

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL  
ALMIDÓN NATIVO Y MODIFICADO DE ÑAME  
(*Dioscorea alata*)**

**POR:**

**ERIC ABIGAEL YAM CAUICH**

**MONOGRAFÍA**

**Presentada como Requisito Parcial para Obtener Título de:**

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN ALIMENTOS**

**BUENAVISTA, SALTILLO COAHUILA, MÉXICO**

**ABRIL 2011**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN  
NATIVO Y MODIFICADO DE ÑAME  
(*Dioscorea alata*)**

**MONOGRAFÍA**

**Presentada por:**

**ERIC ABIGAEL YAM CAUICH**

**Que se somete a consideración del H. Jurado Examinador como  
Requisito Parcial para Obtener el Título de:**

**INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS  
APROBADA**

**Asesor principal**

  
Lic. Laura Olivia Fuentes Lara

**Sinodal**

  
Q.F.B. Ma. Del Carmen Julia García

**Sinodal**

  
Ing. Ma. De Jesús Sánchez V.

**Coordinador de la División de Ciencia Animal**

  
Dr. Ramiro López Trujillo

**Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. Abril 2011**

**Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"**



**COORDINACION DE  
CIENCIA ANIMAL**

## **DEDICATORIAS**

### ***A MIS PADRES***

***Sra. María Lourdes Cauich Uc***

***Sr. Aurelio Yam Novelo***

*Porque gracias a su cariño, apoyo y confianza he llegado a realizar uno de mis mas grandes objetivos en la vida. La culminación de mi carrera profesional.*

*Por creer en mí, por sus consejos, por enseñarme que la humildad y la voluntad son parte de los laureles que coronan el éxito, por enseñarme que la mejor filosofía sobre la vida no necesariamente se aprende en las aulas; pero sobre todo, por el gran sacrificio y paciencia demostrados durante mi formación como profesionista. Mi más sincera admiración y respeto.*

**A MIS HERMANOS**

**Edwin Manuel Yam Cauich**

**Erling Daniel Yam Cauich**

*Por su amistad, apoyo incondicional, pero sobre todo, por los buenos y malos momentos que hemos pasado juntos con quienes me ha tocado compartir mi vida el gran amor que papá y mamá nos ofrecen; aunque hubo ocasiones de peleas y llantos, pero siempre al final volvimos a reír y soñar.*

**A MI NOVIA**

**Sandra Guadalupe Canche Baeza**

*Por todas las cosas que tú me has dado, por escucharme y comprenderme, por amarme y entenderme tal cual soy, por haberme elegido para escuchar tus más íntimos secretos, tus pensamientos más profundos y por hacer de tus tristezas y alegrías una parte muy valiosa de mi mundo, de mi vida, Porque a través de tus palabras, de tu afecto, comprendí día a día que para el cariño profundo y verdadero, no existen mares ni distancias. Quisiera saber expresar con palabras mi felicidad por tí, pero basta que me mires a los ojos... lo descubrirás. Por dejarme soñar contigo, por hacerme vivir de tí, por provocar la ilusión que lleva tu nombre, solo quiero decirte que por todo eso y siempre por haber estado en las buenas y las malas por siempre te diré. TE AMO.....E.A.Y.C*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por iluminarme con el milagro más grande de este mundo, la vida; por haberme permitido terminar de manera satisfactoria mi carrera y todas las metas que hasta ahora he alcanzado. Por darme la oportunidad de existir y derramar sobre mí, tantas bendiciones y logros que no han sido fáciles para mí, pero tampoco imposibles y hoy este júbilo es gracias a ti.*

*A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, mi Alma Mater, por haberme dado la oportunidad de Estudiar una Licenciatura y darme el derecho de luchar por ser mejor en el mundo. Por cobijarme en su seno para cumplir uno de mis grandes sueños: estudiar una carrera profesional, por dejarme sentirme orgulloso de pertenecer a ella que tanto me dio.*

*Al Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, así como a los profesores que lo integran, por el interés y las atenciones mostradas durante mi formación, mil gracias.*

*A la Lic. Laura Olivia Fuentes Lara, por el gran apoyo y confianza depositada en un servidor para la realización de esta investigación, muchas gracias.*

*A la Q.F.B. María del Carmen Julia García por el esfuerzo que realizo para que mis compañeros y yo tuviéramos una formación como profesionistas, por el apoyo que me brindó y por aceptar ser parte de este trabajo, muchas gracias.*

*A la T.L.Q. María de Jesús Sánchez Velásquez, por permitirme ser su amigo y estar siempre dispuesta a apoyarme y por aceptar ser parte de este trabajo, muchas gracias.*

*A mis compañeros y amigos de generación: Diego Armando, Alfredo Avendaño, Juan Castro, Marco Antonio, Miguel Ángel, Antonio Mata, Ignacio Cristóbal, Benjamín Bravo, Octavio Regalado , Romario Tlazole, Christopher, Octavio Moreno, Mezquitik, Ana Lilia Velázquez, Juanita Sampayo, Martha Martínez, Cristal Gaytan , Susana, Claudia Yáñez, Candi, Elvia Sampayo, Diana Ivon ,Lucía Yaneth, Tania Alamán, Valentina Ramos, Malú, Ana Karina, Esmeralda Rubí, Elena, Dalía Amada, Yaribhet, Ana Lilia Rodríguez, Cintia Velázquez , Gaby, Nayeli Monzón, Lilitiana, Toñita , Lorena.*

*A todos ellos muchas gracias porque de alguna manera en una gran parte del tiempo me ayudaron a ignorar la soledad, mil gracias por los buenos y malos momentos que pasamos, fragmentos de existencia que ahora forman parte de mis mejores recuerdos.*

*A mis amigos: Ángel Caamal (payo), Víctor Manuel (el cuñado), José David (el amigo go), Álvaro Magaña (el solterito), José David Ceh (mono), Abraham Mis (cotelas), Sergio Enrique (cheel), Irving (el joven), William (marciano), Enrique Caamal (Bush), Sergio Mis (mister bin), Eduardo Chi( el zorro), Gregorio Ceh ( el pollo), Rusel Mis (Gaytan), Jesús García ( el cuñado chuy).*

*Por todos los buenos y malos momentos que hemos vivido, por las aventuras, las fiestas, las desveladas, las peleas, las risas, los juegos, por ser mi familia durante mi formación profesional.  
Gracias*

*Mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron a mi formación académica.*

*A todos ustedes*

*¡Gracias por Ayudarme a Alcanzar Esta Meta Importante En Mi  
Vida!*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIAS</b> .....	iii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>RESUMEN</b> .....	xi
<b>1. OBJETIVO</b> .....	1
1.1 Objetivo específico.....	1
<b>2. INTRODUCCIÓN</b> .....	2
2.1 Estructura química del almidón.....	5
2.2 Composición química.....	8
2.3 propiedades .....	12
2.5 Retrogradación .....	14
2.6 Birrefringencia.....	15
2.7 Aplicaciones.....	16
2.8 Fuentes comerciales.....	17
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	19
3.1 El Ñame .....	19
3.1.1 Origen y distribución geográfica del Ñame( <i>Dioscorea alata</i> ) .....	22
3.1.2 Clima y suelos.....	23
3.1.3 Zonas de cultivo y épocas de siembra.....	23
3.1.4 Morfología .....	24
3.1.5 Información botánica y taxonómica.....	25
3.1.5.1 Familia <i>Dioscoreaceae</i> .....	25
3.1.5.2 Género <i>Dioscorea</i> .....	25
3.1.5.3 Ñame <i>Dioscorea alata</i> :.....	26
3.1.5.5 <i>Dioscorea esculenta</i> : .....	27
3.1.5.6 <i>Dioscorea bulbifera</i> :.....	27
3.1.5.7 <i>Dioscorea trifida</i> .....	27



3.2 Diversidad genética .....	28
3.3 Usos del Ñame .....	28
<b>4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL .....</b>	<b>29</b>
4.1 Requerimientos climáticos y edáficos .....	31
4.1.2 Precipitación .....	31
4.1.3 Temperatura .....	31
4.1.4 Altitud .....	31
4.1.5 Fotoperiodo .....	31
4.1.6 Suelo .....	32
<b>5. MANEJO AGRONÓMICO .....</b>	<b>32</b>
5.1 Época de siembra .....	32
5.2 Propagación .....	32
5.3 Siembra .....	33
5.4 Fertilización .....	33
5.5 Control de malezas .....	34
5.6 Plagas y enfermedades .....	34
5.7 Cosecha .....	35
5.8 Importancia de las propiedades de los almidones .....	36
<b>6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>37</b>
6.1 Literatura citada por internet .....	43

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Características físicas y químicas de distintos almidones.....	4
Cuadro 2: Composición química promedio de almidones comerciales.....	9
Cuadro3. Composición de 100 gramos de materia seca del tubérculo de Ñame. .....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Micrografías de gránulos de almidón de diversas fuentes (Badui, 2001) .....	3
Figura 2. Estructura química de la amilosa (Badui, 2001). ....	5
Figura 3. Estructura química de la amilopectina (Badui, 2001).....	6
Figura 4. Organización estructural del gránulo de almidón (Blennow <i>et al.</i> ,2002). .....	8
Figura 5: Gelatinización del almidón (Badui, 2001).....	13
Figura 6. Cruz de malta en gránulos de almidón de papa (Jiménez, 2006).....	15
Figura 7: Ñame ( <i>Dioscorea alata</i> ).....	19
Figura8: almidón de Ñame ( <i>Dioscorea alata</i> ) .....	20
Figura 9: Ubicación de cultivares de Ñame .....	21

## RESUMEN

Los almidones de Ñame modificados podrían tener aplicación como espesantes para sopas y estabilizantes en postres congelados, especialmente los almidones granulares solubles en agua fría (AGSAF), por presentar una mayor capacidad de solubilizarse en agua a temperatura ambiente. Todos estos cambios, en conjunto, permiten sugerir que los almidones de Ñame granulares descritos en la presente investigación podrían utilizarse como agentes espesantes y estabilizantes en alimentos sometidos a procesos de calentamiento constante y/o almacenamiento refrigerado, tales como sopas y postres instantáneos.

Los tubérculos de Ñame constituyen un alimento adecuado para el consumo humano al ser fuente de carbohidratos, minerales y ácidos grasos contribuyendo a complementar la nutrición de quienes los consumen. El consumo de Ñame representa un importante suministro de minerales para una buena nutrición, entre los que destacan el hierro (Fe), magnesio (Mg) y el zinc (Zn). Los tubérculos de Ñame, constituyen una fuente potencial para la obtención comercial de almidón. Dada la facilidad de su extracción y el contenido de este biopolímero. Los almidones provenientes de *Dioscorea alata* son de interés comercial debido a su alto contenido de amilosa, factor que influye positivamente en sus propiedades las cuales pueden ser utilizados en productos alimenticios como ensaladas, atoles, aderezos, pasteles, en la fabricación de cosméticos y como agentes encapsulantes de sabor, esencias y colorantes.

