón, al igual que otras fuentes botánicas como son los tubérculos de papa, tapioca y arrurruz (Beynum y Roels, 1985). Wolfgang *et al.*, (1999) mencionan que, dado que la energía requerida durante el proceso de extracción de almidón a partir de tubérculos como el camote (*Ipomoea batatas*), sería menor a la que se requiere para la extracción de almidón a partir de cereales como el maíz y el trigo, el empleo del camote como materia prima para la obtención de almidón tendría ventajas competitivas sobre la obtención industrial de este polímero a partir de otras fuentes potenciales como el maíz, el trigo y el arroz (Wolfgang *et al.*, 1999).

Por otra parte, el contenido de azúcares reductores directos en base húmeda fue de 1.42% y llegó hasta 5.46% en base seca. De todos los tubérculos estudiados como posibles fuentes de almidón, los tubérculos del camote (*Ipomoea batatas*) son los que presentan el mayor contenido de azúcares reductores directos, y son estos

azúcares reductores directos o “azúcares libres”, los responsables del sabor dulce que presenta el camote fresco, razón por la cual el camote también es conocido con el nombre de papa dulce (Aguilera, 1999). El alto contenido de humedad y su elevado contenido de carbohidratos y de azúcares reductores directos, convierten al camote en un alimento altamente perecedero.

Las cenizas comprenden la suma de todos los minerales presentes y están compuestas principalmente por fósforo, sodio, potasio, magnesio y calcio (Hoseney, 1991). El contenido de cenizas en los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 6.67% en base seca. Valores similares en el contenido de cenizas se han encontrado en los tubérculos papa (4.04%) (Wolfgang et al., 1999; Jiménez 2006), en el tubérculo de chayote (3.65%) (Jiménez, et. al., 2006), así como en los tubérculos de diferentes variedades de *Dioscoreas* como *D. alata* (3.96%) y *D. purpurea* (5.06%), así como en *D. remotiflora* (3.68%) y *D. sparsiflora* (4.23%) (Guizar, 2008).

El rendimiento en el proceso de obtención de almidón a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 10.08% en base húmeda. Este rendimiento fue superior a los reportados para distintas variedades de raíces y tubérculos tropicales (Hoover, 2001; Moorthy, 2002). Jayacody et al., (2007) reportaron rendimientos de 10.21-16.81% en *D. esculenta*, y de 14.25-18.80% en *D. alata*. Shujun et al., (2008) obtuvieron un rendimiento del 16.8% en *D. opposita*, similar al reportado por Jayakody et al (2005) en tubérculos de papa china (*Solenostemon rotundifolius*), mientras que Liu et al., (2003) reportaron un rendimiento del 18.8% en la obtención del almidón de papa (*Solanum tuberosum*). Por el contrario, Guizar (2008) reporta un rendimientos de 29.1% para *D. remotiflora* y de 33.89% para *D. sparsiflora*. Los rendimientos obtenidos en el proceso de obtención de almidón a partir de otras fuentes no convencionales han sido las siguientes: 438 g/kg a partir de plátano macho (*Musa paradisiaca* L.) (Bello, 1999); 352 g/kg a partir de chícharo (*Cicer arietinum* L.) (Singh et al., 2004).

En base seca, el rendimiento logrado en este estudio en el proceso de obtención de almidón a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 753.3 g/kg, rendimiento que resulta superior al rendimiento reportado en el proceso de obtención de almidón a partir de maíz amarillo dentado, principal fuente comercial empleada

para la obtención de almidón, cuyo rendimiento obtenido por molienda húmeda a nivel laboratorio fue de 675,8 g/kg en base seca (Aguilar y Eckhoff, 2007). En general, el rendimiento obtenido en el proceso de obtención de almidón a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) puede considerarse elevado comparándolo con los rendimientos obtenidos a partir de la mayoría de las fuentes de obtención no convencionales.

El contenido de lípidos en los tuberculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 0.4% en base húmeda, lo que equivale a 1.67% en base seca. Este valor resulta superior a los contenidos de lípidos reportados en los tubérculos de papa (0.39%_{BH}) y de chayote (0.33%_{BH}) (Jiménez *et al.*, 2007), e incluso superiores a los encontrados en otras especies de *Dioscorea de Nepal* (0.2-0.3%_{BH}) (Bhandari *et al.*, 2003) y de *D. alata* (0.29-1.34%_{BH}) (Huang *et al.*, 2007). Guizar (2008) reporta un contenidos de lípidos en los tubérculos de *D. remoiflora* y de *D. sparsiflora* de 3.76 y 3.67% en base seca, respectivamente.

El contenido proteico en el tubérculo de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 5.83 % en base seca y resulta relativamente bajo en comparación con el contenido proteico registrado en otras fuentes como el chayote (*Sechium edule S.*) y la papa (*Solanum tuberosum*), cuyos contenidos proteicos se han reportado de 10.3 y 10.0% en base seca, respectivamente (Jiménez *et al.*, 2007). En *D. opposita* se ha encontrado un contenido de proteínas del 14.5% (Zhou *et al.*, 2004), en *D. alata* el contenido de proteínas oscila entre el 8.13 y 15.07% (Huang *et al.*, 2007), en tanto el contenido de proteínas en *D. deltoidea* fue de 8.08 % y de 8.54% en *D. versicola* (Bhandari *et al.*, 2003). Por su parte, Guizar (2008) reporta un contenido proteico de 7.35 y de 9.66% en base seca, en los tubérculos de camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*), respectivamente.

Huang *et al.*, (2007) mencionaron que la composición química de los tubérculos se ve claramente afectada por varios factores en los que se incluye el origen del tubérculo, variaciones genéticas, el clima, tipo de fertilización, así como el periodo de desarrollo de los tubérculos.

Nutricionalmente el camote aporta cantidades considerables de carbohidratos, un bajo contenido de proteínas y de lípidos. Si consideramos que el catabolismo de los

carbohidratos y proteínas proporcionan 4 Kcal/g, y el catabolismo de las grasas proporcionan 9 Kcal/g, el aporte calórico derivado del metabolismo de estos nutrientes presentes en el tubérculo de camote (*Ipomoea batatas*) es de 87.2 Kcal por cada 100g de producto fresco consumido, lo que equivale al 4.36 y al 3.49% de la ingesta calórica diaria recomendada para una dieta de 2000-2500 Kcal por día. El camote posee también una considerable cantidad de fibra dietética, la cual se ha descubierto que acelera el tránsito intestinal, previene el cáncer de colon, controla el nivel de glucosa, reduce el nivel de colesterol y produce sensación de saciedad en el organismo (Roberfroid, 1993). En general en base a su composición química, Bhandari et al., (2003) y Huang et al., (2007) opinan que este tipo de tubérculo constituye un alimento adecuado para el consumo humano

3.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN

Los resultados de los diferentes parámetros químicos evaluados al almidón que se obtuvo a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) se muestran en la Tabla 10.

El contenido de humedad en los almidones es un factor que depende tanto de la materia prima utilizada como fuente de obtención, así como del método y las condiciones de deshidratación utilizadas en el proceso de obtención de los mismos (Guizar, 2008). El contenido de humedad en el almidón extraído a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 6.15%. Se ha visto que un contenido de humedad menor al 10% resulta conveniente para evitar el deterioro de los almidones durante su almacenamiento, lo cual repercute en la vida de anaquel del mismo (Wolfgang et al., 1999, Sriroth et al., 2000).

El contenido de cenizas en el almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 0.51% resultados similares a los obtenidos en este estudio han sido reportados por Amritpal et al., (2007) en almidón de papa (0.45%), en tanto que valores inferiores se han reportado en almidón de algunas especies de *Dioscorea* como *D. alata* (0.22%) (Peroni et al., 2006), *D. esculenta* (0.17%) (Jayakody et al., 2007). Guizar (2008) reporta un contenido de cenizas de 0.41% y de 0.68% en los almidones de *D.*

remotiflora y de *D. sparsiflora*, respectivamente. Por su parte, Jiménez (2006) reporta un contenido de cenizas de 0.46, 0.34 y 0.38% en los almidones de chayote, papa y maíz, respectivamente. Las cenizas están compuestas principalmente por calcio, magnesio, potasio, sodio, hierro y fósforo (Badui, 2001), con excepción del fósforo el resto de los minerales que integran las cenizas son de poca importancia en la funcionalidad del almidón, ya que el fósforo tiene una influencia significativa en las propiedades funcionales de estos materiales (Tester et al., 2004).

Tabla 10: Composición química porcentual del almidón de camote (*Ipomoea batatas*)

Parámetro	Contenido (% _{BS})
Humedad	6.15 ± 0.10
Cenizas	0.51 ± 0.02
Lípidos	0.90 ± 0.03
Proteínas (N x 5.75)	0.48 ± 0.02
Carbohidratos totales	98.11 ± 0.80
ART	98.15 ± 0.7
Amilosa aparente	19.25 ± 0.3
Amilopectina	80.75 ± 0.5
Amilosa total ¹	20.42 ± 0.4
Complejo lípidos-amilosa ²	6.15 ± 0.2
Amilosa/Amilopectina ³	0.24 ± 0.02
Fósforo	0.05 ± 0.01
Forma del gránulo	Esférica-Oval
Tamaño del gránulo (µm)	10 - 30

1: Previa extracción de lípidos con n-propanol agua 3:1 (v/v).

2: 100 x (amilosa total-amilosa aparente) / amilosa total

3: Amilosa aparente / amilopectina

Se ha reportado que el contenido de fósforo en los tubérculos de ñame es mayor al que contienen almidones procedentes de otras fuentes botánicas como los cereales

(Peroni et al., (2006). El contenido de fósforo en el almidón obtenido a partir de los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) fue de 0.05% en base seca. Valores similares de contenido de fosforo se han reportado en los almidones de *D sparsiflora* (0.054%) y de *D remotiflora* (0.073%) (Guizar, 2008). Jayakody et al (2007) reporta contenidos de fosforo de 0.045-0.071% en almidones obtenidos a partir de algunas especies de ñames como *D. esculenta* y *D. alata* respectivamente. En el almidón de papa se reportan valores de contenido de fósforo que van de (0.038-0.089%) (McPherson y Jane, 1999; Hoover, 2001; Liu et al., 2003; Singh et al., 2003; Tester et al., 2004; Jiménez, 2007). Menores contenidos de fósforo han sido reportados en almidones procedentes de otras fuentes como son: el almidón de papa china (0.02%) y el almidón de cassava (0.008%) (Jayakody et al., 2005), el almidón de papa dulce (*Ipomea batata*) (0.012%) y el almidón de taro (*Colocasia esculenta*) (0.021%) (Jayakody et al., 2007), el almidón de kuzu (*Pueraria lobata*) (0.005%) y el almidón de ñame (*D. alata*) (0.022%) (Peroni et al., 2006).

En el almidón, el fósforo se encuentra presente en forma de grupos monoéster de fosfato, limitado por las moléculas de amilopectina confiriéndole una naturaleza iónica que concede al almidón un alto desarrollo de dispersión, alta viscosidad y transparencia (Beynum and Roels, 1985; Peroni et al., 2006); también afecta la capacidad de retención de agua y estabilidad al descongelamiento (Singh et al., 2003). Wolfgang et al. (1999) señalan que la capacidad espesante del almidón se relaciona de manera directa con el alto contenido de grupos éster de fosfatos.

