



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE JÍCAMA
NO COMERCIAL"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

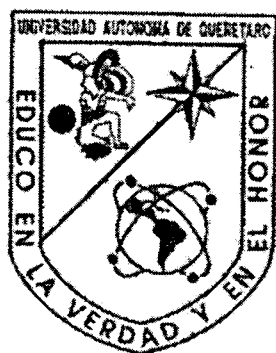
RAFAEL GALVÁN MENDOZA

DIRIGIDA POR

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., FEBRERO DEL 2002

No Adq. H 66296
No. Título TS
Clas. 667.8052
G1824



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE JÍCAMA
NO COMERCIAL"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

RAFAEL GALVÁN MENDOZA

DIRIGIDA POR

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO., FEBRERO DEL 2002



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**"ESTUDIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE JÍCAMA NO
COMERCIAL"**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

QUÍMICO EN ALIMENTOS

PRESENTA

RAFAEL GALVÁN MENDOZA

SINODALES

DR. EDMUNDO MERCADO SILVA

DIRECTOR

M.C. ESTELA VÁZQUEZ BARRIOS

PROPIETARIO

M.C. ELIA NORA AQUINO BOLAÑOS

PROPIETARIO

DR. FERNANDO MARTÍNEZ BUSTOS

SUPLENTE

CENTRO UNIVERSITARIO
SANTIAGO DE QUERÉTARO, QRO. MÉXICO 2002

Agradecimientos

Gracias mamá (Victoria Mendoza Olvera) por todo su apoyo y cariño que siempre ha tenido, nunca podre pagarle todo la que ha hecho por mí.....la quiero mucho.

A mi papá (J. Remedios Galván Sánchez) por todas las enseñanzas que he recibido.....lo quiero mucho.

A mis hermanos, Antonio, Álvaro, Pedro Luis, Irma, Chely, Sughey y Juan Carlos, por todos los ratos felices que he compartido y han sido un ejemplo a seguir.....los quiero mucho.

A mis asesores por brindarme sus conocimientos en especial al Dr. Edmundo Mercad Silva por brindarme su conocimiento y apoyo para la realización de este trabajo, que dios lo bendiga siempre.

A mis amigas Ari, Koko y Gis por compartir tantos momentos agradables con ustedes y por tener tanta confianza en mí.....las quiero mucho.

A Gaby y Ariadna por los ratos de estudio que compartimos juntos, que me enseñaron ha no desesperarme y seguir adelante.... las quiero mucho.

A mis compañeros de generación, las ñoñas (Roció, Lulú, Brisia y Mony), las chip (Maribel, lili y Olga) y los mascara (Fco. Javier, Poncho, Ialo, Adrián y Oswaldo) por compartir ratos de alegría conmigo y aprender con ustedes.....los quiero mucho.

A mis compañeros de laboratorio, Esther, Nora, Estela, Erika, Zoraida, Gerardo, Mundo y Israel, por su alegría, amistad y compañerismo.....los quiero mucho.

A Hugo y Gustavo, por los ratos de convivencia con ustedes..... los quiero mucho.

*Gracias por brindarme la maravillosa oportunidad de vivir.
Gracias por todas las experiencias tanto tristes como alegres.
Gracias por darme la oportunidad de conocer tanta gente maravillosa.
Gracias porque me has demostrado tu presencia en cada momento de
mi vida.
Gracias **DIOS** mío por estar siempre conmigo.*

El presente trabajo se desarrolló en el laboratorio de Fisiología y Bioquímica Postcosecha de Frutas y Hortalizas del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos de la Facultad de Química, bajo la asesoría y dirección del Dr. Edmundo Mercado Silva

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
I RESUMEN	
II INTRODUCCIÓN	1
III ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	3
3.1 Aspectos generales de la jícama.	3
3.1.1 Descripción de la planta.	3
3.2 Problemas que presenta la jícama.	4
3.3 Importancia económica	5
3.4 Valor nutrimental de la jícama.	6
3.4.1 Clasificación de los carbohidratos.	10
3.5 El almidón, origen y usos.	11
3.5.1 Estructura del gránulo del almidón.	11
3.5.2 Degradación del almidón.	16
3.5.3 Técnicas e instrumentos para el análisis del almidón.	17
3.6 Estudios realizado para el aprovechamiento de la jícama.	22
IV OBJETIVO	24
4.1 Objetivo general.	24
4.2 Objetivos específicos.	24
V MATERIALES Y MÉTODOS	25
5.1 Material biológico.	25

	Página
5.2 Métodos utilizados para el estudio del almidón.	25
5.2.1 Extracción.	25
5.2.2 Análisis bromatológicos.	27
5.2.3 Contenido de almidón.	27
5.2.4 Análisis microscópico.	30
5.2.5 Almidón dañado.	30
5.2.6 Contenido de amilosa.	31
5.2.7 Densidad absoluta.	32
5.2.8 Capacidad de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.	33
5.2.9 Poder de hinchamiento e índice de solubilización.	33
5.2.10 Análisis reológico.	34
5.2.11 Patronés de difracción de rayos-X.	35
5.2.12 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).	35
5.2.13 Digestibilidad.	35
5.3 Elaboración de jugo de jícama	36
5.4 Elaboración de jícama en conserva.	37
5.6 Evaluación sensorial.	38
5.6.1 Prueba de nivel de agrado.	38
5.6.2 Prueba de preferencia.	39
VI RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
6.1.1 Extracción del almidón.	40
6.1.2 Análisis bromatológicos de los almidones extraídos.	41
6.1.3 Contenido de almidón de los extractos de almidón.	44
6.1.4 Forma y tamaño del gránulo de almidón.	44
6.1.5 Almidón dañado.	46

	Página
6.1.6 Contenido de amilosa.	47
6.1.7 Densidad absoluta.	48
6.1.8 Capacidad de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.	49
6.1.9 Poder de hinchamiento e índice de solubilización.	50
6.1.10 Análisis reológico de los almidones.	54
6.1.11 Patrones de difracción de rayos-X.	58
6.1.12 Estudio de calorimetría diferencial de barrido.	61
6.1.13 Digestibilidad.	64
6.2 Otros estudios para la utilización de jícama no comercial.	65
6.2.1 Elaboración de jugo de jícama.	65
6.2.2 Elaboración de jícama en conserva.	71
VII CONCLUSIONES.	72
VIII BIBLIOGRAFÍA.	75
IX ANEXOS.	82

ÍNDICE DE CUADROS.

CUADRO	Página
1.- Producción y estados productores de jícama en México.	7
2.- Comparación del valor nutricional de la jícama con otras raíces.	8
3.- Composición de aminoácidos de la proteína en jícama <i>P. erosus</i> .	9
4.- Clasificación de carbohidratos.	10
5.- Características de la amilosa y la amilopectina.	12
6.- Composición bromatológica del almidón de dos especies de jícama.	41
7.- Contenido aproximado de proteínas y lípidos de almidones más comunes.	43
8.- Contenido de almidón en los extractos de dos especies de jícama.	44
9.- Forma y tamaño de los almidones de jícama, maíz y papa.	45
10.- Aproximación de forma y tamaño de almidones comunes.	46
11.- Porcentaje de almidón dañado en almidones de jícama, maíz y papa.	46
12.- Contenido de amilosa en almidones de jícama, maíz y papa.	47
13.- Densidad absoluta de los almidones de jícama, maíz y papa.	48
14.- Capacidad de absorción de agua de almidones de jícama, maíz y papa.	49
15.- Espacio interplanar de los diferentes almidones.	58
16.- Temperatura de inicio del proceso de gelatinización, de viscosidad máxima y final del gelatinización y cambio de entalpía en de almidones jícama, maíz y papa.	62
17.- Digestibilidad de almidones de jícama (<i>P. ahipa</i> y <i>P. erosus</i>), maíz y papa.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
1.- Representación grafica de la amilosa.	13
2.- Representación grafica de la amilopectina.	13
3.- Reograma típico para el análisis reológico de almidón.	21
4.- Poder de hinchamiento de almidón de jícama, a) <i>P. ahipa</i> , b) <i>P. erosus</i> y c) maíz y papa.	52
5.- Índice de solubilización de almidón de jícama, a) <i>P. ahipa</i> , b) <i>P. erosus</i> y c) maíz y papa.	53
6.- Amilogramas de almidones de dos especies de jícama extraídas con agua y buffer, maíz y papa.	57
7.- Patrones de difracción de rayos-X de almidones de jícama, de maíz y de papa.	60
8.- Termogramas de almidones de jícama, maíz y papa.	63
9.- Evaluación sensorial de jugo de jícama, (Formulación 1).	67
10.- Evaluación sensorial de jugo de jícama, (Formulación 2).	68
11.- Evaluación sensorial de jugo de jícama, (Formulación 3).	69
12.- Evaluación sensorial de jugo de jícama, (Formulación 4).	70

I RESUMEN

Se calcula que un equivalente al 30% de la producción nacional de este producto no se cosecha ya que durante su desarrollo la raíz sufre de una ruptura o "reventado" de la epidermis haciéndola no comercializable; la causa de este fenómeno es desconocida y no se tienen alternativas de uso de este residuo, por lo que el objetivo de este trabajo fue aplicar diferentes tecnologías para evaluar el aprovechamiento de este residuo como la elaboración de jugo y conservas, así como separar y caracterizar el almidón para estudiar sus posibles usos como aditivo en la industria de los alimentos. Se extrajo y caracterizó el almidón de dos especies de jícama (*Pachyrhizus erosus* y *pachyrhizus ahipa*); La raíz fue pelada y la pulpa fue triturada con agua o con buffer de citrato-fosfato a pH 4.0, el sedimento fue separado, lavado y secado a 45°C y finalmente tamizado en una malla No. 40, estos almidones fueron caracterizados y comparados con almidones de maíz y papa, a través de análisis bromatológicos, almidón dañado, contenido de amilosa, índice de solubilización, poder de hinchamiento, comportamiento reológico, patrón de difracción de rayos-X, calorimetría diferencial de barrido y digestibilidad "invitro". Así mismo, jícamas de *P. erosus* fueron utilizadas para la extracción de jugo y su envasado como jugo natural, ajustado su °Brix o adicionado de ácido cítrico y cloruro de sodio. Los productos fueron evaluados sensorialmente por un panel de jueces no entrenados después de un almacenamiento acelerado de 35°C durante 6 semanas. También jícamas de esta misma especie fueron cortadas en tiras y empacadas como conservas adicionándoles jugo natural ó con adicionado de ác. cítrico y cloruro de sodio. Después de un periodo de almacenamiento, los productos fueron evaluados sensorialmente a través de un panel de jueces no entrenados.

El rendimiento de almidón de jícama *P. ahipa* fue de 13%, mientras que para *P. erosus* fue de 3%, la cantidad de almidón contenido en los extractos fue de 82-87%, mientras que el almidón dañado fue elevado en los almidones extraídos con agua, mientras que en los extraídos con buffer fue menor y comparable a los de maíz y papa. La capacidad de absorción de agua fueron similares al almidón de papa (2.4 g/g) y el contenido de amilosa fue elevado (24 %) comparados con los almidones de maíz y papa, el poder de hinchamiento fue de 12 a 14 g de agua/g de almidón y similar al almidón de maíz. El patrón de difracción de rayos-X indicó un tipo de cristal A similar al del maíz. Los estudios reológicos mostraron que los almidones de jícama y maíz tuvieron menor viscosidad y retrogradación que la papa. Mientras que la digestibilidad fue alta en los almidones de jícama. Las características reológicas de estos almidones sugieren un uso potencial de los mismos en sustitución de algunos tipos de almidones de maíz.

La evaluación sensorial de los jugos indicaron que la adición de ác. cítrico y cloruro de sodio, así como el ajuste de sus sólidos solubles, mejoró su aceptación entre los jueces, sin embargo se requiere mas trabajo para mejorar el producto.

Las jícamas en conservas adicionadas en salmuera no fueron aceptadas por el panel de jueces que la degustaron. Aunque la adición de ác. cítrico y cloruro de sodio mejoró la aceptación del producto.

II INTRODUCCIÓN.

La raíz de jícama pertenece al género *Pachyrizus* y varias especies son cultivadas en distintas regiones del mundo, entre las cuales se encuentran *P. erosus*; cultivada en México; *P. ahipa*; domesticada en Bolivia y el norte de Argentina, *P. tuberosus*; domesticada en Brasil y dos especies silvestres *P. paramensis* y *P. ferrugineous* que también son encontradas en México y América central.

La jícama es una leguminosa tropical originaria de México y América central y fue cultivada por las culturas mesoamericanas Maya y Azteca. Los primeros exploradores españoles y portugueses la llevaron por varias regiones de Latinoamérica y a las islas del Pacífico como las Filipinas y de ahí se extendió a Oceanía y Asia. Actualmente se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos (Florida y Hawaii), China, Indonesia, Filipinas y Nigeria, pero en casi todos los casos se trata de un producto sub explotado.

Desde el punto de vista socioeconómico; este cultivo resulta importante debido a que aproximadamente un 50% de los productores corresponden a familias de escasos recursos económicos, por lo que su explotación se realiza en muchos casos bajo el sistema de producto tradicional en asociación con maíz y frijol, debido a que brinda al campesino la oportunidad de obtener productos para autoconsumo antes de efectuarse la cosecha del cultivo principal, posteriormente con la venta de la jícama se obtienen ingresos para obtener otros satisfactores.

El consumo de jícama se realiza en diferentes formas; como producto fresco donde, las raíces son peladas cortadas en tiras, en ocasiones se adiciona jugo de limón y chile; también en diferentes ensaladas; mezclada con otras hortalizas se utiliza para la preparación de sopas; en rebanadas fritas; como encurtidos cortadas en diferentes formas puede ser conservada en vinagre con cebolla y chile jalapeño. En otros países sus usos son múltiples, uno de ellos es como sustituto de la

comida castaña de agua (*Elocharis dulcis*) en la comida china por su gran similitud en su sabor y textura.

En la actualidad su cultivo se encuentra ampliamente distribuido en la República Mexicana bajo diferentes sistemas de producción, adquiriendo cada vez mayor importancia debido al creciente aumento en las exportaciones realizadas principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica.

Los principales estados productores de jícama son Nayarit (44%), Morelos (18%) y Michoacán (14%), aunque también otros estados contribuyen a la producción nacional la cual se calculó en 108 000 toneladas para el año 1999.

La parte más apreciada de la jícama es la raíz la cual es comestible, rica en azúcares, agua (90% su peso total), pequeñas cantidades de calcio y hierro.

Uno de los problemas que presenta la jícama durante su desarrollo en el campo es el "reventado" que consiste en la ruptura de la epidermis cuando se encuentra en crecimiento lo que da por resultado un producto que no se cosecha y por lo tanto no es comercializable. Aún se desconoce el origen de éste fenómeno; sin embargo, un equivalente al 30% de la producción (32 000 ton) se puede perder por esta causa ya que no se encuentra ningún mercado para su venta; lo que ha ocasionado la necesidad de buscar alternativas para la utilización de este producto. Por esto es importante aplicar tecnologías disponibles para aprovechar este producto o bien buscar alternativas, hasta ahora no estudiadas, que permitan su aprovechamiento. El presente proyecto pretende estudiar diferentes productos que puedan ser alternativas confiables para conservar la jícama o sus productos. Para ello se elaboró jugo y conservas de jícamas en su jugo, así como también se evaluó su potencial como fuente de almidón.

III ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.

3.1 Aspectos generales de la jícama.

3.1.1 Descripción de la planta.

La jícama (*Pachyrhizus* sp), es una leguminosa tropical originaria de México y América central, cultivada por los mayas y aztecas. Los españoles y portugueses la llevaron a varias regiones de Latinoamérica y a varias islas del Pacífico como Filipinas y de ahí se extendió a Oceanía y Asia. Actualmente se cultiva en México, Brasil, Estados Unidos (Florida y Hawaii), China, Indonesia, Filipinas y Nigeria, pero en casi todos los casos se trata de un producto sub explotado (Sørensen, 1996; Casanueva, 1995; y Fernández y col, 1996).

Es una planta de tallos rastreros o trepadora, vellosos, que pueden alcanzar una altura de 5 m y que parten de una raíz gruesa, oval o globosa. Las hojas son pecioladas, constan de tres hojuelas (trifoliadas) de forma muy variable, con 4 a 20 cm de largo y 6 a 22 cm de ancho. Las inflorescencias son racimos erectos, de hasta 0.05 m de longitud, axilares, constituidos por una a cinco flores típicamente mariposadas, las cuales son grandes, de aproximadamente 2 cm de largo, moradas, rosadas o blancas, los frutos son vainas lineales comprimidas de 5 a 15 cm de largo, pilosas y contienen de 8 a 10 semillas reniformes o cuadradas. Las raíces grandes y tuberosas, son los órganos de reserva de la planta, con una amplia variabilidad en su forma, desde casi esférica hasta muy irregular; los tejidos presentan un color blanco, además son jugosas y azucaradas. (INEGI, 1997).

La jícama posee un valor nutricio relevante, ya que contiene de 3 a 5 veces el contenido de proteína en comparación con la papa, zanahoria y camote; además contiene vitamina C, tiamina, riboflavina y ciertos minerales como fósforo, calcio, hierro y cobre, y un alto contenido de fibra. Se ha reportado que la jícama contiene 90% de agua y 10% de sólidos totales; de los cuales aproximadamente el 70% está

constituido por almidón altamente digerible (Instituto Nacional de la Nutrición, 1992).

Las raíces alcanzan su desarrollo óptimo en tres a cuatro meses, pero pueden dejarse en el campo hasta por medio año, este proceso de maduración aumenta considerablemente el contenido de almidón (INEGI, 1997).

Existen varias especies del género *Pachyrizus* cultivadas actualmente; *P. tuberosus*, domesticada en Brasil, *P. paramensis* y *P. ferrugineous* que son dos especies silvestres encontradas en México y América central (Rubatzky y Yamaguchi, 1997), *P. ahipa*, domesticada en Bolivia y en el norte de Argentina y *P. erosus* de interés comercial en nuestro país de la cual se tienen diversas variedades cultivadas para una explotación comercial.

P. ahipa es una planta leguminosa, originaria de los Andes donde ha sido cultivada desde hace 2000 años, es erecta y generalmente de 30 a 60 cm de altura, tiene hojas trifoliadas más anchas que largas, sus semillas son redondeadas o arriñonadas de alrededor de 1 cm de ancho, cada planta al igual que *P. erosus* tiene una sola raíz de aproximadamente 15 cm de longitud y generalmente con peso de 500-800 g, su pulpa es blanca y lechosa, con haces vasculares coloridas ó de color característico debajo de la piel y dentro de la pulpa. Esta raíz tiene un período de desarrollo de cinco a seis meses (Anónimo, 1989).

3.2 Problemas que presenta la jícama.

Son diferentes los problemas que presenta la jícama como producto fresco Cantwell y col., (1992), así como Mercado-Silva y Cantwell (1998) y Mercado-Silva y col., (1998) indican la gran susceptibilidad de esta raíz al daño por frío y que sin embargo puede ser almacenada hasta por 4 meses a temperatura de 13 °C.

García, (1998) mencionó que pueden encontrarse pérdidas de hasta un 36% en precosecha y que solamente se cosecha el 64 %, en tanto que en poscosecha se pierde un 13 % por mal manejo y problemas de almacenamiento. Si consideramos la producción Nacional (108 000 ton), se puede deducir que existe una gran cantidad de este producto que no llega a los mercados. Uno de los problemas que normalmente se presenta es el "reventado", el cual se manifiesta a través de rajaduras de la raíz durante el proceso de desarrollo de la misma; fisiológicamente el órgano cicatriza pero el producto no tiene valor comercial aun cuando sus tamaños son similares. Estas raíces se quedan en el campo sin posibilidad de utilización. Los orígenes de este problema pueden ser diversos y los productores han aprendido que la incidencia de éste, aumenta cuando en un mismo campo se siembra jícama varios años consecutivos avalando la necesidad de rotar el cultivo (comunicación personal con productores).

3.3 Importancia económica.

El cultivo de la jícama se encuentra distribuido en diferentes estados de la República Mexicana, en el Cuadro 1 se observa que Nayarit aportó para el año 1999 el 44% de la producción nacional; en tanto que Morelos lo hizo con el 18.2%, Michoacán con 14% y Guanajuato con 7.3%, esto señala que tres estados de la republica concentran $\frac{3}{4}$ partes de la producción y los cuatro estados mencionados aportaron el 83.5%. El historial de esta producción ha ido en aumento ya que para el año de 1991 la producción fue de 75 159 toneladas y para el año de 1995 esta fue de 95 563 toneladas. Aunque Nayarit se mantiene como el principal productor con pocas variaciones en su participación (alrededor del 44%); la participación en su conjunto de los cuatro estados mencionados se ha reducido desde un 90% en el año de 1995 hasta el 83.5% señalado anteriormente. La participación de otros estados en la producción como Guerrero y Puebla han llevado a la mencionada disminución (SAGARH, 1999).

La gran mayoría de producto se consume en territorio nacional aunque también existe un mercado de exportación a los Estados Unidos que para el año de 1995 representó un ingreso de 6.5 millones de dólares y se presume que éste está en crecimiento, dado el incremento de la población latina en ese país y que también es utilizada como sustituto de la castaña de agua en la comida China (Aquino-Bolaños, 1998).

El cultivo de jícama puede estar asociado con el de maíz y frijol, permitiendo al campesino obtener productos de autoconsumo antes de efectuarse la cosecha de la jícama. La importancia social de su cultivo radica en que cerca del 50% del total de productores provienen de familias de escasos recursos.

3.4 Valor nutrimental de la jícama.

El valor nutricio de la jícama comparada con las hortalizas de mayor consumo se presenta en el Cuadro 2, es un producto que puede aportar menos energía que la papa y zanahoria, pero más que el camote. Contiene más de 10 veces la cantidad de proteína que la papa, de 3 a 5 veces que la zanahoria y es comparable con el camote. Su contenido de fibra es de 0.6 a 1.4 % mientras que el camote contiene el 1.0 %.

El aporte de vitaminas y minerales de la jícama en comparación con otras raíces, es relevante; ya que presenta un alto contenido de riboflavina y niacina, así como un alto contenido de ácido ascórbico similar al camote (Sørensen, 1990 y INN, 1997).