Las propiedades físicas químicas y funcionales de los almidones de Ñame (*Dioscorea alata*) se ven claramente afectadas por su origen botánico, por el contenido de amilosa y amilopectina, el contenido de fósforo, así como por las interacciones intermoleculares del gránulo.

**Palabras claves:** almidón, Ñame

## **1. OBJETIVO**

### **1.1 OBJETIVO ESPECÍFICO**

El objetivo principal de esta monografía es recopilar información de las características físicas, químicas y funcionales del Ñame (*Dioscorea alata*) y presentar una síntesis.

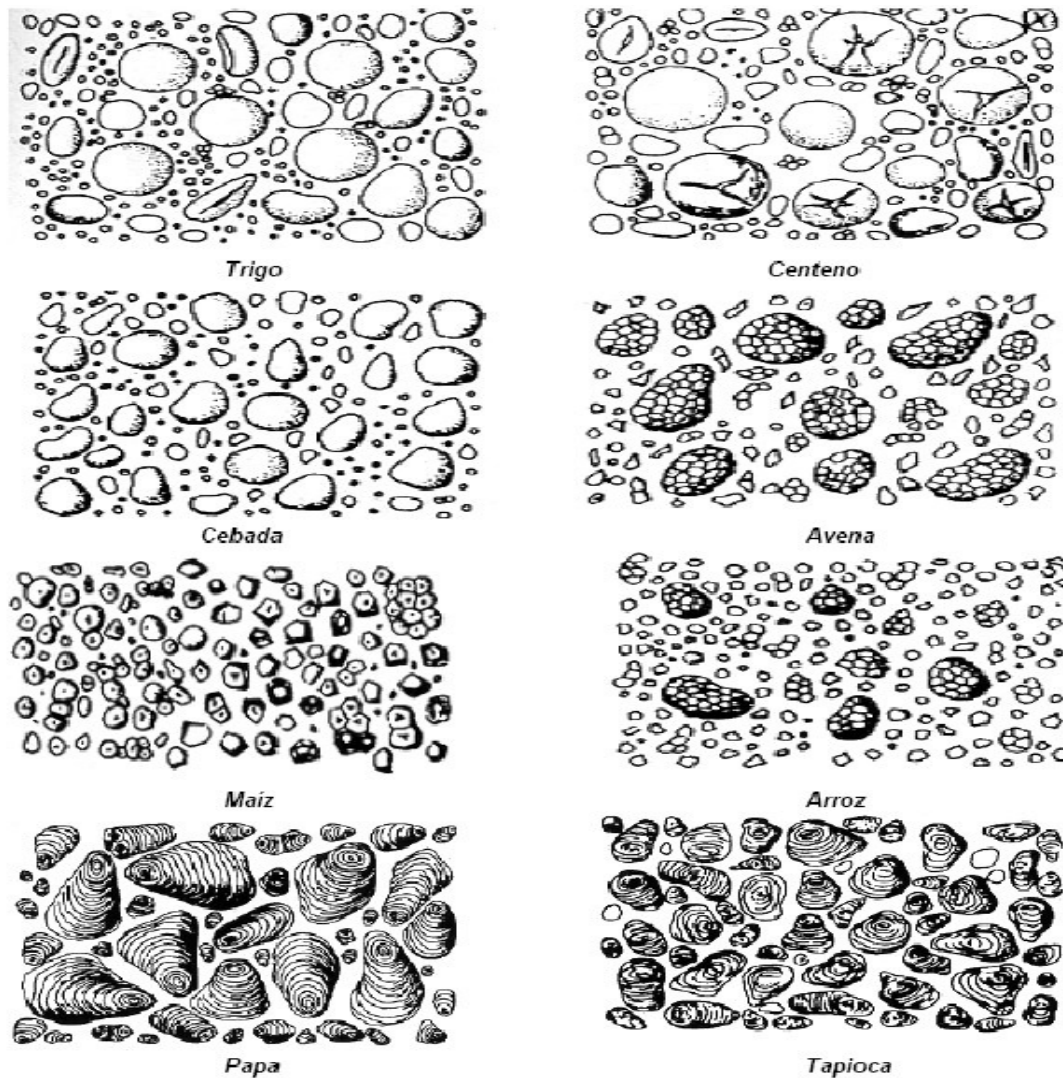
## 2. INTRODUCCIÓN

El almidón es un biopolímero formado por residuo de D-glucosa unidos mediante enlaces glucosídicos y constituye el producto final de la fijación fotosintética del CO<sub>2</sub> atmosférico. El almidón ha constituido una parte importante en la dieta del hombre desde tiempos prehistóricos; es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza después de la celulosa y es el primero en importancia desde el punto de vista comercial al utilizarse ampliamente en la industria alimenticia y farmacéutica (Sivack y Preiss, 1998). Se encuentra en forma de gránulos insolubles en las semillas o granos, tubérculos, raíces y tallos de las plantas, de las cuales constituye su principal forma de reserva energética que es utilizada durante los periodos de dormancia, germinación y crecimiento de las plantas (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991; Badui, 2001; Wang *et al.*, 2007).

Durante la formación del gránulo, el almidón se deposita en capas concéntricas sucesivas y superpuestas alrededor de un núcleo central “hilium”, formando así un gránulo compacto. El tamaño, forma y composición de los gránulos dependen de la fuente botánica, de la bioquímica de los cloroplastos o amiloplastos, y de la fisiología de la planta, lo que resulta de gran utilidad para su identificación al microscopio (Figura 1) (Smith, 2001; Singh *et al.*, 2003; Jayakody y Hoover 2008), En el amiloplasto se pueden sintetizar pequeños gránulos de almidón, como en el caso del arroz; o sólo se sintetiza un gránulo de almidón por el amiloplasto, como ocurre en la papa, el maíz y el trigo (Vandeputte y Delcour, 2004).

Los gránulos de almidón pueden ser de forma redonda, ovalada, poligonal, lenticular e irregular (Biliaderis, 1991; Hoover, 2001; Tester *et al.*, 2004). El tamaño de los gránulos de almidón varía de 1 a 100  $\mu\text{m}$  (Cuadro 1), siendo mayores los gránulos del almidón de papa (<110  $\mu\text{m}$ ), seguido por los gránulos del almidón de trigo (<30  $\mu\text{m}$ ) y por los gránulos del almidón de maíz (<25  $\mu\text{m}$ )

(Singh et al., 2003). De acuerdo a su tamaño, los gránulos de almidón se clasifican como gránulos grandes ( $>25 \mu\text{m}$ ), gránulos medianos ( $\geq 10 \leq 25 \mu\text{m}$ ), gránulos pequeños ( $\geq 5 \leq 10 \mu\text{m}$ ) y gránulos muy pequeños ( $<5 \mu\text{m}$ ) (Lindeboom et al., 2004).



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

**Cuadro 1: Características físicas y químicas de distintos almidones**

Fuente botánica	Tamaño (µm)	Intervalo promedio	Amilosa (%)	Poder de humectación	Solubilidad a 95°C (%)	Gelatinización	Forma
Cebada	2-35	20	22	-----	-----	56-62	Redondo
Maíz regular	5-25	15	26	24	25	62-80	Redondo
Maíz céreo	5-15	15	~1	64	23	63-74	Redondo
Amilomaíz	2-30	15	>80	6	12	85-87	Redondo
Papa	5-100	33	22	100	82	56-59	Almeja
Arroz	3-8	5	17	19	18	61-80	Poligonal
Sagú	20-60	25	27	97	-----	60-74	Huevo
Sorgo	5-25	15	26	22	22	68-78	Redondo
Tapioca	5-35	20	17	48	48	52-64	Redondo
Trigo	2-35	15	25	41	41	53-72	Redondo
Camote	5-35	15	22	85	85	58-70	Almeja
Arrurruz	10-60	30	20	90	88	56-70	Almeja

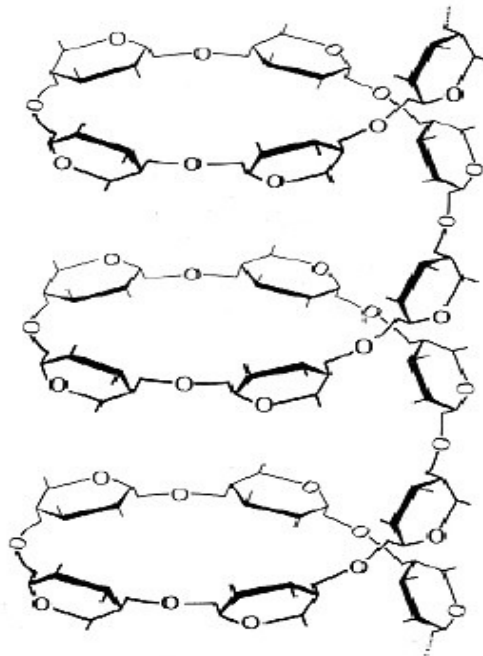
**Fuente:** (Pomeranz, 1991; Tester *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2003).

Se han encontrado dos tipos de gránulos de almidón en cereales como el trigo, la cebada, el centeno y el triticale; lo cual se conoce como distribución bimodal, ya que presentan gránulos tipo A y B. Los gránulos tipo A son gránulos grandes con un tamaño  $>10 \mu\text{m}$ , mientras que los gránulos tipo B son gránulos pequeños con tamaño  $\leq 10 \mu\text{m}$ .

Además de las diferencias en tamaño, estas dos poblaciones de gránulos difieren en sus propiedades fisicoquímicas y en las etapas en que son sintetizados durante el crecimiento de las plantas (Lindeboom *et al.*, 2004).

## 2.1 ESTRUCTURA QUÍMICA DEL ALMIDÓN

El almidón es una mezcla de dos polisacáridos: amilosa y amilopectina; ambos representan de 98-99% del peso seco del material de origen. La amilosa es un polisacárido constituido por largas cadenas de unidades de glucosa dispuestas en forma helicoidal, en las que el 99% de las moléculas se unen por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-4); mientras que el restante 1% se une por enlaces glucosídicos  $\alpha$  (1-6) (Figura 2) (Beynum y Roels, 1985; Whistler *et al.*, 1984).