Las proteínas (polipéptidos, péptidos, amidas, aminoácidos y enzimas) son las responsables del olor característico del almidón y de su capacidad espumante (Beynum and Roels, 1985). El contenido de proteínas en el almidón de tubérculo de camote (*Ipomoea batatas*), resulta de 0.48%, fue superior que los reportados por Jiménez et al., (2007) en el almidón de papa (0.20%) y en el almidón de tubérculo de chayote (*Sechium edule*) (0.29%). Freitas et al., (2004) reportan un contenido de proteínas del 0.10%, tanto en el almidón de *Dioscorea alata*, como en el almidón de cassava (*Manihot esculenta*). Por otro lado, Jayacody et al, (2005) reportaron un contenido de proteína del 0.31% en el almidón de papa china (*Solenostemon rotundifolius*), mientras que Joblin, (2004) reportó un contenido proteico en el almidón

de trigo de 0.4%, mientras que en el almidón de maíz oscila entre el 0.35 al 50%. Hoover *et al.*, (2003) encontraron que en el almidón de avena contiene 0.25% de proteínas, mientras que Jayakody *et al.*, (2007) reportan que el contenido de proteínas en el almidón de *Dioscorea esculenta* es de 0.18%. En el almidón de *D. remotiflora* se reporta un contenido de almidón de 0.63% en base seca (Guizar, 2008).

El contenido de lípidos en el almidón de camote fue de 0.84%, este valor es mayor que los reportados en *D. alata* (0.10-0.30%) (Peroni *et al.*, 2006), en *D. esculenta* (0.36-0.47%) (Jayakody *et al.*, (2007), y en *D. sparsiflora* (0.51%) (Guizar, 2008), así como a los reportados en almidones de otros tubérculos tropicales cuyo contenido de lípidos se reporta entre el (0.02 al 0.19%) (Hoover, 2001). Freitas *et al.*, (2004) mencionan que el almidón de *Dioscorea alata* contiene un 1.1% de lípidos, mientras que Guizar (2008) reporta un contenido de lípidos de 1.13% en el almidón de *D. remotiflora*. Moorthy, (2002) menciona que el contenido de lípidos en almidones procedentes de tubérculos y raíces es de alrededor del 1%. Reportes previos (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001; Hosene, 1991; Lovedeep *et al.*, 2002) han indicado que los almidones provenientes de cereales como maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo, presentan un mayor contenido de estos componentes lipídicos.

La presencia de lípidos afecta las propiedades funcionales del almidón (capacidad de humectación, solubilidad y claridad) al evitar su unión con las moléculas de agua y causar rancidez durante su almacenamiento. Los lípidos se unen a la molécula de amilosa, la cual forma clatratos helicoidales principalmente con ácidos grasos de cadena larga. Este complejo lípido-amilosa es insoluble en agua a temperatura ambiente; sin embargo, se puede disolver al incrementar la temperatura. Algunos de los ácidos grasos reportados en el almidón son el palmítico, linoleico y oleico además de fosfolípidos. (Beynum and Roels 1985; Wolfgang *et al.*, 1999).

Los carbohidratos representan el principal constituyente del almidón, su contenido fue de 98.11% en base seca, valor similar a lo reportado por Jiménez *et al.*, (2007) en el almidón de tubérculo de chayote y papa (98.56% y 98% respectivamente), al igual que lo reportado por Jayakody *et al.*, (2007) para otras especies de *Dioscorea* (98%). En el almidón de *D. remotiflora* y de *D. sparsiflora*, se reporta un contenido de

carbohidratos de 97.67 y de 97.46%, respectivamente (Guizar 2008), mientras que Hernández et al., (2008), reportan un contenido de carbohidratos de 98.93% en el almidón de maíz. Dada su naturaleza química, es de esperarse que el contenido de carbohidratos en los almidones sea muy cercano al 100%. Por otra parte, el contenido de azúcares reductores totales (ART) en el almidón de camote fue de 98.15% y no existe diferencia estadística significativa ($p < 0.05$) entre el contenido de ART y el contenido de carbohidratos totales, lo cual significa que en el almidón de camote no existen azúcares libres.

El contenido de amilosa del almidón de camote fue de 19.25% (Tabla 11), similar a lo reportado (19.6%) por Hernández et al., (2008), aunque menor a lo encontrado en el almidón de maíz (29,3%) y el almidón de papa (25.9%) (Jiménez, 2007); el almidón de tubérculos de *D. remotiflora* y de *D. sparciflora*, cuyos contenidos de amilosa se reportan en 30.99% y en 39.39%, respectivamente (Guizar, 2008), y, mayor a lo reportado en el almidón del tubérculo de chayote (12.9%) (Jiménez, 2007). Betancour *et al.*, (2001) reportan un contenido de amilosa en el almidón de papa de 21%, mientras que por su parte, Osundahunsi *et al.*, (2003) reportan contenidos de amilosa de 32,15 y 34,16% en almidones de camote de las variedades blanco y rojo, respectivamente. Charles *et al.*, (2005) reportaron que el contenido de amilosa en almidones de diferentes variedades de yuca fue de 15,9 a 22,4%, mientras que Hernández et al (2008) reportan un contenido de amilosa de 17% en el almidón de yuca.

El contenido de amilosa incluye una fracción soluble y otra insoluble unida a la amilopectina y a lípidos (Biliaderis, 1991). La fracción soluble es fácilmente lixiviada y por tanto se considera responsable de la cohesividad de los tubérculos cocinados. Además la amilosa soluble tiene un papel importante en la determinación de las propiedades texturales.

La relación amilosa/amilopectina fue de 0.24, lo cual indica un predominio de la fracción de amilopectina (80.75%) sobre el contenido de amilosa (19.75%) en el almidón de camote. Se ha encontrado que los almidones con alto contenido de amilopectina pueden formar geles con baja tendencia a la retrogradación. Esta reportado también que en términos generales, los almidones provenientes de

cereales presentan un mayor contenido de amilosa (28% aproximadamente) que los almidones provenientes de tubérculos o raíces (20%) (Beynum and Roels 1985).

Las variaciones en el contenido de amilosa en los almidones procedentes de las diferentes fuentes, ha sido atribuida a la actividad de las enzimas involucradas en el proceso de síntesis y degradación del almidón, el método de extracción de los lípidos, el método de aislamiento del almidón y el método analítico utilizado para la cuantificación de dicha fracción (Singh *et al.*, 2003; Mali *et al.*, 2004; Shujun *et al.*, 2008). Por otro lado, tanto Singh *et al.*, (2003) como Wang *et al.*, (2007) consideran que la relación amilosa/amilopectina en los almidones varía de acuerdo al origen botánico, al clima y tipo de suelo donde se desarrolla la fuente de obtención.

Los almidones ricos en amilosa son preferidos comercialmente debido a que los geles que se obtienen con ellos presentan mejores propiedades mecánicas, son menos solubles y presentan mayor resistencia a la degradación química o enzimática (Banks, 1975; Beynum and Roels; 1985; Pomeranz, 1991). Sin embargo, el contenido de amilosa tiene otro efecto en el almidón, esta cadena es la responsable del fenómeno de retrogradación. Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está relacionada a su contenido de amilosa, debido a que la amilopectina es difícil que la desarrolle, ya que sus ramificaciones impiden la formación de puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes (Beynum and Roels 1985; Badui, 2001).

El contenido de estos dos componentes (amilosa y amilopectina), así como la composición general de los almidones (contenidos de proteína, grasa, fibra, cenizas y extracto libre de nitrógeno), serán determinantes en las características estructurales y funcionales de los almidones, condicionando a estos, a que puedan ser utilizados en un tipo particular de alimento. Por lo tanto el contenido de amilosa y amilopectina será adecuado o no dependiendo del uso particular del almidón. En este estudio el bajo contenido de amilosa resulta favorable en el almidón de camote, ya que le confiere una menor resistencia en el proceso de hidrólisis enzimática para la obtención de maltodextrinas, y lo hace mucho más estable a la retrogradación.

El complejo lípidos amilosa en el almidón de camote fue de 6.15%, este valor puede atribuirse a la interacción de los lípidos en el interior de la hélice de amilosa o entre

las cadenas de amilosa y amilopectina. Se han reportado rangos de interacción de 8.3% a 15.5% en complejo lípidos amilosa en almidón de tubérculos (Jayakody *et al.*, 2005). Guizar (2008) reporta valores del complejo lípidos amilosa de 3.33% y 8.07% en el almidón de *D. sparsiflora* y de *D. remotiflora*, respectivamente.

Otro aspecto importante de mencionar es que la muestra se tiñó de un azul intenso al someterse a tinción con solución de yodo, lo cual indica la existencia de cadenas con una longitud superior a 40 unidades de glucosa, ya que está reportado que el yodo reacciona con la amilosa y genera un fuerte color azul cuando se fija a una molécula de glucosa por cada 7 a 8 unidades en un polímero de al menos 40 residuos de glucosa, si la cadena tiene menos de 40 residuos, se desarrolla un color rojo (Beynum and Roels 1985; Hsu, *et al.*, 2000; Tester *et al.*, 2001).

3.2.1 Morfología de los gránulos de almidón

La microfotografía de los gránulos del almidón procedente de los tubérculos de camote (*Ipomoea batata*) se muestra en la Figura 12. Se puede observar que los gránulos del almidón de camote presentan una forma esférica y oval, y algunos gránulos se observaron con rupturas, lo que probablemente se deba a las fuerzas mecánicas utilizadas en el proceso de extracción del almidón. Los gránulos de almidón de camote presentaron un tamaño muy disperso, con valores de diámetro comprendidos entre 10 y hasta 30 μm y un diámetro promedio de 12,41 μm .

Moorthy (2002) reporta que los gránulos del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) presentan un tamaño comprendido entre 2 y hasta 72 μm de diámetro. De acuerdo con Lindeboom *et al.*, (2004), el tamaño de los gránulos del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) oscila entre 7 a 85 μm de diámetro; es decir, está integrado por gránulos chicos, medianos y grandes, razón por la cual al almidón de camote se le considera de tipo A. Estos almidones pueden emplearse en la elaboración de cosméticos, debido a la alta interacción que presentan los gránulos de este tamaño con el agua (Zhao y Whistler, 1994). Además podrían emplearse como agentes encapsulantes de sabor, esencias y colorantes (Lovedeep *et al.*, 2002).