Ramírez-Moreno (1999), estudió los cambios en los nutrientes de distintos materiales genéticos de jícama en la que incluyó dos variedades de jícama *P. erosus*; dos de *P. ahipa* y dos segregados de un proceso de selección de variedades del INIFAP Celaya, este estudio indicó que en especies de *P. ahipa* el contenido de materia seca fue alrededor de 18-22%, en tanto que en *P. erosus* este

contenido varió entre 9 a 10%. El contenido de azúcares en ésta especie varió entre 3.2-3.9%. De acuerdo con los datos reportados por esta autora el contenido de almidón en cada una de estas especies es de aproximadamente 15 y 3.5% para *P. ahipa* y *P. erosus* respectivamente.

Cuadro 1.- Producción y estados productores de jícama en México.

Estados productores de jícama	Toneladas
Aguascalientes	12
Baja California Sur	20
Guanajuato	7 827
Guerrero	5 637
Jalisco	1 256
México	144
Michoacán	15 463
Morelos	19 610
Nayarit	47 596
Puebla	6 545
San Luis Potosí	384
Sinaloa	702
Tamaulipas	166
Veracruz	2 150
Yucatán	300
Zacatecas	15
Produccion total	107 827 Ton.

(SAGARH, 1999).

**Cuadro 2.- Comparación del valor nutritivo de la jicama con otras raíces.
(en 100g de tejido fresco).**

NUTRIMENTOS	JÍCAMA	CAMOTE	ZANAHORIA	PAPA
ENERGÍA (Kcals)	33	10	44	76
HUMEDAD (%)	78	40	0.4	1.4
PROTEÍNA (g)	1-1.5	1.0	0.3	0.1
LÍPIDOS (g)	0.09-0.08	0.4	10.5	17.5
CARBOHIDRATOS (g)	8-15	24	0.9	0.7
FIBRA (g)	0.6-1.4	1.0	----	
VITAMINAS (mg/100g)				
AC. ASCÓRBICO	14-20	23	19	15
TIAMINA	0.05-0.5	0.09	0.04	0.07
ROBOFLAVINA	2	0.03	0.5	0.03
NIACINA	2	0.6	0.5	1.1
MINERALES (mg/100g)				
CALCIO	13-16	41	26	13
FÓSFORO	16	----	----	----
HIERRO	0.5-1.1	2.4	0.6	2.7
COBRE	43	----	----	----

(Sørensen, 1990 y INN, 1997).

P. erosus contiene entre 2.9% y 3.1% de nitrógeno en base seca y su proteína tiene un buen perfil de aminoácidos como se muestra en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.- Composición de aminoácidos de la proteína en jícama (*P erosus*).
(g aminoácido por 100 g de proteína)**

Aspártico	55.14	Histidina	2.53
Isoleucina	2.09	Glicina	1.86
Triptófano	2.68	Lisina	3.28
Leucina	2.91	Alanina	2.46
Serina	3.28	Arginina	7.38
Tirosina	1.71	Valina	3.20
Glutámico	5.37	Cisteina	0.45
Fenilalanina	2.31	Metionina	0.82
Prolina	2.53		

(Evans y col., 1977)

Las raíces de algunas leguminosas son usadas en varios países de África y Asia, como fuente de carbohidratos cuando son consumidas en grandes cantidades. Al ser la raíz un órgano de almacenamiento para la planta, se considera que es una fuente importante de almidón ya que éste carbohidrato es una de las moléculas de reserva en este tipo de órganos. Los hidratos de carbono o carbohidratos son los primeros compuestos orgánicos que se producen a partir del dióxido de carbono y el agua, a través del fenómeno de la fotosíntesis (Fennema, 1993).

Basados en una posible importancia del almidón de jícama, Mélo y col. (1994), así como Alvarado y col. (1999), realizaron una caracterización fisicoquímica del almidón de jícama *P. erosus* en Brasil y México respectivamente, sus estudios se basaron en que la jícama podría ser una nueva fuente para la producción de almidón de alta digestibilidad y adecuada estabilidad frente a la refrigeración. No obstante estos trabajos, no existe en la literatura una comparación de los almidones

de las especies de jícamas *P. erosus* y *P. ahipa* ni un estudio más exhaustivo de su caracterización para posibles usos.

3.4.1 Clasificación de los carbohidratos.

Los hidratos de carbono se clasifican en base al tamaño de su molécula o del número de átomos de carbono que contienen; clasificándose en monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos, los dos primeros comprenden los azúcares y el tercero engloba almidones y fibra (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Clasificación de los carbohidratos.

MONOSACARIDOS	Pentosas: xilosa, arabinosa, ribosa
	Hexosas: aldohexosa, glucosa, galactosa, manosa
	Cetohexosa: fructosa, sorbosa
OLIGOSACARIDOS	Disacáridos: sacarosa, maltosa
	Trisacáridos: rafinosa
	Tetrasacáridos, pentasacáridos: estaquiosa
POLISACÁRIDOS	
	Homopolisacáridos: almidón, glucogeno
	Heteropolisacáridos: hemicelulosa, celulosa

(Badui, 1996)

3.5 El almidón, origen y usos.

El almidón se encuentra como reserva energética en cereales, tubérculos y en algunas raíces y su concentración varía dependiendo del grado de madurez del producto en cuestión (Badui, 1996). Como se ha mencionado, el almidón es una fuente de energía almacenada principalmente en granos y cereales en donde constituye entre un 60-70% del peso del grano (Thomas y Atwell, 1999); por lo que estos alimentos proporcionan hasta un 80% de las calorías consumidas en el mundo. Por las características de la molécula, el almidón puede afectar distintas propiedades de los alimentos; como su valor calórico, o modificar sus características funcionales como gelificación, espesante, texturizante, etc. Por ello, se utiliza como espesante de salsas, como relleno de empanadas, o moldeado de budines, en la estabilización de aderezos de ensaladas y para dar cuerpo a los helados, etc., constituyéndose en una importante aplicación en la tecnología de alimentos.

La selección apropiada del almidón para un uso específico, se basa en el conocimiento de sus características físicas y químicas así como de sus propiedades reológicas y de los efectos que se quieren desarrollar (Matz, 1959).

3.5.1 Estructura del gránulo del almidón.

El almidón se encuentra dentro de células en forma de gránulos en pequeños organelos discretos, insoluble en agua fría y debido a que su estructura está altamente organizada presenta una gran estabilidad por sus múltiples interacciones entre sus dos polisacáridos constituyentes, la amilosa y amilopectina.

La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas unidas por enlaces glucosídicos α -(1,4) que establece largas cadenas lineales de hasta 200-2500 unidades (Figura 1); la amilopectina se diferencia de la amilosa por las

ramificaciones que contiene y lo que le da una forma molecular similar a la de un árbol, las ramas están unidas al tronco central por enlaces α -(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa, su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltons (Figura 2).

El almidón contiene aproximadamente 17-27% de amilosa y el resto lo constituye la amilopectina. Tanto la amilosa y la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos por su capacidad de hidratación y gelatinización. En el cuadro 5, se comparan las propiedades de la amilosa y la amilopectina destacando que la amilosa tiene la capacidad de formar geles y películas muy fuertes en tanto que la amilopectina no gelifica o es suave y sus películas son débiles (Thomas y Atwell, 1999).

Cuadro 5.- Características de la amilosa y la amilopectina.

Características	Amilosa	Amilopectina
Forma	Esencialmente lineal	Ramificada
Enlace	α -1,4 (algunos α -1,6)	α -1,4 y α -1,6
Peso molecular	Típicamente < 0.5 millones	50-500 millones
Película	Fuerte	Debíl
Formación de gel	Firme	Blando No-gelifica
Color con Iodo	Azul	Rojizo marrón

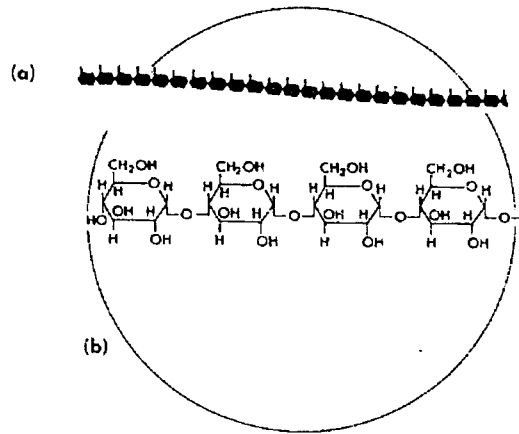


Figura 1.- Representación grafica de la amilosa. (a) Diagrama de un fragmento de una molécula de amilosa , (b) Estructura química y enlaces de la molécula.

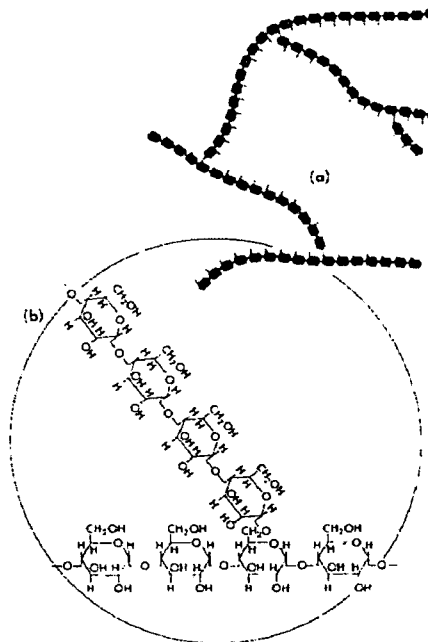


Figura 2.- Representación grafica de la amilopectina. (a) diagrama de un fragmento de una molécula de amilopectina, (b) Estructura química y enlaces en el punto de ramificación (Charley, 1970).

Estas propiedades se ven influidas por la temperatura; a medida que ésta se incrementa el gránulo se hincha y aumenta de volumen debido a que retiene agua. El almidón, en su forma granular, posee una alta densidad y muestra un alto grado de empaquetamiento dentro del gránulo por lo que puede soportar ciertos esfuerzos mecánicos (Badui, 1996).

Dada la naturaleza lineal de la molécula de amilosa su estructura espacial es una hélice con un espacio interior de naturaleza hidrofóbica lo cual le permite enlazarse con ácidos grasos libres o de los triglicéridos, con alcoholes y con yodo. Estas características, le permiten alterar las temperaturas de gelatinización, su textura y los perfiles de viscosidad así como limitar la retrogradación. Otro de los atributos de esta molécula es la de formar geles una vez que ha sido tratado térmicamente, por lo que los almidones son considerados como agentes gelificantes. Por lo anterior es fácil inferir que si la cantidad de amilosa varía en la fuente de almidón, estas propiedades se ven alteradas. De hecho existe un gran esfuerzo en generar plantas transgénicas con distintas capacidades para almacenar amilosa y por lo tanto con propiedades específicas de uso del almidón correspondiente (Smith y *col.*, 1997).

La configuración ramificada de la molécula de amilopectina contribuye a su naturaleza cristalina y también le confiere propiedades diferentes respecto a la amilosa; por ejemplo la retrogradación y formación de gel se ven disminuidas y las pastas elaboradas con almidones con alto contenido de amilopectina no gelifican o tiene una estructura cohesiva y gomosa. Por ello el contenido de estas dos moléculas afectan la arquitectura del gránulo de almidón, su gelatinización y sus atributos de textura (Thomas y Atwell, 1999).

En la actualidad, a través de técnicas de biología molecular es posible obtener almidones de diferentes fuentes que contengan alta amilosa, alta amilopectina o diferentes proporciones de ellas (Smith y *col.*, 1997).

El tamaño y forma del gránulo de almidón tiene amplias variaciones entre especies botánicas diferentes, su diámetro puede variar desde un 1 hasta más de 100 μm y su forma puede ser regular o muy irregular a pesar de que hay solamente dos tipos de moléculas constitutivas, hay gran diversidad en la estructura y características de los gránulos de almidón (Thomas y Atwell, 1999).

Respecto a la organización interna de las moléculas de amilosa y amilopectina se conoce poco y sólo se indica que el "empacado" de ellas dos no es al azar y más bien es de naturaleza muy organizada. Cuando el gránulo se calienta en agua, éste pierde su orden interno. Esta pérdida de orden interno ocurre a diferentes temperaturas para diferentes tipos de almidones; si se calienta inmediatamente el gránulo se hincha hasta que eventualmente se desintegra su estructura y las dos moléculas se liberan en una suspensión acuosa. La molécula de amilopectina es muy grande y está compuesta de dos poblaciones distintas de longitud de la cadena, la más pequeña se piensa que están tan cerca que interactúan fuertemente para generar las regiones cristalinas, formando racimos (clusters) a las cuales está asociada la amilosa que a su vez esta entrelazada a través de las áreas amorfas y cristalinas.

Además de estas dos moléculas, en el gránulo de almidón también se encuentran proteínas, lípidos, agua y minerales aunque en pequeñas cantidades, su contenido de agua es cercano a 12%, el de ceniza 0.5%, mientras que el contenido de proteínas varía desde 0.1 hasta 0.35% dependiendo del tipo de almidón, en tanto que los lípidos varían por la misma causa desde 0.1-0.8%, aunque las proporciones de lípidos y proteínas son menores; éstos pueden alterar el comportamiento de gelatinización y tener un fuerte efecto sobre el perfil de aroma del almidón.

Las proteínas contenidas en el gránulo de almidón pueden ser "superficiales" o integrales dependiendo de la facilidad o dificultad para ser extraídas, las superficiales pueden ser extraídas con sales y las integrales requieren de

tratamientos con detergentes o álcali. En semillas de trigo esto tiene que ver con la dureza del endospermo (Thomas y Atwell, 1997).

Kokini y col. (1992), hacen un extenso estudio respecto de los cambios en las propiedades reológicas del almidón los cuales están estrictamente ligados a la estructura y origen del mismo.

Todos los anteriores aspectos llaman la atención respecto de que el origen del almidón, así como su composición puede afectar su comportamiento reológico e indica la necesidad primaria de conocer estos aspectos para caracterizar una fuente de almidón.

3.5.2 Degradación del almidón.

Dado que los polisacáridos, como el almidón, deben ser degradados en unidades más pequeñas para poder participar en la transformación metabólica, sus uniones glucosídicas deben ser destruidas.

La enzima α -amilasa se encuentra ampliamente distribuida en la naturaleza, es una enzima que permite la digestión de los almidones por la saliva y el jugo pancreático de los animales; también existe en los vegetales y microorganismos. Cuando la α -amilasa actúa sobre la amilosa, se observa una rápida disminución de la viscosidad. La α -amilasa ataca a los polisacáridos en las uniones glucosídicas α -1-4 a lo largo de las cadenas, por lo tanto, los primeros productos de la hidrólisis de la amilosa por la α -amilasa son una mezcla de amilosas de cadena más corta. A medida que avanza la hidrólisis, la α -amilasa libera maltosa y algo de D-glucosa. La α -amilólisis de cadenas largas es un proceso al azar, aunque puede existir cierta preferencia en cuanto al lugar de ataque cuando el sustrato contiene cadenas más cortas. Cuando se somete la amilosa a la acción prolongada de la α -amilasa, la mayor parte de ésta se transforma en glucosa y maltosa, y solo una pequeña

proporción queda como una mezcla de polisacáridos de cadena corta que no sufren una hidrólisis, esta mezcla recibe el nombre de *dextrinas límite de la α -amilasa*.

La α -amilasa también hidroliza a la amilopectina a partir de las cadenas exteriores, hidrolizando las uniones α -(1-4) entre los puntos de ramificaciones, la acción se detiene, sin embargo, unas pocas unidades antes de alcanzar el punto de ramificación, por lo que los productos de la α -amilólisis de la amilopectina son glucosa, maltosa y oligosacáridos, que contienen cinco o más monómeros.

La β -amilasa se localiza exclusivamente en las plantas superiores, las mejores fuentes para su aislamiento son la papa y los granos de cebada germinados. El producto de la β -amilólisis de la amilosa es principalmente maltosa, residuos de glucosa, que proviene del extremo no reductor de las cadenas que contienen un número impar de residuo y dextrinas debido a la presencia de barreras. En el caso de la amilopectina, la acción de la β -amilasa se detiene en la vecindad de un punto de ramificación, resulta así que la β -amilasa hidroliza las cadenas externas de la amilopectina, dejando intacto un gran núcleo de la molécula del polisacárido, delimitado por el punto de ramificación, este residuo recibe el nombre de *dextrinas límite de la β -amilasa*. (Braverman, 1980).

3.5.3 Técnicas e instrumentos para el análisis del almidón.

Dado que las propiedades funcionales del almidón depende del tamaño del gránulo, su estructura cristalina o forma del mismo, se han desarrollado métodos que permiten evaluar estos parámetros en forma sistemática, estos métodos han conducido a un mejor entendimiento de la estructura básica del almidón así como de los cambios que toman lugar en presencia de agua, calor, o de los ingredientes del alimento.

Estos métodos incluyen la microscopía (óptica o de barrido electrónico), la difracción de rayos-X, mediciones de la viscosidad, poder de hinchamiento, cantidad de almidón, cantidad de almidón dañado, contenido de amilosa y amilopectina y grado de gelatinización.

La observación del gránulo de almidón bajo el microscopio de luz se utiliza para estudiar su forma y el microscopio de luz polarizada es muy útil para observar el fenómeno de birrefringencia, también llamada como la cruz de malta. Este fenómeno se usa como indicación de que el gránulo de almidón no ha sido dañado; en el proceso de calentamiento y gelatinización elimina este fenómeno por lo que esta técnica es utilizada para observar el grado de degradación. La microscopía de barrido electrónico ha permitido observar con mayor nitidez la forma de los gránulos y algunos otros aspectos de su superficie e incluso permite observar las diferencias entre gránulos de almidón de distintas especies, así como también es utilizada para observar de que forma afectan los tratamientos tecnológicos en la estructura del gránulo.

La cristalografía de rayos-X permite estudiar la naturaleza cristalina de los gránulos de almidón con ella se han determinado tres tipos distintivos de patrones de rayos x, denominados tipo A aquellos pertenecientes al almidón de cereales como trigo, maíz y arroz; el tipo B dado por los almidones de papa y un tercer tipo, tipo C que es intermedio entre el tipo A y B, si el almidón recristaliza con ácidos grasos o alcoholes de cadena larga se obtiene un cuarto patrón de difracción conocido como tipo V. Esta técnica ha permitido proponer estructuras más detalladas como una doble hélice similar a la estructura del DNA (Chandra y Secaran, 1998).

Se han desarrollado diferentes instrumentos para medir los cambios en la viscosidad de las suspensiones de almidón sometidas a procesos de calentamiento, estos instrumentos básicamente miden los cambios de la viscosidad a medida que se incrementa la temperatura de forma programada y controlada; en estas condiciones una suspensión de almidón es calentada en el equipo bajo una

1

velocidad constante de cizalla y el incremento en la viscosidad es medida como un torque en el aparato quien se encarga de trazar una curva. Diferentes almidones generan distintos perfiles de viscosidad, durante la fase de calentamiento inicial se incrementa la viscosidad conforme los gránulos de almidón se empiezan a hinchar hasta alcanzar un máximo (pico de viscosidad), durante el período de temperatura constante los gránulos se empiezan a romper, se solubiliza más el polímero y la viscosidad disminuye hasta un mínimo (resistencia mecánica). Durante el período de enfriamiento, la amilosa y la amilopectina se reasocian y nuevamente incrementa la viscosidad, fenómeno conocido como retrogradación, dependiendo el tipo de almidón (origen botánico), si es nativo o modificado químicamente, su contenido de sólidos, el pH de la suspensión y el régimen de calentamiento se pueden generar diferentes perfiles de gelatinización, de esta forma, manteniendo las condiciones de operación del equipo constante se pueden evaluar diferencias relativas entre diferentes almidones.

2

También existen procedimientos para determinar el poder de hinchamiento, el contenido de almidón, la cantidad de almidón dañado, el contenido de amilosa y amilopectina (Thomas y Atwell, 1999).

Desde el punto de vista de la industria de los alimentos, las propiedades de pasta de los almidones son críticas para su aceptación en los diversos procesos en los cuales estén involucrados. El proceso de gelatinización de los almidones ha sido ampliamente estudiado a través de observaciones al microscopio de los gránulos hinchados que nos indican la pérdida de birrefringencia y transmitancia de la luz así como del análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC).

El análisis de los almidones a través de DSC proporciona resultados relevantes del fenómeno de orden-désorden de los gránulos. Los datos obtenidos de los termogramas son la entalpía de gelatinización y varias temperaturas asociadas con el fenómeno de gelatinización, (T_0 , T_p y T_c), que corresponden a las temperaturas de inicio, pico y conclusión de gelatinización respectivamente.

Muchas investigaciones sobre la gelatinización de los almidones han sido realizadas con diferentes instrumentos de viscosidad. Pequeños cambios en la estructura del almidón resultan en grandes cambios de la viscosidad de la pasta. La viscosidad de la pasta de almidón depende de la velocidad de movimiento del material representando por tanto un sistema de comportamiento de flujo no-Newtoniano. Las pastas de los almidones son también tixotrópica, es decir exhiben características de gel cuando están en reposo y propiedades de fluido cuando una fuerza de movimiento es aplicada sobre ellos. Por lo tanto, para estudiar los complejos cambios de la formación de la pasta de los almidones, es esencial calentar la pasta bajo condiciones estándares mientras continuamente se registran los cambios de viscosidad. Para ello se han utilizado tres tipos de instrumentos, el amilógrafo, el Ottawa Starch Viscometer (OSV) y el Rapid Visco Analyser (RVA). El RVA se caracteriza por que la acción de mezclado es más rápida y más fuerte que en el OSV, el cual, a su vez es más fuerte que el amilógrafo. Las características del RVA permiten tanto el desarrollo del pico como la descomposición más rápida que el amilógrafo.

Los viscoamilogramas producidos por los tres instrumentos tiene algunas características comunes. El instrumento original, el amilógrafo, da un amilograma consistente de cuatro distintas fases: 1).- Pregelatinización, 2).- Pico de gelatinización, 3).- disminución significativa de la pendiente, como consecuencia de la degradación de la estructura del almidón gelatinizado y 4).- "aumento de la pendiente", o incremento en la viscosidad que sigue al enfriamiento, lo que se conoce como retrogradación del almidón. Aparte de la acción de mezclado más fuerte, el OSV tiene las siguientes ventajas: tamaño de muestra pequeño, velocidad de la fuente variable, detector electrónico y registrador de resultados. Sin embargo, este instrumento es calentado a través de un baño de agua hirviendo, el cual tiene numerosas desventajas, sin embargo produce amilogramas similares a los del amilógrafo.