**Figura 2.** Estructura química de la amilosa (Badui, 2001).

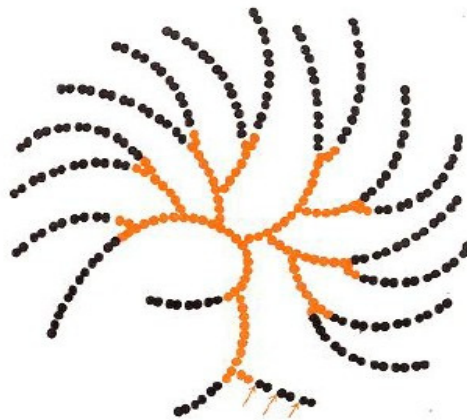
El grado de polimerización (GP) de la amilosa depende de la fuente de obtención y del estado de madurez de la misma; varía de 324 a 4920 unidades de glucosa y presenta de 9 a 20 puntos de ramificación (Yoshimoto *et al.*, 2000).

La amilosa alcanza pesos moleculares que van de  $1 \times 10^6$  a  $1 \times 10^7$  millones de daltones (Da) (Badui, 2001). A temperatura ambiente y en solución, la molécula de amilosa adquiere una configuración helicoidal, en la cual cada seis unidades de glucosa constituyen una vuelta en torno al eje de simetría de la



molécula. Esta configuración helicoidal es la responsable de la formación de complejos amilosa- yodo de un característico color azul intenso (Whistler y Daniel, 1984; Singh *et al.*, 2003).

Por su parte, la amilopectina es un polisacárido formado por unidades de glucosa y presenta una estructura altamente ramificada (Figura 3) (Badui, 2001). El grado de polimerización de estas ramificaciones varía de 10 a 60 unidades de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $\alpha(1-4)$ . Las ramificaciones se localizan a una distancia de 10 a 15 unidades de glucosa en la cadena principal de la molécula, a la cual se unen mediante enlaces glucosídicos  $\alpha(1-6)$ .



**Figura 3.** Estructura química de la amilopectina (Badui, 2001).

El grado de polimerización (GP) de la amilopectina varía de 9600 a 15900 unidades de glucosa, lo que arroja pesos moleculares del orden de  $1 \times 10^7$  a  $1 \times 10^9$  (Da) (Tester *et al.*, 2004). La amilopectina está asociada con las regiones cristalinas del gránulo de almidón, conocidas como regiones A, B, y C; que difieren en el empaquetamiento de la doble hélice de la estructura (Singh *et al.*, 2003).

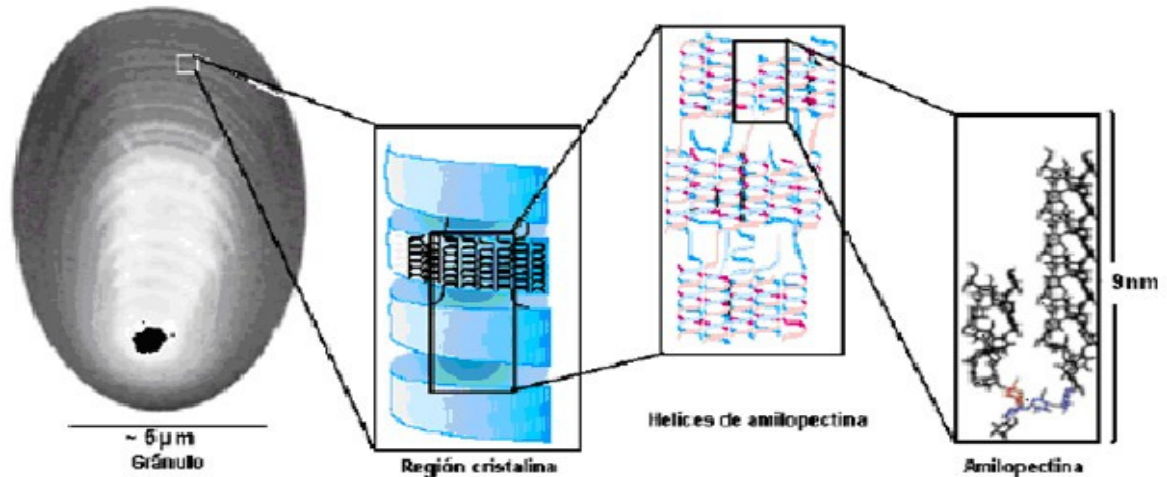
La región tipo A son gránulos grandes con un tamaño  $>10 \mu\text{m}$ , mientras que los gránulos tipo B son gránulos pequeños con tamaño  $\leq 10 \mu\text{m}$ . Es

característica en almidones presenta en almidones de tubérculos y de alta amilosa y el C (mezcla de A y B), se presenta en almidones de tubérculos y legumbres (Jayakody y Hoover, 2008).

El almidón céreo contiene menos de 15% de amilosa, el almidón normal contiene de 20-35% amilosa y el amilo almidón posee más del 40% (Tester et al., 2004). La relación amilosa/amilopectina varía de acuerdo al origen botánico, el clima y tipo de suelo donde se desarrolla la fuente. Las cantidades relativas de estos dos polímeros y su organización física dentro del gránulo le confieren propiedades particulares a cada almidón (Singh *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2007).

Moléculas adyacentes de amilosa y amilopectina interactúan a través de puentes de hidrógeno, formando paquetes cristalinos orientados radialmente llamados micelas. Estas micelas mantienen unido al gránulo, permitiendo su hinchamiento en agua caliente y la solubilización de moléculas individuales de almidón, sin rompimiento del gránulo (Hsu y Huang, 2000; Tester y Karkalas, 2001).

En la figura 4 se muestra un gránulo de almidón en el que se ve reflejada la luz del microscopio (parte clara), también se aprecia una parte donde podría estar presente la región cristalina, en donde se empaquetan las dobles hélices de amilopectina con conformación y longitud características. Dentro del gránulo de almidón 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 y Roels, 1985; Biliaderis, 1991). Estas áreas micelares altamente cristalinas y orientadas explican la capacidad de los gránulos para rotar el plano de la luz polarizada, produciendo una cruz característica de interferencia, llamada “cruz de malta”.



**Figura 4.** Organización estructural del gránulo de almidón (Blennow *et al.*, 2002).

## 2.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de los almidones comerciales depende de la fuente botánica, del proceso de obtención y purificación, así como de las condiciones de almacenamiento (Cuadro 2) (Beynum y Roels, 1985).

El agua normal de hidratación en los almidones se localiza en el carbono 6 de las unidades de glucosa y su contenido depende de la fuente y el procedimiento de obtención, del proceso de secado y de la humedad relativa del medio. El contenido de humedad en los gránulos de almidón va de un 10 al 12% en cereales y de 14 a 19% en almidones de tubérculos y raíces. Un contenido superior de humedad puede ocasionar daño microbiano y por tanto, el deterioro en la calidad del polímero. Además, todos los almidones contienen pequeñas cantidades de proteínas, lípidos, fósforo y trazas de materiales inorgánicos (Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

El contenido de fósforo en la mayoría de los almidones es mínimo, con excepción del almidón de papa, que hasta ahora es el único almidón comercial que contiene una cantidad apreciable de fósforo (>0.10%) en forma de monoéster de fosfatos; en tanto que el almidón de maíz ceroso contiene sólo un 0.007% de este elemento. generalmente el fósforo en el almidón se encuentra en tres formas: como fosfolípidos, como fosfatos inorgánicos y como monoéster de fosfato unido covalentemente con algunas fracciones de amilopectina. el monoéster de fosfato se encuentra en un 61% unido al c-6, el 38% enlazado al c-3, y 1% en unión con el c-2 de las moléculas de glucosa, respectivamente (singh *et al.*, 2003). la cantidad de grupos fosfato presentes en el almidón de papa oscila entre un grupo fosfato por cada 200 a 400 unidades de glucosa, confiriéndole al gránulo una carga superficial negativa que imparte propiedades de polielectrolito al almidón de papa cuando se dispersa en soluciones acuosas (whistler, 1984; beynum y roels, 1985).

**Cuadro 2:** Composición química promedio de almidones comerciales.

Fuente	Humedad <sup>1</sup>	Lípidos	Proteínas <sup>2</sup>	Fósforo	Cenizas
Maíz	13	0.60	0.35	0.015	0.10
Papa	19	0.05	0.06	0.100	0.40
Trigo	14	0.80	0.40	0.060	0.15
Tapioca	13	0.10	0.10	0.010	0.20
Maíz céreo	13	0.20	0.25	0.007	0.07
Sorgo	13	0.70	0.30	-----	0.08
Arroz	-----	0.80	0.45	0.003	0.50
Sagú	-----	0.10	0.10	0.020	0.20
Amilomaíz	13	0.40	-----	0.070	0.20
Camote	13	0.05	-----	-----	0.10

1: Determinado a una humedad relativa del 65%

2: Estimado de acuerdo al % de nitrógeno x 6.25

El fósforo presente en el almidón, proporciona un efecto significativo en el alimento que lo contiene. Ocasiona una mayor estabilidad al descongelamiento, así como un incremento en la claridad de las pastas (Craig *et al.*, 1989; Tester *et al.*, 2004). Adicionalmente, provoca un rápido hinchamiento de los gránulos de almidón a temperaturas relativamente bajas, lo que indica un débil enlazamiento interno como consecuencia de los grupos fosfato que se encuentran esterificados y ionizados que contribuyen al hinchamiento del gránulo debido a una repulsión eléctrica mutua al forzar la expansión de la molécula. El fósforo contenido en gránulos de almidones de raíces y tubérculos como la papa, ocasionan un pronunciado incremento en la viscosidad durante el calentamiento o cocinado de sus dispersiones, en comparación con almidones provenientes de cereales (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002). Los lípidos presentes en los gránulos de almidón se encuentran formando complejos de inclusión con las moléculas de amilosa; dichos complejos son insolubles en agua fría pero se disocian al calentarse a temperaturas superiores a los 125 °C.

Entre los principales ácidos grasos que conforman los lípidos contenidos en los almidones se encuentra el ácido palmítico, el ácido oleico, el ácido linoleico y los fosfolípidos. El contenido de lípidos en almidones de tubérculos como la papa, el camote y la tapioca es muy pequeño (<0.1%) comparado con los almidones provenientes de cereales (maíz, trigo, arroz, cebada y sorgo), los cuales contienen de 0.6 a 1.0% de lípidos (Tester *et al.*, 2004; Debet y Gidley, 2006).

Los lípidos tienen un marcado efecto en la calidad y en las propiedades físicas y funcionales de los almidones, estos disminuyen la capacidad de hinchamiento, la solubilidad y la capacidad de retención de agua; son causantes de la formación de sabores indeseables durante el almacenamiento debido a su rancidez. Da lugar a pastas, películas turbias y opacas debido a la formación de complejos amilosa- lípidos insolubles, lo que afecta la viscosidad de los geles

preparados con estos almidones (Beynum y Roels, 1985; Crowe *et al.*, 2000; Hsu y Huang, 2000).

