



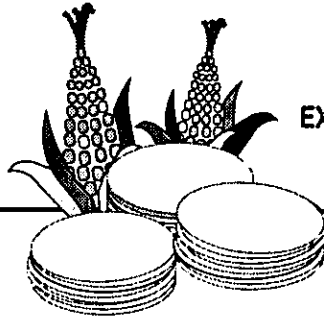
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

4
207

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA



ESTUDIO
SOBRE LA RETROGRADACION
DEL ALMIDON
DE TORTILLA DE MAIZ
MEDIANTE CALORIMETRIA
DIFERENCIAL DE BARRIDO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA
LILIANA ANCHONDO ESPINOSA

265907



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D.F.

1998



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



JURADO ASIGNADO

Profesores:

Presidente	FRANCISCA ITURBE CHIÑAS
Vocal	MA. DE LOS ANGELES VALDIVIA LOPEZ
Secretario	HERMILO LEAL LARA
1er. Suplente	MA. DEL ROCÍO SANTILLANA HINOJOSA
2do. Suplente	GABRIELA ESCOBEDO OLEA

Sitio donde se desarrolló el tema:

Laboratorio 323
Conjunto E
Departamento de
Alimentos y Biotecnología
Facultad de Química
UNAM



ASESOR:  M. en C. MARIA DE LOS ANGELES VALDIVIA LOPEZ

SUSTENTANTE:  LILIANA ANCHONDO ESPINOSA



Dedicatorias

A mis padres, por el gran ejemplo de amor, por enseñarme a ser yo misma, porque el orgullo más grande en mi vida es ser su hija.

A mis tías Tere, Locha y Gloria, por su apoyo incondicional, por su firme confianza en mí, por enseñarme que una verdadera familia se cimenta con amor desinteresado y buen humor, por todo lo que compartimos. ¡GRACIAS!

A mi abuelita Herlinda, por ser un ejemplo de fuerza y vitalidad, por su profundo cariño hacia mí.

A mi hermano, por ser mi amigo de siempre, por esa confidencialidad y complicidad que siempre ha existido entre nosotros.

A mi tía Emma, por haber iluminado mi infancia con su amor, juegos, mimos, atenciones y paciencia..... ¡por ser mi tía Emma!

A mi tía Carmen, por el recuerdo amoroso e imborrable de rectitud y educación que dejó en todos nosotros... y además, ¡por ser una gran artista!

A Rodrigo, por habernos mirado y reconocido

A mi queridísimo amigo Adrián, por ser de lo más divertido y simpático

Y por supuesto a mis mejores amigos:

Marcela, Ursula, Aris, Karla, Tayde, Martha, Karina, Fabiola, Dulce, a mi cuñada Ismene y especialmente a Juan Carlos. ¡SIN USTEDES NADA HUBIERA SIDO IGUAL!

A mis amigas Tere y Andrea por hacer de lo aburrido algo muy entretenido

A Carlo, por nuestras interminables pláticas, por ser mi verdadero amigo

A Octavio, por tantos años, por compartir conmigo el maravilloso sueño del teatro

A mi amiga Mónica, por todos los momentos inolvidables que hemos pasado

A mis compañeros y amigos: Valentín, Luis Felipe, Juanito y Miguel Manuel M.



Agradecimientos

A la M. en C. Angeles Valdivia López, por confiar en mí, por sus atinadas correcciones durante la elaboración de este trabajo, por sus valiosos consejos que han dado solidez a mi formación profesional y me han permitido crecer como persona

A la M. en C. Francisca A. Iturbe Ch., por involucrarse tanto en mi trabajo, por haber tomado mi compromiso como suyo, por ayudarme en todo momento, ¡ por tener bien puesta la camiseta de la Universidad! -¡Gracias!

A la Q.F.B. Julieta Sandoval, por ser el pilar del laboratorio, por su invaluable ayuda en todos aspectos ¡ por ser la mejor técnica académica de la UNAM!

A todos mis maestros, especialmente a Alejandro Baeza R., por su excelencia académica y por ser una gran persona y amigo

A Mercedes Llano L., por tantos años de trabajo cordial, ¡porque fuimos un gran equipo!