El RVA tiene algunas ventajas sustanciales sobre el amilógrafo. Estas incluyen tamaños de muestra pequeños, capacidad del control del perfil de temperaturas y capacidad de reportar los resultados en computadora. Los resultados son comúnmente reportados en unidades de Rapid Visco Analyser (RVU) las cuales son aproximadamente equivalentes a cP (centipois) X 10, pero pueden también ser reportados en cP (centipois). El viscograma obtenido consiste de la fase de mezclado a alta velocidad, un pico de gelatinización, disminución significativa de la pendiente como consecuencia de la degradación del almidón hasta la pérdida de la viscosidad del producto, similar al que se obtiene con el amilograma. La mediciones incluyen el pico de viscosidad, el área del pico, el tiempo para obtener el pico, disminución de la pendiente, y viscosidad final, pero existe sólo una corta fase de pregelatinización (Figura 3). La fase de enfriamiento seguida de la gelatinización permite la determinación del grado de retrogradación (Zhou y *col.* 1998).

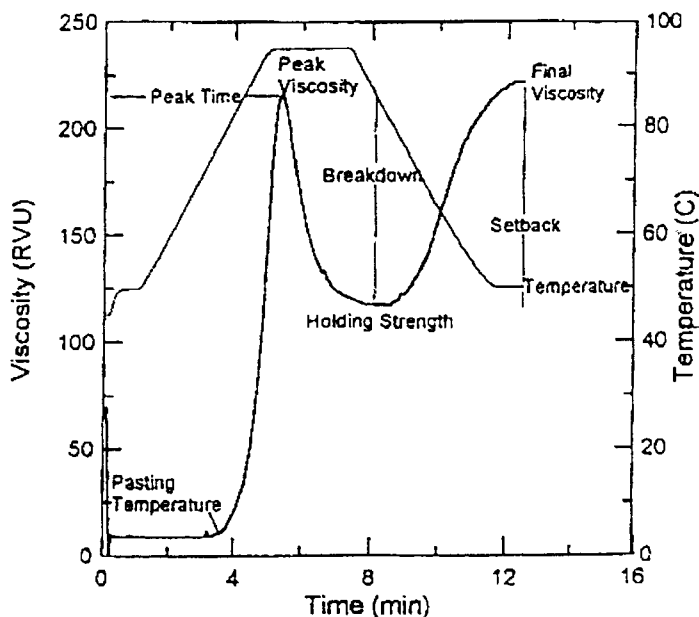


Figura 3.- Reograma típico para el análisis reológico de almidón a través del Rapid Visco-Analyser (Zhou y *col.* 1998).

De acuerdo con Ciacco y Cruz (1985), durante los ensayos para obtener los viscoamilogramas ocurren dos eventos durante la gelatinización:

1.- Cuando el almidón se dispersa, los gránulos se hinchan y virtualmente absorben agua disponible, como resultado, los gránulos se tornan más susceptibles a la desintegración mecánica.

2.- En el inicio de la gelatinización, los componentes solubles del gránulo se difunden hacia un medio líquido. Mientras que los gránulos se hinchan suficientemente y ocupan todo el volumen, lo cual incrementa su viscosidad. En este sistema, los gránulos y fragmentos de estos se adhieren unos a otros, formando una matriz por puentes de hidrógeno que facilita la interacción entre los gránulos lo cual incrementa también la viscosidad.

Las viscosidades al inicio del proceso, aumentan rápidamente hasta un máximo, posteriormente pueden mantenerse o decrecer debido a la acción mecánica del mezclado y finalmente cuando se presenta el proceso de enfriado; los gránulos hinchados se reagrupan.

Por lo anterior en este trabajo se utilizan las diferentes técnicas de análisis de los almidones para generar información respecto de la composición y a sus propiedades fisicoquímicas del almidón de jícama con el objeto de observar sus posibles aplicaciones en la industria de los alimentos.

3.6 Estudios realizados para el aprovechamiento de la jícama.

Los estudios realizados para el desarrollo de productos de la jícama son muy escasos; Juárez y Paredes-López (1994), hicieron pruebas de extracción y el cálculo de rendimiento del jugo de jícama por el método de ultrafiltración, planteando la factibilidad de explotarlo comercialmente.

También Juárez-Goiz (1994) estudió la aplicación de la deshidratación osmótica y congelación para conservar la jícama con efectos relativos en la calidad del producto. Por su parte Sánchez-Pineda y *col.* (1999), aplicaron también la deshidratación osmótica en rodajas de jícama de 6 mm de espesor tratadas con soluciones de sacarosa al 40% y aunque el producto fue estable microbiológicamente, bajo refrigeración por 2 meses; se indicó que no pudo ser tratada con mayores concentraciones de sacarosa debido a factores sensoriales.

Aquino-Bolaños y *col.* (2000), realizaron estudios y establecieron condiciones para conservar jícama mínimamente procesada bajo refrigeración y en atmósferas controladas. En este mismo sentido Amador-Vargas (1999), aportó datos sobre los efectos de la temperatura relación área/volumen de las piezas y aplicó tratamientos térmicos para mejorar la calidad de la jícama mínimamente procesada.

Aunque a nivel artesanal, se han observado la elaboración de algunos productos en conserva de esta raíz, la evaluación sistemática de este proceso no se ha realizado y parece haber una falta de estudio sobre la posibilidad de desarrollar otro tipo de producto que permita evaluar la factibilidad de la utilización de jícama en esos procesos, por ello este trabajo aporta información respecto a la extracción y envasado de jugo de jícama; así como la conservación de jícama con su propio jugo.

IV OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Caracterizar fisicoquímicamente el almidón extraído de dos especies de jícama y evaluar sus posibles usos en los alimentos; así como aplicar tecnologías existentes para el envasado de jugo de jícamas y rebanadas de jícama en conserva.

4.2 Objetivos específicos:

4.2.1 Realizar un estudio comparativo del almidón de dos especies de jícama (*P. erosus* y *P. ahipa*) así como de papa y maíz para observar las posibilidades de uso en la industria de los alimentos.

4.2.2 Extraer el jugo de jícama y desarrollar formulaciones del mismo, además evaluar sus posibilidades de aceptación y almacenamiento a través de pruebas sensoriales.

4.2.3 Desarrollar un producto en conserva de jícama, utilizando su propio jugo como líquido de gobierno y evaluar su cambio sensorial durante el almacenamiento.

V MATERIALES Y METODOS

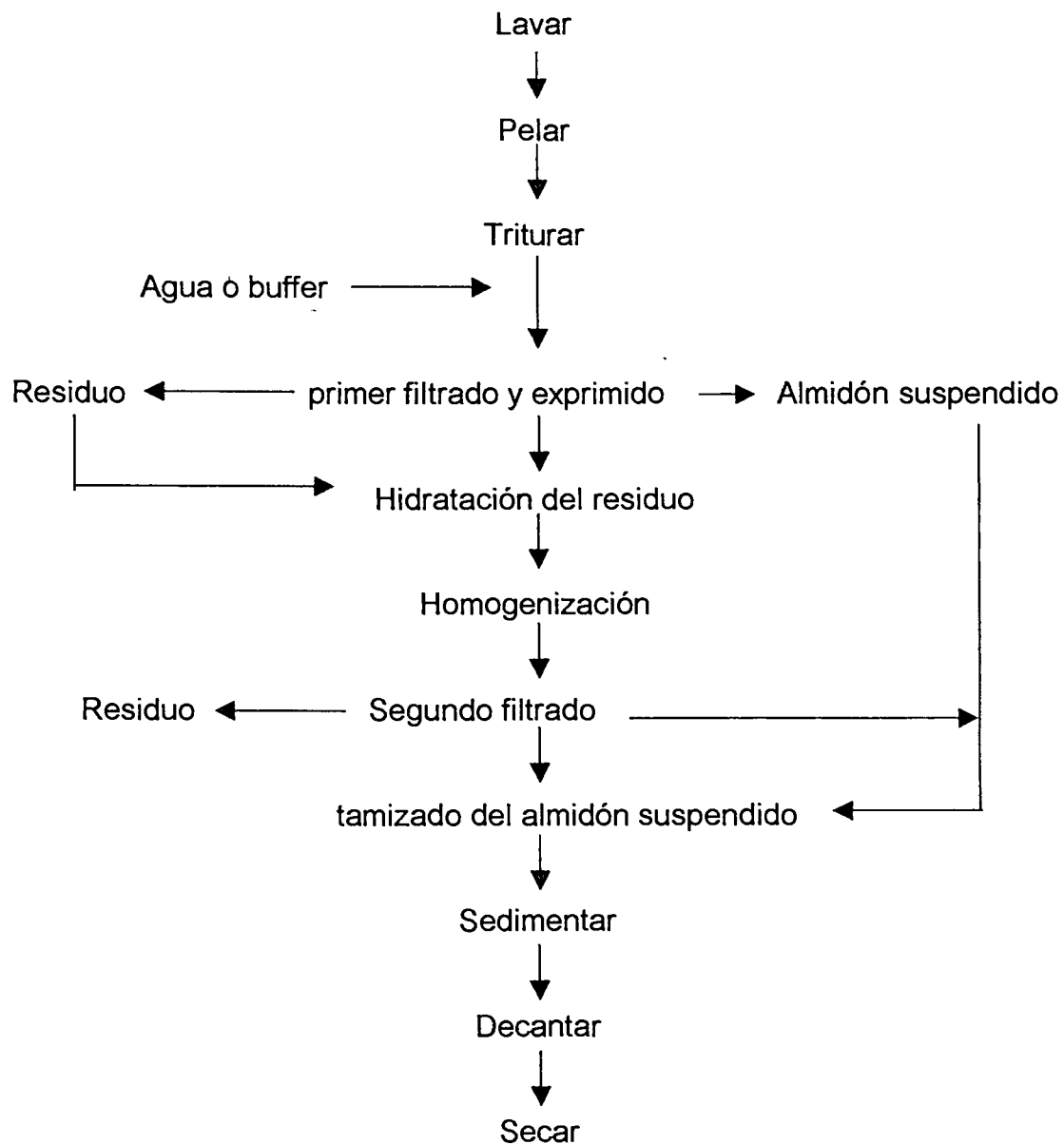
5.1 Material biológico

La jícama *P. erosus* variedad "Cristalina" reventada se trasladó desde Nayarit, al Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas de la Universidad Autónoma de Querétaro, también se utilizaron jícamas producidas en el estado de Guanajuato. La jícama *P. ahipa* fue proporcionada por el Campo Experimental del INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Forestal y Agro Pecuarías del Bajío) de Celaya, Gto. El almidón de papa (marca Emsland-Start GMBH, lote NBB-13-14) y el almidón de maíz (Almidón nativo, lote 138969, elaborado por Almidones Mexicanos S.A. de C.V.).

5.2 Métodos utilizados para el estudio del almidón.

5.2.1 Extracción.

La extracción de almidón de las dos especies, se llevó acabo a través de dos procedimientos; extracción con agua y con buffer (ácido cítrico-fosfato, pH 4.0, anexo 3), tomando como referencia el método propuesto por Mélo y *col.* (1994) y el cual se describe en el diagrama siguiente:



Una vez obtenidos los sedimentos de almidón, estos se lavaron y purificaron mezclándolos con agua para hacer una dispersión, se dejaron resedimentar repitiendo el mismo proceso tres veces con el objeto de purificar lo más posible el almidón. Una vez obtenidas las muestras de almidón estas se colocaron en charolas de aluminio y se secaron en una estufa a 45°C bajo corriente de aire durante 24 hr. Las muestras secas se molieron en un molino Cemotec para lograr un tamaño de partícula equivalente a un tamiz N.- 40. El almidón obtenido se envasó en frascos de plástico que se mantuvieron a 4°C.

5.2.2 Análisis bromatológicos.

Se realizó de acuerdo a las técnicas descritas por la A.O.A.C, (1997) analizándose el contenido de humedad, materia seca, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda, cenizas, extracto libre de nitrógeno (E.L.N.), calcio y fósforo.

5.2.3 Contenido de almidón.

Para la determinación de almidón, se utilizó un kit de análisis enzimático de la Compañía Sigma Aldrich; STARCH ASSAY KIT, kit STA-20 el cual contiene una mezcla de α -amilasa, amiloglucosidasa y peroxidasa. El principio de esta técnica es el siguiente:

La hidrólisis de almidón a glucosa es catalizada por las enzimas α -amilasa y amiloglucosidasa. La glucosa es oxidada a ácido glucónico y peróxido de hidrógeno a través de una glucosa oxidasa. El peróxido de hidrógeno reacciona, en la presencia de peroxidasa, con ortodiasinidina reducida para formar un producto oxidado de la ortodiasinidina el cual tiene un color café que en presencia de ácido sulfúrico forma un producto de color rosa más estable. La intensidad del color rosa, medida a 540 nm, es proporcional a la concentración original de glucosa.

Preparación de la muestra.

Se molió la muestra y se pasó por un tamiz del No. 40. Se pesaron 50 mg de muestra en tubos de ensayo, se adicionaron 5 ml de etanol al 80 % y se incubaron a 80-85 °C por 5 minutos, se mezcló cada contenido de los tubos y se le añadió nuevamente 5 ml de etanol, se centrifugaron los tubos por 10 min a 1000g; el sobrenadante se desechó y el precipitado se volvió a resuspender en 10 ml de etanol al 80%, nuevamente se centrifugó por 10 min a 1000g, se descartó nuevamente el sobrenadante, y al precipitado se le adicionó 2 ml de dimetilsulfoxido (DMSO); se mezcló y se incubó por 5 min en un baño de agua caliente; posteriormente se le adicionó 0.2 ml de etanol al 80 % a cada muestra. En

forma simultanea se llevó un blanco al cual se colocaron los mismos reactivos aunque sin la muestra. Posteriormente se adicionaron 3 ml de agua tridestilada y 0.02 ml de α -amilasa (reactivo 1 del kit) a cada muestra incluyendo al blanco, se mezcló e incubó por 5 minutos en baño de agua caliente, se dejó enfriar y se llevó a un volumen de 10 ml con agua tridestilada y se mezcló. A un mililitro de cada tubo y del blanco reactivo, se les adicionó 1 ml de solución amiloglucosidasa (reactivo 2 del kit), se agitaron los tubos e incubaron por 15 min a 60°C en baño de agua caliente con agitación, se removieron los tubos y se dejaron enfriar, después se diluyó 1 ml de cada muestra y del blanco de reactivo en 10 ml de agua tridestilada.

Determinación de glucosa.

La cantidad de la glucosa a través de las enzimas amilasa y glucosidasa fue medida a través de otro ensayo enzimático con la glucosa oxidasa y peroxidasa. 0.8 ml del reactivo de O-diasinidina fueron añadidos a la mezcla de enzimas y se conservó bajo refrigeración a 2-8°C. Al momento de la determinación se prepararon una serie de tubos con las siguientes cantidades:

Reactivo	blanco (st)	estándar	blanco reactivo	muestras
agua desionizada (ml)	1.0	0.950		
estándar de glucosa en solución (ml)		0.50		
blanco de digestión de almidones (ml)			1.0	
Muestra de digestión de almidones (ml)				1.0

En el tiempo cero se inició la reacción añadiendo 2.0 ml del reactivo preparado para el primer tubo mezclándolo y dejándolo un intervalo de 30-60 seg. entre los distintos tubos de análisis. Posteriormente los tubos se incubaron a 37°C durante 30 min. La reacción se detuvo por la adición de 2 ml de ácido sulfúrico 12 N. Posteriormente se midió la absorbancia de cada tubo a 540 nm. Los cálculos fueron llevados a través de las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{\% de almidón} &= \frac{(\Delta \text{ abs muestra})(\text{SDF})(F)(\text{SF})(\text{VGA})(\text{MWF})(100)}{(\text{factor de conversión de } \mu\text{g a mg})(\text{peso de la muestra en mg})} \\ &= \frac{(\Delta \text{ abs muestra})(50 / \Delta \text{ abs estándar})(10)(2)(10)(0.9)(100)}{(1000)(\text{peso de la muestra en mg})} \\ &= \frac{(\Delta \text{ abs muestra})(9\ 000)}{(\Delta \text{ abs estándar})(\text{peso de la muestra en mg})} \end{aligned}$$

Δ abs estándar = Abs del estándar – Abs del blanco (st).

Δ abs muestra = Abs muestra – Abs del blanco reactivo.

F = μg glucosa en estándar / Δ abs de estándar en 540 nm = 50/ Δ abs₅₂₀.

V = Volumen inicial de la muestra (de la preparación de la muestra).

SF = Volumen total para el ensayo de almidón / volumen del ensayo de la muestra.

VGA = Volumen inicial de la muestra del ensayo de glucosa.

SDF = Factor de dilución y del ensayo de almidón.

MWF = Peso de la molécula de almidón / Peso de la molécula de glucosa.

MWF = 162/180=0.9

5.2.4 Análisis microscópico.

Con la observación microscópica del almidón se evaluó la forma y tamaño de los gránulos de almidón; se preparó una suspensión de almidón en agua al 1% y se observaron los gránulos en un microscopio de luz usando los objetivos 40x y 100x. El microscopio estuvo conectado a una computadora, la cual permitió medir el diámetro del gránulo (Ramírez-Ascheri, 1987).

5.2.5 Almidón dañado.

Se utilizó el método descrito por Williams y Fegol (1969). A un gramo de muestra de almidón se añadieron 25 ml de solución extractora (anexo 3) durante 15 min a 50 °C con agitación periódica cada 5 min; después se adicionó 0.25 g de celita con agitación breve y se dejó reposar durante 10 min y posteriormente se filtró. Alícuotas de 10 ml del filtrado se pusieron con 10 ml de solución diluyente (anexo 3) en tubos de ensayo; se añadió 0.5 ml de reactivo de yodo (anexo 3), se mezcló cuidadosamente dejando reposar en un baño con agua a 30 °C hasta el desarrollo de color. Posteriormente se leyó la absorbancia a 555 nm y se comparó contra un blanco reactivo.

Los valores de almidón dañado fueron expresados en unidades equivalentes Farrand (FEU), utilizando la ecuación de regresión dada por la literatura:

$$x = 0.286 + 50.3 y$$

Donde:

x = Unidades Farrand

y = Valor de absorbancia

Para transformar las unidades Farrand a % de almidón dañado se utilizó la siguiente ecuación (AACC, method 76-31):

Unidades Farrand = $(5.2 \times \%SD) - 10.3$; donde SD = almidón dañado

Por lo que:

$$\%SD = (Farrand + 10.3) / 5.2$$

5.2.6 Contenido de amilosa.

Para determinar el contenido de amilosa, se siguió el método descrito por McCready y Hassid (1943). Esta determinación también se conoce como "Blue Value" ó valor azul. A 0.5 g de muestra se le agregó 1 ml de agua en un matraz aforado, adicionando 0.5 ml de solución de NaOH 1N, se calentó por 3 minutos en un baño de agua hirviendo. Se enfrió y neutralizó con HCl 1N, después se le adicionó 1 mg de bitartrato de potasio, se diluyó con agua hasta 45 ml, después se adicionó 0.5 ml de solución de Yodo, se mezcló y dejó reposar durante 20 min a temperatura ambiente. Se midió la absorbancia a 680 nm. Se corrió un blanco sin la muestra como referencia.

$$\text{Blue Value} = \frac{\text{Absorbancia} \times 4}{C(\text{mg/dl})}$$

Donde C es la concentración de la solución de carbohidratos, la cual fue de 5 g/ml ó 0.050 mg/dl, se comparó la absorbancia corriendo amilosa pura junto con las muestras como una estándar, siendo una medida del contenido de amilosa, el cual se tomó como el 100%.

5.2.7 Densidad absoluta.

La densidad absoluta del almidón se determinó por el método descrito por Schoch y Leach, (1964), basándose en el desplazamiento de líquido por la muestra y utilizando un picnómetro de 25 ml.

El picnómetro seco, se pesó y llenó con agua destilada manteniéndola a 30°C por 15 min posteriormente se volvió a pesar.

El volumen del picnómetro fue determinado por la fórmula:

$$\text{Volumen del picnómetro} = \frac{\text{peso del agua}}{0.99567}$$

Donde 0.99567 es la densidad del agua a 30°C.

Se repitió la operación usando xileno en lugar de agua para obtener la densidad del xileno. Se repitió nuevamente la operación adicionándole 5 g de almidón al xileno. La densidad del almidón se determinó por la formula:

$$\text{Densidad} = \frac{(a \times d)}{a+b-c}$$

Donde: a = peso del almidón (g)

b = peso del picnómetro con xileno (g)

c = peso del picnómetro con xileno y almidón (g)

d = densidad del xileno.

5.2.8 Capacidad de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.

Esta prueba se determinó utilizando el método descrito por Anderson y *col.*, (1969); 2.5 g de almidón se suspendieron en 30 ml de agua dentro de tubos de centrifuga de 50 ml, previamente pesados. Se mantuvo la suspensión a 30°C por 30 min. con agitación intermitente y posteriormente se centrifugó en una centrifuga J2 MC Beckman a 300 rpm por 10 min. El sobrenadante se separó y el residuo se pesó. El sobrenadante se deshidrató en una estufa a 105°C hasta peso constante. La capacidad de absorción de agua (CAA) se expresó como la relación entre el peso del residuo centrifugado y el peso seco de la muestra, al cual se le restó el peso del residuo de evaporación del sobrenadante:

$$CCA = \frac{\text{Peso del residuo del centrifugado}}{\text{Peso de la muestra} - \text{peso del residuo del sobrenadante}}$$

El índice de solubilidad en agua (ISA) se expresó como la relación entre el residuo que se evaporó y el peso seco de la muestra.

$$ISA = \frac{\text{Peso del residuo de la evaporación} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

5.2.9 Poder de hinchamiento e índice de solubilización.

Se utilizó el método descrito por Leach y *col.* (1959); 1 g de almidón se transfirió a tubos de centrifuga, a cada tubo se le adicionó 40 ml de agua destilada, se agitaron y se pesaron, después se calentó cada suspensión en un baño María a distintas temperaturas, desde 50°C hasta 95 °C, con intervalos de 5 °C; usando una muestra para cada temperatura, después del tiempo de incubación, los tubos se centrifugaron en una centrifuga J2 MC Beckman a 3500 rpm por 15 min. El sobrenadante se retiró para determinar la solubilidad, evaporándolo en una estufa a 105 °C.