Los almidones de tubérculos contienen pequeñas cantidades de proteína (<0.1%) en comparación con los almidones de cereales, los cuales contienen de 0.25 a 0.6% (Debet y Gidley, 2006). Al igual que los lípidos, las proteínas se encuentran asociadas con el gránulo, y en la periferia del mismo; las proteínas integrales son de mayor peso molecular que las superficiales (50-150 y 15-30 kDa respectivamente) e incluyen residuos de enzimas involucradas en la síntesis de almidón, especialmente sintetazas (Baldwin, 2001). Las proteínas confieren al almidón un aroma y sabor a harina, además de cierta 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 influye directamente la velocidad de hidratación, la velocidad de hinchamiento, y la gelatinización del mismo (Beynum y Roels, 1985). Entre las proteínas asociadas a la superficie del gránulo está la enzima  $\alpha$ -amilasa, cuya acción hidrolítica afecta las propiedades reológicas del almidón en dispersión, de ahí la importancia de eliminarlas durante el proceso de obtención de este polímero (Moorthy, 2002).

El almidón contiene cantidades traza de minerales (<0.5%) entre los que destacan; calcio, magnesio, potasio, sodio y fósforo, los cuales, con excepción del fósforo son de poca importancia en la funcionalidad del almidón (Badui, 2001; Tester *et al.*, 2004). El almidón de papa contiene grupos fosfato en forma de sales, los cuales constituyen los principales componentes de sus minerales; en los almidones de cereales, el contenido de cenizas corresponde parcialmente con la cantidad de fosfolípidos. Los almidones de raíces contienen cantidades muy pequeñas de compuestos fosforados, sin embargo, el almidón

de papa contiene una cantidad apreciable de fosfato en forma de éster, unidos al carbono 6 de las unidades de glucosa en la molécula de amilopectina. El alto contenido de fósforo puede permitir el desarrollo de altas viscosidades a las dispersiones acuosas de almidón y también mejorar la fuerza de gel (Beynum y Roels, 1985). La frecuencia de grupos fosfato en el almidón de papa oscila de un 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 al almidón de papa cuando está en solución (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985). La presencia de estos grupos fosfato en las moléculas de almidón son los responsables del mayor hinchamiento a bajas temperaturas de los almidones de raíces y tubérculos como la tapioca y la papa, por lo que los almidones de estas fuentes presentan un pronunciado incremento en la viscosidad durante su calentamiento en comparación con los almidones de cereales (Whistler, 1984; Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

### **2.3 PROPIEDADES**

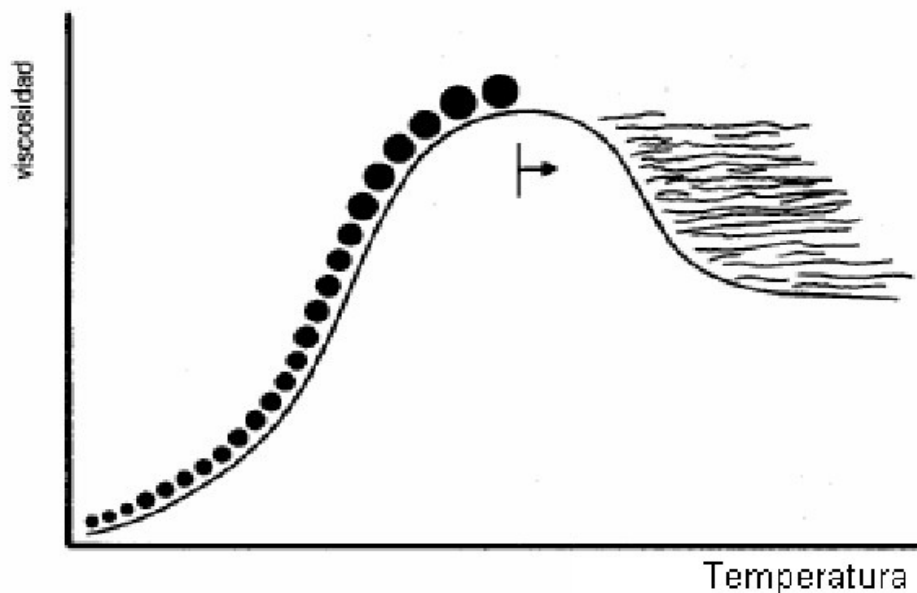
El almidón proveniente de una misma fuente botánica es una mezcla integrada por gránulos de distinto tamaño, los cuales difieren tanto en su composición química como en sus propiedades endotérmicas que finalmente repercuten en las características particulares de cada tipo de almidón. Los gránulos pequeños presentan un mayor contenido de amilosa en comparación con los gránulos de mayor tamaño (Pomeranz, 1991).

Almidones nativos presentan propiedades funcionales que pueden ser deseables para ciertas aplicaciones (Duxbury, 1989); la gelatinización, retrogradación, birrefringencia, difracción de rayos x, solubilidad, claridad, viscosidad, capacidad de retención de agua e hinchamiento, son fenómenos que pueden ayudar a explicar la estabilidad del biopolímero y por tanto sugerir su aplicación adecuada (Biliaderis, 1991; Wang y White, 1994; Torre *et al.*, 2008).

El almidón presenta una alta estabilidad y organización debido a las múltiples interacciones que existen entre la amilosa y la amilopectina, esto ocasiona que sea insoluble en agua fría; sin embargo, cuando se calienta en exceso de agua (>70%) ocurre una pérdida de cristalinidad; originando que la forma semicristalina cambie a una forma eventualmente amorfa (Tester y Debon, 2000).

## 2.4 GELATINIZACIÓN

La gelatinización del almidón es un proceso que se da en presencia de agua en el cual, se pasa de un estado ordenado (estructura cristalina) a un estado desordenado en el que se absorbe calor; es decir, la gelatinización transforma a los gránulos insolubles del almidón, en una solución de sus moléculas constituyentes (amilosa y amilopectina) en forma individual (Figura 5)



**Figura 5:** Gelatinización del almidón (Badui, 2001).

Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero se hidratan e hinchan en agua caliente dando origen a la formación de 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, se pierde la birrefringencia y se rompen los gránulos solubilizando amilosa y amilopectina; la amilosa se difunde en el agua formando una malla y generando un gel y la amilopectina permanece en el gránulo para posteriormente perder su orden (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991; Hoover, 2001; Singh *et al.*, 2003; Debet y Gidley, 2006).

Entre los factores que determinan el proceso de gelatinización e hinchamiento de los gránulos destacan la relación y el contenido de amilosa y amilopectina, su grado de polimerización, así como el tamaño del gránulo de almidón y el contenido de fósforo (Biliaderis, 1991; Tester, 1997; Singh *et al.*, 2003). 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 sus geles presentan buenas propiedades mecánicas, son menos solubles y presentan una mayor resistencia a su degradación química o enzimática. Sin embargo, estos almidones tienen la desventaja de formar sistemas opacos y presenta tendencia a retrogradar, debido a su alto contenido de amilosa (Beynum y Roels, 1985; Biliaderis, 1991).

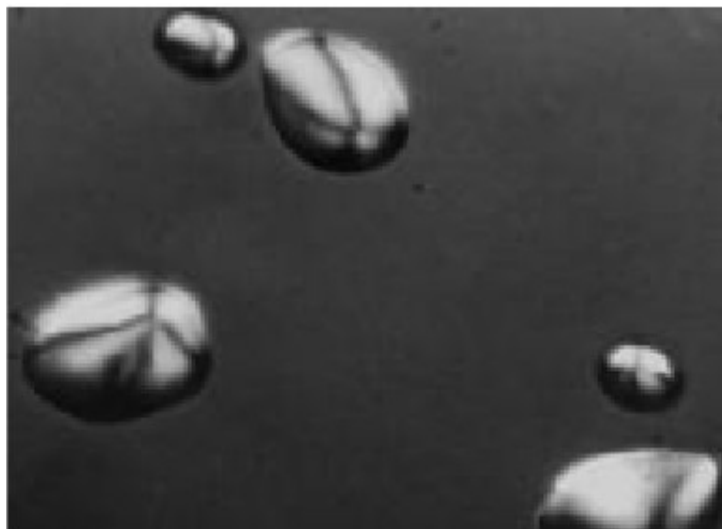
## **2.5 RETROGRADACIÓN**

El enfriamiento del almidón posterior a la gelatinización ha sido denominado retrogradación (Hoover, 2001). 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. Durante la retrogradación, la amilosa forma asociaciones de doble hélice de 40-70 unidades de glucosa (Jane y Robyt, 1984).

Cada almidón tiene una tendencia diferente a la retrogradación, la cual está íntimamente relacionada a la presencia de solutos como lípidos, sales, azúcares; al tipo y concentración de almidón, regímenes de cocimiento y enfriamiento; y a su contenido de amilosa. Debido a que las ramificaciones de amilopectina impiden la formación de puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes, es más difícil que éstas desarrollen la retrogradación. La retrogradación se manifiesta por la formación de precipitados o geles que afectan la textura, aceptabilidad y digestibilidad de los alimentos que contienen almidón (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001).

## 2.6 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” presentando en su centro un hilio (Figura 6), el cual indica un alto grado de orden molecular dentro del gránulo, sin hacer referencia a ninguna forma cristalina (Wistler y Daniels, 1990).



**Figura 6.** Cruz de malta en gránulos de almidón de papa (Jiménez, 2006).

## 2.7 APLICACIONES

Dadas sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (propiedades gelificantes, espesantes, adhesivas, de recubrimiento y acabado), el almidón encuentra una gran variedad de aplicaciones en diversos campos de la industria alimentaria y farmacéutica, así como en la industria papelera, la minería, la petroquímica y en la industria química, entre otras (Shamekh *et al.*, 2002; Magali *et al.*, 2003; Lindeboom *et al.*, 2004). La capacidad que tiene el almidón de formar pastas es quizás la propiedad más explotada industrialmente. Se aplica en la elaboración de una gran variedad de productos con objeto de mejorar su textura e incrementar su estabilidad, dado que su incorporación incrementa la viscosidad y favorece la estabilidad de las dispersiones al retardar la separación de fases (Badui, 2001).

Entre los principales usos del almidón en la industria alimentaria destacan: la elaboración de jarabes con alto contenido de glucosa y jarabes con alto contenido de fructosa, la obtención de glucosa y fructosa cristalina, así como la obtención de dextrinas, maltodextrinas y ciclodextrinas. Adicionalmente, se utiliza como agente estabilizante y espesante en la elaboración de gelatinas, helados, sopas, salsas, etc. Debido a que aumenta la esponjosidad, mejora la textura e imparte el color dorado a la corteza, el almidón es importante en la elaboración de productos horneados como galletas, bizcochos, etc. Desde el punto de vista de cantidad, la modificación más importante a la que se somete el almidón es su hidrólisis en la producción de edulcorantes (Shamekh *et al.*, 2002).