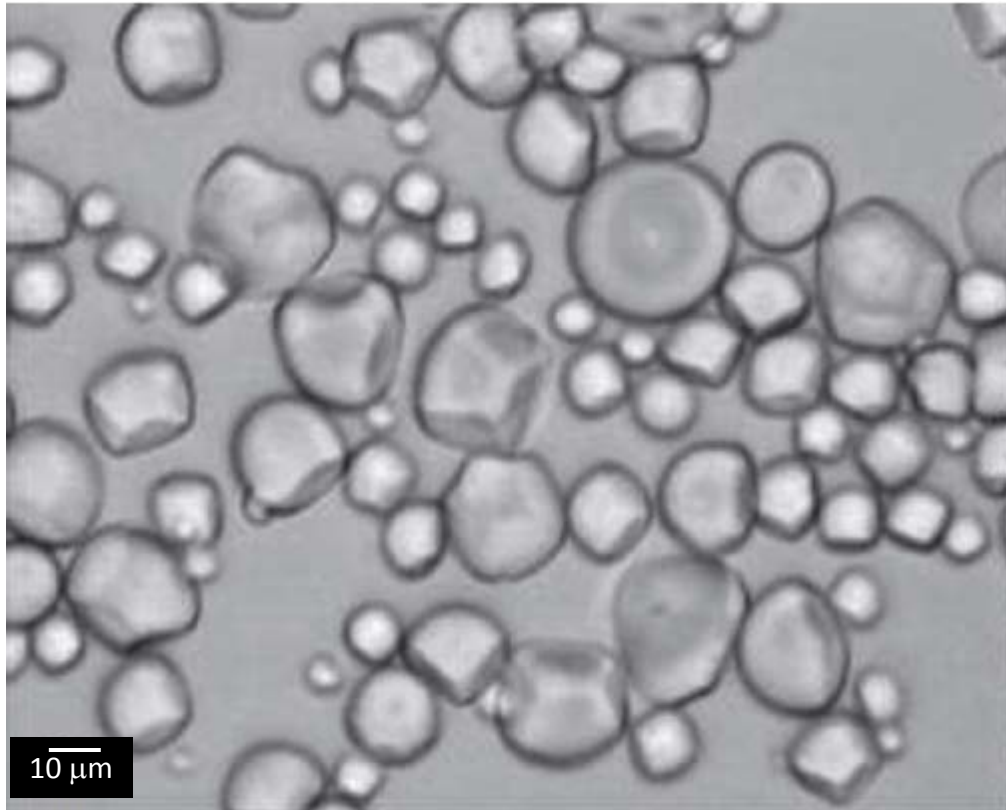


Fig. 12: Microfotografía de los gránulos de almidón de camote (*Ipomoea batatas*)

Por otro lado, tanto la morfología como el tamaño de los gránulos del almidón se relaciona de manera directa con la fuente de obtención, por lo que la forma y el tamaño del gránulo son utilizados como criterio taxonómico para identificar la fuente vegetal de obtención del almidón (Shujun *et al.*, 2008; Jayakody y Hoover, 2007). Por su parte, Singh *et al.*, (2003) mencionan que el tamaño de los gránulos del almidón se relaciona con las propiedades fisicoquímicas, la claridad de los geles, contenido de amilosa, poder de hinchamiento y capacidad de retención de agua.

Moléculas adyacentes de amilosa y algunas ramificaciones de amilopectina se asocian a través de puentes de hidrógeno en forma paralela, creando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas. Las micelas cristalinas (zonas de luz) están distribuidas al azar con las zonas amorfas (zonas oscuras) de la región ramificada (α -1-6) de amilopectina y algunas moléculas de amilosa, lo cual crea la apariencia de anillos de crecimiento en algunos almidones observados al microscopio (Tester y Karkalas, 2001).

3.2.2 Propiedades funcionales del almidón

3.2.2.1 Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se vio incrementada al aumentar la temperatura en el intervalo de estudio (Figura 13). A temperaturas por debajo de los 50°C la CRA fue mínima, sin embargo, a temperaturas mayores se observó un incremento considerable en la CRA y ésta fue máxima a una temperatura de 80°C, dado que no hubo diferencia estadística significativa en la CRA a temperaturas superiores. A temperaturas cercanas a los 70°C estos almidones se hidratan rápidamente como consecuencia de la ruptura de los enlaces de hidrógeno en las regiones amorfas, a lo que le sigue una irreversible y progresiva absorción de agua (Torre *at al.*, 2008). Esta propiedad de retener agua es deseable, ya que indica la capacidad del polímero para interactuar con el agua de solvatación y es una medida indirecta de las características físicas (consistencia) de la dispersión formada (Crosbie, 1991).

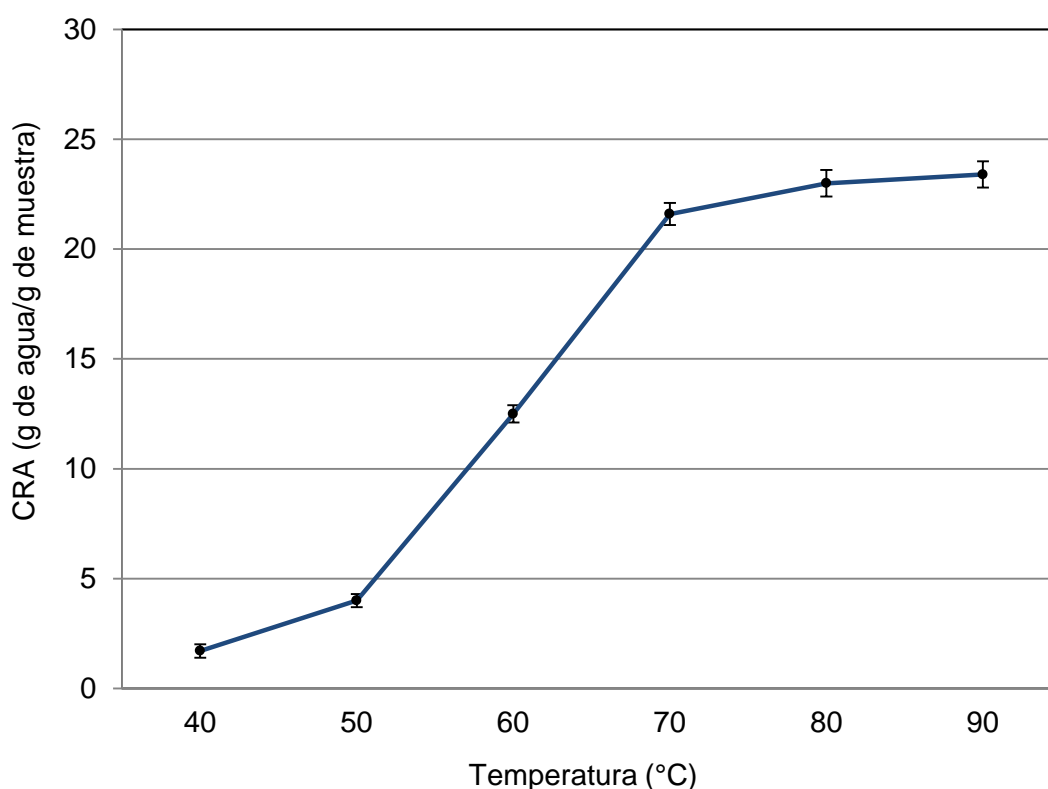


Fig. 13: Capacidad de retención de agua del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) a diferentes temperaturas

Comparativamente, la CRA del almidón de camote fue similar a la que presentan otros almidones procedentes de tubérculos de *D. remotiflora* y de *D. sparciflora* (Guizar, 2008), tubérculos de papa (Jiménez et al., 2007). Por otro lado, la CRA del almidón de camote fue inferior a la que presenta el almidón de tubérculos de chayote (Jiménez et al., 2007), pero superior a la CRA del almidón de maíz (Jiménez, et al., 2007; Hernández et al., 2008). Este patrón de solubilidad del almidón de camote con respecto a la temperatura fue similar al reportado por Hernández et al., (2008).

3.2.2.2 Factor de Hinchamiento (FH)

Hasta los 50°C el factor de hinchamiento (FH) del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) no fue considerable (Figura 14), pero a temperaturas mayores de 50°C, el FH se incrementó, alcanzando su máximo valor a una temperatura de 80°C, posteriormente a temperaturas superiores el FH del almidón de camote disminuye como consecuencia de la ruptura de los gránulos y la liberación de las fracciones de amilosa y amilopectina al seno de la dispersión.

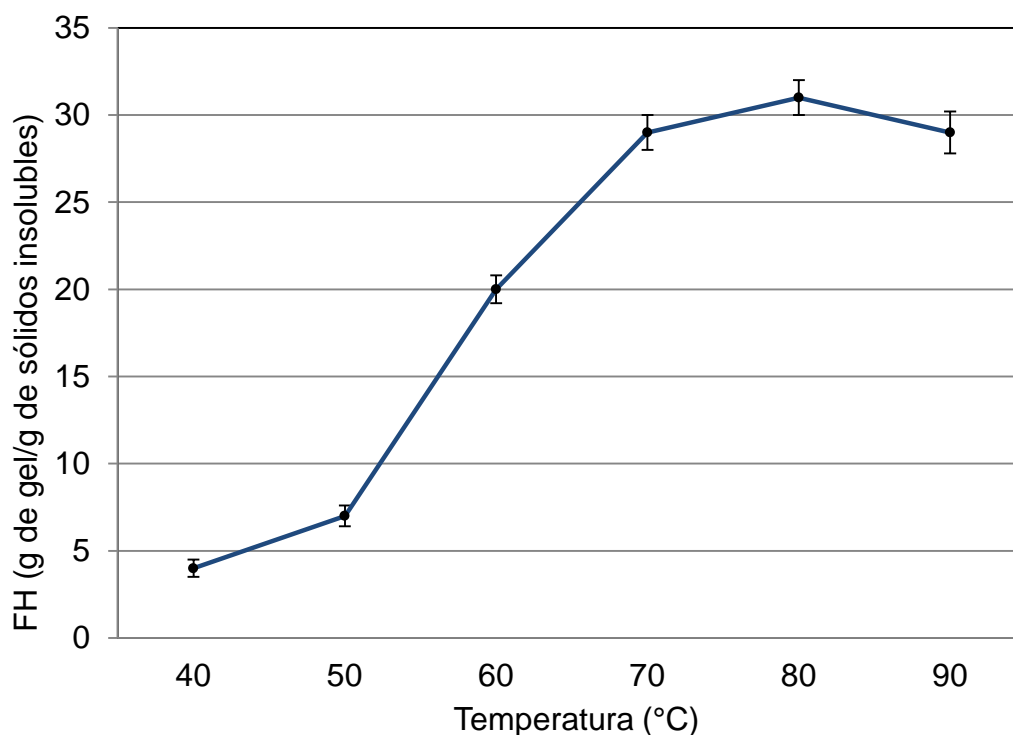


Fig. 14: Factor de hinchamiento del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) a diferentes temperaturas.

En presencia de agua, los gránulos de almidón empiezan a hincharse y a embeber el agua, cuando se aplica energía, las moléculas de agua rompen los puentes de hidrógeno intermoleculares en la región amorfa y penetran al gránulo causando hinchamiento del mismo. Si se continúa incrementando el calor, la dispersión de almidón perderá la conformación micelar provocada por la absorción de agua y el incremento de tamaño del gránulo con un probable incremento en la cantidad de sólidos solubles (Solorza et al., 2002).

Comparativamente el factor de hinchamiento (FH) del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) es similar al que presenta el almidón de camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*) (Guizar, 2008), el almidón de papa y de tubérculos de chayote (Jiménez et al., 2007), cuyo FH a 80°C fue de 31.26 y de 36.59 g de gel/g de sólidos insolubles, respectivamente. Por otro lado, el FH del almidón de camote fue superior al que presenta el almidón de maíz, principal fuente comercial para la obtención de almidón, cuyo FH a 80°C se ha reportado de 7.9 g de gel/g de sólidos insolubles (Jiménez et al., 2007). Sin embargo, también existen almidones que presentan mayor FH que el del camote (*Ipomoea batatas*), como el almidón de yuca, cuyo FH es de 45 g de gel/g de sólido insoluble (Hernández et al., (2008).