El poder de hinchamiento (PI) se calculó por la fórmula:

$$PI = \frac{\text{Peso del residuo después de centrifugado}}{\text{Peso de la muestra} - \text{peso de residuo del evaporado}}$$

El índice de solubilización (IS) se determinó por la siguiente fórmula:

$$IS = \frac{\text{Peso del residuo después de la evaporación} \times 100}{\text{Peso de la muestra}}$$

5.2.10 Análisis reológicos.

Se utilizó un equipo Rapid Visco Analyzer (RVA), 1992. (New port Scientific, Foss Food Technology de cilindros concéntricos); para observar el comportamiento viscoamilográfico de los distintos almidones. 1 g de almidón se colocó en el compartimiento para muestra del equipo, se le adicionó agua destilada hasta alcanzar un peso total de 28 g, el equipo cuenta con un sensor que transfiere la señal de viscosidad a una computadora. La muestra fue homogenizada por 10 s. La velocidad de rotación se ajustó a 75 rpm. Se inició el calentamiento a 50 °C con agitación constante. Se utilizó un programa de tiempo-temperatura de 1 minuto a 50 °C, y una velocidad de calentamiento de 5.6 °C por minuto hasta alcanzar los 92 °C permaneciendo constante a esa temperatura durante 5 minutos. Posteriormente la temperatura descendió a la misma velocidad hasta la temperatura final de 50 °C. El tiempo de la prueba fue de 22 min. Los resultados fueron obtenidos en forma gráfica en centipois, contra la temperatura (°C) de la solución durante el tiempo que transcurrió el análisis.

5.2.11 Patrón de difracción de rayos-X.

El patrón de difracción de rayos-X se efectuó usando un difractómetro Rigaku, operado a 35 kV, 15 mA con la radiación incidente de 1.5406 \AA generados de una fuente de Cu. Los difractogramas se obtuvieron en un rango de 2 a 30° en una escala de 2° . Los datos se reportaron en valores de distancias interplanares expresadas en Å utilizando la ley Bragg. El equipo cuenta con el software necesario para poder distinguir los picos de difracción y la radiación de fondo no coherente, de tal forma que permitió observar los patrones de difracción de rayos-X.

5.2.12 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC).

Se usó el manual del equipo DSC 720 Mettler Toledo. La muestra fue preparada con 70% de humedad y 30% de sólidos, la prueba se corrió desde 30°C hasta 100°C , a una velocidad de calentamiento de 10°C por minuto, el equipo está conectado a una computadora la cual nos da los termogramas.

5.2.13 Digestibilidad.

La digestibilidad del almidón se determinó usando el método descrito por Singh, (1982). La muestra se preparó usando 1 ml de buffer de fosfato 0.2 M a pH 6.9, al cual se le adicionó 50 mg de almidón. 20 mg de enzima amilasa pancreática se disolvieron en 50 ml de buffer de fosfato 0.2 M a pH 6.9 (solución enzimática). Posteriormente se adicionó 0.5 ml de la solución enzimática a la muestra y se incubó a 37°C por 2 hrs; después del período de incubación, se le agregó rápidamente 2 ml de ácido 3-5 dinitrosalicílico 0.02 M; se mezcló y calentó por 5 min. en un baño de agua hirviendo, se enfrió, y se completó a un volumen de 25 ml con agua destilada, después se filtró y se midió la absorbancia a 550 nm., usando un blanco reactivo.

población de consumidores; la desviación estándar proporcionó la discrepancia de los consumidores respecto de dicha opción (Pedrero y Pangborn, 1989).

5.5.2 Prueba de preferencia .

El objetivo de esta prueba es ordenar de acuerdo con las opciones de un grupo de consumidores, un par o una serie de muestras de acuerdo con la apreciación personal de cada una de ellos. Instrucciones dadas a los panelistas fueron:

- a) Ordenar, de izquierda a derecha, las tres muestras que se le presentaron, desde la que más prefirió hasta la que menos prefirió.
- b) Indicar la secuencia numerada (del 1 al 3), el orden de mayor a menor preferencia, de estas muestras.

Para el análisis de los datos, éstos se tabularon y se analizaron como se expresa en un análisis de ordenamiento de rangos según Pedrero y Pangborn, (1989).

VI RESULTADOS Y DICUSIÓN.

6.1.1 Extracción del almidón.

El porcentaje de extracción a partir del material fresco de jícama de las dos especies fue el siguiente:

<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	13%.
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	12%.
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	3.0%.
<i>P. erosus</i> extraído con agua	2.5%.

Como se observa, el contenido de almidón extraíble en *P. ahipa* fue 4 veces mayor que el mostrado por *P. erosus* y por lo tanto hace más importante aquella especie en el uso de este producto.

El mayor contenido de almidón en la especie *P. ahipa* se correlacionó con su mayor contenido de materia seca respecto de *P. erosus*; como lo indicó Ramírez-Moreno (1999) quien reportó valores de materia seca de 18 a 20% para *P. ahipa* y de 9 a 10% para *P. erosus*.

Desde el punto de vista de extracción; el uso del buffer (pH 4) no afectó grandemente la recuperación del almidón; inicialmente se pensó que el uso de este buffer podría afectar la recuperación de almidón, ya que al hacerse las homogenizaciones de la pulpa y dejarse sedimentar, estas dieron la apariencia de tener una mayor proporción de sedimento y probablemente de almidón, pero los datos indican que dentro de ese sedimento estaban probablemente otros componentes diferentes que fueron separados durante el lavado de almidón.

Ciacco y Cruz (1985), indicaon que los almidones fosfatados son obtenidos a través de la mezcla en seco de los almidones ligeramente húmedos con una solución de

ortofosfato mono o disódico, después esta mezcla se seca hasta 10% de humedad y posteriormente es llevada a altas temperaturas (120-170°C) durante una hora añadiendo el binomio tiempo-temperatura determina los grados de fosfatación del almidón; para remover el exceso de sales libres, la mezcla es lavada con metanol y secada nuevamente, el almidón así obtenido es soluble o parcialmente soluble en agua fría. Las condiciones descritas para llevar a cabo este proceso permiten suponer que la extracción a través del buffer en frío de los almidones de jícama probablemente no formaron enlaces monoéster o diéster fosfato y que solamente hubo una interacción electroquímica entre los componentes del sistema que fue disminuida cuando los almidones se sometieron a los procesos de lavado con agua fría.

6.1.2 Análisis bromatológicos de los almidones extraídos.

En el Cuadro 6 se muestra la composición bromatológica de los almidones de las dos especies de jícama.

Cuadro 6.- Composición bromatológica del almidón de dos especies de jícama.

Descripción	<i>P. ahipa</i> buffer	<i>P. ahipa</i> agua	<i>P. erosus</i> buffer	<i>P. erosus</i> agua
Humedad	11	11.15	11.2	11
Materia seca %	89	88.85	88.8	89
Proteína cruda B.S %	1.52	1.44	1.88	1.88
Extracto etéreo B.S %	0.14	0.02	0.30	0.14
Fibra cruda B.S %	2.79	2.62	0.56	2.28
Cenizas B.S %	1.03	0.13	1.49	0.16
E.L.N. B.S %	94.52	95.79	95.79	95.54
Calcio ppm	55	77	0	165
Fósforo %	0.22	0.00	0.33	0.00

E.L.N: Extracto libre de nitrógeno

El contenido de humedad y materia seca se encuentra dentro de los límites para la gran mayoría de los almidones reportados por Thomas y Atwell, (1999) y Ciacco y Cruz, (1985). No obstante, el contenido de proteínas fue alto en todos los tipos de almidón. De acuerdo con Thomas y Atwell (1999), el contenido de proteínas en almidones extraídos de cereales varía entre 0.25 a 0.4% y alrededor del 0.1% para los almidones de raíces como la papa haciéndose evidente el alto valor de los almidones de jícama respecto de estos materiales de referencia. La razón de este alto contenido puede ser debido a que en el procedimiento de extracción aplicado no fue diseñado para disminuir el contenido de proteínas, esto es extraer con soluciones salinas para las proteínas de superficie, o con dodecil sulfato sódico o soluciones alcalinas para las proteínas integrales.

El contenido de lípidos fue menor que los reportados para almidones de cereales aunque mayores que los almidones de raíces (cuadro 7). Sin embargo, los almidones extraídos con buffer mostraron mayor contenido de lípidos.

Mélo y *col.* (1994) indicaron una composición del almidón de jícama extraído con agua con valores de 0.17% de proteínas; 0.33% de lípidos, 0.14% de fibra cruda y 0.06% de cenizas. Todos estos valores son menores a los aquí encontrados debiéndose estas diferencias probablemente a un menor número de lavados de los sedimentos de los almidones. El mayor contenido de cenizas en los almidones extraídos con buffer fue claramente el resultado de la presencia de esta sal en los almidones.

Debido a que la extracción del almidón es generalmente un proceso de fraccionamiento húmedo y purificación, la cantidad residual de lípidos y proteínas está en función de la eficacia del proceso de molienda (aislamiento de almidón). Las técnicas novedosas de molienda, tales como un lavado alcalino en la molienda del almidón de maíz, puede significativamente reducir los niveles residuales de lípidos y proteínas (Davies, 1995).

En el Cuadro 7 se muestra el contenido de lípidos y proteínas recopilados por Davies (1995) para los almidones más comunes con el fin de resumir los valores de referencia y compararlos con los obtenidos para la jícama.

Cuadro 7- Contenido aproximado de proteínas y lípidos de almidones más comunes.

Almidón	Maíz normal	Maíz ceroso	Trigo	Papa	Yuca
Proteína %	0.35	0.25	0.4	0.1	0.1
Lípidos %	0.80	0.20	0.90	0.1	0.1

Aunque como ya fue mencionado, los almidones de tubérculos y raíces contienen menos lípidos y proteínas comparados con los almidones de cereales, su importancia no radica en el contenido nutricional que aportan, más bien los residuos de lípidos y proteínas pueden influir el proceso de gelatinización, y de forma más importante es el efecto de esos componentes sobre el perfil de sabor de almidón; por ello comparado con los almidones de cereales, el almidón de los tubérculos es considerado como muy suave debido a las pequeñas cantidades de lípidos y proteínas que contienen.

Aunque algunas fuentes de almidones son inherentemente "libres" de lípidos y proteínas, en la mayoría de los casos los niveles de estos compuestos están directamente relacionados con los procesos usados para la extracción de los almidones.

La mayor cantidad de proteína y fibra en los almidones de jícama, nos puede indicar que es necesario un lavado más eficiente.

El contenido de fibra cruda fue notablemente alto; esto también indica que los procedimientos de lavado del almidón no fueron suficientes. En tanto que el contenido de cenizas fue alto para los almidones extraídos con buffer y aquellos extraídos con agua estuvieron por debajo de los valores de referencia. Se considera que el contenido de cenizas debe ser menor que 0.5% en base seca.

6.1.3 Contenido de almidón de los extractos de almidón.

La pureza del almidón en los extractos de las jícamas, fue mayor (alrededor del 1% en *P. ahipa* y de alrededor del 3% en *P. erosus*) con los procedimientos de extracción con buffer pH 4, como se muestra en el Cuadro 8. Estos resultados no serían los esperados si se considera que los almidones de las uniones con los grupos fosfatos contribuirían a formar almidones más solubles y por lo tanto reducirían el contenido de almidón en las muestras ya que estas se sometieron al proceso de lavado.

Cuadro 8.- Contenido de almidón en los extractos de dos especies de jícama.

Almidón	% de almidón base húmeda	% de almidón base seca
<i>P. ahipa</i> extraída con buffer	74.95	84.17
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	73.57	82.80
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	77.30	87.00
<i>P. erosus</i> extraído con agua	74.58	83.83

Los resultados aquí encontrados son menores que los reportados por Alvarado y col. (1999) y por Mélo y col. (1994) quienes reportan contenidos de 95 y 87% respectivamente para *P. erosus*, no se tiene una explicación clara al respecto, pero estas diferencias pueden ser debidas a varias causas como la variabilidad propia de las muestras y las condiciones de almacenamiento de la jícama que pudiera facilitar la degradación del almidón.

6.1.4 Forma y tamaño del gránulo de almidón.

En el Cuadro 9 se resumen las formas y tamaños de los gránulos de almidón observados para diferentes almidones.

Cuadro 9.- Forma y tamaño de los gránulos almidones de jícama, maíz y papa.

Almidón	Tamaño del gránulo (μm)	Forma del gránulo
<i>P. ahipa</i> extraída con buffer	15-35	Redondo, poligonal
<i>P. ahipa</i> extraída con agua	15-35	Redondo, poligonal
<i>P. erosus</i> extraída con buffer	3-16	Redondo, poligonal
<i>P. erosus</i> extraída con agua	10-20	Redondo, poligonal
Maíz	10-23	Redondo, poligonal
Papa	20-100	Redondo, oval

Los gránulos de almidón de jícama presentaron una forma poligonal redonda similar a la mostrada por los gránulos de almidón de maíz. Mientras que el tamaño, fue menor para el almidón de *P. erosus*.

Mélo y col. (1994) reportaron un tamaño de 8.5 μm de largo y diferentes formas (redondas, en forma de copa o bicóncavas).

Se dice que el tamaño, forma y estructura de los gránulos de almidón varía entre distintas fuentes botánicas, además que el diámetro de los gránulos, varía desde 1 hasta 100 μm y las formas pueden variar desde regulares (esféricas, ovoideo, angular) hasta totalmente irregulares como se puede observar en el Cuadro 10 extraído de la bibliografía.

Cuadro 10.- Aproximación de forma y tamaño de almidones comunes.

Fuente	Maíz normal	Maíz ceroso	Trigo	Arroz	Papa	Yuca
Origen	Cereal	Cereal	Cereal	Cereal	Tubérculo	Raíz
Diámetro μm	5-30	5-30	1-45	1-3	5-100	4-35
Forma	Poligonal, redondo	Poligonal, Redondo	Redondo,	Poligonal, esférico,	Ovalado, esférico	Ovalado

(Alexander, R.J., 1995)

6.1.5 Almidón dañado.

Durante el proceso usado para extraer o purificar, el almidón, se daña, es decir, sufre una quiebra mecánica. El gránulo se vuelve más higroscópico que el almidón nativo; así como también es más susceptible a la hidrólisis enzimática por la α -amilasa. Esta propiedad es usada para cuantificar la cantidad de almidón dañado en una muestra (Thomas y Atwell, 1999). El Cuadro 11 resume estos valores, los cuales en general variaron entre 1 y 4%; sin embargo, para *P. ahipa* extraída con agua se observó un mayor porcentaje lo cual indica un mayor daño en este material. Un aspecto importante a considerar es que los procedimientos de extracción y secado de estos almidones pueden afectar de una manera drástica estos factores y con ello alterar el comportamiento reológico esperado de ese producto. Por ejemplo un secado inadecuado puede incrementar la cantidad de almidón dañado.

Cuadro 11.- Porcentaje de almidón dañado en almidones de jícama, maíz y papa.

Almidón	Almidón dañado %
<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	2.36
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	10.95
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	2.10
<i>P. erosus</i> extraído con agua	4.50
Maíz	2.40
Papa	2.31

Radley (1976), menciona que el incremento de gránulos de almidón dañado pueden afectar las propiedades reológicas del gel, y esto puede ser alguna desventaja para su aplicación en distintos productos alimenticios.

6.1.6 Contenido de amilosa.

Esta determinación también se conoce como "Blue Value". La reacción característica del almidón, se debe a que la fracción de amilosa absorbe de 18 a 20% de su peso de yodo; el producto azul resultante, es un compuesto de inclusión, en el cual las moléculas de yodo entran en los espacios abiertos en el centro de una hélice de las unidades de glucosa que forman la molécula de amilosa; la amilopectina absorbe sólo 0.5 a 0.8 % de yodo (Perusquia, 1968). En el cuadro 12 se muestran las cantidades de amilosa en los almidones de jícama así como el del maíz y papa.

Cuadro 12.- Contenido de amilosa en almidones de jícama, maíz y papa.

Almidón	Absorbancia	B.V.	% de amilosa
<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	0.2616	0.2093	24.30
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	0.2663	0.2130	24.35
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	0.2528	0.2000	23.04
<i>P. erosus</i> extraído con agua	0.2502	0.2093	23.10
Maíz	0.2262	0.1809	20.85
Papa	0.1900	0.1520	17.50
Amilosa pura	1.0850	0.8680	100.00

Estos datos son similares a los reportados por Mélo y col. (1994) para el caso de almidón de *P. erosus*. Sin embargo, no se encontraron resultados reportados para el caso de *P. ahipa*. Los valores obtenidos muestran un mayor contenido de amilosa en estos almidones, lo que concuerda con su mayor digestibilidad reportada por Mélo y col. (1994) ya que esta fracción del almidón es más susceptible al ataque de la α -amilasa. Thomas y Atwell (1999), reportan valores de 25% de amilosa para almidón de maíz y de 17 a 20% para yuca y papa.

6.1.7 Densidad absoluta.

El Cuadro 13 muestra los valores de densidad absoluta para los distintos almidones de jícama, maíz y papa. El almidón de jícama *P. ahipa* extraído con agua tuvo una mayor densidad que el extraído con buffer. Esto indica un mayor empaquetamiento del almidón extraídos con agua. Es probable que la presencia de los iones fosfato dentro de las moléculas de almidón y sus interacciones electroquímicas generen un ambiente iónico en la molécula que no permita un mayor empaquetamiento de la misma. Mientras que el almidón de jícama *P. erusus* extraído con buffer y agua fue similar.

Cuadro 13.- Densidad absoluta de los almidones de jícama, maíz y papa.

Almidón	Densidad gr/ml
<i>P. ahipa</i> extraída con buffer	1.4120
<i>P. ahipa</i> extraída con agua	1.5380
<i>P. erusus</i> extraída con buffer	1.4986
<i>P. erusus</i> extraída con agua	1.5064
Maíz	1.4100
Papa	1.4160

Los resultados encontrados para el almidón de *P. erusus* extraído con agua son similares a los encontrados por Mélo y col. (1994). Sin embargo, los valores encontrados para los almidones extraídos con buffer fueron menores. Shadrach O. y col. (1999), mencionan que la densidad es significativa en relación al empaquetamiento del almidón, y la diferencia entre la extracción con buffer con la del agua, es que los extraídos con buffer puedan requerir mayor espacio de empaquetamiento.

6.1.8 Capacidad de absorción de agua e índice de solubilidad en agua.

La capacidad de absorción de agua fue elevada para los almidones de jícama y comparable con la mostrada por el almidón de papa, mientras que el almidón de maíz mostró un valor más bajo (cuadro 14). Esta propiedad es importante cuando se piensa en un almidón que puede ser utilizado para retener agua en un alimento. Estos datos, nos muestran que el almidón de jícama es capaz de absorber casi tres veces su peso en agua.

Paredes-López y *col*, (1989), mencionaron que esta diferencia de capacidad para absorber agua puede ser atribuido a diferencias en el grado de asociación intermolecular entre los polímeros de los almidones, debido a la fuerza de asociación de sus hidrógenos y enlaces covalentes. Los valores bajos de absorción pueden estar relacionados con una asociación cercana de estos polímeros.

En forma parecida, el índice de solubilidad también fue muy alto para los cuatro almidones e incluso por arriba del mostrado para el almidón de papa. Estos valores también hacen referencia del grado de digestibilidad que estos tienen.

Cuadro 14.- Capacidad de absorción de agua de almidones de jícama, maíz y papa.

Almidón	Capacidad de absorción de agua g/g	Índice de solubilidad %
<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	2.5680	2.6554
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	2.8660	2.8660
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	2.5330	3.2017
<i>P. erosus</i> extraído con agua	2.6150	2.9197
Maíz	0.6000	0.5333
Papa	2.3990	1.0566

6.1.9 Poder de hinchamiento e índice de solubilización.

Este parámetro nos permite observar la capacidad que tienen los gránulos de almidón para absorber agua a distintas temperaturas; lo cual podría ocurrir en un alimento que se somete a diferentes regímenes de calentamiento. Para obtener esta información es necesario que la gelatinización de los gránulos del almidón sean conducidas en exceso de agua, permitiendo que los gránulos puedan hincharse libremente sin desintegración mecánica (Ciacco y Cruz, 1985).

El poder de hinchamiento de almidones de jícama, maíz y papa, se muestran en la Figura 4. Los almidones de las dos especies de jícama mostraron un rápido incremento de su poder de hinchamiento de 2.4 hasta 8 g/g hasta los 60°C para posteriormente reducir este incremento y aumentar paulatinamente hasta valores de 12 a 14 g/g, cuando han alcanzado la temperatura de 95°C. Un comportamiento similar se observó para el almidón de maíz, sin embargo, el incremento se dió a partir de 60°C con valores de 2 g/g a 70°C, para finalmente alcanzar valores de 12 g/g a 95°C, en tanto que para el caso del almidón de papa, el poder de hinchamiento se incrementó fuertemente a partir de los 55°C, después presentó una meseta a los 70°C y volvió a incrementarse fuertemente a partir de lo 85°C para terminar en un valor máximo de 28 g/g a los 95°C. Esta propiedad de poder de hinchamiento está directamente relacionada con las propiedades reológicas que el almidón despliegue durante su calentamiento; siendo mas alta su viscosidad cuando mayor poder de hinchamiento tenga a la temperatura considerada.

De acuerdo con Ciacco y Cruz (1985), las diferencias observadas entre diferentes almidones se deben al tipo de estructura cristalina, la cual depende del grado de asociación intermolecular existente entre los componentes del almidón. Entre estos factores se pueden destacar la proporción de amilosa y amilopectina, su peso molecular y extensión de las cadenas externas de la amilopectina. También se anota que los almidones que muestran dos etapas en la curva de hinchamiento (como las mostradas por los almidones de las dos especies de jícama) indican dos

tipos de fuerzas que mantienen la estructura del gránulo. En este sentido, también Kokini y col. (1992) indicaron que la gelatinización del almidón involucra un proceso de dos etapas que consisten en una etapa inicial de hinchamiento del gránulo y su eventual disolución.