Adicionalmente a estos usos, en la última década el almidón también ha sido utilizado en la elaboración de películas comestibles, debido a sus características de barrera a gases (O<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>). En la industria farmacéutica el almidón se utiliza como materia prima para la fabricación de dextrosa para la elaboración de sueros, como excipiente en la elaboración de comprimidos y

pastillas, así como en la elaboración de cápsulas y otros productos. Así mismo, el almidón se utiliza como agente estabilizante y espesante en la elaboración de suspensiones y jarabes.

En la industria papelera el almidón se utiliza para la fabricación de pasta de papel, papel cauché, papel kraft, cartón, etc. En la industria minera y petroquímica el almidón se utiliza como agente floculante en las minas de potasio y en las perforaciones petrolíferas. También se utiliza como agente floculante en el tratamiento de aguas residuales para la eliminación de metales pesados (cadmio, cobre, níquel, plomo, etc.) y como floculante selectivo para recuperar vanadio en la metalurgia del plomo y el cobre. Entre las aplicaciones más importantes del almidón en la industria química destacan la fabricación de colas, pegamentos y en la elaboración de poliéster para la fabricación de espumas de poliuretano (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001).

Dado que el almidón por sí solo no cubre todos los requerimientos que demandan las modernas necesidades de la industria, en muchos casos se procede a su modificación con objeto de realzar o disminuir sus propiedades intrínsecas, o bien, para impartirle nuevas propiedades. Es por ello que entre los tratamientos más utilizados para el mejoramiento de las propiedades funcionales del almidón se tienen los siguientes: la esterificación, hidrólisis, pregelatinización, oxidación, eterificación y entrecruzamiento (Beynum y Roels, 1985; Badui, 2001).

## **2.8 FUENTES COMERCIALES**

Entre las principales fuentes comerciales para la obtención de almidón se encuentran las semillas o granos de cereales como el maíz, el trigo, el sorgo y el arroz; tubérculos y raíces como la papa, el camote dulce, la tapioca y el tallo de la palma de sagú entre otros (Jayakody *et al.*, 2007). Los almidones generalmente contienen de 17–27% de amilosa y el resto de amilopectina.

Se han desarrollado variedades cerosas de algunos cereales como el maíz, el arroz y el trigo, cuyos almidones están constituidos principalmente por amilopectina; así mismo, también se han desarrollado otras variedades de maíz que contienen hasta un 90% de amilosa (Beynum y Roels, 1985; Moorthy, 2002).

En el mundo existe una gran diversidad de tubérculos ricos en almidón, lo cual sugiere una amplia variedad de almidones nativos con propiedades funcionales diferentes, los cuales pueden ser extraídos y utilizados en lugar de los almidones modificados químicamente que existen en el mercado. Pero a pesar de esta amplia variedad de tubérculos que se cultivan en el mundo, sólo cinco especies representan el 99% de la producción total mundial de tubérculos: la papa (*Solanum tuberosum*, 46%), la yuca (*Manihot esculenta*, 28%), el camote o papa dulce (*Ipomea batatas*, 18%), el Ñame (*Dioscorea spp.*, 6%) y el taro (*Colocassia*, *Cytosperma*, *Xanthosoma spp.*, 1%) (Jayakody *et al.*, 2007).

La papa (*Solanum tuberosum* L.) se encuentra entre los principales tubérculos que se emplean como materia prima para la obtención de almidón. Su producción se ha incrementado en los últimos años en los países desarrollados y particularmente en Asia, donde ha llegado a ser un importante cultivo industrial y alimentario. El almidón de papa es preferido sobre otros almidones, en algunos alimentos, por sus propiedades particulares, como formación de película, desarrollo de alta viscosidad y transparencia, entre otras (Ganga y Corke, 1999). La búsqueda y aprovechamiento de almidones nativos puede dar un valor agregado a estos cultivos y proveer polímeros con propiedades particulares para usos industriales específicos (Ganga y Corke, 1999; Moorthy, 2002).

### 3. ANTECEDENTES

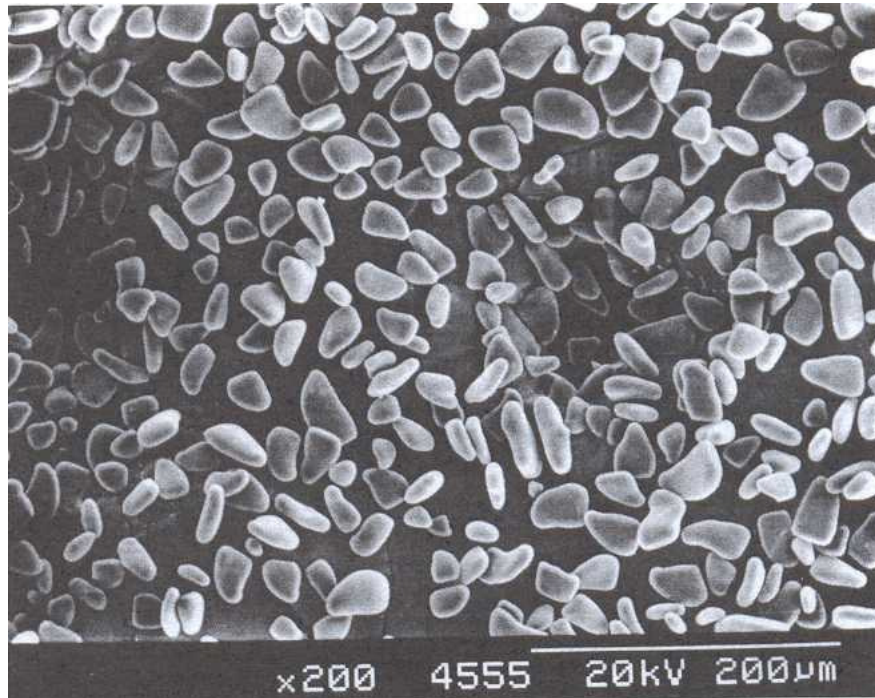


**Figura 7:** Ñame (*Dioscorea alata*)

#### 3.1 EL ÑAME

El Ñame pertenece a la familia *Dioscoreaceae*, que posee 5 géneros y alrededor de 750 especies. Las del género *Dioscorea* más cultivadas corresponden a *D. alata*, *D. rotundata*, *D. cayenensis*, *D. esculenta*, *D. bulbífera* y *D. trifida*, de las cuales la primera es la preferida en la producción de tubérculos para el consumo humano. En general las plantas pertenecientes a esta familia se caracterizan por ser trepadoras que poseen tubérculos carnosos ricos en carbohidratos (Perea y Buitrago, 2000).

La utilización de harinas y almidones obtenidos a partir de raíces y tubérculos tropicales, como materia prima en la elaboración de productos convencionales o en el desarrollo de nuevos productos, se ha convertido en una forma de incentivar e incrementar la producción y demanda de estos tubérculos (Pérez y Pacheco, 2005).



**Figura8:** almidón de Ñame (*Dioscorea alata*)

El Ñame (*Dioscorea alata*), también conocido como tabena, cabeza de negro, batatilla, tus y cara (Montaldo, 1991).

Es un cultivo que es consumido como alimento energético debido a que presenta un alto contenido de almidón (70-80% de su peso en materia seca) y una elevada concentración de proteínas (12%), superior a la determinada para otras raíces y tubérculos tropicales. Además, contiene fibra dietética (7-8%), compuestos antioxidantes, vitaminas y minerales tales como ácido ascórbico (30µg/g), calcio (140µg/g) y fósforo (430µg/g), que incrementan su valor nutricional (Chou *et al.*, 2006).

Las harinas y almidones obtenidos a partir de diferentes variedades de Ñame presentan ciertas propiedades funcionales, entre las cuales destaca la ausencia de un máximo de viscosidad y la estabilidad de las suspensiones a elevadas temperaturas y bajos valores de pH. Por ello podrían ser utilizados en la elaboración de productos que deben mantener su viscosidad estable durante

una fase de calentamiento constante, como por ejemplo, las mezclas para sopas y pudines instantáneos (Wang *et al.*, 2007).

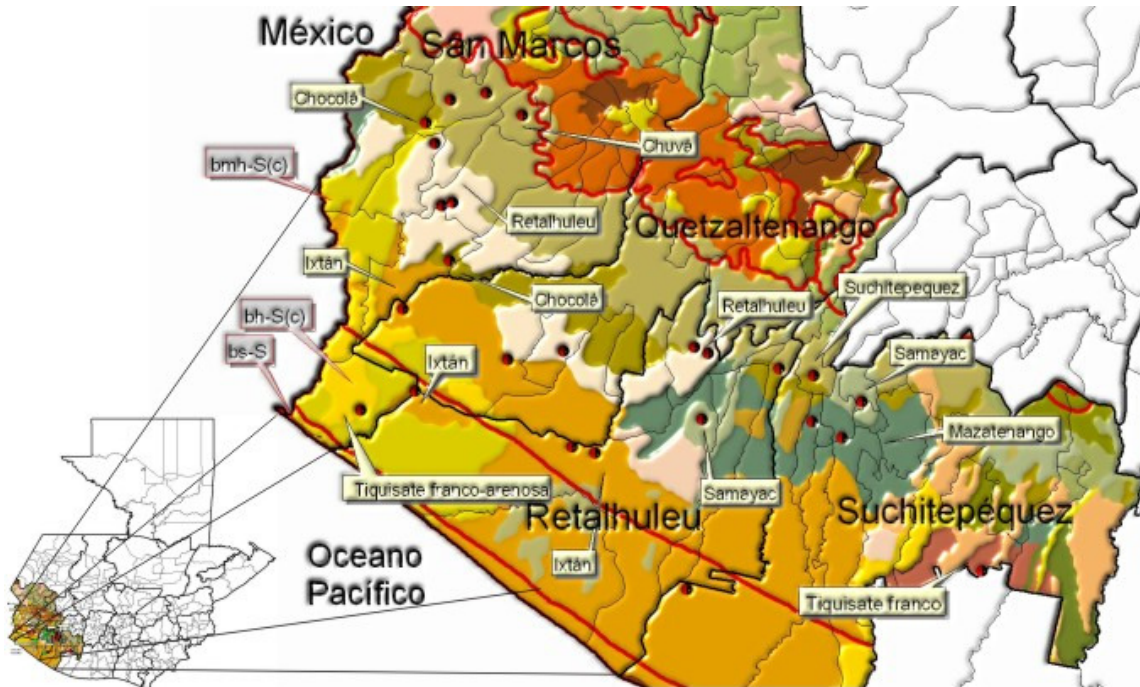
En líneas generales, los almidones nativos se utilizan porque regulan y estabilizan la textura de los alimentos y por sus propiedades espesantes y gelificantes. Sin embargo, la estructura nativa del almidón a veces resulta poco eficiente, ya que ciertas condiciones de los procesos tecnológicos, como temperatura, pH y presión, reducen su uso en aplicaciones industriales al provocar una baja resistencia a esfuerzos de corte, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis (Amani *et al.*, 2005; Bello- Pérez *et al.*, 2002; Kaur *et al.*, 2004).