Factores de hinchamiento similares a los encontrados en esta investigación han sido reportados en almidones obtenidos a partir de otros ñames, cuyo FH máximo se obtuvo a temperaturas comprendidas entre los 60 y los 90°C (Jayakody et al., 2007). Jiménez et al., (2006) encontró que el almidón de papa presenta su máximo FH a una temperatura comprendida entre 80 a 90°C, en tanto que el almidón de *Dioscorea nipponica* presenta su máximo FH a una temperatura de 60 a 80°C (Yuan et al., 2007). Jayakody et al., (2005) determinaron que el almidón de la papa china presenta su máximo FH a una temperatura comprendida entre 60 a 85°C.

Se ha reportado que el factor de hinchamiento de los gránulos de almidón, está asociada a su contenido de lípidos y fósforo, ya que estos impiden la interacción con las moléculas de agua, y por tanto pueden causar la disminución de su capacidad de hinchamiento y solubilidad (Jayakody et al., 2005; Shujun et al., 2008). También se ha visto que el poder de hinchamiento de los almidones es una propiedad que se ve influenciado por su contenido de amilosa y amilopectina, siendo la amilosa un

diluyente e inhibidor de la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón (Cheng et al., 1996).

3.2.2.3 Solubilidad

La solubilidad (SOL) del almidón de camote se incrementa al incrementarse la temperatura a la cual se somete el almidón (Figura 15). Este incremento en la solubilidad de los gránulos del almidón de camote se da más pronunciadamente a partir de los 50°C, y se debe a que los gránulos hinchados del almidón permiten la exudación de amilosa (Gujaska et al., 1994). Por arriba de 50°C, la solubilidad del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) es directamente proporcional a la temperatura.

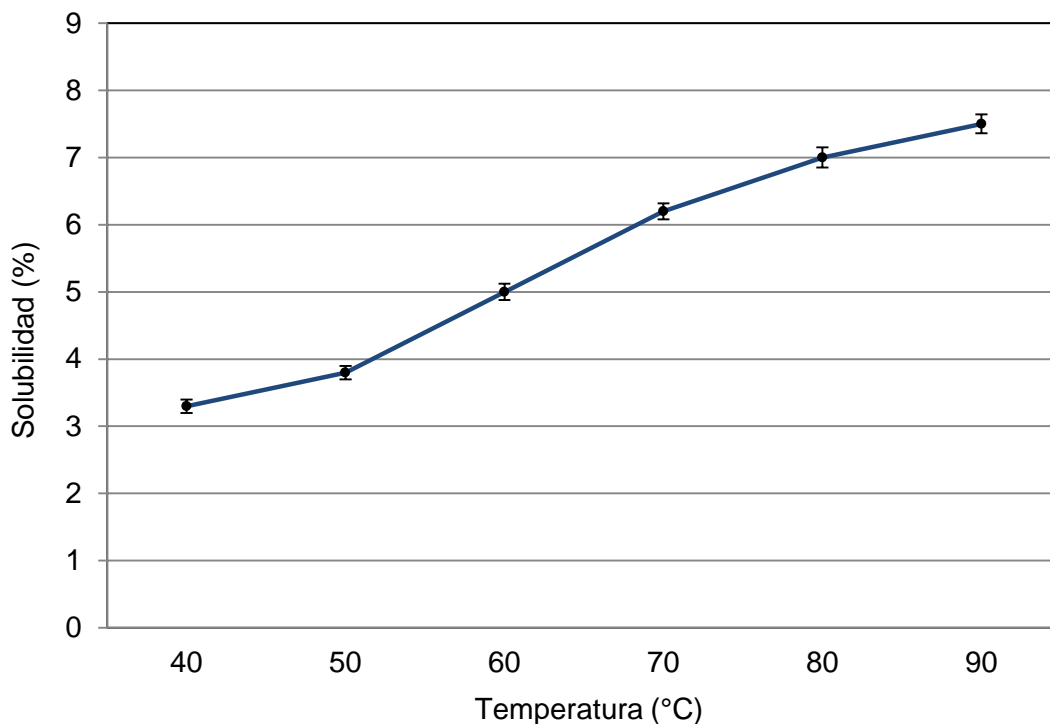


Fig. 15: Solubilidad del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) a diferentes temperaturas.

En esta propiedad se refleja la influencia del contenido de amilosa, la relación amilosa/amilopectina y el tamaño del gránulo de almidón. Gránulos de almidón con mayor contenido de amilosa, una relación en el contenido de amilosa/amilopectina menor a 0.5 y un menor tamaño de los gránulos, presentan una mayor solubilidad en agua. En esta propiedad se refleja también la influencia del contenido de lípidos en el

almidón; un almidón con menor contenido de lípidos será más soluble que aquel cuyo contenido es mayor debido a que los lípidos son insolubles en agua y tienden a evitar la interacción entre las moléculas del almidón con el agua y como consecuencia, a evitar o disminuir su solubilidad (Yuan *et al.*, (2007).

Patrones de solubilidad similares los presentan los almidones de tubérculos como el camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*) (Guizar, 2008), almidón de papa y almidón de chayote (Jiménez *et al.*, 2007). El almidón de camote (*Ipomoea batatas*) presentó mayor solubilidad que el almidón de maíz (Jiménez *et al.*, 2007), pero presenta menor solubilidad que el elmidón de yuca (Hernández, *et al.*, 2008).

Se ha reportado que el FH y la SOL, están influenciados por factores tales como la relación amilosa/amilopectina, la longitud y distribución del peso molecular de las cadenas, el grado y longitud de la ramificación así como por la conformación (Hoover, 2001; Moorthy, 2002). Tanto el FH como la SOL proveen información acerca de la magnitud de la interacción entre las regiones amorfas y cristalinas de las estructura del gránulo (Shujun *et al.*, 2008).

3.2.2.4 Claridad de las dispersiones

La claridad de las dispersiones al 1% p/p del almidón de camote (*Ipomoea batatas*), se vio afectada por la temperatura y el tiempo de almacenamiento. Dicha claridad medida como % de transmitancia, disminuyó tanto al incrementarse la temperatura como el tiempo de almacenamiento (Tabla 11).

Tabla 11: Variación de la claridad de las dispersiones de almidón de camote (*Ipomoea batatas*) con respecto al tiempo y a la temperatura de reposo

	Tiempo de reposo (horas)			
	0	24	48	72
Transmitancia a 25°C (%)	22.5	15.3	8.5	3.8
Transmitancia a 4°C (%)	22.5	10.6	4.8	1.6

La pérdida de la claridad de las dispersiones de almidón de camote es mayor a cuando estas son almacenadas a 4°C que a temperatura ambiente (Tabla 12). Un comportamiento similar fue observado por Jiménez et al., (2006) al estudiar la claridad de las dispersiones de almidón de papa, de maíz y de chayote. Dicho fenómeno se debe a que las cadenas poliméricas del almidón gelatinizado se asocian entre si y tienden a formar una estructura más ordenada, la cual causa turbidez y reduce la transmitancia de luz a través de la dispersión de almidón, este fenómeno, es conocido como retrogradación (Lovedeep et al., 2002).

La claridad de las dispersiones de almidón depende de su contenido de amilosa, ya que este polímero es el responsable del fenómeno de retrogradación del almidón y por lo tanto, del enturbiamiento de las dispersiones que con él se preparan. Novelo y Betancur (2005) mencionan que los almidones que presentan menor cantidad de amilosa son fácilmente dispersados, por lo que se incrementa su claridad, al igual que los que presentan mayor poder de hinchamiento. Un contenido alto de amilosa confiere una propiedad funcional deseable en los almidones a emplearse en la elaboración de bebidas como atoles y otros alimentos.

Torre *et al.*, (2008) reportan que la capacidad de absorción de agua de los almidones afecta directamente la claridad de las dispersiones y pastas que con ellos se preparan. La claridad de las dispersiones del almidón de camote es mayor que la claridad que presentan las dispersiones de almidón de maíz (Jiménez et al., 2007), pero menor a la que presentan las dispersiones de almidón de camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*) (Guizar, 2008) y el almidón de tubérculo de chayote (Jiménez et al., 2007).

Se ha visto que la transparencia u opacidad que presentan las pastas de almidón, presentan una marcada influencia sobre las características de brillantez y opacidad del color de los productos en los que se empleen como agentes espesantes (Betancur et al., 2001), razón por la cual, aquellos almidones que presentaron elevados valores de transmitancia, tales como el almidón de camote (*Ipomoea batatas*), podrían ser utilizados en alimentos tales como mermeladas, gelatinas, y en confitería para la elaboración de gomitas, etc.; mientras que los almidones que producen dispersiones más opacas, tales como el almidón de maíz, pueden ser

utilizados en alimentos poco transparentes, como las mayonesas, los productos cárnicos, las bebidas concentradas tipo néctar o los productos de panificación (Hernández et al., 2008).

3.2.2.5 Estabilidad al descongelamiento

Otro aspecto importante en la caracterización de los almidones es su estabilidad ante condiciones de congelamiento y descongelamiento de sus dispersiones, medida ésta como porcentaje de agua separada o porcentaje de sinéresis. La evaluación de la estabilidad a la refrigeración y congelación, consiste en verificar la expulsión del agua (sinéresis) contenida en los geles, como consecuencia de la reorganización de las moléculas del almidón (Betancur et al., 2001). Soni et al. (1990) mencionan que cuando los almidones se someten a sucesivos ciclos de congelación, su estructura se ve afectada debido a que hay una redistribución y dilución de las pastas de almidón por el crecimiento y disolución de los cristales de hielo. Los resultados obtenidos sobre la estabilidad al descongelamiento del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Estabilidad al descongelamiento de las dispersiones de almidón de camote (*Ipomoea batatas*)

Estabilidad	Ciclos de congelamiento		
	1°	2°	3°
% de Sinéresis	65.3 ± 2.1	6.2 ± 0.3	2.4 ± 0.1

De acuerdo a los resultados reportados por Jiménez, (2006), la estabilidad de las dispersiones del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) es similar a la que presentan las dispersiones de almidón del tubérculo de chayote (63.30 ± 3.81%), y superior a la que presentan las dispersiones del almidón de papa (73.00 ± 0.86%) y del almidón de maíz (75.00 ± 0.10), durante el primer ciclo de congelamiento- descongelamiento.

Este comportamiento es importante considerando que estos polímeros son utilizados en la elaboración de alimentos, y si además estos alimentos son sometidos a congelamiento, es importante que durante el descongelamiento, el producto mantenga sus características sensoriales como textura y apariencia. Y estas características son función del contenido hídrico del producto (Solorza *et al.*, 2002).

Los resultados obtenidos nos indican que el almidón de camote (*Ipomoea batatas*), tienen una buena capacidad para retener moléculas de agua, propiedad que convierte a este almidón en un ingrediente ideal para la preparación de alimentos que son sometidos a procesos de congelamiento y descongelamiento, debido a que este almidón presentan menor grado de sinéresis que se traduce en una mayor estabilidad y por ende, contribuye a que los productos que con él se elaboran, conservan de mejor manera sus características sensoriales como son: su consistencia, textura, apariencia y forma; una vez que dichos alimentos son descongelados y preparados para su consumo (Solorza *et al.*, 2002). Debido a su baja sinéresis, el almidón de camote aquí obtenido puede ser utilizado en productos como rellenos de pasteles, alimentos infantiles y sopas.