En la figura 5 se muestran los índices de solubilidad de los almidones mencionados, los almidones de jícama tratados con buffer llegaron hasta valores 30%, mientras que el almidón de jícama *P.erosus* extraída con agua se elevó hasta 60%; sin embargo, *P. ahipa* extraída con agua no mostro ningún cambio en el índice de solubilización independientemente de la temperatura, por otro lado, los almidones de maíz y papa sólo alcanzaron un 10 %, los aumentos en la solubilidad de los almidones es la base para el diseño y elaboración de alimentos amilaceos pre-preparados, como algunas harinas de cereales las cuales son parcialmente solubles en agua fría lo cual facilita la preparación de alimentos como pudines. Esto indica un uso potencial de las harinas de jícama.

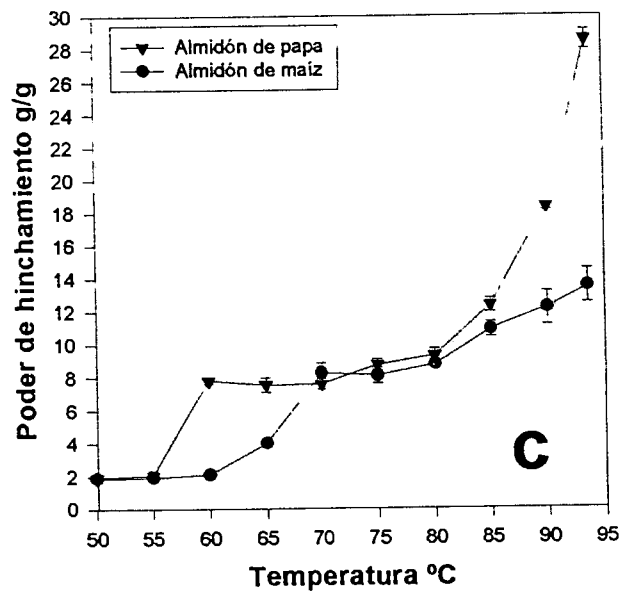
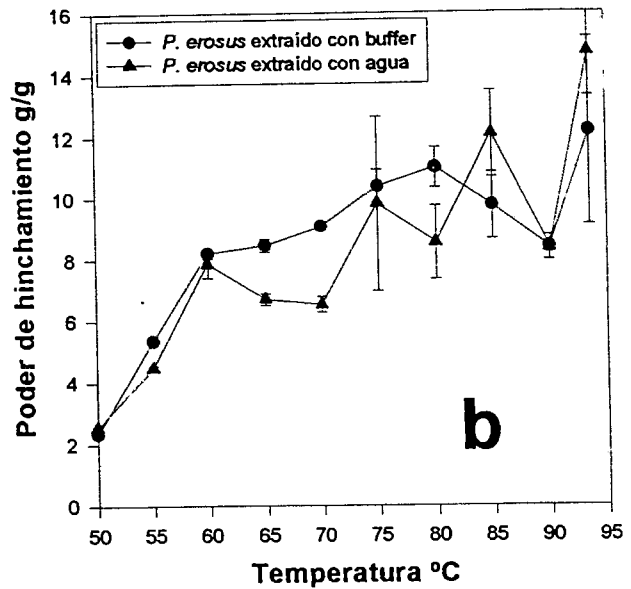
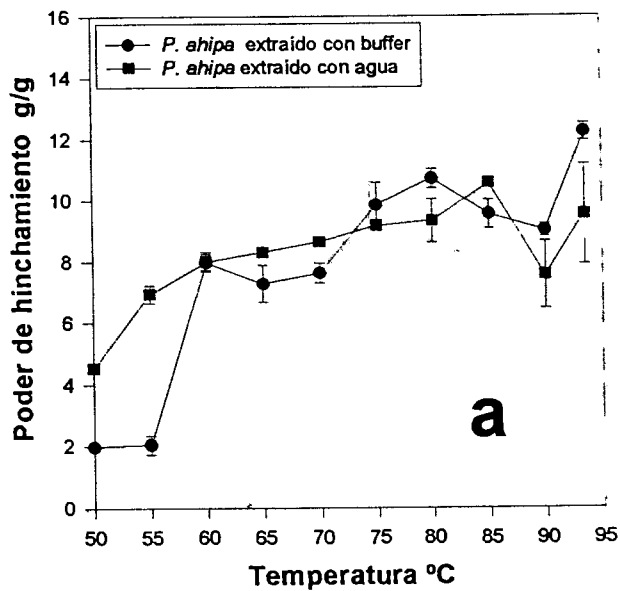


Figura 4.- Poder de hinchamiento de almidón de jícama, a) *P. ahipa*, b) *P. erosus* y c) maíz y papa.

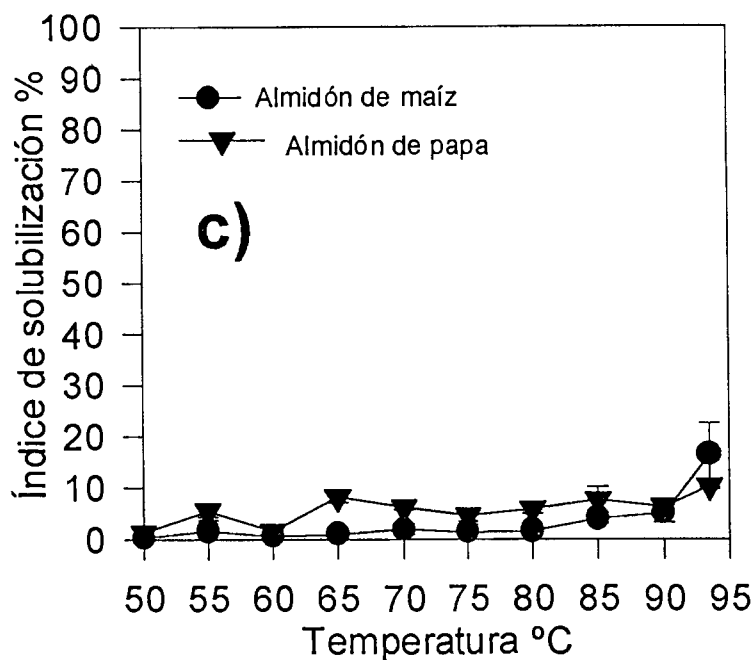
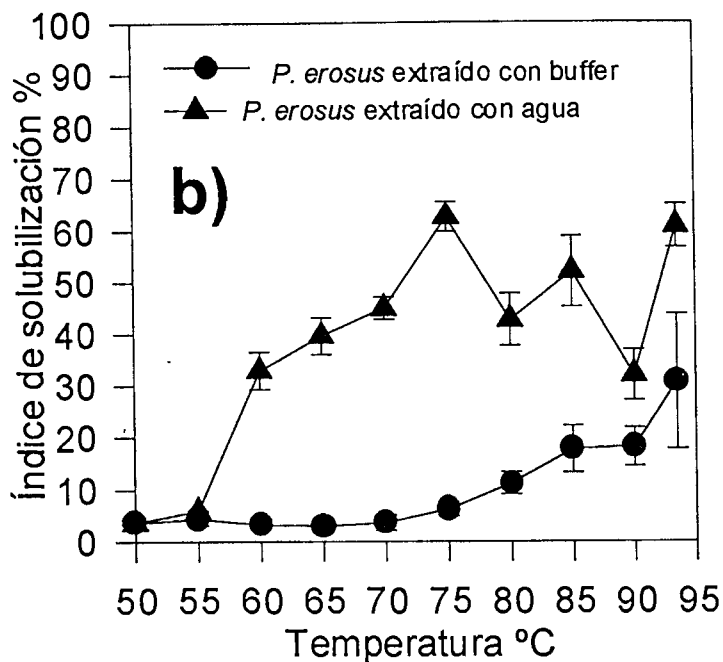
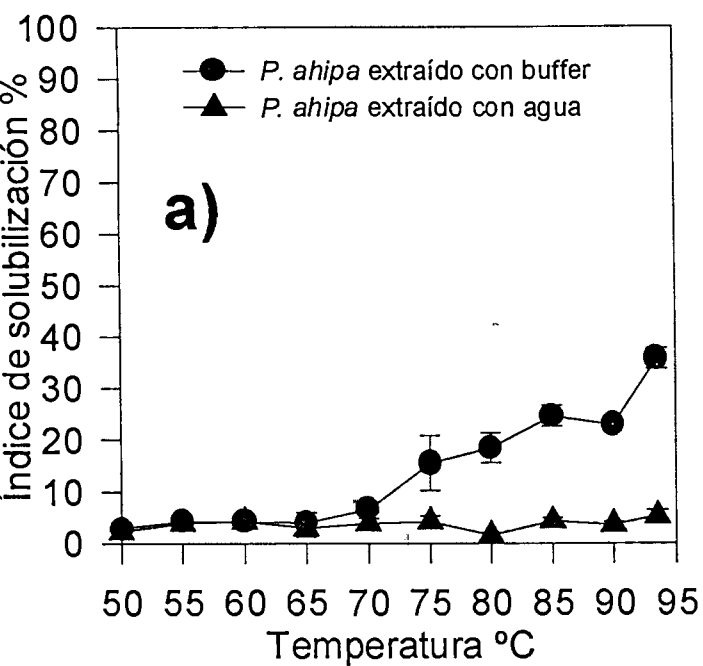


Figura 5.- Índice de solubilización de almidón de jícama, a) *P. ahipa*, b) *P. erosus* y c) maíz y papa.

6.1.10 Análisis reológico de los almidones.

En las Figuras 6a, 6b, 6c, 6d, 6e y 6f se muestran los amilogramas de las suspensiones de almidón estudiadas. El incremento de la viscosidad fue máximo durante el período de calentamiento para los almidones de jícama obtenidos con buffer y para el almidón de papa. En tanto que para el caso del almidón de maíz el máximo alcanzado fue durante el período en el que se mantuvo la temperatura de calentamiento. Los almidones de jícama extraídos con buffer, mostraron valores de máxima viscosidad (alrededor de 2300 cp) respecto de los almidones extraídos con agua (1750 cp). El almidón de maíz mostró valores de máxima viscosidad similares a los almidones de jícama extraídos con buffer (2200 cp) en tanto que el almidón de papa mostró el valor más alto (5500 cp). La temperatura a la cual la viscosidad se hizo máxima fue mayor para los almidones extraídos con buffer (65°C) y fue similar a la mostrada por el almidón de maíz; en tanto que para los almidones extraídos con agua esta fue de 58°C. El almidón de papa fue el que mostró también la temperatura más alta (90°C) para alcanzar la máxima viscosidad.

El hecho de que los almidones extraídos con buffer presenten un comportamiento reológico diferente de los almidones extraídos con agua indica necesariamente que se presentan algunos efectos de la sal sobre las moléculas de almidón. La literatura indica que las modificaciones químicas en almidón de sorgo ceroso, pueden introducir ligaciones cruzadas entre las moléculas haciendo el almidón más resistente a la gelatinización y menos susceptible a la degradación mecánica (Ciacco y Cruz, 1985), Lo cual concuerda con lo encontrado en este trabajo para los almidones extraídos con buffer. Esto también indica que los almidones extraídos con buffer presentan un comportamiento similar a almidones modificados.

Los almidones de la jícama *P. ahipa*, extraídos por los dos procedimientos, así como el almidón extraído con buffer de *P. erosus* mostraron retrogradación al inicio del período de enfriamiento; en tanto que el almidón extraído con agua de *P. erosus* no fue evidente, en los almidones de maíz y papa este fue ligero, similar

a lo reportado por Thomas y Atwell, (1999) quienes indicaron una ligera retrogradación del almidón de papa.

Alvarado y *col.* (1999) encontraron valores similares a los mostrados para el caso de almidón de *P. erosus* extraído con agua, donde indican no haber encontrado un proceso de retrogradación lo cual les dió una mayor estabilidad en los procesos de conservación bajo refrigeración ya que solo cuantificaron 2.6% de sinéresis en los geles.

En términos generales se reporta que los almidones de cereales (sin modificar) tienen mayor tendencia a la retrogradación que los almidones de raíces y tubérculos. Lo cual no se cumple para el caso de los almidones de *P. ahipa* y de *P. erosus* extraído con buffer. Sin embargo, también se expresa que las moléculas más rectas tienen mayor tendencia a la retrogradación y que esto también depende de su peso molecular indicándose que para el caso de la amilosa, se tiene una mayor retrogradación a pesos moleculares intermedios (Kokini y *col.* 1992). Recordando que el contenido de amilosa para los almidones de jícama fue mayor en comparación de los almidones de papa y maíz; por tanto estos tienen una mayor proporción de moléculas rectas y por ello una mayor retrogradación; sin embargo, esta explicación no satisface el comportamiento mostrado por el almidón de *P. erosus* extraído con agua. Probablemente las fuerzas que unen las cadenas lineales unidas a la amilopectina se liberan en mayor o menor grado, aumentando o disminuyendo la retrogradación.

Otra de estas explicaciones puede incluir el grado de daño de los gránulos de almidón descritos en la sección de almidón dañado aunque este factor no explicaría la retrogradación mostrada por el almidón de *P. ahipa* extraído con agua. Por otro lado, las interacciones que facilita el fosfato entre las moléculas de amilosa y amilopectina, también incrementan la respuesta reológica de los almidones.

En términos generales se puede indicar que los almidones de jícama extraídos con buffer, tuvieron un comportamiento reológico similar al almidón de maíz por lo que los usos potenciales de estos serían en función de sustituir este almidón.

La presencia de retrogradación indica un endurecimiento y una sinéresis en los productos donde se utilicen los almidones que lo presenten. Esto particularmente puede ser importante en productos conservados bajo refrigeración como pays y pudines en los que la presencia de la retrogradación es indeseable. Sin embargo, también puede ser una ventaja en otros productos, por ejemplo en productos destinados a frituras ya que el fenómeno disminuye la cantidad de aceite retenido.

Para usos industriales, por ejemplo en embutidos, el almidón es utilizado como estabilizante de la emulsión por lo que en este caso es importante utilizar un almidón que tenga temperatura de gelatinización menor que la temperatura de cocción del embutido. Este tipo de productos podría ser un campo de aplicación de los almidones de jícama.

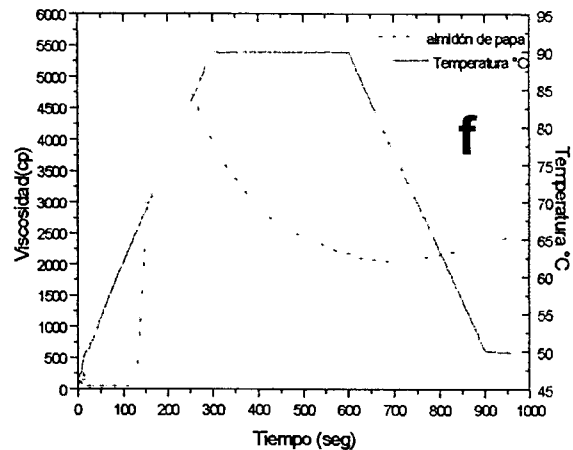
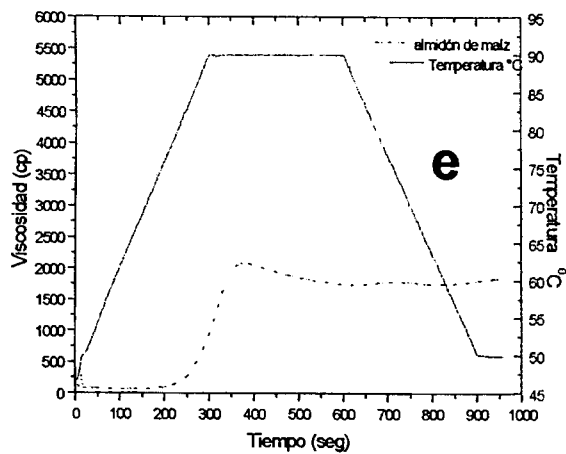
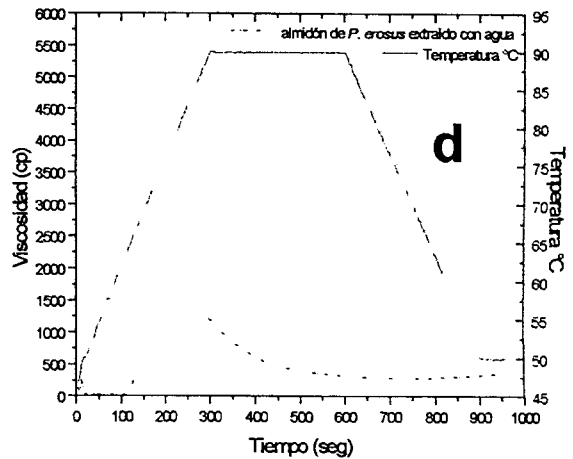
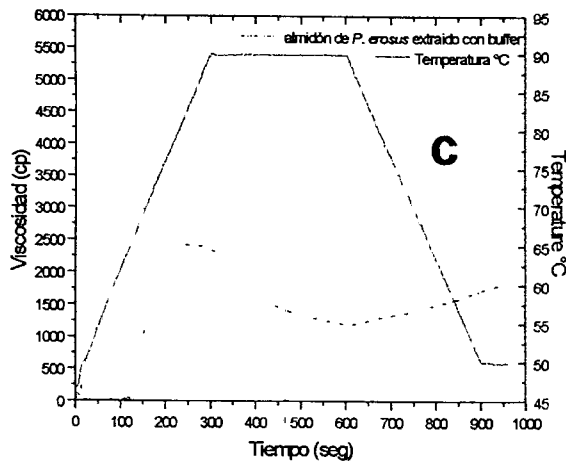
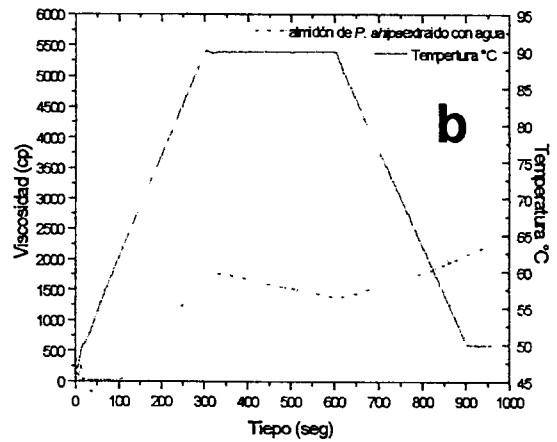
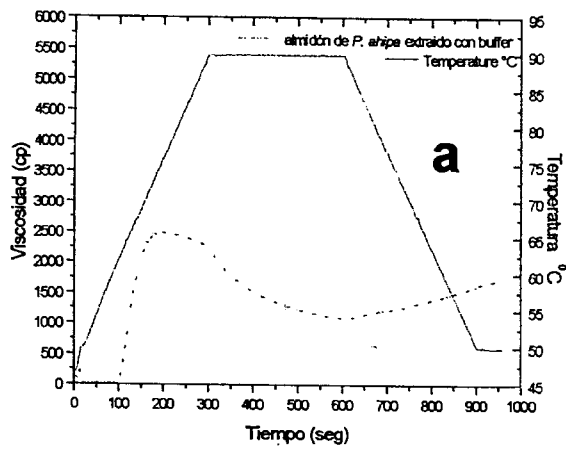


Figura 6.- Amilogramas de almidones de jícama a) *P. ahipa* extraída con buffer, b) *P. ahipa* extraída con agua, c) *P. erosus* extraída con buffer, d) *P. erosus* extraída con agua, e) maíz y f) papa.

6.1.11 Patrones de difracción de rayos-X.

Cuando un cristal de cualquier material es irradiado con rayos-X, los rayos que emergen de la muestra forman un patrón característicos de la estructura del cristal. La investigación de las regiones cristalinas de los gránulos de almidón de distintas fuentes botánicas, ha propuesto diferentes tipos de almidón. Los almidones de cereales nativos como el trigo, maíz y arroz tienen un patrón tipo A, el plátano y los tubérculos como la papa tienen almidones tipo B, los almidones de chícharos y frijoles tienen un patrón conocido como tipo C una forma intermedia que probablemente resulta de las mezclas de los tipos A y B (Lineback, 1984). Si los almidones se recristalizan en la presencia de ácidos grasos o alcoholes de cadena larga y se obtiene el patrón tipo V (Thomas y Atwell, 1999).

La Figura 7 muestra los patrones de difracción obtenidos para los almidones de jícama y de los almidones de maíz y papa. En estos se muestra la intensidad de la difracción respecto del ángulo de difracción. En cada difractograma se reportan también los valores del espacio interplanar en angstroms Å . En el cuadro 15 se concentran los datos del espacio interplanar de los diferentes almidones evaluados y se comparan con los valores encontrados en la literatura para el almidón tipo A.

Cuadro 15.- Espacio interplanar de los diferentes almidones en angstroms.

<i>P. ahipa</i>	<i>P. erosus</i>	Maíz	Papa	Patrón tipo A
				8.72
				7.70
5.86	5.96	5.86	5.56	5.78
5.18	5.18	5.15	5.21	5.17
4.44	4.50	4.45	4.57, 4.00	4.86
4.03	3.84	3.88	3.76	3.78
				3.30

La comparación de los patrones de difracción de los diferentes almidones estudiados así como la comparación de las distancias interplanares, indicaron que los almidones de ambas jícamas pertenecen al tipo A. También de acuerdo a lo reportado por Mélo y *col.* (1994). Además, estos autores mencionaron que los almidones con patrones de difracción tipo A son más digeribles que aquellos que presentan patrones de difracción tipo B. En general los almidones de cereales son más fácilmente digeribles que los almidones de raíces y tubérculos.