A todos los miembros del laboratorio 323

A la Facultad de Química de la UNAM

¡GRACIAS!



ÍNDICE

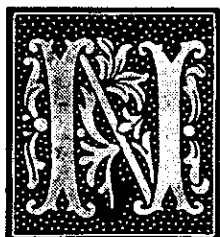
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	5
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES	7
1.1 Maíz	8
1.1.1 Estructura	9
1.1.2 Composición	10
1.1.3 Clasificación	14
1.2 Nixtamalización	17
1.3 Tortilla	22
1.4 Almidón	26
1.4.1 Estructura	26
1.4.2 Gelatinización	28
1.4.3 Retrogradación	29
1.4.4 Almidón Retrogradado: una medida del envejecimiento	31
1.5 Análisis Térmico	34
1.5.1 Definición	34
1.5.2 Fundamento	34
1.5.3 Clasificación y Diferencias entre Sistemas	35
1.5.4 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	37
1.5.5 Aplicación de DSC en Investigación de Alimentos	39



CAPITULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	41
CAPITULO III PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS	55
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA	81



INTRODUCCIÓN



uestro pasado y presente tienen su fundamento en el maíz. Maíz, sociedad, cultura e historia son inseparables en nuestro país. El maíz no existe en forma silvestre en la naturaleza, no puede reproducirse si el hombre no lo siembra y cuida. El maíz es un producto del hombre; de su imaginación, su conocimiento y su trabajo. Así, este grano con la compleja relación económica-social-simbólica en que está centrado, adquiere un profundo significado para el pueblo mexicano.

El cultivo del maíz ha permitido la evolución en la forma de vida a través de la historia. Gracias a éste, la vida nómada basada en la caza, la recolección y la pesca, pudo transformarse a una forma sedentaria para dar principio a la agricultura.

En cualquier parte del mundo, la agricultura juega un papel muy importante en la historia de los alimentos. Actualmente, el maíz es el tercer cereal



más importante en el mundo, se estima que cubre el 51% del área total cultivada (Floyd et al, 1995) y se espera que para finales de siglo sea la cosecha más importante.

La intensificación en el cultivo del maíz, provocó una innovación tecnológica en la historia: LA NIXTAMALIZACIÓN, proceso térmico alcalino cuyas raíces etimológicas son “nextli: cenizas de cal” y “tamalli: masa de maíz”. Con el paso del tiempo, la nixtamalización toma gran auge convirtiéndose en fuente de trabajo de numerosas familias, las cuales cocían el maíz en grandes tinas y proveían a algunos sectores cercanos a su población. De esta manera, se origina el proceso industrial que no es más que una extrapolación del proceso casero. Las condiciones técnicas del proceso son establecidas empíricamente. Existen muy pocos trabajos publicados acerca del proceso de nixtamalización, en donde se describen algunas modificaciones hechas al proceso tradicional con el fin de minimizar costos y mejorar al producto final. La relación cal:grano, agua:grano, tiempo de cocción y reposo (Durán 1978, Trejo-González y Feria-Morales, 1982), así como las modificaciones



que ocurren en el endospermo (Cabrera 1984) y características finales del producto (Buendía 1981) son factores importante a considerar en el proceso. Artículos más recientes, hablan acerca de los cambios químicos del maíz sufridos por la nixtamalización y cocción de la tortilla (Gómez y McDonough, 1989 y Vivas y Waniska, 1987), aspectos también importantes a considerar en la estabilidad del producto.

Así, la nixtamalización tuvo un gran impacto, tanto, que la tortilla es en la actualidad la base de la alimentación mexicana y es reconocida internacionalmente.

El consumo promedio de tortilla, alcanza a satisfacer entre el 60 y 75 % de los requerimientos diarios de energía así como el 60 % de proteínas y el 87% de calcio total de la dieta. Sin embargo, hoy en día, las prácticas de manejo y almacenaje de la tortilla son inadecuadas para atender el mercado (Nieblas et al, 1991). El problema principal que presenta, es el rápido endurecimiento, lo que conlleva al desperdicio o al consumo en condiciones poco agradables. Existen muy pocos estudios referentes a la conservación de la



tortilla, entre los cuales se cuenta con el desarrollo de una tortilla con humedad intermedia estable a temperatura ambiente (Peláez y Karel, 1980). Con respecto a temperaturas de almacenamiento, sólo se encontró un artículo publicado por el centro de alimentación y desarrollo en Hermosillo Sonora, México (Nieblas et al, 1991).