Uno de los mayores componentes de las raíces y tubérculos es el almidón, el cual constituye la mayor fuente energética de las plantas (Martín y Smith, 1995); sus gránulos tienen diferentes tamaños (diámetros entre 10 a 100  $\mu\text{m}$ ) y formas (redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal) dependiendo de la fuente biológica de donde provengan y son parcialmente semicristalinos e insolubles en agua a temperatura ambiente (Bello *et al.*, 1998; Vandeputte y Delcour, 2004).

Su contenido de amilosa y amilopectina, temperatura de gelatinización, consistencia del gel y textura, comportamiento viscoso y propiedades térmicas, permite su utilización en la industria alimenticia como estabilizante, agente de relleno, adhesivo, ligante, enturbiantes, formador de películas, estabilizante de espumas, agente de anti envejecimiento de pan, gelificante, glaseante, humectante y espesante (Singh *et al.*, 2005).



### 3.1.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL ÑAME (*Dioscorea alata*)



**Figura 9:** Ubicación de cultivares de Ñame  
**Fuente:** Proyecto de ñame; DIGI-IDESO, (2007).

Aunque hay varias especies de *Dioscorea*, la de mayor importancia como cultivo comercial es *Dioscorea*. En Costa Rica esta planta se cultiva principalmente con fines de exportación para los mercados de New York y Florida.

El Ñame (*Dioscorea alata*) se caracteriza por su tallo verde de forma cuadrangular y a lado, las hojas son acorazonadas y cada planta forma dos o tres tubérculos en forma de masa de color blanco, rojizo o violeta. *Dioscorea trifida* es originaria de la zona tropical de América; sus hojas son divididas en tres o cinco lóbulos, el tallo es anguloso y alado y produce varios tubérculos como la papa. En Costa Rica, esta especie también es cultivada con fines de exportación aunque en menor grado que Ñame (*D. alata*).

### **3.1.2 CLIMA Y SUELOS**

Este cultivo se debe sembrar en regiones bajas, entre 0 y 600 msnm, cuya precipitación sea mayor de 3.000 mm anuales y distribuida durante todo el año, como ocurre en la Zona Atlántica.

La temperatura es el factor climático que más incide en el desarrollo del cultivo. En la Zona Atlántica, la temperatura promedio de 24°C, en conjunto con la alta precipitación, promueve un desarrollo exuberante del follaje, lo cual está relacionado con altas producciones de tubérculos.

El Ñame requiere suelos fértiles, profundos y sueltos, de texturas medias pero no muy pesadas, ya que el exceso de humedad es perjudicial para el cultivo. Los suelos de topografía plana son los más convenientes para el cultivo comercial, ya que permiten realizar muchas actividades en forma mecanizada.

### **3.1.3 ZONAS DE CULTIVO Y EPOCAS DE SIEMBRA**

La zona Atlántica presenta características de clima propicios para el cultivo. Actualmente, el Ñame (*D. alata*) es cultivado en esta región, en los cantones de Pococí, Talamanca y Siquirres y *D. trifida* principalmente en Pococí y Talamanca.

La siembra se puede hacer en la estación seca o húmeda; sin embargo, en la zona Atlántica se acostumbra sembrar en octubre, noviembre, diciembre, de manera que la cosecha coincida con la mayor demanda del producto y con los mejores precios en el mercado internacional, en los meses de julio, agosto y setiembre.

Existen tres fuentes de origen para las seis especies principales de Ñame comestibles: D. trifida de la cuenca amazónica en América del Sur (Antillas menores y Venezuela); el complejo D. cayenensis-rotundata y D. dumetorum en África Occidental; D. alata y D. esculenta en el Sureste de Asia (Burna y Assan), y D. bulbifera en África Occidental y/o Sureste de Asia. En muchos pueblos de África Tropical, del Pacífico y las zonas del Caribe, el Ñame se cultiva en gran escala (Maurie *et al.* (1989).

Según Vavilov, actualmente la especie Asiática Ñame (Dioscorea alata) a través de diversos cultivares, ocupa la mayor superficie cultivada en los trópicos, siguen en importancia Dioscorea cayenensis, Dioscorea vulvifera, Dioscorea trifida y Dioscorea esculenta (Montalvo, A. 1983).

### **3.1.4 MORFOLOGÍA**

Los Ñames son plantas volubles de tallo aéreo anual que pueden llevar o no espinas. Sus hojas son alternas y opuestas, largamente pecioladas. Sus tallos son alados o de sección transversal ovalada.

En algunas especies se les forma tuberculillos aéreos en las axilas de las hojas (Montalvo, 1983). Además, Montalvo, (1983), Las flores son muy pequeñas en racimos o panecillos de tres sépalos y tres estambres. Muy escasa floración en casi todas las especies alimenticias cultivadas.

Los tubérculos que pueden ser solitarios o en grupo. Las yemas proximales del tubérculo producen uno o más tallos aéreos. Las yemas laterales forman tubérculos secundarios. El peso de los tubérculos puede ir desde los 50 hasta los 100 gramos (Montalvo, 1983).

### **3.1.5 INFORMACIÓN BOTÁNICA Y TAXONÓMICA.**

#### **3.1.5.1 Familia Dioscoreaceae**

De acuerdo a Standley *et. al.* (1946), las plantas de la familia Dioscoreaceae, se caracterizan por presentar lianas herbáceas perennes, por lo regular naciendo de tallos tuberosos; hojas alternas y opuestas, pecioladas usualmente cordadas, palmaticompuestas de tres a trece nervios, incluso reticuladas, enteras o palmatilobuladas con el pecíolo articulado en la base.

Las flores son pequeñas, sésiles o pediceladas, solitarias o fasciculadas, a veces capitadas en arreglo de espigas o racimos generalmente unisexuales, dioicas o raramente monoica regular; brácteas muy pequeñas o ninguna, racimos o espinas axilares por lo regular paniculadas, perianto de seis partes y doblemente seriado en la flor estaminada profundamente partido, campanulado o plano con lóbulos subyúgales; los estambres en el centro, inserto en la base de los segmentos del perianto o sobre el perianto a veces seis estambres perfectos, a veces tres perfectos, libres y connados(unidos entre sí) en una columna (Standley, P. *et al.* 1946).

. El fruto es capsular con tres valvas, raramente monocarpico por aborto y alado por la parte de arriba, a veces carnoso; semillas compresas y globosas, la testa aplanada usualmente, anchamente alado, endospermo casi cartilaginoso, el embrión envuelto en el endospermo pequeño (Standley, P. *et al.* 1946).

#### **3.1.5.2 Género Dioscorea**

Este género se caracteriza por presentar lianas usualmente herbáceas, surgiendo debajo de la tierra de gruesos rizomas; hojas alternas u opuestas, flores pequeñas generalmente unisexuales, plantas dioicas, perianto campanulado rotado o tubiforme, lóbulos iguales linear o lanceoladas o redondeados; anteras pequeñas, las tecas contiguas o un poco separadas;

libres o raramente unidas; perianto pistilado persistente, estaminodio o muy pequeño, pueden ser tres, seis o ninguno. El ovario puede ser linear u oblongo, de tres lóbulos con tres estilos muy cortos reflejos enteros o bífidos; óvulos usualmente dos en cada lóbulo a veces más numerosos en cada posición lateral por debajo del ápice, cápsula de tres alas, las alas verticales, dehiscencia loculicida; semillas compresas aladas (Standley, P. *et al.* 1946).

Para Standley *et. al.* (1946), el género es amplio y se ha dividido en secciones, siendo las más importantes: *Enantiophyllum* (*D. abata*, *D. cayenensis*), *Combilium* (*D. esculenta*), *Osophytom* (*D. bulbifera*) y *Macrogynodium* (*D. trifida*). Además de ello, Standley *et. al.* (1946), propone las principales características las que se detallan a continuación:

#### **3.1.5.3 Ñame *Dioscorea alata*:**

Se caracteriza por presentar tubérculos solitarios o agrupados, de redondo cilíndricos a oblongos o de forma regular, con dimensiones de 0.40 a 1.0 metro. Algunos tubérculos pueden llegar a pesar de 20 a 30 kilogramos. Se da la presencia de tuberculillos aéreos; Así como, tallos fuertemente alados, sin espinas verdes o púrpuras. La torsión de los tallos es en sentido contrario al movimiento de las agujas del reloj. Sus hojas son acorazonadas, simples o compuestas. Originaria del suroeste asiático, actualmente es la principal especie cultivada en los trópicos.

#### **3.1.5.4 *Dioscorea cayenensis*:**

Se caracteriza por presentar tubérculos solitarios de 1 a 10 kilogramos, generalmente grueso y ramificado. Posee pulpa amarilla o blanca. Se almacena mal, pues tiene reposo corto. Sus tallos son cilíndricos espinosos que se enrollan hacia la derecha. Sus hojas son simples enteras, compuestas o

alternas, acorazonadas. Especie muy cultivada en África Occidental y una parte en América Tropical; sigue en importancia mundial a la *Dioscorea abata*.

#### **3.1.5.5 *Dioscorea esculenta*:**

Sus tubérculos poseen dimensiones de 5 a 15 centímetros de longitud; la planta produce ovarios en forma de racimos, ovoides, buenos al paladar. Sus tallos son cilíndricos, espinosos, se enrollan hacia la izquierda. Sus hojas son simples acorazonadas, más pequeñas que en otras especies comestibles. Cultivada en el sudoeste de Asia y África.

#### **3.1.5.6 *Dioscorea bulbifera*:**

Posee sólo un tubérculo por planta, blanco globoso y un poco largo. A veces amargo y comestible. Tubérculos aéreos que suelen llegar a pesar de uno a dos kilogramos, y se usan como alimento. Sus tallos son cilíndricos sin espinas, de hojas simples enteras, grandes, alternas u opuestas. Cultivada en el suroeste de Asia, África y una parte de las islas del pacífico y de las Antillas.

#### **3.1.5.7 *Dioscorea trifida***

Se caracteriza por presentar tubérculos pequeños no más de 15 centímetros de largo, redondos o cónicos. Posee una pulpa blanca, amarilla o púrpura. Excelente calidad culinaria. Presenta tallos cuadrangulares, atados sin espinas, con torsión hacia la izquierda. Sus hojas son palmadas, profundamente lobulada, alternas raramente opuestas. Originaria y cultivada en África Tropical y parte del sureste de Asia.