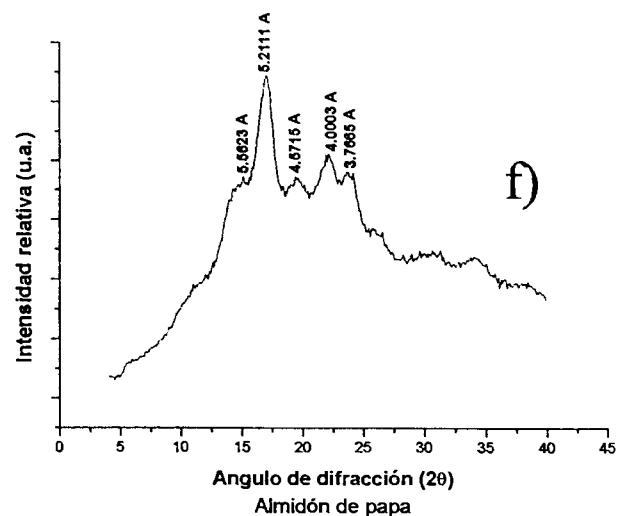
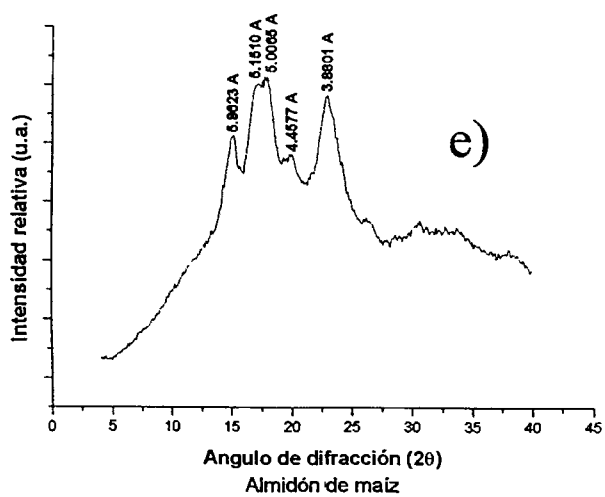
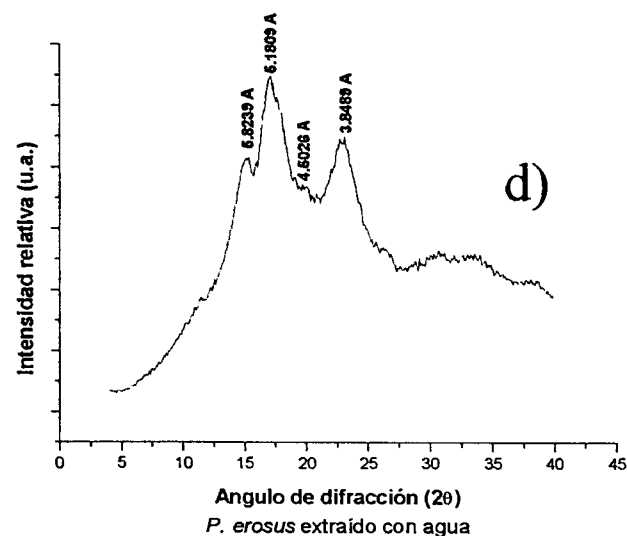
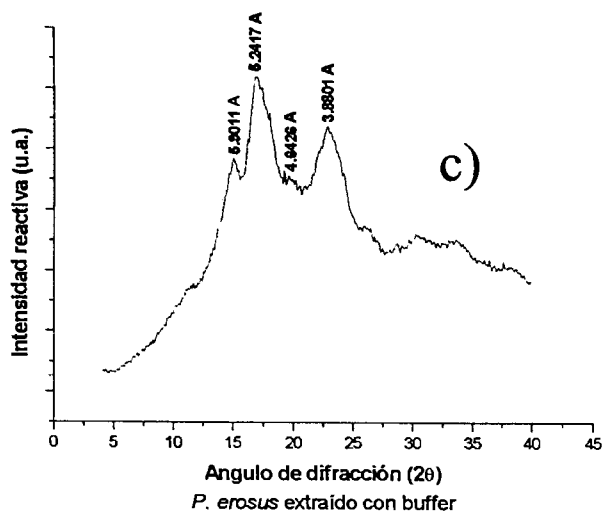
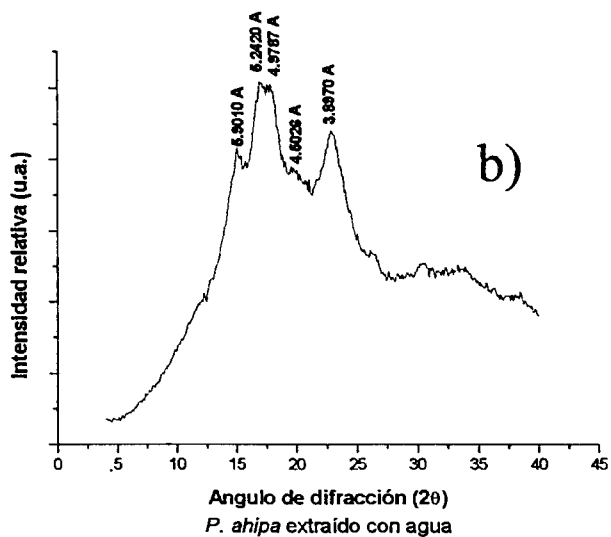
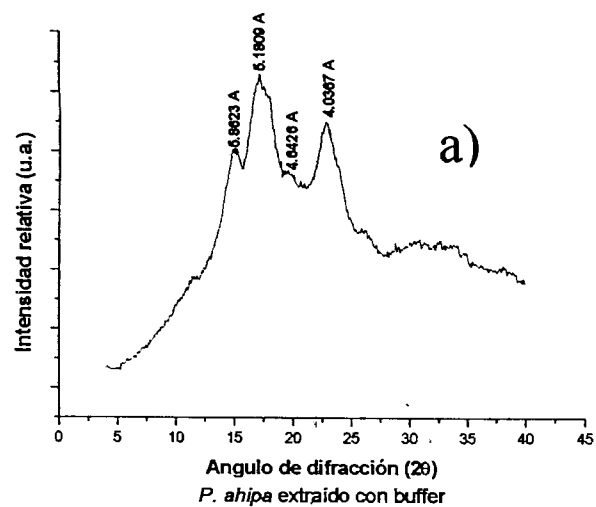


Figura 7.- Patrones de difracción de almidón de jícama a) *P. ahipa* extraído con buffer, b) *P. ahipa* extraído con agua, c) *P. erosus* extraído con buffer, d) *P. erosus* extraído con agua, e) almidón de maíz y f) almidón de papa.

6.1.12 Estudio de calorimetría diferencial de barrido.

La figura 8 muestra los termogramas obtenidos de los distintos almidones analizados, así mismo en los Anexos 1a, 1b y 1c, se muestran los datos generados por el equipo para las mismas muestras. En el Cuadro 16 se resumen los valores de temperatura de inicio del proceso de gelatinización, temperatura del pico y la temperatura final del proceso de gelatinización de las suspensiones y los cambios de entalpía para cada una de las muestras.

El análisis térmico fue llevado a cabo en una mezcla de 3 mg de muestra de almidón y 2 mg de agua, la cual fue calentada a una velocidad de calentamiento de 14.28 °C/min dentro de un intervalo de temperaturas desde 30 a 110°C. El intervalo de temperaturas aplicado incluyó el rango en el que ocurre el proceso de gelatinización de los almidones.

La forma de los termogramas, indica que el proceso de gelatinización es un proceso endotérmico, ya que consume calor, para todos los tipos de almidón analizados. Durante el curso del proceso de gelatinización, se considera que la estructura cristalina del gránulo de almidón se ve disminuida, que el calor es absorbido y que la hidratación de los gránulos inicia el proceso de hinchamiento de los mismos. Posteriores absorciones de agua pueden llevar a un incremento en el volumen hasta un completo rompimiento de la estructura orientada del gránulo. Termodinámicamente el hinchamiento del gránulo puede ser visto como la transición de fusión de un polímero semicristalino cuya temperatura de gelatinización corresponde con el punto de máximo consumo de energía o pico endotérmico (Manual DSC).

Los valores de cambio de entalpía para el proceso de gelatinización de los almidones (también llamada entalpía de transición), indican que los almidones de *P. erosus* tuvieron valores similares a los mostrados por los almidones de papa y maíz; estos se encontraron dentro de los límites señalados para la entalpía de

transición de muchos almidones (7 a 11 J/g). En forma contrastante, los almidones de *P. ahipa* mostraron valores muy bajos de cambio de entalpía para este proceso, indicando que este almidón requiere mucho menos energía para llevar a cabo el proceso de gelatinización. Según Bimaderis (1983), esta entalpía de transición para la gelatinización es significativamente afectada por la velocidad de calentamiento, el contenido de agua y por la proporción de almidón dañado que contenga la muestra; de acuerdo con esto, sólo la muestra extraída con agua tendría alguna explicación.

Las temperaturas de inicio y término de la gelatinización fueron menores para los almidones de ambas especies de jícama respecto de los almidones de papa y maíz. Esto indica que el proceso de gelatinización en los almidones de ambas especies de jícama, inicia y termina a temperaturas menores respecto de lo que hacen los almidones de maíz y papa. No obstante, el intervalo de temperatura para completar el proceso es más amplio que el mostrado por los almidones de papa y maíz.

Cuadro 16.- Temperatura de inicio del proceso de gelatinización, temperatura de viscosidad máxima, la temperatura final del proceso de gelatinización y el cambio de entalpía de almidones de jícama, maíz y papa, durante el calentamiento.

Almidón	Temperatura inicial °C	Temperatura del pico °C	Temperatura final °C	eΔ J/g
<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	53.99	60.86	67.40	0.762
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	55.09	61.66	71.42	0.438
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	55.25	60.97	69.53	10.54
<i>P. erosus</i> extraído con agua	55.96	60.66	68.05	10.71
Maíz	66.50	69.95	74.61	11.59
Papa	58.75	62.78	68.54	10.62

eΔJ/g: entalpía

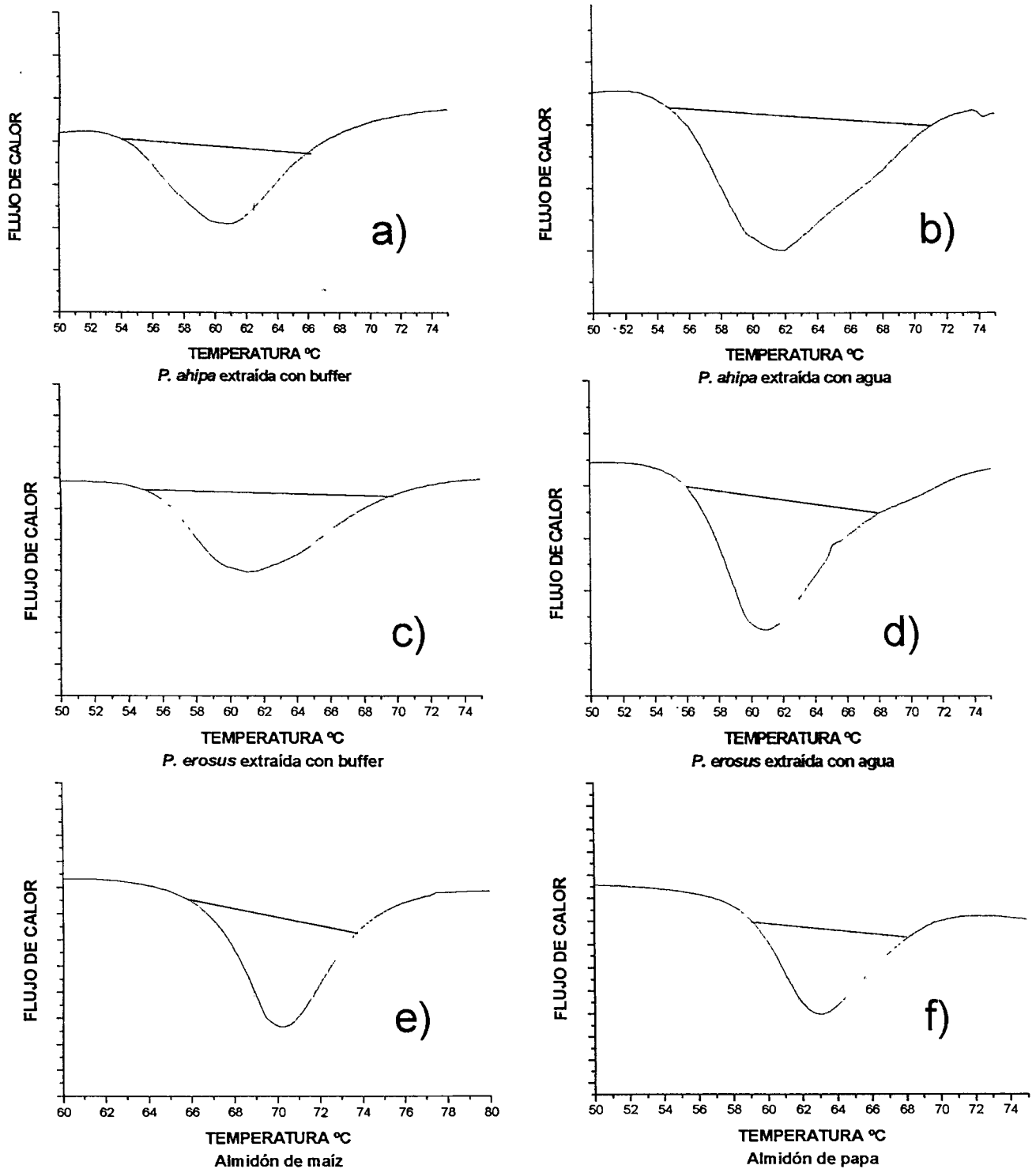


Figura 5.- Termogramas de almidones de jícama a) *P. ahipa* extraída con buffer, b) *P. ahipa* extraída con agua, c) *P. erosus* extraída con buffer, d) *P. erosus* extraída con agua, e) almidón de maíz y f) almidón de papa.

6.1.13 Digestibilidad

En el Cuadro 17 se presentan los resultados de los miligramos de maltosa liberada por gramo de almidón y el porcentaje de digestibilidad "in vitro" de los distintos almidones estudiados. El almidón de papa fue el que mostró una menor digestibilidad (87%) respecto de todos los demás almidones y los almidones de jícama mostraron valores desde 96 hasta 98 % de digestibilidad ligeramente mayores que el almidón de maíz.

El proceso de extracción de los almidones con buffer en las dos especies de jícama, parecieron mejorar ligeramente la digestibilidad de estos almidones.

Los resultados encontrados concuerdan con los valores encontrados del contenido de amilosa y del patrón de difracción (tipo A) los cuales caracterizan a los almidones con alta digestibilidad; el almidón de papa (tipo B) mostró menor digestibilidad (87%).

Estos resultados coinciden con los reportados por Mélo y col. (1994) y Alvarado y col. (1999) quienes indicaron que el almidón de jícama *P. erosus* es altamente digerible y que por lo tanto este producto pudiera ser empleado en formulas alimenticias para infantes.

Cuadro 17.- Digestibilidad de almidones de jícama (*P. ahipa* y *P. erosus*), maíz y papa.

Almidón	mg maltosa/g almidón	% de digestibilidad
<i>P. ahipa</i> extraído con buffer	979.6	98.00
<i>P. ahipa</i> extraído con agua	961.4	96.15
<i>P. erosus</i> extraído con buffer	972.6	97.25
<i>P. erosus</i> extraído con agua	966.4	96.65
Maíz	950.8	95.00
Papa	873.0	87.30

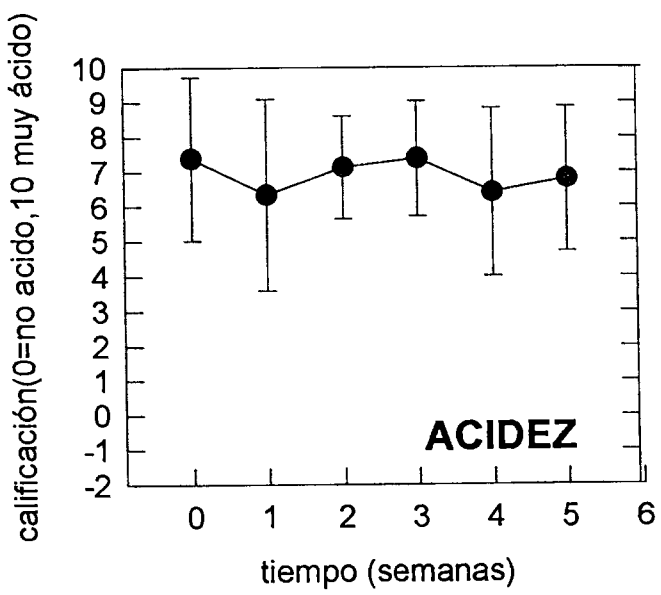
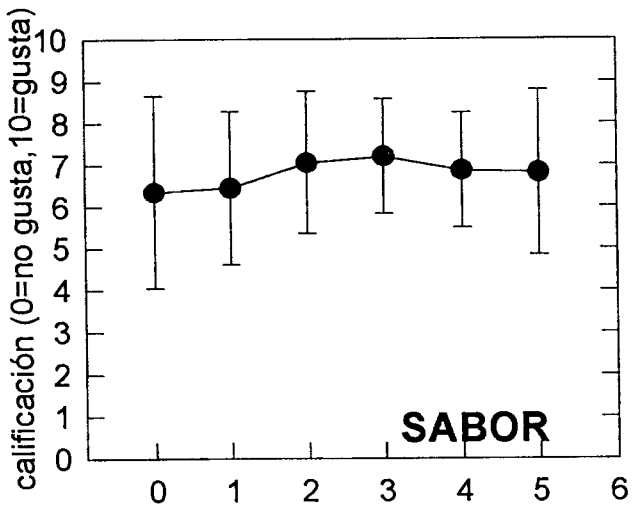
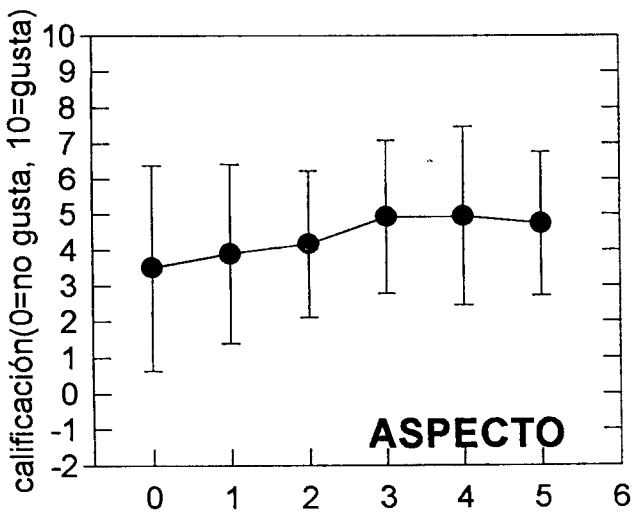


Figura 10.- Evaluación sensorial de jugo de jícama. (Formulación 2).

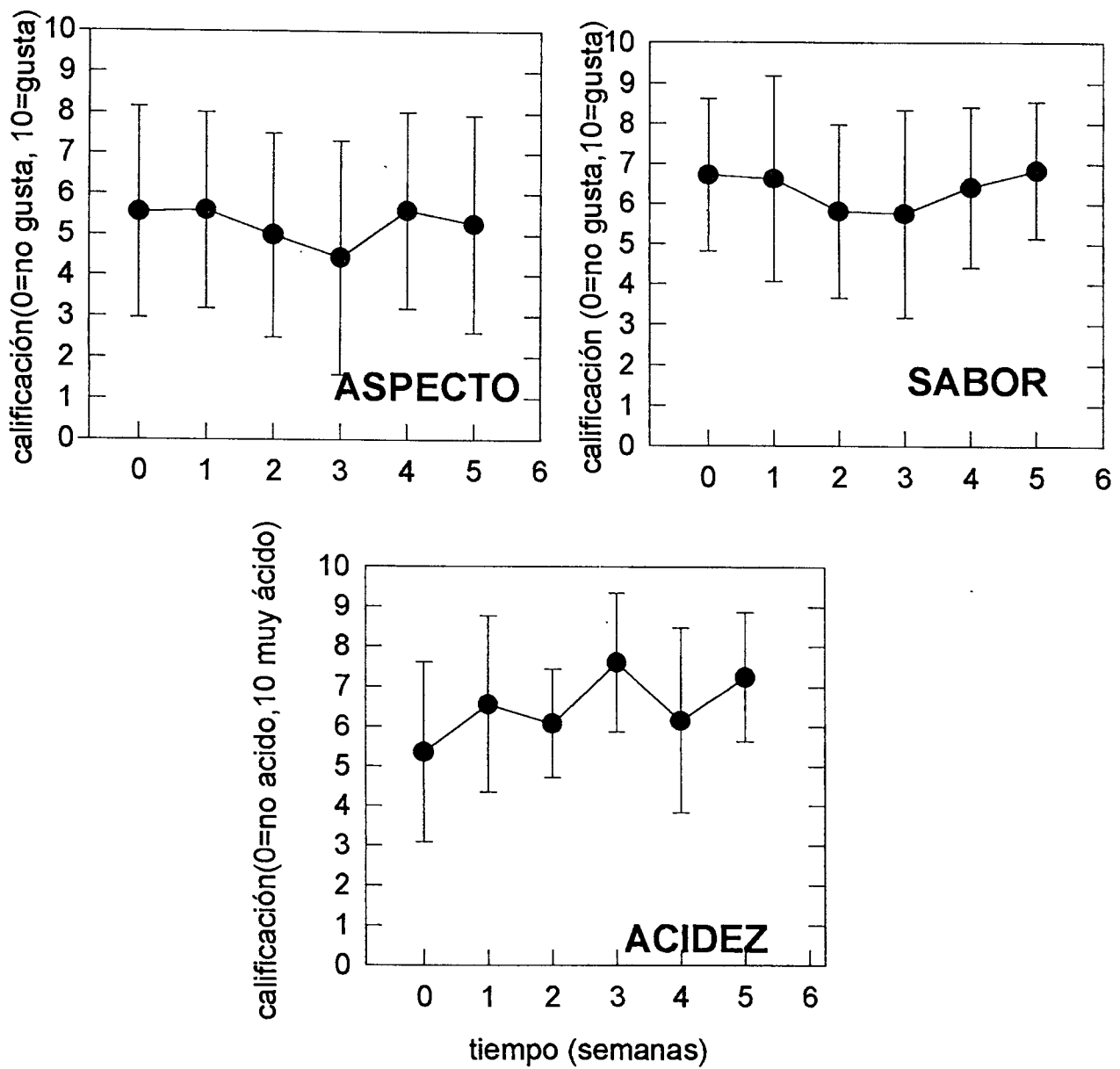


Figura 11.- Evaluación sensorial de jugo de jícama (Formulación 3).