3.2.2.6 Retrogradación

La retrogradación del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fue medida como la cantidad de agua liberada (% de sinéresis) cuando las dispersiones de almidón al 2% p/p son almacenadas a 4°C y por diferentes tiempos de almacenamiento (Tabla 13). De acuerdo a estos resultados, la retrogradación del almidón de camote se mantuvo prácticamente constante durante todo el intervalo de tiempo a que fue sometido este estudio, pues no hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en el porcentaje de sinéresis del almidón a los diferentes tiempos evaluados.

La máxima retrogradación que presentó el almidón de camote (*Ipomoea batatas*) ($62.8 \pm 0.6\%$) fue menor a la desarrollada por el almidón de maíz (80.66 ± 3.21), el almidón de papa (64.16 ± 0.18) y el almidón de chayote (66.33 ± 4.60) (Jiménez, *et al.*, 2007), así como también, a la que retrogradación que presentan los almidones procedentes de tubérculos de camote de cerro (*D. remotiflora* y *D. sparciflora*), cuya

retrogradación fue de 77.13 ± 0.81 y de $72.10 \pm 1.14\%$, respectivamente (Guizar, 2008). Estos resultados indican que los almidones provenientes de tubérculos como el camote (*Ipomoea batatas*), presentan una menor tendencia a la retrogradación, en comparación con los almidones provenientes de cereales.

Tabla 13: Retrogradación del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) a diferentes tiempos de almacenamiento a 4°C.

Retrogradación	Tiempo de almacenamiento a 4°C (horas)				
	24	48	72	96	120
Sinéresis (%) ¹	58.3 ± 0.5	61.1 ± 0.5	62.5 ± 0.6	59.7 ± 0.6	62.8 ± 0.6

1: Peso del agua lixiviada entre el peso del gel y multiplicado por 100.

Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está íntimamente relacionada a la presencia de otros solutos como lípidos, sales, azúcares, el tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento, su contenido de amilosa, así como la longitud de las cadenas de amilopectina (cadenas cortas de amilopectina retrogradan a menor velocidad que las cadenas largas), y la cantidad de mono éster de fosfato los cuales presentan una repulsión entre cargas negativas que dificulta la retrogradación (Pomeranz, 1991; Yuan et al., 1993; Jayakody et al., 2005).

La retrogradación de los almidones se ve también indirectamente influenciada por el arreglo estructural de los polímeros del almidón, entre las regiones amorfa y cristalina de los gránulos no gelatinizados, las cuales influyen en el rompimiento del gránulo durante la gelatinización y la interacción que ocurre entre las cadenas de almidón durante su almacenamiento (Lovedeep et al., 2002). La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles; fenómeno que afecta la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Beynum and Roels 1985; Badui, 2001).

3.3 OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MALTODEXTRINAS

La variación del contenido de equivalentes de dextrosa (ED) con respecto al tiempo de hidrólisis del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) por acción de la enzima α -amilasa de *Aspergillus oryzae*, se muestra en la Figura 16. Podemos observar que la formación de azúcares reductores directos (ARD), expresados estos como equivalentes de dextrosa (ED), fue directamente proporcional al tiempo de reacción, bajo las condiciones de reacción establecidas para llevar a cabo la hidrólisis del almidón. La expresión matemática que describe la relación entre el contenido de equivalentes de dextrosa (ED) con el tiempo de reacción (t), y bajo las condiciones de hidrólisis descritas es (Ec. 9). De acuerdo con esta ecuación, se requieren tiempos de hidrólisis de 29.2, 57.6, 85.9 y 114.3 minutos para obtener maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 equivalentes de dextrosa, respectivamente.

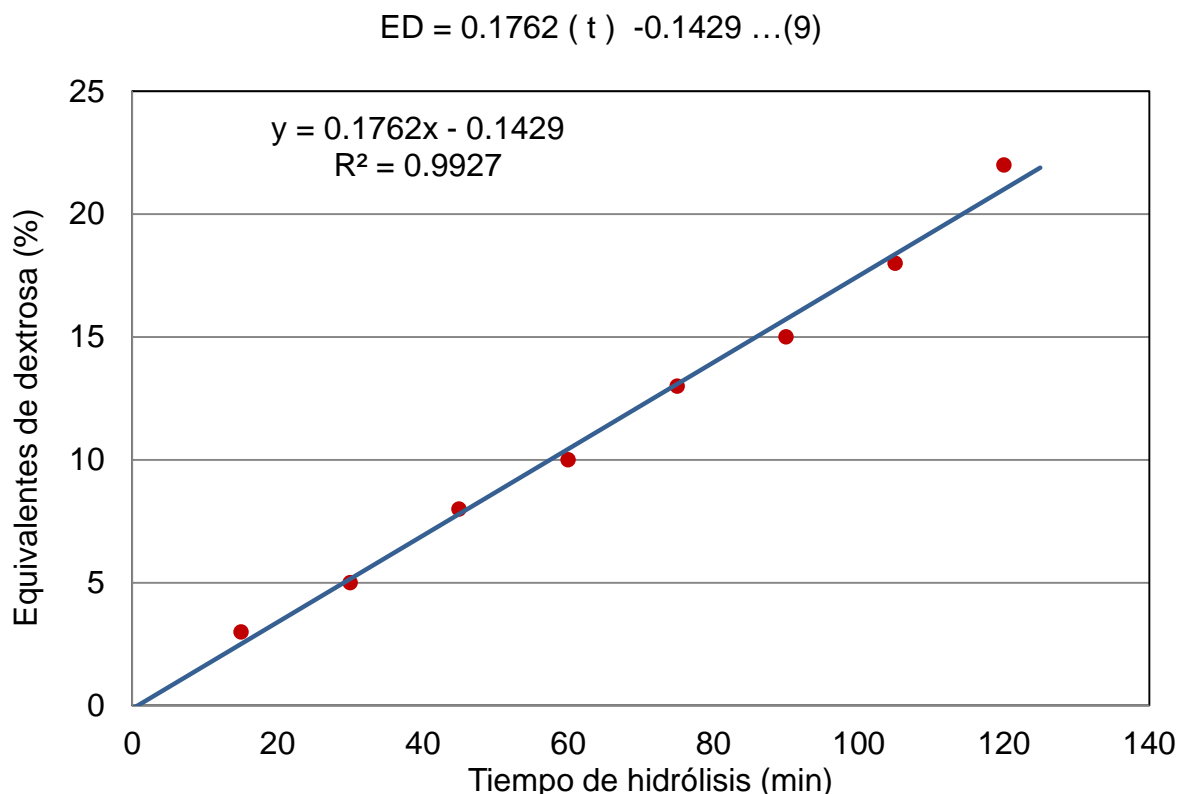


Fig. 16: Variación del contenido de equivalentes de dextrosa con respecto al tiempo de hidrólisis del almidón de camote (*Ipomoea batatas*). Condiciones: T = 50°C; pH = 6.9; [E] = 10 μ g/mL; [S] = 10%.

A fin de verificar la reproducibilidad del proceso de obtención de maltodextrinas bajo las condiciones de hidrólisis establecidas, y con objeto de obtener una cantidad suficiente (aproximadamente 200g) de cada una de las maltodextrinas de interés, los tiempos aplicados en la hidrólisis del almidón de camote fueron los estimados a partir de la ecuación de la recta (Ec. 9) para cada una de las maltodextrinas de interés; al término de los cuales, se comparó el contenido de equivalentes de dextrosa obtenido con respecto a los ED teóricos para cada maltodextrina, y se estimó el porcentaje de desviación (Tabla 14).

Tabla 14: Desviación entre la maltodextrina obtenida con respecto a la maltodextrina deseada a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*).

Tiempo de hidrólisis (min)	ED teórico (%)	ED obtenido (%)	Desviación (%)
29.2	5.0	5.2 ± 0.2	4.0
57.6	10.0	9.9 ± 0.3	1.0
85.9	15.0	15.4 ± 0.3	2.7
114.3	20.0	20.3 ± 0.4	1.5

Se puede observar que los ED obtenidos en las distintas maltodextrinas fueron muy próximos a los ED teóricos, con un grado de desviación promedio de 2.3% en toda la serie. Estas desviaciones entre los ED teóricos y los ED reales de las maltodextrinas obtenidas se encuentra dentro de los límites de confianza que aplica la industria en procesos de esta naturaleza (GPC, 1996). Por lo anterior, podemos considerar que bajo las condiciones de hidrólisis establecidas, el modelo matemático obtenido correlaciona linealmente los equivalentes de dextrosa con el tiempo de hidrólisis que debe aplicarse en la obtención de los distintos tipos de maltodextrinas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*).

3.3.1 Caracterización química de las maltodextrinas

La Tabla 15 muestra el contenido de humedad, azúcares reductores directos (ARD), azúcares reductores totales (ART) y equivalentes de dextrosa (ED) de cada una de las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*). El

bajo contenido de humedad en las maltodextrinas garantiza una mayor vida de anaquel y una mejor conservación de sus propiedades fisicoquímicas y funcionales. El contenido de azúcares reductores en las diferentes maltodextrinas corresponde a los azúcares que se encuentran es estado libre; es decir, en forma de monómeros, de ahí que a mayor contenido de azúcares reductores, se incremente el dulzor de la maltodextrina (información no proporcionada pero sí determinada. Finalmente, dado que el contenido de azúcares reductores totales es prácticamente del 100% en todas y cada una de las maltodextrinas obtenidas, esto significa que las maltodextrinas son de alta pureza en el sentido de que están integradas exclusivamente por hidratos de carbono (Badui, 2001).

Tabla 15: Caracterización química de las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*).

Maltodextrina ED (%)	Humedad %	ARD % _{BS}	ART % _{BS}
5.2 ± 0.2	3.1 ± 0.1	5.04 ± 0.2	99.8 ± 0.2
9.9 ± 0.3	3.3 ± 0.1	10.24 ± 0.2	99.9 ± 0.3
15.4 ± 0.3	3.2 ± 0.1	14.91 ± 0.3	99.9 ± 0.3
20.3 ± 0.4	3.2 ± 0.1	19.70 ± 0.3	99.8 ± 0.3

3.3.2 Características fisicoquímicas de las maltodextrinas

3.3.2.1 Variación del punto de congelación con la concentración de sólidos

El punto de congelación de las maltodextrinas disminuye tanto al incrementarse la concentración de sólidos en la dispersión, como al aumentar el grado de hidrólisis del almidón, medido éste como los azúcares reductores directos y expresado como el contenido de equivalentes de dextrosa (Tabla 16). Estos resultados son similares a los obtenidos por Montañez et al., (2002), y obedecen al hecho de que a medida en que se avanza en la hidrólisis de los polímeros del almidón, los productos generados en la reacción van siendo cada vez de menor tamaño; es decir, de menor grado de

polimerización y por ende, de menor peso molecular (Tabla 17); lo que trae como consecuencia el que causen un mayor efecto en las propiedades coligativas de las soluciones que con ellas se preparan; y en este caso, una mayor disminución del punto de congelación.

Tabla 16: Efecto de la concentración de sólidos y el contenido de equivalentes de dextrosa en el punto de congelación de las soluciones de maltodextrinas obtenidas a partir del camote (*Ipomoea batatas*)

Maltodextrina ED (%)	Concentración de sólidos (% p/p)			
	5	10	15	20
5.2 ± 0.2	-0.032	-0.071	-0.110	-0.155
9.9 ± 0.3	-0.054	-0.106	-0.166	-0.240
15.4 ± 0.3	-0.064	-0.134	-0.213	-0.310
20.3 ± 0.4	-0.085	-0.176	-0.264	-0.372

Dado que el punto de congelación de una solución está en relación inversa con el peso molecular de los solutos (Ec. 6), a igual concentración de sólidos, azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa, disminución del punto de congelación de las soluciones en mayor grado que las maltodextrinas, propiedad ampliamente explotada en la formulación de alimentos, dado que permite controlar el punto de congelación de los mismos, manteniendo una concentración de sólidos adecuada a los niveles deseados, de acuerdo con el tipo de alimento de que se trate (DEIA, 2010).