### 3.2 DIVERSIDAD GENÉTICA

Dependiendo de la variedad del Ñame, la parte carnosa puede ser de diferentes tonalidades de blanco, amarillo, púrpura o rosado, y la piel desde blancuzca a chocolate oscuro. La textura de este tubérculo puede variar de suave y húmedo a áspero, seca y harinosa (Maurie *et al.* 1989).

La familia Dioscoreaceae tiene alrededor de 600 especies distribuidas en las zonas tropicales. El género Dioscorea es grande, teniendo entre 15 a 20 especies comestibles; de éstas posiblemente la única que pueda presentar origen americano es D. trifida. Existe diversidad genética natural, así como cultivares seleccionados que se siembran en las Antillas (Maurie *et al.* 1989).

Especies relacionadas son *D. alata*, cuyo tallo enrolla hacia la derecha (“Ñame grande”, “Ñame gigante”. Llame, “yam”) D. cayebesus (“Ñame amarillo”), D. bulbífera (“papa Caribe”, “huayra papa”, “air potato”) y D. esculenta (“tongo”), entre las cultivadas por el cormo; D. decorticans (“macaquifío”), cultivado como ornamental y D. composita y D. floribunda (“cabeza de negro”), cultivadas para obtener diosgenina, una saponina utilizada en la síntesis de esteroides (Maurie *et al.* 1989).

### 3.3 USOS DEL ÑAME

Los tubérculos se utilizan de manera similar a la papa, en la alimentación directa después de cocinados, en puré, en sopas y en guisos. Se consume frito, forma en la que se preparan hojuelas crocantes. También se prepara una chicha o “masato” de Ñame. En África, el Ñame se usa en la preparación de “fufú”, alimento tradicional en estos pueblos, que consiste en una masa elástica elaborada con Ñame cocido, molido y amasado en un mortero de madera.

El Ñame fue por mucho tiempo la única fuente de sustancias químicas en la industria farmacéutica, ya que su rizoma sirve para fabricar hormas sintéticas con las que se elaboran píldoras anticonceptivas. En la actualidad también se utiliza para la fabricación de estrógenos y algunas anestésicos. (VICOMEX, 1995).

#### **4. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL**

Según Pinedo, (1975), los tubérculos de Ñame, contienen una gran cantidad de sustancias, entre las cuales destacan las denominadas saponinas, cuya estructura química tiene la misma constitución que las cortisonas. (Pinedo, 1975). Investigaciones efectuadas por Pinedo, (1975), determinaron el contenido de agua en el tubérculo de Ñame en estado fresco, así como la Composición de este, luego de ser deshidratado, valores, que se presentan en el cuadro tres.



**Cuadro3.** Composición de 100 gramos de materia seca del tubérculo de Ñame.

<b>Componente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Collazos <i>et al.</i> (1975)</b>	<b>Jacphy 1/ (1975)</b>	<b>Montaldo (1975)</b>
Agua	g	72.2	72.4	72.6
Calorías	Cal	112.0	105.0	100.0
Proteínas	g	1.8	2.4	2.0
Grasas	g	1.5	0.2	0.2
Carbohidratos	g	23.5	24.1	24.3
Fibra	g	0.4	-----	0.6
Ceniza	g	1.0	-----	0.9
Calcio	mg	3.0	22.0	14.0
Fósforo	mg	30.0	-----	43.0
Hierro	mg	0.7	0.8	1.3
Vitaminas	mg	-----	-----	-----
Tiamina	mg	0.09	0.09	0.13
Riboflavina	mg	0.03	0.03	0.02
Niacina	mg	0.44	0.50	0.40
Acido ascórbico	mg	3.10	10.00	3.00

**Fuente:** Pinedo, (1975).

Como se puede observar en el cuadro anterior, el cultivo del Ñame es bajo en contenido de grasas. Posee un alto contenido de calorías, carbohidratos y fósforo.

## **4.1 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y EDÁFICOS**

### **4.1.2 PRECIPITACIÓN**

Para obtener máximos rendimientos el Ñame necesita de un continuo suministro de agua, aproximadamente entre 1,500 y 2,000 mm/año. El período crítico para mantener la humedad es durante los cinco primeros meses de desarrollo; pasado este tiempo, el exceso de humedad puede ocasionar pudrición de los tubérculos (Montalvo, A. 1983)

### **4.1.3 TEMPERATURA**

El Ñame es una planta netamente tropical, por lo que para las especies comestibles, éstas se desarrollan mejor con temperaturas medias entre 25 y 30 C. Temperaturas de 20 grados centígrados no son convenientes a su desarrollo. Todas las especies mencionadas no soportan las heladas (Montalvo, A. 1983).

### **4.1.4 ALTITUD**

El Ñame se adapta a lugares que se ubican alturas máximas de 800 metros sobre el nivel del mar (Montalvo, A. 1983).

### **4.1.5 FOTOPERIODO**

Estudios de Allard indican que para las especies *D. alata* y *D. batatas* que períodos de iluminación de 12,5 horas aumentaron el largo de tallos, mientras que, menos de 12 horas de luz incrementaron la producción de tubérculos aéreos y racimase respectivos (Montalvo,A. 1983).

#### **4.1.6 SUELO**

El cultivo no necesita de suelos especiales, siempre que no sean muy arenosos. Los mejores rendimientos se obtienen en suelos francos, sueltos, profundos, orgánicos, profundos y fértiles, que estén bien drenados. El pH debe oscilar alrededor de 6,0 de buena fertilidad (Montalvo, A.1983).

### **5. MANEJO AGRONÓMICO**

#### **5.1 ÉPOCA DE SIEMBRA**

Se prefiere la época inmediata a la entrada de la estación de las lluvias, pero cuando esta corta, es recomendable hacer una plantación anticipada (Montalvo, A. 1983).

#### **5.2 PROPAGACIÓN**

El Ñame se propaga por secciones de tubérculo o por tubérculos enteros. Las secciones o los tubérculos con peso de 250 a 300 g son los que producen mejor, prefiriéndose los tubérculos enteros. Si bien el mayor rendimiento se obtiene con semilla de 300 g, la cantidad a utilizar es mucho mayor que con tubérculos de 100 g.

Cuando se utilice trozos de tubérculos, los mejores son los de la corona, pues tienen mayor cantidad de yemas y el brotamiento es más rápido y seguro (Montalvo, A.1983).

Los tubérculos utilizados como material reproductivo, deben de provenir de plantas vigorosas y sanas (Montalvo, A. 1983).

Para prevenir ataque de plagas o enfermedades, dicho material reproductivo, deberá de ser desinfectado con insecticidas y fungicidas. Otra alternativa, podrá ser, sumergirlos en agua con una temperatura de 45 °C durante cinco minutos (Montalvo, A. 1983).

El Ñame también puede propagarse por estacas herbáceas, pero por este método la producción es muy tardía, no siendo comercial. En las especies que normalmente producen tubérculos aéreos (D. bubifera), la propagación se efectúa, generalmente por éstos órganos (Montalvo, A, 1983).

### **5.3 SIEMBRA**

La siembra se realiza en camellones a una profundidad de 15 cm. O más, esto con la finalidad de evitar el encharcamiento y proveer a las plantas de un cubo de suelo apto para el fácil desarrollo de los tubérculos (Montalvo, A. 1983).

Los distanciamientos de siembra dependen del tipo de suelo, del tipo de labor (manual o mecanizada), y de la especie que se trate; para D. alata los distanciamientos se realizan de 0.80 a 1.50 metros entre hileras y de 0.70 a 1.0 metros sobre las hileras. (Montalvo, A. 1983). Cuando se siembra en áreas planas, el distanciamiento puede ser de 1,0 x 1,0 metros. Cuando se mecaniza y se hacen surcos, estos pueden estar a 1,0 hasta 1,5 m y la distancia entre plantas puede ser de 1,0 a 0,8 m y hasta 0,6 m (Montalvo, A. 1983).

### **5.4 FERTILIZACIÓN**

El Ñame responde bien a la fertilización nitrogenada y potásica. La fertilización, cuando el Ñame ha desarrollado un sistema radical extenso, conduce al desarrollo de una gran área foliar, que mejora su capacidad competitiva contra las malezas.

## 5.5 CONTROL DE MALEZAS

El lento crecimiento inicial, el hábito de crecimiento y la incapacidad de proyectar sombra completamente sobre el suelo, hace al Ñame muy susceptible a la competencia de las malezas. Las reducciones promedio de rendimiento por la competencia no controlada de las malezas en Ñame varían entre 40 y 90%.

El Ñame tiene un período crítico libre de malezas de alrededor de 16 semanas después de la emergencia. Por lo tanto, normalmente requiere de tres a cuatro desyerbes durante su ciclo de vida. El Ñame desyerbado a uno, tres y seis meses después de la plantación rinde casi como el desyerbado mensualmente. No es común el desyerbe mecanizado del Ñame debido a su hábito de crecimiento, su estaquillado y su sistema radical poco profundo.

Se pueden utilizar algunos herbicidas que han demostrado ser efectivos para el control de malezas en el cultivo, tales como la aplicación pre-emergente de atrazina y metolachlor (1:1) a 3,0 Kg ingrediente activo/ha, diuron a 3.0-3.5 Kg ingrediente activo./ha y metribuzin 1.5-2.0 Kg ingrediente activo./ha. Los herbicidas resultan ser más efectivos cuando se aplican en mezclas con paraquat tres semanas después de la plantación, en post-emergencia de las malezas y con un 5% de emergencia del Ñame (Montalvo, A. 1983).

## 5.6 PLAGAS Y ENFERMEDADES

Según Endy, citado por Montalvo, A (1983), las larvas de *Heteroligus meles* (*Coleóptera*, *Scarabeidae*) horadan los tubérculos del Ñame, y disminuyen su valor comercial. Como medidas de control se recomienda la rotación de cultivos y el tratamiento con insecticidas apropiados.

De acuerdo a Waitt, citado por Montalvo, A (1983), señala que las diversas enfermedades que causan pústulas en las hojas, especialmente debidas a los hongos de los géneros: Cercospora, Colletotrichum, gloesporium y Phyllosticta. Miede, citado por Montalvo, A. (1983), indica que Bothryodiplodia theobromae causa la pudrición de los racimase. También al hongo Fusarium solana es señalado en Japón, como causante de mosaico de pudriciones.

## **5.7 COSECHA**

La cosecha del Ñame debe realizarse entre 7 y 12 meses después de plantado el rubro. El Ñame puede ser cosechado mecánica o manualmente.