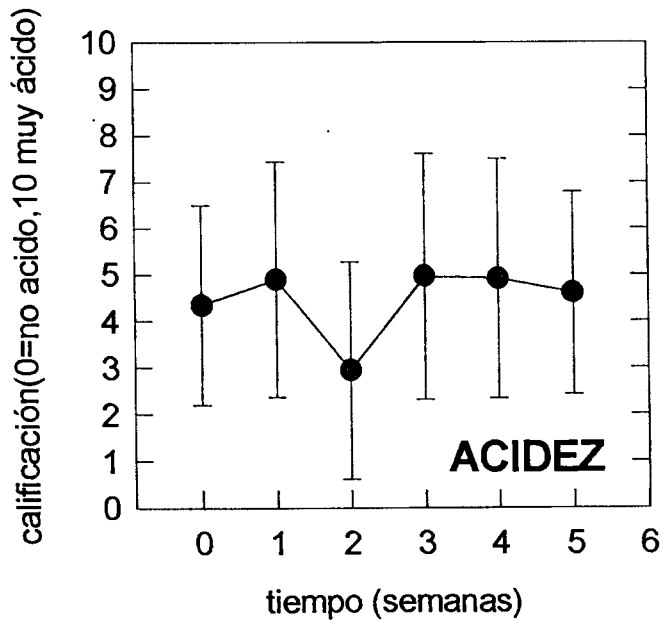
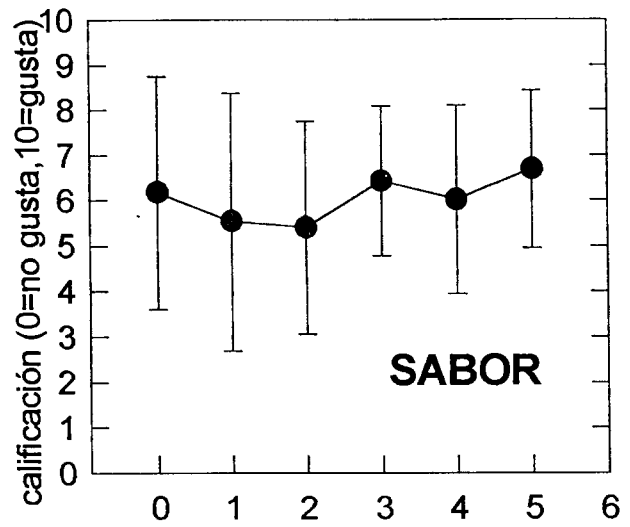
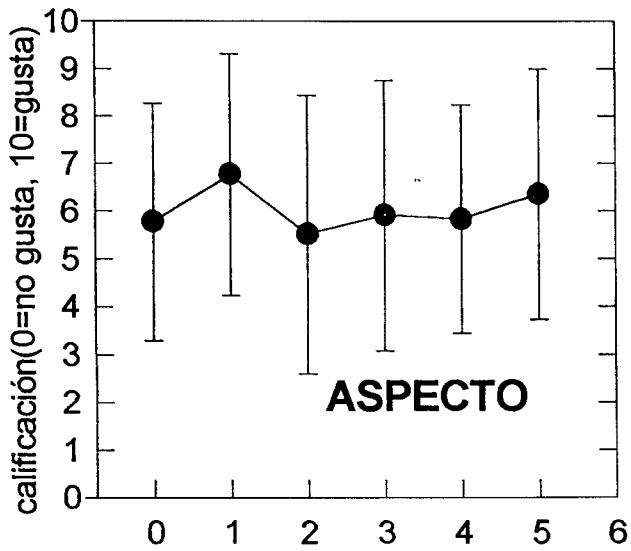


Figura 12.- Evaluación sensorial de jugo de jícama. (Formulación 4).

6.2.2 Elaboración de jícama en conserva.

Otra alternativa en el uso integral de la jícama “reventada” podría ser el empacarla en conserva en un líquido de gobierno que sea su propio jugo o modificado.

Los valores de asignación de rangos para las diferentes formulaciones y temperaturas se muestran en los anexos 2a, 2b, 2c, 2d, 2e y 2f, así mismo se anexan los análisis de comparación en cada uno de ellos y el criterio de separación de los mismos para un límite de confiabilidad del 95% tal como lo describió Pedrero y Pangborn. (1989).

La comparación de las formulaciones a las distintas temperaturas indicaron que no existió diferencia entre las formulaciones 1 y 2 y que éstas a su vez fueron diferentes de la formulación 3. Las formulaciones mejor calificadas fueron aquellas que contenían como líquido de gobierno el jugo de jícama ajustado en su acidez, Brix y sal. La formulación menos aceptada fue la conservada en salmuera. A 35°C no se encontraron diferencias significativas entre las formulaciones habiendo un comentario de disgusto entre los jueces.

La comparación estadística de las distintas formulaciones a una misma temperatura no indicó diferencias significativas para cada una de las formulaciones en cada temperatura considerada. Aunque a 35°C hubo comentarios de disgusto por los jueces; esto sugiere que las temperaturas de 5 y 20°C no alteran considerablemente la evaluación sensorial y que es más importante la formulación del líquido de gobierno.

VII Conclusiones

La extracción de almidón a partir de *P. ahipa* fue cuatro veces mayor que la obtenida por *P. erosus* por lo que aquella especie podría ser una fuente más importante para este proceso.

El proceso de extracción con buffer (ác. cítrico-fosfato) no afectó significativamente el porcentaje de extracción de almidón en las dos especies de jícama.

El contenido de proteínas, fibra y cenizas de los almidones de jícama fueron altos lo cual puede indicar que los procesos de lavado en el procedimiento de extracción no fueron suficientes.

Los valores de contenido de almidón en los extractos fue mayor para aquellos extraídos con buffer.

Los contenidos de amilosa de las dos especies de jícama, fueron similares a los de maíz pero superiores a los de yuca y de papa, lo cual apoya la idea de una mayor digestibilidad de estos almidones.

El poder de hinchamiento de los almidones de jícama fueron similares entre sí y parecidos a los del almidón de maíz. Lo cual indica su posibilidad de sustituir este almidón por los de jícama. No obstante, su alto grado de solubilidad podría limitar estos usos.

Los almidones de jícama de ambas especies tienen capacidad de absorber agua en cifras cercanas a 2.5 veces su peso; lo cual las hace atractivas para uso como aditivo en la industria de los alimentos.

El comportamiento reológico de los almidones durante el proceso de gelatinización, mostró posibilidades para que los almidones de jícama puedan sustituir a los almidones de maíz en diferentes productos alimenticios.

El proceso de extracción de almidones a través de buffer, indicó que estos fueron modificados por la presencia de la sal de fosfato lo cual provocó un comportamiento reológico diferente a los almidones extraídos con agua.

El patrón de difracción de rayos X mostró que los almidones de las dos especies de jícama pertenecen al Tipo A y que el proceso de extracción con amortiguador de fosfatos no alteró su patrón de difracción.

Los almidones de *P. ahipa* requieren muy poca energía para llevar a cabo el proceso de gelatinización aunque la temperatura de gelatinización fue similar en los almidones de ambas especies.

La digestibilidad de los almidones de ambas especies de jícama fue mayor del 95% y ligeramente superior a la mostrada por el almidón de maíz. El proceso de extracción con buffer mejoró la digestibilidad de los almidones.

No obstante, no debe olvidarse que *P. erosus* tuvo un menor rendimiento de almidón lo cual podría dificultar una extracción rentable del mismo; pero esto podría ser aplicable si este proceso estuviera asociado con otros que permitieran el uso integral de toda la materia prima y con ello aprovechar las raíces "reventadas" en su conjunto.

La elaboración de jugos a partir de jícama puede ser una alternativa para el uso integral de esta raíz y la formulación del mismo es un aspecto importante a considerar puesto que se obtuvo mayor aceptación cuando se incrementó la acidez del jugo pero sin ajustar su contenido de sólidos solubles o estudiar este factor con

valores más bajos y cercanos al contenido natural de la jícama (5.5°Bx). No obstante, el aspecto del producto debe ser mejorado.

El empaque de jícama en conserva puede ser otra alternativa viable para el uso integral de las raíces. Siendo importante empacarlas en un líquido de gobierno elaborado a partir del jugo de la propia jícama y ajustado en sus valores de sólidos solubles y de acidez y de preferencia mantenerlas a temperaturas de refrigeración.

El empaquetado en salmuera no proporcionó un producto de aceptación por los jueces.

VIII BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, L., Ruales, J. y Gallardo, Y. 1999. XII Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica Tecnología de alimentos. Caracterización fisicoquímica y funcional del almidón nativo de jícama (*Pachyrrizus erosus*). Querétaro, México. Septiembre: 22.

Alexander, R. J. 1995. Potato Starh: New prospects for old produc. Cereal Food World: 40:763-764.

Amador-Vargas, L. 1999. Efecto de la temperatura, relación área/volumen y tratamientos térmicos sobre la calidad de jícama mínimamente procesada. Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de licenciatura de nutrición.

American Association of Cereal Chemistrs. 1995. Approved Methods of the AACC 9th ed. Method 76-31.

Anderson, R. A., Connway, H. F., Preifer, V. F. y Graffin, Jr. E. L. 1969. Gelatinization of corn grits by role and extrusion cooking. Cereal Sci: 14(4):4-12.

Anónimo, 1989. En lost Crops of the incas. National Academy Press. Washinton D.C: 39-45.

Aquino-Bolaños, E. N. 1998. Efecto de la temperatura, composición atmosférica, geometría y variedad en la conservación de jícama minimamente procesada. Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencia y tecnología de alimentos.

Aquino-Bolaños, E. N., Cantwell, M. I., Peiser, G. y Mercado, S. E. 2000. Changes in the quality of fresh-cut jicama in relation to storage temperatures and controlled atmospheres. J. of Food Sci: 65 (7): 1238-1243.

Badui, S. 1996. Almidones. En: Química de los alimentos. Ed. Alhambra Mexicana. México: 94-122.

Bimaderis, C. G. 1983. Differential scanning calorimetry in food research-A, review. Food Chem: 10: 239-265.

Braverman, J. B. S. 1980. Degradación del almidón. En: Bioquímica de los alimentos. Ed. El manual moderno. México: 129-40.

Cantwell, M. W., Orozco, V., Rubatzky y Hernandez, L. 1992. Postharvest handling and storage of jicama roots. Act. Horticulturae: 318: 333-343.

Casanueva, E. 1995. Catzotl, raíz que mana jugo. Cuadernos de nutrición:18 (1):30-34.

Chandra, B. y Secaran, R. 1998. X-ray difracción of food polysaccharides. Advances in food and nut. research: 42: 131-210.

Charley, H. 1970. Food Science: The Ronal press company. USA: 109-113.

Ciacco, I. C. Y Cruz, R. 1985. Fabricação de amido e sua utilização. *Série Tecnologia Agroindustrial*:07:1-50.

Davies, L. 1995. Starch-Composition, modifications, application and nutritional value in Food Tech Europe. June/July: 44-52.

Evans, M.I., Boulter, D., Eaglesham, A.R.J. y Dart P.J. 1997. Protein content and protein quality of tuberous roots of some legumes determined by chemical methods. Qual. Plant. Foods. Hum. Nutr. XVII: 3-4: 275-285.

Fennema, O.R. 1993. Carbohidratos: En: Química de los alimentos. Ed. Acribia México: 121-122.

Fernández, M.V., Madrid, W.A., Loaiza, J.M., Martínez, J.J. y Serrano, A. 1996. Efecto of planting methods on roots characters of jícama (*Pachyrhizus erosus* (L.) Urban). Jpn. J. Trop. Agr: 40(1)26-28.

García, R. 1998. Cambios relacionados con el daño por frío en los ácidos grasos del fofatidil glicerol y fosfatidil colina de la membrana plasmática y en los niveles de antioxidantes naturales de jícama (*Pachyrhizus erosus*). Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado doctoral.

Herendia-Zepeda, A. y Herendia-García, E. 1994. En Sorensen, M. (ed), Proc. First Intl. Symposium on Tuberous Legumes Guadeloupe, F.W:de jícama (*P. erosus*) para el Bajío, San Miguelito, San Júan y Vega de San Júan nuevas variedades. Guanajuato, México. 257-272.

INEGI Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática. 1997. Censo agrícola y ganadero.

INN Instituto Nacional de la Nutrición, 1992. Valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México. México D.F: 11.

INN Instituto Nacional de la Nutrición. 1997. Tablas de uso práctico, México.

Júarez-Goiz, S. M. 1994. Conservación de jícama por métodos combinados. Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de maestría en ciencia y tecnología de los alimento.

Juárez, S.M. y paredes-López, O. 1994. Studies on jicama juice processing. Planta for hum. nut: 46: 127-131.

- Kokini, J.L., Log-Shiuh, L. y Chedid, L.L. 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. *Food Tech*: 46(6):124-139.
- Leach, H. W., Mccowen, C.D. y Schoch, T.J. 1959. Structure of the granular; swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem*: 36(3) 593.
- Linebak, D.R. 1984. The starch granule: organization and properties, *Baker Digest*: 58(2):16-21.
- Manual de DSC, Collected Aplications Termal Analysis Food, Mettler Toledo.
- Matz, S.A. 1959. The chemistry and Technology of cereals as Food and Feeb. New York., AVI: 732.
- Mélo, E., Krieger, N. y Montenegro-Stamford, T.L. 1994. Physicochemical Properties of Jacatupé (*Pachyrhizus erosus* (L) Urban). *Starch/ Starke*: 46:245-247.
- Mercado-Silva, E. y Cantwell, M. 1998. Quality changes in jicama rotos stored at chilling and non chilling temperatures. *J. Food Quality*: 21: 211-221.
- Mercado-Silva, E., García, Heredia-Zepeda, R.A. y Cantwell, M. 1998. Development of chilling injury in five jicama cultivars. *Postharvest Biol. Tech*: 13: 37-43.
- McCready, R.M. y Hassid; W.Z. 1943. The separation and quantitative estimation of amylose and amylopectina in potato starch. *J. Am. Chem. Soc*: 65: 1154.
- Official Methods of Analysis of AOAC International. 1997. PATRICIA CUNNIFF. 16th ed.

Paredes-López, O., Schevenin, M.L., Hernández-López, D. y Cávevez-trejo, A. 1989. Amaranth starch – Isolation and partial characterization, *Starch/starcke*: 41:205-207.

Pedrero, L. D. y Pangborn, R. M. 1989. Métodos Analíticos. En: Evaluación sensorial de los alimentos. Ed. Alhambra Mexicana: 104-107.

Perusquia, C. G. 1968, Estudio sobre la posibilidad para la obtención de almidón a partir del olote, rastrojo y paja de trigo. Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis para obtener el grado de Químico en alimentos: 12-15.

Radley, J.A. 1976. Examination and analysis of starch and starch products. Applied science publishers CTP, London: 157-163.

Ramírez-Ascheri, J. L. 1987. Extracção e caracterizacoa de amido de adlay. Sau Paulo, Brasil. Faculdade de engenharia de alimentos. Tesis para obtener el grado de maestría.

Ramírez-Moreno, E. 1999. Cambios en los nutrimentos de tres materiales genéticos de jícama almacenada bajo refrigeración. Santiago de Querétaro. Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis de licenciatura en nutrición.

Rapid Visco Analyzer (RVA). 1992. Software thermocline & themovew manual. Versión 2.0. Sydney, Australia.

Rubatzky, V. y Yamaguchi, M. 1997. *World Vegetables: Principles, Production and Nutritive Values*. Chapman and Hall. 2ª. Edition ' New York. USA: 3-7.

Sadrach, O., Agunbiade, y Oyebiodun-Longe, G. 1999. The physico-functional characteristics of starches from cowpea (*Vigna unguiculata*), pigeon pea (*cajanus cajan*) and yambean (*sphenostylis stenocarpa*), *Food chemistry*: 65: 469-474.

Sánchez-Pineda, H., Mendoza-Yañez, R. y Zapata-Yañez, K.. 1999. conservación de jícama (*Pachyrrizus erosus*) por deshidratación osmótica. *Rev. Ibero tecnología poscosecha*: 2(1):80-84.

Schoch, L. y each, W.H. 1964. Detemination of absolute density; liquid displacement. In: *Methods in carbohydrates chemistry*. Mew York, Academic Press: 4, 101.

SAGARH. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1999.

Singh, U. 1982. Studies on Desi and Kabuli (*Cicer arietinum* L.) Cultivars. The leveles of Amylase Inhibitors, Levels of Oligosaccharides an In vitro Starch Digestibility, *J. of food sci*: 47: 510-514.

Smith, A.M., Kdenyer y Martin, C. 1997. The synthesis of the starch granule *Ann. Rev. Plant physiol. Plant mol. Biol*: 48: 67-87.

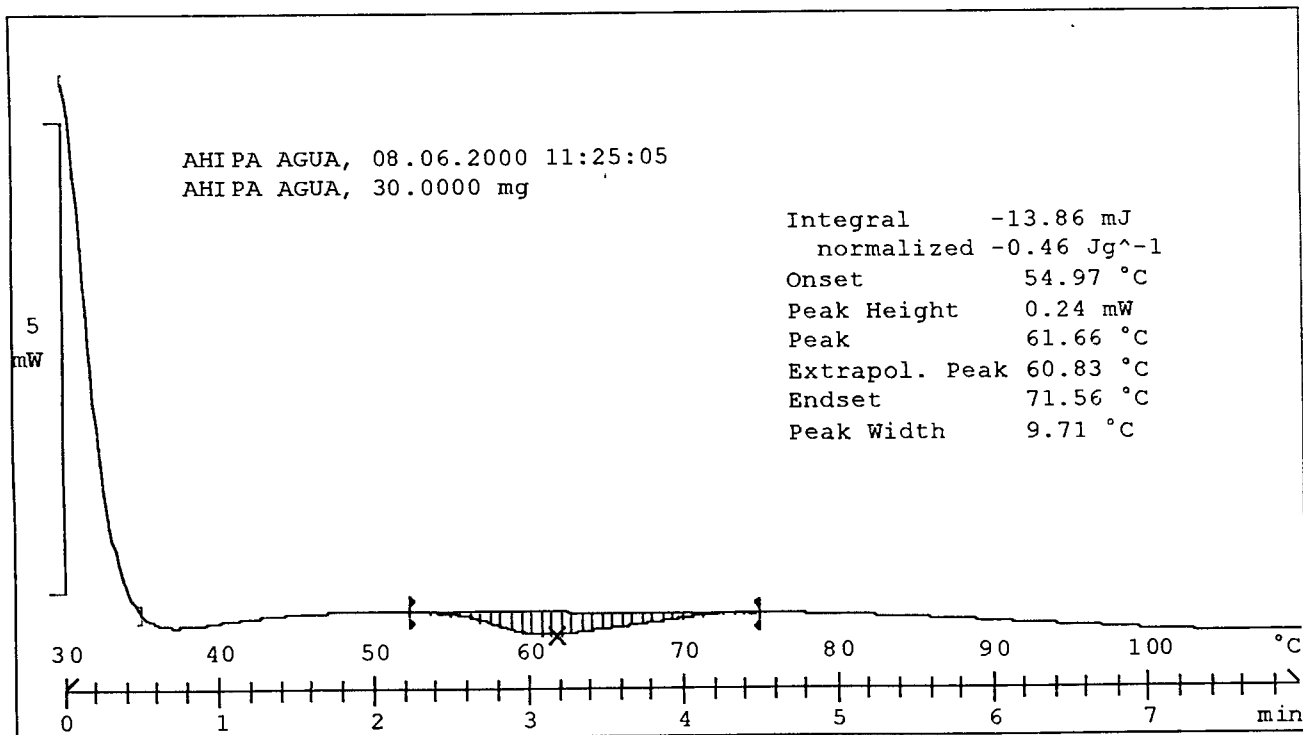
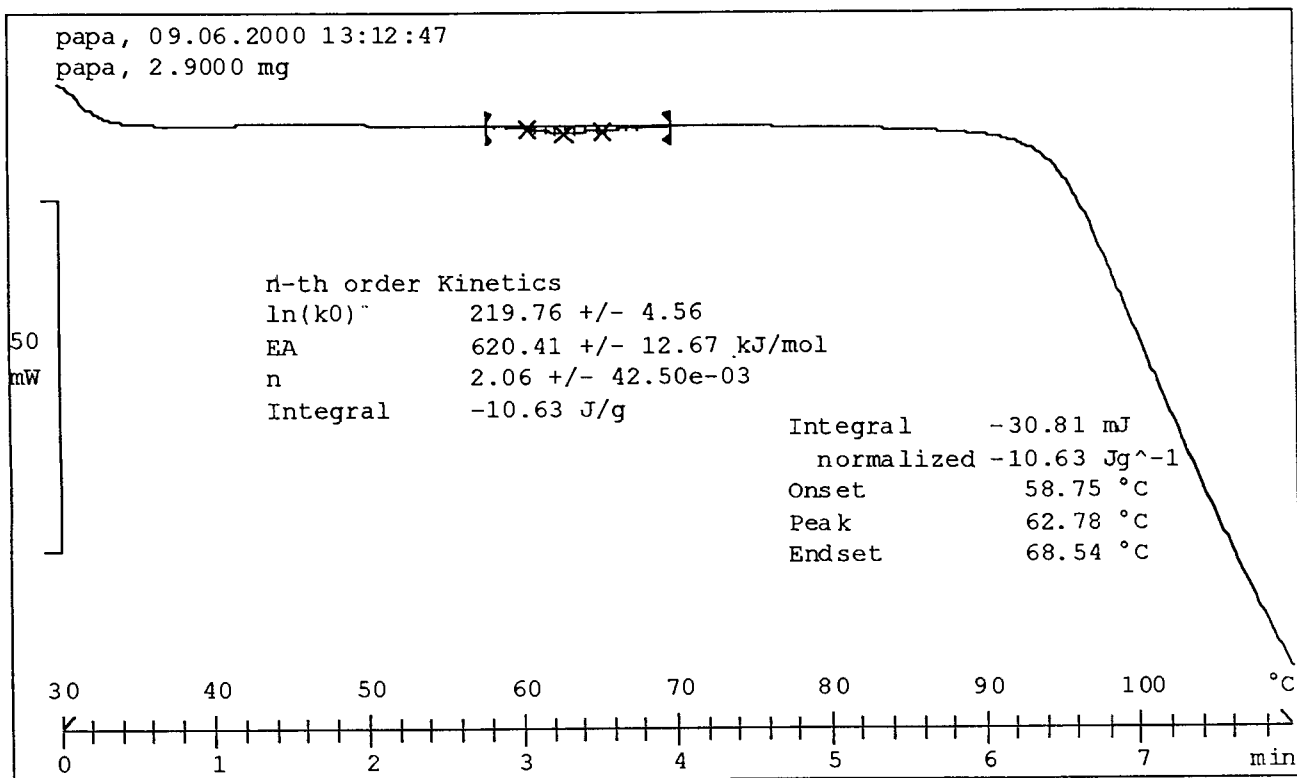
Sørensen, M. 1990. Observation on distribution, ecology and cultivation of the tuber-bearin legume genus *Pachyrrisus* Rich. Ex. DC. Agricultural University Wegeningen, Netherlands: 1-38.