3.3.2.2 Peso molecular promedio y grado de polimerización promedio

En la Tabla 17 se muestran los resultados obtenidos de peso molecular promedio (PMP) y grado de polimerización promedio de cada una de las maltodextrinas de camote (*Ipomoea batatas*) obtenidas, y se comparan con maltodextrinas comerciales de maíz, cuyo PMP y GPP fueron obtenidos mediante la técnica analítica de cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC)(GPC, 1996).

Tabla 17: Comparación del peso molecular promedio y grado de polimerización promedio de maltodextrinas de camote (*Ipomoea batatas*) y maltodextrinas de maíz

Fuente de almidón	Maltodextrina ED (%)	PMP (g/Mol)	GPP (N° de residuos)
CAMOTE	5.2 ± 0.2	3560±80	22.0 ± 0.5
	9.9 ± 0.3	1920±68	11.9 ± 0.4
	15.4 ± 0.3	1145±56	7.1 ± 0.3
	20.3 ± 0.4	960±36	5.9 ± 0.2
MAIZ ¹	5.0	3600	22.1
	10.0	1800	11.1
	15.0	1200	7.4
	20.0	900	5.6

1: Datos obtenidos por HPLC (GPC, 2010).

En la tabla anterior se observa que a medida que se avanza en la hidrólisis de los polímeros del almidón, los productos generados en la reacción van siendo cada vez de menor tamaño; es decir, de menor grado de polimerización y por ende, de menor peso molecular. Al comparar los resultados mostrados en la Tabla 17, podemos darnos cuenta de que a similares valores de ED, no existe una diferencia estadística significativa entre el PMP y el GPP de las maltodextrinas de camote con las maltodextrinas de maíz. También se puede deducir que los resultados arrojados por ambos métodos analíticos (Crioscopía y HPLC), son muy similares, por lo que podrían ser utilizados indistintamente en este tipo de análisis. Con todo y ello, el método analítico basado en el punto de congelación de las soluciones, resulta mucho más sencillo, rápido, económico y preciso; en comparación con el método analítico por HPLC, de tal forma que puede emplearse en análisis de rutina. Otra ventaja resulta que con los valores de punto de congelación se puede obtener información adicional sobre las soluciones de maltodextrinas tal como su osmolalidad y presión osmótica (Delheye y Moreels, 1988).

3.3.2.3 Osmolalidad de las soluciones

La osmolalidad es una forma de expresar la concentración de solutos disueltos en fluidos biológicos y se define como el número de moléculas o iones disueltos por kilogramo de agua. Para solutos no electrolitos como los azúcares, la osmolalidad es igual a la molalidad de la solución; pero para solutos no electrolitos como el NaCl, la osmolalidad será el doble de la molalidad de la solución, debido a que cada mol de NaCl genera dos moles de iones en la solución; un mol de iones Na^+ y otro mol de iones Cl^- (Castelan, 1990). La variación de la osmolalidad con respecto a la concentración de las soluciones y al contenido de ED en cada una de las maltodextrinas de camote (*Ipomoea batatas*) obtenidas se muestra en la Figura 17. Se puede observar que la osmolalidad de las soluciones de maltodextrinas se incrementa tanto al aumentar el contenido de sólidos en solución, como al incrementarse el contenido de equivalentes de dextrosa en la maltodextrina.

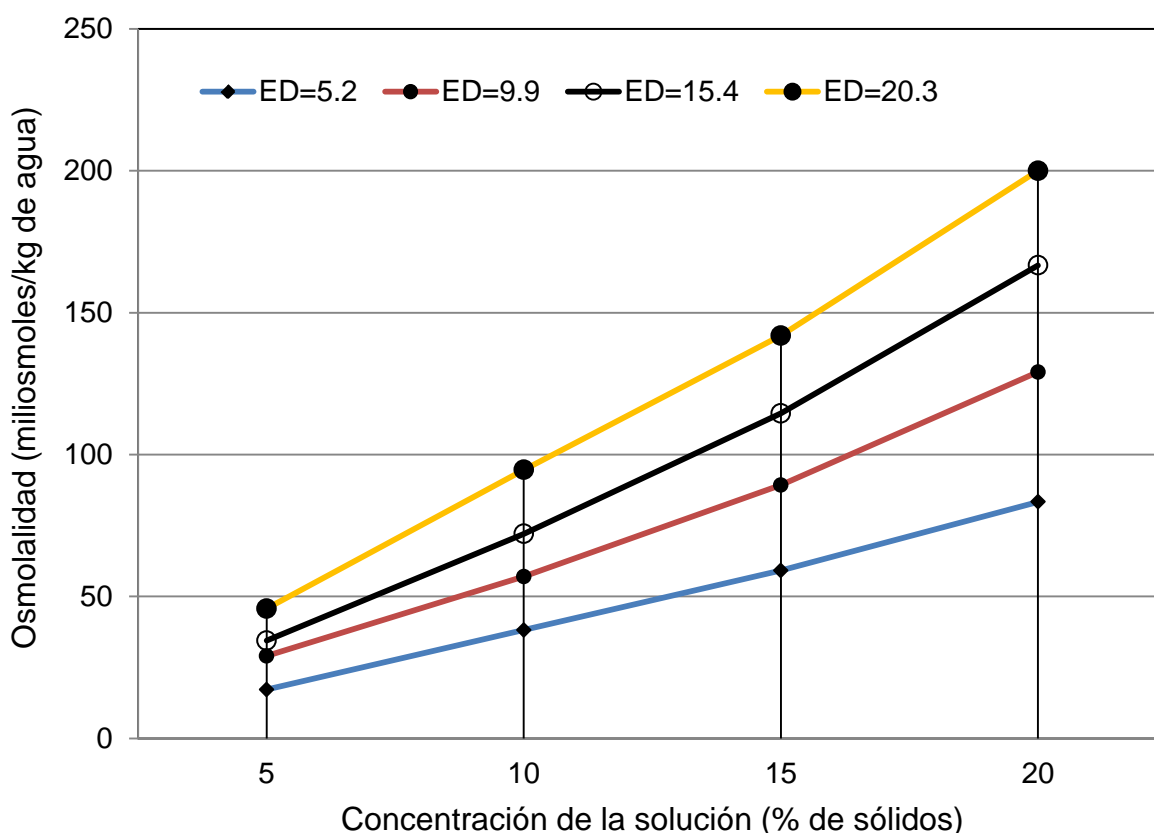


Fig. 17: Variación de la osmolalidad con la concentración de sólidos y el contenido de equivalentes de dextrosa en maltodextrinas de camote (*Ipomoea batatas*)

Si consideramos que en nuestro organismo, la osmolalidad tanto del líquido intracelular como del exterior de las células es de 290 miliosmoles/kg de agua (Merck, 1987), este valor se alcanza a una concentraciones de 5% de monosacáridos como glucosa y fructosa, y a concentraciones de hasta 10% en soluciones de disacáridos como la sacarosa; pero en soluciones de maltodextrinas con 5, 10, 15 y 20 ED, se requieren concentraciones de 35, 30, 25 y 23% para alcanzar dicho valor de osmolalidad fisiológico, lo que convierte a las maltodextrinas en excelentes materias primas para la formulación de bebidas alimenticias, debido a que se pueden alcanzar altas concentraciones de sólidos en la preparación de una bebida isotónica con un elevado aporte energético y un bajo volumen de fluido, propiedad muy socorrida en alimentos para deportistas de alto rendimiento, así como para personas con falla renal crónica, cirrosis hepática, trastornos en el metabolismo de aminoácidos y en aquellas condiciones dietéticas especiales que requieren de alto aporte energético, pero con bajo volumen de fluido y bajo contenido de electrolitos (Mérck, 1987).

Otra ventaja de las maltodextrinas sobre los mono y disacáridos consiste en el bajo poder edulcorante que presentan las maltodextrinas contra un mayor poder edulcorante de los mono y disacáridos debido a que aun cuando las maltodextrinas se utilicen a elevadas concentraciones, el sabor que imparten a los alimentos que con ellas se preparan no resultan demasiado dulces ni empalagosos, razón por la cual las maltodextrinas son utilizadas en la formulación de alimentos para regímenes especiales (Kennedy et al., 1985).

3.3.3 Propiedades funcionales de las maltodextrinas

3.3.3.1 Capacidad de absorción de agua, solubilidad y factor de hinchamiento

En la Tabla 18 se muestran los resultados obtenidos sobre la variación de las propiedades funcionales (solubilidad, capacidad de absorción de agua y factor de hinchamiento) de cada de las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de camote (*Ipomoea batatas*), en función de su contenido de equivalentes de dextrosa.

Tabla 18: Variación de las propiedades funcionales de las maltodextrinas de camote (*Ipomoea batatas*) en función de su contenido de equivalentes de dextrosa

Maltodextrina ED (%)	Solubilidad	Capacidad de retención de agua	Factor de hinchamiento
5.2 ± 0.2	56.25 ± 1.5	3.06 ± 0.1	7.15 ± 0.2
9.9 ± 0.3	64.50 ± 1.8	2.62 ± 0.1	7.65 ± 0.2
15.4 ± 0.3	69.30 ± 1.8	1.92 ± 0.1	8.11 ± 0.2
20.3 ± 0.4	73.80 ± 1.9	1.25 ± 0.1	8.45 ± 0.3

Se puede observar que la solubilidad de las maltodextrinas se incrementa al aumentar el grado de hidrólisis del almidón; es decir, al incrementar el contenido de ED en la maltodextrina, lo cual era de esperarse debido a que a medida que se incrementa el grado de hidrólisis de los polímeros que conforman el almidón, los productos de la reacción van siendo cada vez de menor tamaño; es decir, de menor peso molecular y grado de polimerización promedio (Tabla 18), los cuales son más solubles que el almidón de partida.

Por otro lado observamos que la capacidad de retención de agua (CRA) disminuye al incrementarse el contenido de azúcares reductores expresados éstos en términos de equivalentes de dextrosa. Lo anterior se debe a que a medida que se avanza en la hidrólisis del almidón, los productos de la hidrólisis van siendo cada vez de menor tamaño y por ende, de menor peso molecular, lo que trae como consecuencia la pérdida de la capacidad de uniones intercatenarias de los polímeros del almidón, uniones en las cuales participan las moléculas de agua formando puentes de hidrógeno intermoleculares, dando soporte a la estructura tridimensional del polímero; resultado en la disminución en la capacidad de unión de moléculas de agua, lo cual se traduce en la disminución en la capacidad de retención de agua de la maltodextrina, al aumentar su contenido de azúcares reductores directos; es decir, al aumentar su contenido de equivalentes de dextrosa (Kuracina et al., 1987; Tester y Morrison, 1993; Montañez, 1999).