La cosecha mecanizada puede provocar un incremento en daños en el tubérculo, el nivel del cual dependerá de la profundidad de la pala usada, la velocidad y las condiciones del suelo en el momento de la cosecha. La cosecha manual se lleva a cabo levantando el tubérculo con una coba (no debe usarse un machete).

El transporte del campo al centro de acopio y empaque, se realiza mejor usando cajas de recolección de campo, ya que los sacos se consideran inadecuados por aumentar, por la fricción, el nivel de daño a la piel del producto (Montalvo, A. 1983).

En el caso de ser necesario, el producto puede cosecharse algún tiempo después, a la espera de mejores precios en el mercado.

## 5.8 IMPORTANCIA DE LAS PROPIEDADES DE LOS ALMIDONES

Potter, N (1985), indica que los almidones importantes en los alimentos son de origen vegetal, los cuales presentan las siguientes características:

- # No son dulces sino neutros.
- # No se disuelven fácilmente en agua fría.
- # Forman pastas y geles en agua caliente.
- # Proporcionan una fuente energética de reserva en las plantas y en la nutrición.
- # Están presentes en semillas y tubérculos en forma de gránulos característicos de almidón.
- # Cuando se calienta una suspensión de gránulos de almidón en agua, los gránulos se hinchan o se gelatinizan. Esto agrega viscosidad a la suspensión y finalmente se forma una pasta. Al enfriarse, esta pasta puede formar un gel.
- # Por su viscosidad se emplean para espesar alimentos.
- # Sus geles se emplean en postres.
- # Sus geles pueden ser modificados por azúcares y/o ácidos.
- # Sus pastas y geles pueden retrogradarse a su forma insoluble al envejecer o congelarse, lo cual causa defectos en los alimentos que lo contienen.
- # El desdoblamiento parcial de los alimentos produce las dextrinas. (Las dextrinas, cuya cadena es de una longitud intermedia entre la de los almidones y los azúcares, exhiben propiedades que también son intermedias entre las de estas dos clases de materiales). (Potter, N. 1985).

## 6. LITERATURA CITADA.

Amani N, Kamenan A, Rolland- Sabate A, Colonna P (2005) Stability of yam starch gels during processing. *Afra. J. Biotechnol.*4: 94-101.

Badui, S.D. (2001). Química de los alimentos. Ed. Pearson Education. México D. F. pp. 94-104.

Baldwin, P.M. (2001). Starch granule-associated proteins and polypeptides: a review. *Starch/Stärke* 53: 475–503.

Bello-Pérez L, Contreras S, Romero R, Solorza J, Jiménez A (2002) Propiedades químicas y funcionales del almidón modificado de plátano (*Musa paradisiaca* L. var. Macho). *Agrociencia*36: 169-180.

Beynum, G.M.A. y Roels, J.A. (1985). Starch conversion, technology. Ed. Marcel Dekker. Nueva York, Estados Unidos. pp. 360.

Biliaderis, C.G. (1991). The structure and interactions, of starch with food constituents. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69: 60-63.

Blennow, A., Engelsen, B.S., Nielson, H.T., Baunsgaard, L. y Mikkelsen, R. (2002). Starch phosphorylation: a new front line in starch research. *Plant Science*. 7: 445-450.

Chou S, Chiang B, Chung Y, Chen P, Hsu C (2006) Effects of storage temperatures on the ant oxidative activity and composition of yam. *Food Chem.* 22: 618-623.

Craig, S.A.S., Maningat, C.C., Seib, P.A. y Hosney, R.C. (1989). Starch paste clarity. *Cereal Chemistry*, 66: 173–182.



Crowe, T.C., Seligman, S.A. y Copeland, L. (2000). Inhibition of enzyme digestion of amylose by free fatty acids in vitro contributes to resistant starch formation, *Journal of Nutrition*, 130: 2006–2008.

Debet, R.M. y Gidley, J.M. (2006). Three classes of starch granule swelling: Influence of surface proteins and lipids. *Carbohydrate Polymers*, 64 (3): 452-465.

Duxbury, D.D. (1989). Modified starch functionalities-no chemicals or enzymes. *Food Processing*, 50: 35–37.

Ganga, Z. N. y Corke, H. (1999). Physical properties of starch of Asian-adapted potato varieties. *Journal of Science Food Agriculture*, 79: 1642-1646.

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

Hsu, S., LuS., Huang, C. (2000). Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. *Journal of Food Science*, 65(2): 215-220.

Jane, J.L., Robyt, J.F. (1984). Structure studies of amylose V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylase, a new method for preparing amyloextrins. *Carbohydrate Research*, 132: 105-110.

Jayakody, L. y Hoover, R. (2008). Effect of annealing on the molecular structure and physicochemical properties of starches from different botanical origins – A review. *Carbohydrate Polymers*.

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*, 69: 148-163.

Jiménez, H. J., Salazar, M. J., Ramos, R. E. (2006). Physical chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. *Carbohydrate Polymer*, pp. 1-8.

Kaur L, Singh N, Singh J (2004) Factors influencing the properties of hydroxypropylated potato starches. *Carbohydr. Polym.* 55: 211-223.

Lindeboom, N., 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/Starke*, 56: 89-99.

Magali, L., Silene, B.S., Marney, P.C. (2003). New starches for the food industry: *Curcuma longa* and *Curcuma zedoaria*. *Carbohydrate Polymers*, 54: 385–388.

Malaurie, B., Trouslot MF., Berthaud, J. 1989. Conservatio et echage de germoplasme chez les ignames (*Dioscorea* spp.) PP. 135-161 en Berthaud J. Bricas N. Marchand JL, eds. L'igname, plante seculaire et cultura d'avenir, Montpellier France.

Montaldo A (1991) *Cultivo de Raíces y Tubérculos Tropicales*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Agroamerica. Costa Rica. 407 pp.

Montalvo, A. 1983. Cultivo de raíces y tubérculos, segunda reimpression. San José de Costa Rica. IICA-CIDIA. 284 p.

Moorthy, S.N. (2002). Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch*, 54: 559-592.

Perea, M. y Buitrago, G. 2000. Aplicaciones de la Biotecnología Agrícola al cultivo del Ñame. En: Guzmán, M. y Buitrago, G. (Ed.). Ñame Producción de semillas por Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia, Santa fe de Bogotá, p.17-32.

Pérez E, Pacheco E (2005) Características químicas, físicas y reológicas de la harina y el almidón nativo aislado de *Ipomea batatas*. *Acta Cient.Venez.* 56: 12-20.

Pinedo, m. 1975. Estudio sobre un clon de pituca (*Colocasia esculenta*). Calidad de su harina en la panificación. Tesis. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos. Perú.

Pomeranz, Y. (1991). Functional properties of food components. 2<sup>a</sup> ed. Academic Press. Estados Unidos. pp. 24-78.

Potter, N. 1985. Ciencia de los alimentos. Edit. Mc-Graw-Hill. México, Mex. 750 p.

Shamekh, S., Myllarinen, O., Poutanen, K. y Forssell, P. (2002). Film formation properties of potato starch hydrolysed. *Starch*, 54: 20-24.

Singh, S., Singh, J., Kaur, L., Sodhi, N.S. y Gill, B.S. (2001). Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources- A review. *Food Chemistry*, 81: 219–231.

Sivack, M. y Preiss, J. (1998). Starch: Basic Science to Biotechnology. In: Advances in Food and Nutrition Research. New York, Academic Press. p 41.

Smith, A.M. (2001). The biosynthesis of the starch granule Biomacromolecules, 2: 335-341.

Standley, P. et. Al. 1946. Flora de Guatemala, Chicago Natural History Moseum (Fieldiana Botany Vol. 24 part. III).

Tester, F.R. y Debon, S.J.J. (2000). Annealing of starch- a review. International Journal of Biological Macromolecules, 27: 1-12.

Tester, F.R. y Karkalas, J. (2001). The effects of environmental conditions on the structural features and physic-chemical properties of starches. Starch, 53:513-519.

Tester, F.R., Karkalas, J., Qui. X. (2004). Starch-composition, fine structure and architecture. Journal Cereal Science, 39: 151-165.

Torre, G.L., Chel, G.L., Betancourt, A.D. (2008). Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. Food Chemistry, 106: 1138–1144.

Vandeputte, G.E. y Delcour. J.A. (2004). From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. Carbohydrate Polymers, 58: 245-266.

Vandeputte, G.E. y J.A. Delcour; *From sucrose to starch granule to starch physical behaviour: a focus on rice starch, Carboh. Polym.:* 58(3), 245–266 (2004).

VICOMEX, 1995. "Perfil de Ñame", Dirección de Promoción de exportaciones.

Wang S, Yu J, Gao W, Pang J, Chen H, Liu H (2007) Granule structure of C-type Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb var. Zhongbowen) starch by acid hydrolysis. *Food Hydrocol.* 10: 1016-1019.

Wang, L.Z., y White, P.J. (1994). Structure and physicochemical properties of starches from oats with different lipid content. *Cereal Chemistry*, 71: 443–450.

Wang, S., Jinglin. Y., Jiugao. Y., Haixia, C., Jiping. P., Hongyan. L. (2007). Partial characterization of starches from *Dioscorea opposita*. *Journal of Food Engineering*, 11: 01-07.

Whistler, R.L. y Daniel. J.R. (1984). Molecular structure of starch. *Chemistry and Technology*. Eds. Whistler, R.L., J.N. Bemiler and E.F. Paschall. New York. pp 154-180.

Yoshimoto, Y., Tashiro, J., Takenouchi, T., y Takeda, Y. (2000). Molecular structure and some physicochemical properties of high amylose barley starch. *Cereal Chemistry*, 77: 279–285.

## 6.1 LITERATURA CITADA POR INTERNET

Alberto Guízar Miranda, OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE “CAMOTE DE CERRO” (*Dioscorea spp.*), Tesis IPN de enero. 2009.7. Páginas.

<http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/6144/1/OBTENCIONYCARAC.pdf>

Opciones Agroindustriales de Valor Agregado a Raíces y Tubérculos Tropicales de la Región Caribe” Ana Cecilia Segrega Rodríguez (Convenio INTA - ITCR) Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Agropecuaria Administrativa

<http://www.clayucacr.com>

Revista Chilena de Nutrición ISSN (Versión impresa): 0716-1549 [smuzzo@inta.cl](mailto:smuzzo@inta.cl) Sociedad Chilena de Nutrición, Bromatología y Toxicología Chile. <http://www.scielo.com>

Pacheco de Delahaye, Emperatriz; Techeira, Nora PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ALMIDÓN NATIVO DE ÑAME (*Dioscorea alata*) Interciencia, Vol. 34, Núm. 4, abril-sin mes, 2009, pp. 280-285 Asociación Interciencia.

<http://www.redalyc.org>

Tomado del libro: Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 1991

<http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/tec-name.pdf>