Sørensen, M. 1996. Yam bean (*Pachyrizus* DC). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 2. Institute of Plant Genetics and crop Plant research, Gatersleben/International of plant Genetics Resources Institute, Rome.

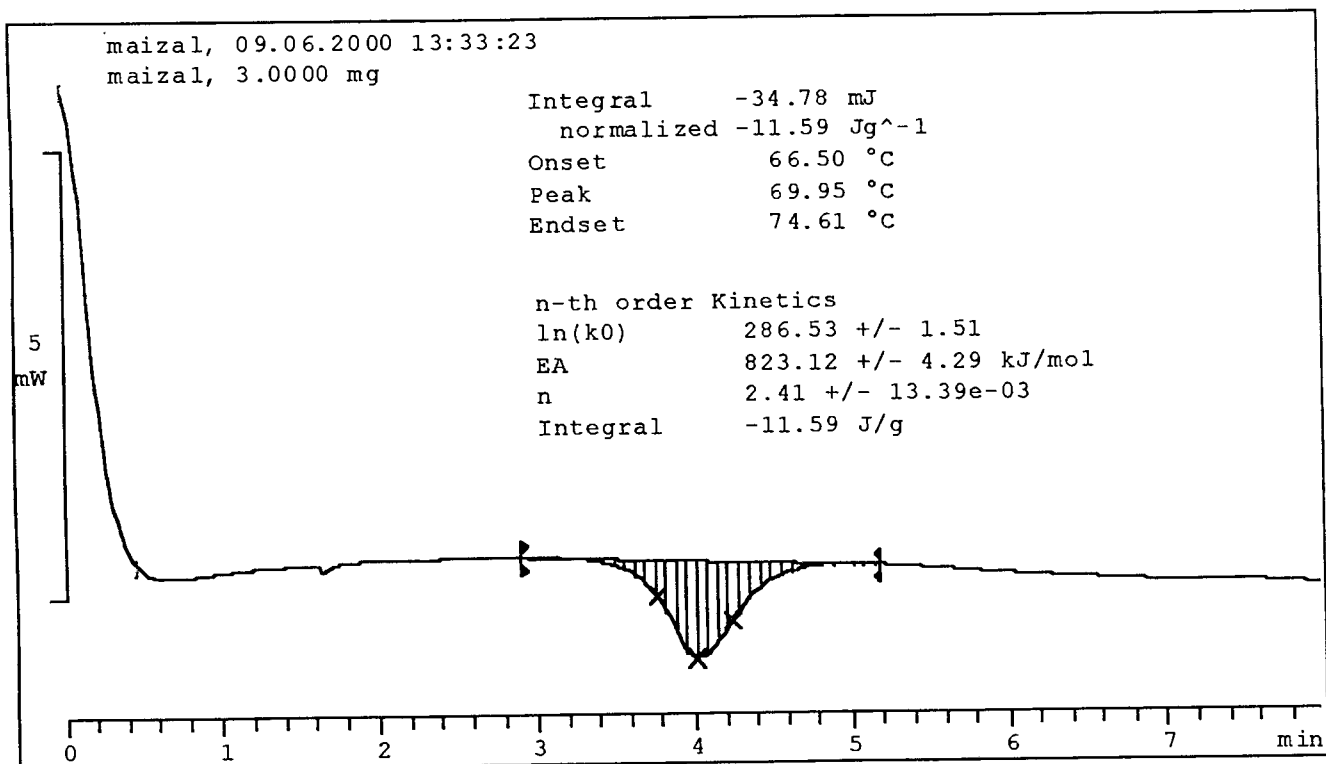
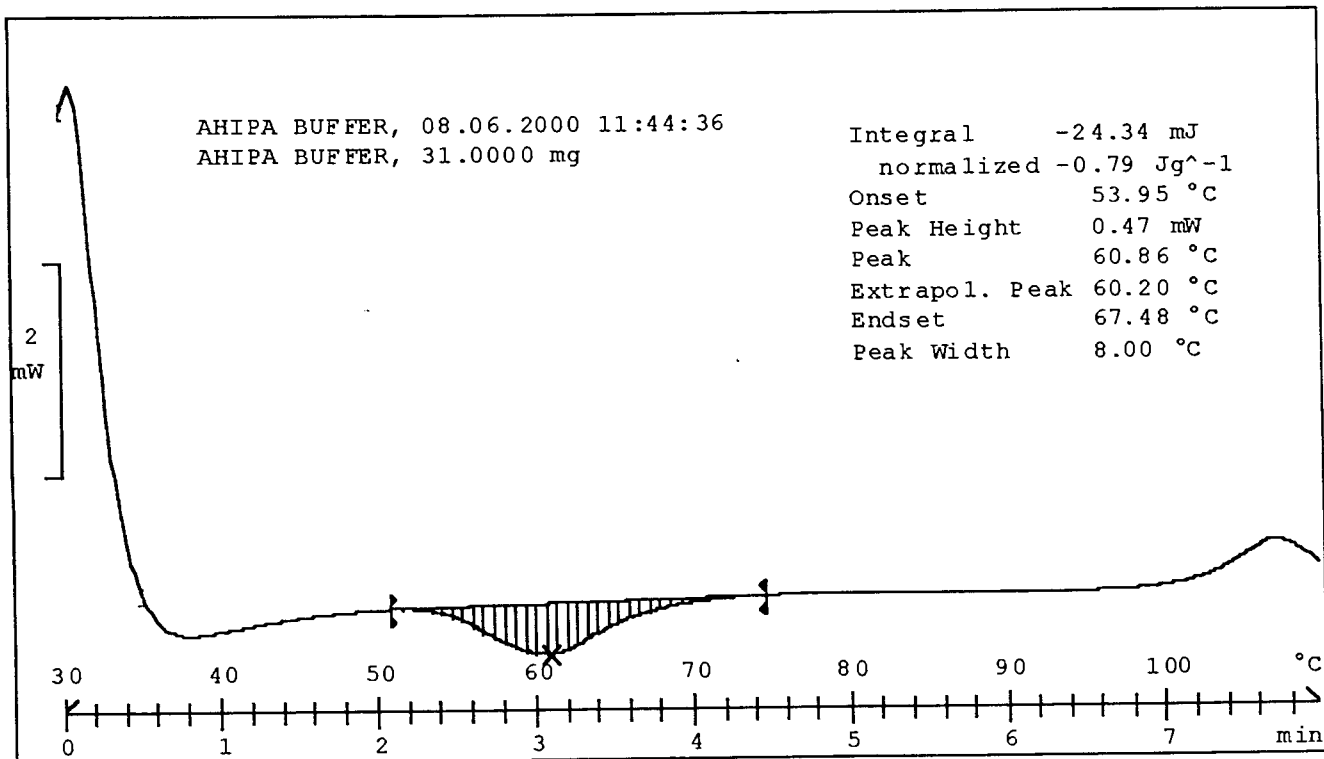
Thomas, D. J. y Atwell, A. 1999. Starches en: An Eagan press handbook series, Ed. Eagan: 1-29.

Williams, P.C. y Fegol, K.S.W. 1969. Colorimetric determination damaged starch in flour. Cereal Chem: 46 (1): 56-62.

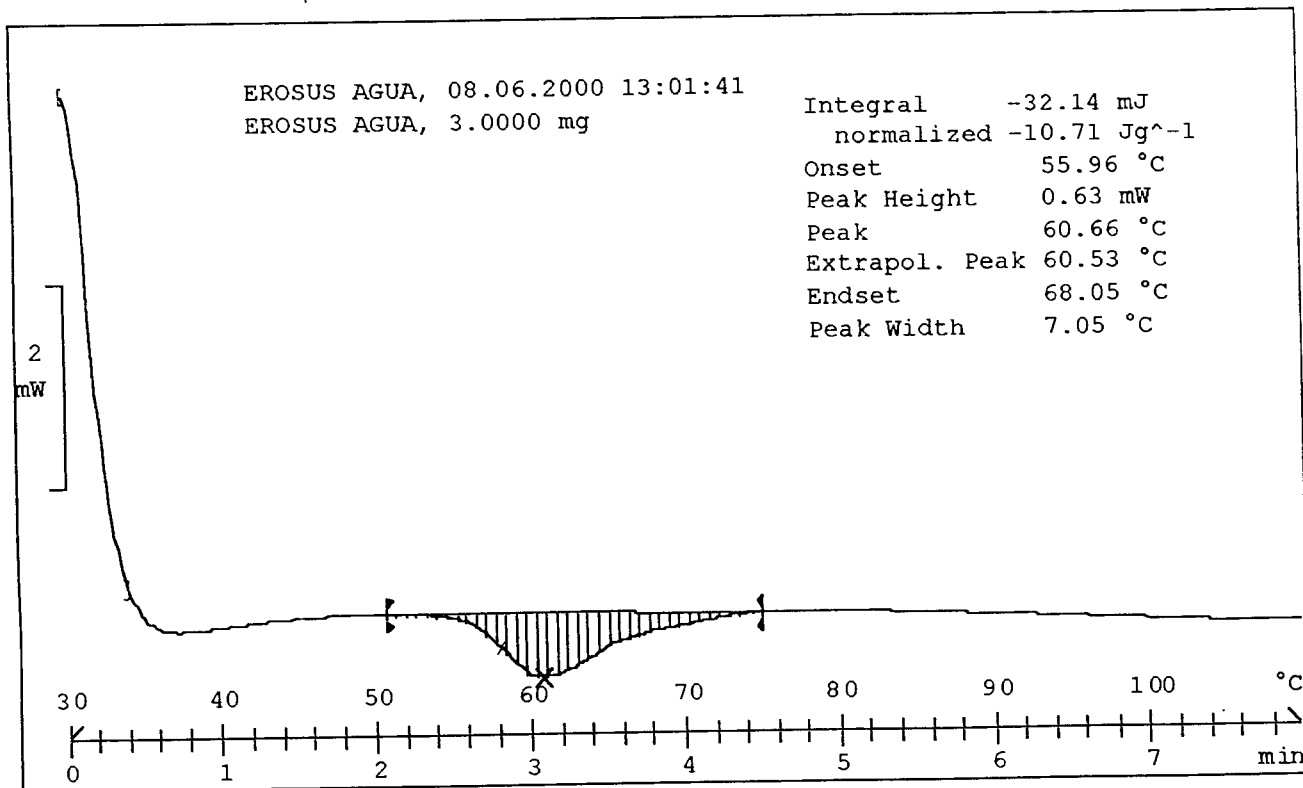
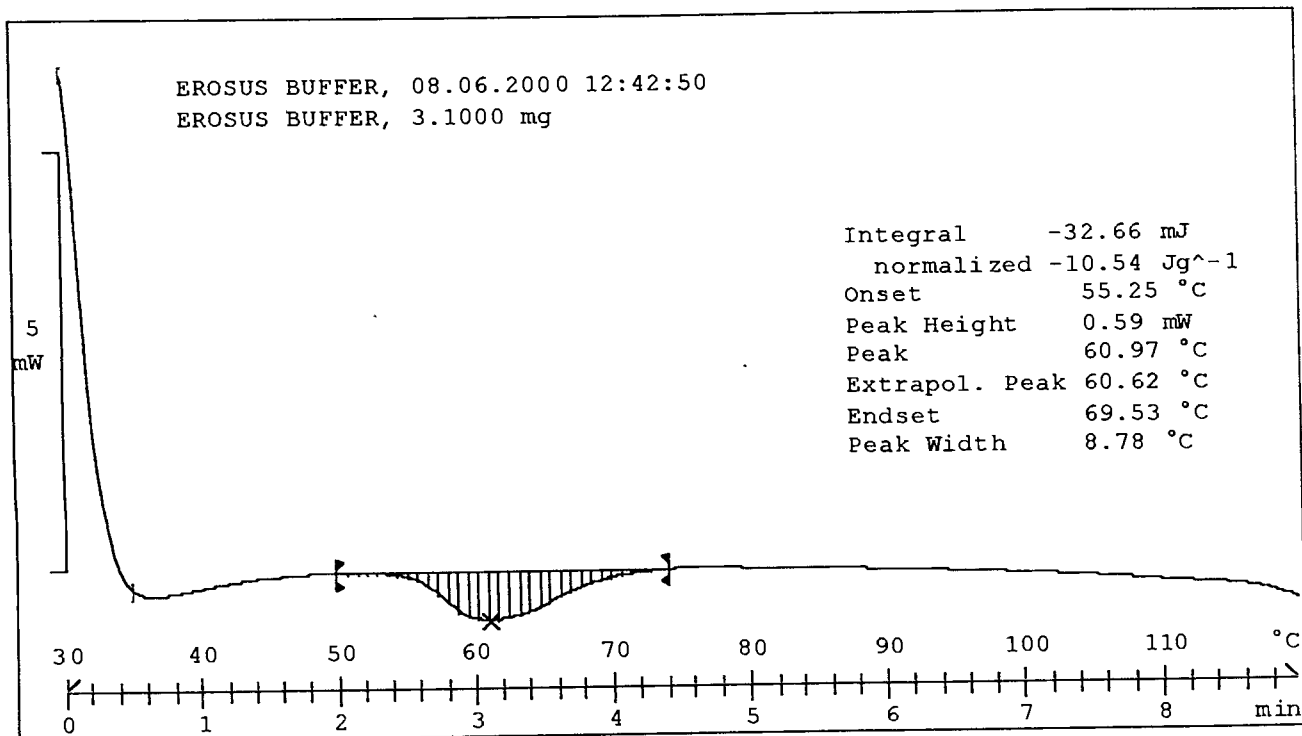
Anexo 1a.



Anexo 1b.



Anexo 1c.



Anexo 2a.

Formulación 1, comparando su temperatura de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Muestra A, a 5°C	Muestra B, a 20°C	Muestra C, a 35°C
1	2	3	1
2	2	3	1
3	1	3	2
4	2	1	3
5	3	1	2
6	2	1	3
7	2	3	1
8	1	3	2
9	3	2	1
10	3	2	1
11	3	2	1
12	2	3	1
13	3	2	1
14	3	2	1
15	2	3	1
Suma de rangos:	34	34	22

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13, con un nivel de significancia del 5%

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$A-B = |34-34| = 0 < 13$$

$$A-C = |34-22| = 12 < 13$$

$$B-C = |34-22| = 12 < 13$$

Se concluye que las tres muestras no son diferentes entre si, por lo tanto los jueces les supo igual el tiempo de almacenamiento.

Anexo 2b.

Formulación 2, comparando su temperatura de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Muestra A, a 5°C	Muestra B, a 20°C	Muestra C, a 35°C
1	1	3	2
2	2	3	1
3	2	1	3
4	1	2	3
5	2	3	1
6	2	3	1
7	3	2	1
8	3	1	2
9	2	3	1
10	1	3	2
11	3	2	1
12	3	2	1
13	3	2	1
14	2	3	1
15	1	2	3
Suma de rangos:	31	35	24

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13, con un nivel de significancia del 5%.

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$A-B = |31-35| = 4 < 13$$

$$A-C = |31-24| = 7 < 13$$

$$B-C = |35-24| = 9 < 13$$

Se concluye que las tres muestras no son diferentes entre sí, por lo tanto los jueces les supo igual con las mismas características de almacenamiento.

Anexo 2c.

Formulación 3, comparando su temperatura de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Muestra A, a 5°C	Muestra B, a 20°C	Muestra C, a 35°C
1	1	2	3
2	2	1	3
3	3	2	1
4	3	2	1
5	1	2	3
6	2	1	3
7	3	1	2
8	2	1	3
9	3	1	2
10	2	1	3
11	1	3	2
12	2	1	3
13	1	2	3
14	3	1	2
15	3	2	1
Suma de rangos:	32	23	35

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13 con un nivel de significancia del 5%.

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$A-B = |32-23| = 9 < 13$$

$$A-C = |32-35| = 3 < 13$$

$$B-C = |23-35| = 12 < 13$$

Se concluye que las tres muestras no son diferentes entre sí, por lo tanto los jueces les supo igual el tiempo de almacenamiento.

Anexo 2d.

Las 3 formulaciones comparadas con la misma temperatura (5 °C) de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Formulación 1, a 5°C	Formulación 2, a 5°C	Formulación 3, a 5°C
1	3	2	1
2	2	3	1
3	3	2	1
4	3	2	1
5	3	1	2
6	3	2	1
7	2	3	1
8	1	3	2
9	2	3	1
10	2	3	1
11	3	2	1
12	3	2	1
13	3	1	2
14	3	2	1
15	2	3	1
Suma de rangos:	38	34	18

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13 con un nivel de significancia del 5%.

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$F1-F2 = |38-34| = 4 < 13$$

$$F1-F3 = |38-18| = 20 > 13$$

$$F2-F3 = |34-18| = 16 > 13$$

Concluyendo que la formulación 3 es diferente a las otras formulaciones y teniendo un rango menor, teniendo baja aceptación por los jueces.

Anexo 2e.

Las 3 formulaciones comparadas con la misma temperatura (20 °C) de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Formulación 1, a 20°C	Formulación 2, a 20°C	Formulación 3, a 20°C
1	2	1	3
2	1	3	2
3	3	2	1
4	1	3	2
5	2	3	1
6	3	2	1
7	3	2	1
8	2	3	1
9	2	3	1
10	2	3	1
11	3	2	1
12	2	3	1
13	3	2	1
14	2	3	1
15	3	1	2
Suma de rangos:	34	36	20

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13 con un nivel de significancia del 5%.

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$F1-F2 = |34-36| = 2 < 13$$

$$F1-F3 = |34-20| = 14 > 13$$

$$F2-F3 = |36-20| = 16 > 13$$

Concluyendo que la formulación 3 es diferente a las otras formulaciones y teniendo un rango menor, teniendo baja aceptación por los jueces.

Anexo 2f.

Las 3 formulaciones comparadas con la misma su temperatura (35 °C) de almacenamiento para el nivel de agrado de los jueces.

Jueces	Formulación 1, a 35°C	Formulación 2, a 35°C	Formulación 3, a 35°C
1	3	1	2
2	2	1	3
3	3	1	2
4	2	3	1
5	3	1	2
6	2	1	3
7	1	3	2
8	1	2	3
9	1	2	3
10	1	3	2
11	1	3	2
12	2	1	3
13	2	1	3
14	3	2	1
15	3	2	1
Suma de rangos:	30	27	33

Valor crítico para ordenamiento de rango para 15 jueces y 3 muestras es 13 con un nivel de significancia del 5%.

Diferencias absolutas entre suma de rangos:

$$F1-F2 = |30-37| = 7 < 13$$

$$F1-F3 = |30-33| = 3 < 13$$

$$F2-F3 = |33-27| = 6 < 13$$

Concluyendo que las 3 formulación no hay diferencia entre sí, por lo tanto la temperatura influye para el nivel de agrado la cual a 35°C los jueces no distinguieron.

Anexo 3

PREPARACIÓN DE SOLUCIONES

- **Xileno**
- **Ácido cítrico.**
- **Ácido acético**
- **NaCl**
- **Agua destilada**
- **Azúcar**
- **STARCH ASSAY KIT (Amylase/Amyloglucosidase Method) kit STA-20.**
- **Buffer de fosfatos a pH 4** (ácido cítrico con fosfato de sodio dibásico anhidro)
Para la preparación se utilizaron 21.01g de ácido cítrico y se aforó a un litro.
Por separado se preparó 28.4 gr de fosfato de sodio dibásico anhidrido y se aforó a un litro.

La mezcla se realizó, utilizando 61.45 ml de la solución de ácido cítrico con 38.55 ml de la solución de fosfato dibásico por cada 100 ml de buffer que se desee preparar.

- **STARCH ASSAY KIT (Amylase/Amyloglucosidase Method) kit STA-20.**
- **Solución de formamida-sulfato de sodio.** Se preparó una solución de sulfato de sodio disolviendo 400 g de sulfato de sodio anhidro en 500 ml de agua destilada, se diluyó a 2L. Posteriormente se diluyeron 300 ml de formamida a 2L con la solución de sulfato de sodio.
- **Solución extractora.** Se disolvieron 2 g de ácido sulfosalicílico en un litro de la solución de formamida-sulfato de sodio. Esta solución se prepara diariamente.
- **Solución madre de yodo.**
Se disolvieron 5.5 g de cristales de yodo y 11g de cristales de yoduro de potasio en 25 ml de agua y se diluyeron a 250 ml en un matraz volumétrico color ambar.
- **Reactivo de yodo.** Se diluyeron 10 ml de la solución madre de yodo a 100 ml con agua destilada. Este reactivo se prepara diariamente.

- **Solución de gelatina.** Se disolvieron 10 g de polvo de gelatina en 100 ml de agua destilada recién hervida y se filtro con un filtro de vidrio poroso.
- **Solución diluyente.** Se diluyeron 50 ml de la solución de gelatina y 2.5 ml de la solución de peróxido de hidrógeno al 30% a 500 ml con agua destilada recién hervida.
- **Solución de NaOH al 1N.** 2 gr NaOH en 50 ml de H₂O destilada.
- **Solución de HCl al 1N.** 1.563 ml de HCl en aforar a 50 ml con H₂O destilada.
- **Solución de Iodo.** conteniendo 2 mg Iodo/ml + 20 mgKI por ml.
- **Reactivo. 3-5 ácido dinitrosalicílico 0.02M.** 0.25 gr de 3-5 ácido dinitrosalicílico aforar a 50 ml con H₂O destilada.