Finalmente observamos que al igual que la solubilidad, el factor de hinchamiento de las maltodextrinas se incrementa ligeramente a medida que se incrementa el grado de hidrólisis de las moléculas de almidón, es decir, a medida que se incrementa el contenido de azúcares reductores directos, expresados éstos en términos de equivalentes de dextrosa. Estos resultados coinciden con los reportados por Montañez (1999), quien encontró que a un mismo contenido de equivalentes de dextrosa, las maltodextrinas de tubérculos como la papa presentan mayor poder de hinchamiento en comparación a las maltodextrinas procedentes de almidón de cereales como el maíz y el arroz, lo cual se atribuye al mayor contenido de grupos fosfato en los almidones de tubérculos como la papa y el camote, ya que debido a la repulsión eléctrica mutua entre dichos grupos, se facilita el acceso de las moléculas de agua al interior de las maltodextrinas, contribuyendo así a su mayor poder de hinchamiento.

4. CONCLUSIONES

1. Los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) constituyen una fuente importante de nutrientes como carbohidratos, lípidos, proteínas y minerales; lo que los convierte en un importante alimento para la nutrición humana.
2. Dado el alto rendimiento en su cultivo, su alto contenido de almidón, y la facilidad de su extracción; los tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) constituyen una fuente potencial para la obtención comercial de este biopolímero.
3. El almidón de camote (*Ipomoea batatas*) presenta propiedades funcionales similares a las que presentan los principales almidones comerciales como lo es el almidón de papa y el almidón de maíz.
4. Es posible obtener almidón y derivados de éste como son las maltodextrinas a partir del camote (*Ipomoea batatas*) y de esta forma, minimizar y hasta eliminar la importación de estos importantes insumos de la industria de alimentos, dando así un mayor valor agregado a nuestros productos del campo.
5. Las condiciones de hidrólisis establecidas en el proceso de obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimática del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) fueron: temperatura 50°C, concentración de almidón al 10% p/p, pH 6.9 y una concentración de la enzima α -amilasa de *Aspergillus oryzae* 10 $\mu\text{g/mL}$.
6. Bajo las condiciones de estudio, la cinética de hidrólisis del almidón de camote (*Ipomoea batatas*) con respecto al tiempo, se apega a una reacción de primer orden, debido a que la producción de azúcares reductores directos expresados en términos de equivalentes de dextrosa, es directamente proporcional al tiempo de reacción.
7. El punto de congelación de las maltodextrinas obtenidas disminuye tanto al aumentar la concentración de sólidos en solución, como al incrementar su contenido de azúcares reductores directos, expresados estos en términos de equivalentes de dextrosa.
8. Las maltodextrinas obtenidas a partir del almidón de tubérculos de camote (*Ipomoea batatas*) presentan propiedades fisicoquímicas y funcionales muy similares a las que presentan las maltodextrinas comerciales obtenidas a partir de almidón de maíz principalmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Absar N., Zaidul, I.S.M., Takigawa S., Hashimoto Naoto, Matsuura C.E., Yamauchi H., Noda T. (2009). Enzymatic hydrolysis of potato starches containing different amounts of phosphorus. *Food Chemistry* 112: 57-62.
- Aguilar Z.E., Eckhoff S.R. (2007). Proceso de molienda húmeda a nivel laboratorio de 100 g de maíz amarillo dentado. *Revista Ciencia y Tecnología*, 13: 80-81.
- Aguilera, N, Guedes L y Borges M (1999) Aclimatización de clones de ñame (*Dioscorea alata* (L.). V Coloquio de Biotecnología Vegetal. IBP. Cuba
- Amritpal K., Narpinder S., Rajnathnam E., Harmeet S.G. (2007). Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry* 102: 643-651.
- Antonio E.C., Bello P.L.A., Martínez S.C.E., Montañez S.J.L., Jiménez H.J., Vivar V.M.A. (2009). Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga (*Colocasia esculenta*). Enzymatic production of maltodextrins from taro (*Colocasia esculenta*) starch. *CyTA-Journal of Food* 7(3): 233-241.
- AOAC. (1995). Official Methods of Analysis, 15th Ed, Association of Official Analytical Chemists. Washington DC, Estados Unidos. pp. 780.
- Atkinson b., Mavituna f. (1991). Biochemical engineering and biotechnology handbook. 2a Edition. Stockton Press. New York, USA.
- Aung L.H., Fouse D.C., Kushad M. (1991). The distribution of carbohydrates in the organs of *Sechium edule* Sw. *Journal of Horticultural Science*, 66(2): 253-257.
- Austin D.F. (1988). The taxonomy, evolution and genetic diversity of sweetpotatoes and related wild species. En Gregory P. (ed). Exploration maintenance and utilization of sweetpotato genetic resources. CIP. Lima, Peru. Pp. 27-60.
- Babu L., Nambisan B., Sundaresan S. (1990). Comparative evaluation of biochemical constituents of selected tuber crops. *Journal of Root Crops*. 17: 270-273.
- Badui S.D. (2001). Química de los alimentos. Ed. Pearson Education. México D.F. pp. 94-104.
- Banks W., Greenwood C.T. (1975). Starch and its components. Halsted press. Nueva York, Estados Unidos. pp. 213.

- Bello P.L.A., Agama A.E., Sánchez H.L., Paredes L.O. (1999). Isolation and partial characterization of banana starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 854–857.
- Bello P.L.A., Agama A.E., Sáyago A.S.G., Moreno D.E., Figueroa J.D.C. (2000). Some structural, physicochemical and functional studies of banana starches isolated from two varieties growing in Guerrero, México. *Starch*, 52(2-3): 68-73.
- Bello P.L.A., Sánchez H.H.L., Moreno D.D.E., Toro V.V.J.F. (2002). Laboratory scale production of maltodextrins and glucose syrup from banana starch. *Acta Científica Venezolana*, 53, 44–48.
- Betancur A.D., Chel G.L., Camelo M.R., Dávila O.G. (2001). Physicochemical and functional characterization of baby lima bean (*Phaseolus lunatus*) starch. *Starch*. 53:219-226.
- Beynum G.M.A., Roels J.A. (1985). *Starch conversion technology*. Ed. Marcel-Dekker. Nueva York, Estados Unidos. pp. 360.
- Bhandari M.R., Kasai T., Kawabata J. (2003). Nutritional evaluation of wild yam (*Dioscorea* spp) tubers of Nepal. *Food Chemistry* 82:619-623.
- Biliaderis C.G. (1991). The structure and interactions of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69: 60-63.
- Buleon A., Colonna P., Planchot V., Ball s. (1998). Starch granules: structure and biosynthesis. Mini review. *Int. J. Biol. Macromol.* 23: 85-112.
- Castellan W.G. (1990). *Fisicoquímica*. Segunda Edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana. México.
- Charles A.L. (2005). Influence of amylopectin structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (7): 2717-2725.
- Cheng W.H., Taliercio E.W., Chourey P.S. (1996). The Miniature¹ seed locus of maize encodes a cell wall invertase required for normal development of endosperm and maternal cells in the pedicel. *Plant Cell*. 8: 971-983.

- Crosbie G.B. (1991). The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 13: 145-150.
- DEIA (2010). *Diccionario de Especialidades de la Industria Alimentaria*. Vigésima edición. Ediciones PLM. S.A. de C.V. México.
- Delgado R., Castro A.J., Vázquez M. (2009). A kinetic assessment of the enzymatic hydrolysis of potato (*Solanum tuberosum*). *LWT - Food Science and Technology* 42: 797-804.
- Delheye G., Moreels E. (1988). Dextrose equivalents measurements on commercial syrups. *Starch*, 40(11): 430-432.
- FAOSTAT (2013). División Estadística de la FAO. Consultado el 20 de julio de 2013 en: <http://www.faostat.fao.org>.
- Douglas C.D., Clarence A.K. (1991). Two clases of starch debranching enzymes from developing maize kernels. *J. Plant Physiol.* 138: 566-572.
- Dubois M., Gills K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A., Smith F. (1956). Colorimetric method for determination of sugar and related sustancias. *Analytical Chemistry*, 28: 350-356.
- Escalante S.E., Rosas R.D., Linares E., Bye R., Pereda M.R. (2008). Batatinosides II-VI, Acylated Lipooligosaccharides from the Resin Glycosides of Sweet Potato. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9423–9428.
- Freitas R.A., Paula R.C., Feitosa J.P.A., Rocha S., Sierakowski M.R. (2004). Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. *Carbohydrates Polymers* 55: 3-8.
- Ganga Z.N., Corke H. (1999). Physical properties of starch of Asian-adaptad potato varieties. *Journal of Science Food Agriculture*, 79: 1642-1646.
- García M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. (2000b). Microstructural characterization of plasticized starch-based films. *Starch*, 52(4): 118-124.

- GPC (1996). Grain Processing Corporation. Maltrin. Maltodextrins and corn syrups solids. Muscatine, Iowa. USA.
- Guerra R.E., Portilla R.O.M., Ramírez A.J., Vázquez M. (2012). Modelling of the acid hydrolysis of potato (*Solanum tuberosum*) for fermentative purposes. *Biomass and Bioenergy* 42: 59-68.
- Guizar M.A., Montañez S.J.L., García R.I. (2008). Parcial caracterización de nuevos almidones obtenidos del tubérculo de camote de cerro (*Dioscorea* spp). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 9(1): 81-88.
- Gujaska E., Reinhard D.W., Khann K. (1994). Physicochemical properties of field pea, pinto and navy bean starches. *J Food Sci*; 59 (3): 634-637.
- Guzmán M.H., Paredes L.O. (1995). Amylolitic enzymes and products derived from starch: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 35(5): 373-403.
- Halley, P., Rutgers, R., Coombs, S., Kettels, J., Galton, J., Christie, G., Jenkins, M., Beh, H., Griffin, K., Jayasekara, R. y Lonergan, G. (2001). Developing biodegradable mulch films from starch-based polymers. *Starch*, 53: 362-367.
- Hernández M.M., Torruco U.J.G., Chel G.L., y Betancur A.D. (2008). Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(3): 718-726.
- Hoseney C.R. (1991). Principios de ciencia y tecnología de cereales. Edit. Acribia. Zaragoza, España. p 159.
- Hoover R., Ratnayake R.M.W.S. (2001). Determination of total amylose content of starch. En Wrolstad R.E., Acree T.E., An H., Decker E.A., Penner M.A., Reid D.S., Schwartz S.J., Shoemaker C.F., Spurns P. *Current protocols in food analytical chemistry*. Section Units 2-3. Ed. Wiley. New York. USA.
- Hsu S., Lu S., Huang C. (2000). Viscoelastic changes of rices starch suspensions during gelatinization. *Journal of Food Science*, 65(2): 215-220.
- Huang T.C., Hsiao J.L. 2000. Dioscoreaceae. In T.-C. Huang, et al. (eds.). *Flora of Taiwan*, 2nd ed. Vol. 5. Editorial Committee, Department of Botany, National Taiwan Univ., Taipei, Taiwan. pp. 87-98.

- Huang C.C., Chiang P.Y., Chen Y.Y., Wang C.R. (2007). Chemical compositions and enzyme activity changes occurring in yam (*Dioscorea alata*) tubers during growth. *Food Science and Technology* 40: 1498-1506.
- INEGI (2013). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. <http://www.inegi.gob.mx>. Consultado el 15 de junio de 2012.
- Janecek S., Balaz S. (1992). A-Amilases and approaches leading to their enhanced stability. *Federation of European Biochemical Societies*. 304(1): 1-3.
- Jayakody L., Hoover R., Liu Q., Weber E. (2005). Studies on the tuber and root starches. I. Structure y physicochemical properties of innala (*Solenostemon rotundifolius*) starches grown in Sri Lanka. *Food Research International*, 38: 615-629.
- Jayakody L., Hoover R., Liu Q., Donner E. (2007). Studies on tuber starches. II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam (*Dioscorea* sp.) starches grown in Sri Lanka, *Carbohydrate Polymers*.
- Jiménez H.J., Salazar M.J., Ramos R.E. (2007). Physical chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison whit potato and maize starches. *Carbohydrate Polymer* 68:279-286.
- Jing Y., Jiayi J., Wangming J., Yuyang L., Jianping L. (2011). Glucose-free fructose production from Jerusalem artichoke using a recombinant inulinase-secreting *Saccharomyces cerevisiae* strain. *Biotechnol. Lett.* 33:147-152.
- Jobling S. (2004) Improving starch for food and applications. *Plant Biotechnology* 7: 210-218.
- Kennedy J.F., Noy R.J., Stead J.A., White C.A. (1985). Oligosaccharide component composition and storage properties of commercial low DE maltodextrins and their futher modification by enzymatic treatment. *Starch/Stärke* 37(10): 343-351.
- Khatoon S., Sreerama Y.N., Raghavendra D., Bhattacharya S., Bhat K.K. (2009). Properties of enzyme modified corn, rice and tapioca starches. *Food Research International* 42:1426-1433.
- Krochta J.M., De Mulder J.C. (1997). Edible and biodegradable polymer films. *Food Technology*, 51(2): 61-72.

- Kuracina T.A., Lorenz K., Kulp K. (1987). Dstarch functionality as affected by amylases from different sources. *Cereal Chem* 64(3): 182-186.
- Lindeboom M., Chang P.R., Tyler R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches. A review. *Starch/Stärke* 56: 89-99.
- Lira S.R. (1996). Chayote. *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Promoting the conservation y use of underutilized y neglected crops.8. Institute of plants Genetics y Crops Plant Reserch, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Roma, Italia. pp. 57.
- Liu Q., Weber E., Currie V., Yada R. (2003). Physicochemical properties of starch during potato grown *Carbohydrate Polymers* 51: 213-221.
- Lovedeep K., Narpinder S., Navdeep S.S. (2002). Some properties of potatoes y their starches. II Morphological, thermal y rheological properties of starches. *Food Chemistry*, 79: 183 – 192.
- Lumdubwong N., Seibb A.P. (2001) Low- and Medium-DE Maltodextrins From Waxy Wheat Starch: Preparation and Properties. *Starch/Stärke* 53: 605–615.
- Mali S, Grossmann M.V.E., García M.A., Martino M,N., Zaritzky N.E. (2004). Barrier, mechanical y optical properties of plasticized yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 56: 129-135.
- Marchal L.M., Beeftink H.H., Tramper J. (1999). Towards a rational design of Commercial maltodextrins. *Trends in Food Science & Technology* 10: 345-355.
- McPherson A.E., Seib P.A. (1997). Preparation and properties of wheat and corn starch maltodextrins with a low dextrose equivalent. *Cereal Chemistry* 74:424-430.
- McPherson A.E., Jane J. (1999). Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate polymers* 40: 51-70.
- Merck (1987). *El manual Merck de diagnóstico y terapéutica*. 8ª edición. Ediciones Doyma, S.A. Barcelona, España.

- Miller G.L. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Anal. Chem.*, 33, 426-428.
- Montañez-Soto J.L. (1999). Cinética y obtención de maltodextrinas por hidrólisis enzimática de almidón. Tesis de Maestría. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas-Instituto Politécnico Nacional. México. D.F.
- Montañez J.L., Barragán B.E., Cruz V.M.T. (2002). Propiedades fisicoquímicas de las maltodextrinas a partir del punto crioscópico de sus soluciones. *Información Tecnológica*. 13 (3): 77-81.
- Moorthy S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54: 559-592.
- Morrison W. Tester R.F., Gidley M.J., Karkalas J. (1993). Resistance to acid hydrolysis of lipid complexes amylose and lipid free amylose in lintnerized waxy and non waxy barley starch. *Carbohydrate research* 24: 289-302.
- Niba L., Bokanga M.M., Jackson F.L., Schlimme D.S., Li B.W. (2001). Physicochemical properties y starch granular characteristics of flour from various *Manihot esculenta* (Cassava) genotypes. *Journal of Food Science*, 67(5): 1701-1705.
- Novelo C.L., Betancur A.D. Chemical and functional properties of *Phaseolus lunatus* and *Manihot esculenta* starch blends. *Starch/Stärke* 57(9): 431-441.
- Osundahunsi F.O., Fagbemi T.N., Kesselman E., Shimonie (2003). Comparison of the physicochemical properties and pasting characteristics of flour and starch from red and white sweet potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51(8): 2232-2236.
- Pérez E., Lares M., González Z. (1997). Some characteristics of Sagu (*Canna edulis* Kerr) y Zulu (*Maranta sp.*) rhizomes. *Journal of Agriculture y Food Chemistry*, 45: 2546-2549.
- Peroni F.H.G., Rocha T.S., Franco C.M.L. (2006). Some estructural and physicochemical characteristics of tuber and root starches. *Food Science and Technology International* 12: 505-513.

- Pomeranz Y. (1991). Functional properties of food components. 2^a ed. Academic Press. Estados Unidos. p. 24-78.
- Raja K.C.M., Sankarikutty B., Srekumar M., Jayalekshmy A., Narayanan C.S. (1989). Material characterization studies of maltodextrin samples for the use of wall material. *Dtarch/Stärke* 41(8): 298-303.
- Rindlav-Westling, A. y Gatenholm, P. (2003). Surface composition and morphology of starch, amylose and amylopectin films. *Biomacromolecules*, 4: 166-172.
- Rincón A.M., Araujo V.C., Carrillo P.F., Martín E. (2000). Evaluación del posible uso tecnológico de algunos tubérculos de las Dioscoreas: ñame congo (*D. bulbifera*), ñame mapuey (*D. trifida*). *Archivo Latinoamericano de Nutrición* 50: 286-290.
- Roberfroid M. (1993). Dietary fiber, inulin and oligofructose: a review comparing their physiological effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 33 (2), 103-148.
- Rocha G.P.M., Rodríguez L.C., Amante E.R. (2005). Cassava and corn starch in maltodextrina production. *Química Nova*, 28(4): 596-600.
- Rose R., Rose C.L., Om, S.K., Forry K.R., Dural, D.M, Bigg W.L. (1991). Starch determination by perchloric acid vs enzymes: Evaluating the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 39: 2-11.
- SAGARPA (2008). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado en 15 de mayo de 2013 en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- Schwardt E. (1990). Production and use enzymes degrading starch and some other polysaccharides. *Food Biotechnology* 4(1): 337-351.
- Shahidi, F., Vidana, J. K. A. y Jeon, Y. (1999). Food applications of chitin and chitosan. *Food Science y Technology*, 10: 37-51.
- Shamekh S., Myllarinen O., Poutanen K., Forsell P. (2002). Film formation properties of potato starch hydrolysates. *Starch*, 54: 20-24.

- Shaw, N. B., Monahan, F. J., O`Riordan, E. D. y O`Sullivan, M. (2002). Physical properties of WPI films plasticized with glycerol, xylitol or sorbitol. *Journal of Food Science*, 67 (1): 164-167.
- Shujun W., Jinlin Y., Jiugau Y., Haixia C., Jiping P., Hongyan L. (2008). Partial characterization of starches from *Dioscorea oppositifolia* Thumb. Cultivars. *Journal of Food Engineering* 88: 287-293.
- Singh S., Singh J., Kaur L., Sodhi N.S., Gill B.S. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanic sources. A review. *Food Chemistry* 81: 219-231
- Singh N., Kawaljit S.S., Kaur M. (2004). Characterization of starches separated from Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Journal of Food Engineering*, 63, 441–449.
- Sivack M., Preiss J. (1998). Starch. Basic science to biotechnology. In: *Advances in food and nutrition research*. New York. Academic Press.
- Solorza F.J., Jiménez A., Arenas M.L., Bello P. (2002). Rheology of *Okenia hypogaea* starch dispersions in aqueous solutions of DMSO. *Starch*, 54:198-202.
- Sriroth K., Piyachomkwan K., Wanlapatit S., Oates C. G. (2000). Cassava starch technology: The Thai experience. *Starch*, 52: 439-449.
- Tester F.R., Morrison R.W. (1990). Swelling and gelatinization of cereal starches I. Effects of amylopectin, amylose and lipids. *Cereal Chem.* 67(6):551-557.
- Tester F.R., Karkalas J. (2001). The effects of environmental conditions on structural features and physico-chemical properties of starches. *Starch*, 53:513-519.
- Torre G.L., Chel G.L., Betancourt A.D. (2008). Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. *Food Chemistry* 106: 1138-1144.
- Tester F.R., Karkalas J., Qui X. (2004). Starch composition, fine structure and architecture. *Journal Cereal Science* 39: 151-165.
- Villarreal R.L. (1982). Sweet potato in the tropics. Progress and problems. *Proceeding of the first international symposium, Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC), Shanhua, Tainan, Taiwan.*

- Wang Z., Chen X., Wang J., Liu T., Liu Y., Zhao L., Wang G. (2007). Increasing maize seed weight by enhancing the cytoplasmic ADP-glucose pyrophosphorylase activity in transgenic plants. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 88: 83-92.
- Wang Y., Wang L. (2000). Structures and properties of commercial maltodextrins from corn, potato y rice starches. *Starch*, 52: 296-304.
- Wang Y., Wang, L. (2001). Structures and physicochemical properties of acid-Thinned corn, potato and rice starches. *Starch*, 53: 570-576.
- Whistler R.L., BeMiller J.N., Paschall E.F. (1984). *Starch chemistry y technology*. 2a Ed. Academic Press, Nueva York, Estados Unidos. p 148.
- Whitaker J.R. (1994). *Principles of enzymology for the food science*. 2a Edition. Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Wolfgang B., Willey W., Hans P.G. (1999). Potato starch technology. *Starch* 51: 235-242.
- Woolfe J.A. (1991). *Sweet potato: An Untapped Food Resource*: Cambridge University Press, Cambridge. England.
- Yuan R.C., Thomson D.B., Boyer C.D. (1993). Fine structure of amylopectine in relation gelatinization and retrogradation behavior of maize starch from three wx containing genotypes in try inbred lines. *Cereal Chemistry* 70: 81-89.
- Yuan Y., Zhang L., Dai Y., Yu J. (2007). Physicochemical properties of starch obtained from *Dioscorea nipponica* Makito comparison with other tuber starches. *Journal of Food Engineering* 82: 436-442.
- Zhang D.P., Carbajulka D., Ojeda L., Rossel G., Milla S., Herrera C., Ghislaim M. (2000^a). Microsatellite analysis of genetic diversity in sweet potato varieties from Latin America. CIP Program Report 1999-2000. Lima Peru. Pp.295-301.
- Zhao J., Whistler R.L. (1994). Spherical aggregates of starch granules as flavour carriers. *Food Technology*, 48(7), 104-105.
- Zhou C.H., Wu Y., Zhang Y.M., Yang Y.H. (2004). The manufacture and utilization of Chinese yam. *Anhui Agriculture Science Bulletin* 10:65-66.