Si bien se ha demostrado que el almidón es el principal factor involucrado en las modificaciones físicas del envejecimiento del pan y otros productos de alto contenido de almidón, no se han realizado estudios específicos de lo que sucede en la tortilla al respecto.

Basados en el recuento anterior, el presente trabajo tiene como objetivo el estudiar los cambios macromoleculares en la porción amilácea de la tortilla de maíz sometida a diferentes temperaturas de almacenamiento, mediante la obtención de sus perfiles calorimétricos durante el período de envejecimiento.



OBJETIVOS

Objetivo General

- Conocer la influencia de la temperatura de almacenamiento (refrigeración, congelación) sobre la porción amilácea de la tortilla de maíz a través del análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido.

Objetivos particulares

- Conocer los cambios en la porción de amilosa y amilopectina debido a la retrogradación, mediante la evaluación de sus perfiles calorimétricos.
- Evaluar los cambios fisicoquímicos en la porción amilácea de la tortilla almacenada mediante un análisis químico.
- Establecer el tipo de correlación entre los perfiles químicos y calorimétricos de la fracción amilácea con el fenómeno de retrogradación.
- Conocer el cambio en la digestibilidad del almidón retrogradado, de la tortilla almacenada.



- Evaluar una nueva formulación de tortilla mediante sus perfiles calorimétricos de retrogradación.
- Comparar el grado de retrogradación de tortilla comercial adicionada con gomas y el de la nueva formulación.



Torre de la Rectoría, en Ciudad Universitaria. Se aprecia en el costado izquierdo la Biblioteca.



Capítulo I

Antecedentes



I. ANTECEDENTES

1.1 Maíz

El maíz tiene su origen en América. Según vestigios encontrados en el Valle de México tiene una edad arqueológica de 7000 años.

Los principales países productores de maíz en el mundo son Estados Unidos, China e India. México ocupa el 5° lugar de producción a nivel mundial (Loaeza, 1991).

Los granos de maíz se producen en mazorca (inflorescencia femenina), cada mazorca tiene alrededor de 800 granos (Bartolini, 1989). Cada grano de maíz tiene un peso promedio de 250 a 300 mg, siendo así el cereal de mayor tamaño (American Association of Cereal Chemist, 1987). La coloración de los granos puede variar de blanco, amarillo, naranja, púrpura y café. Esta variación es debida a diferencias genéticas del endospermo principalmente.



El maíz tiene una gran capacidad adaptativa, pudiendo crecer a temperaturas desde 10 °C hasta 40°C.

1.1.1. Estructura

El grano de maíz es una cariopside desnuda, esto es que su estructura no posee lema ni palea. El grano puede dividirse en cuatro partes: germen, endospermo, pericarpio y punta.

a) Germen. Representa el 11.5% del peso seco del grano y está constituido por el axis embrionario, que es la estructura que desarrollará la planta y el escutelo, que es el que almacena los nutrientes que se movilizarán durante la germinación. Es un puente comunicador entre el endospermo y el embrión (González, 1995).

b) Endospermo. Constituye el 84% del grano en base seca y contiene el 86-89% de almidón. Éste, está embebido en una matriz proteínica compuesta principalmente de Zeína, proteína deficiente en lisina (Dombrink-Kurtzman y González, 1995). El endospermo está cubierto por la aleurona, que es rica



en proteínas de alta calidad. El endospermo consta de dos regiones bien definidas: el endospermo harinoso, que es de consistencia suave y opaca, y sus gránulos están arreglados holgadamente en una matriz proteínica. Y la segunda región, conocida como endospermo córneo, que es de consistencia dura y traslúcida, sus gránulos están incrustados de forma compacta en una gruesa matriz proteínica.

c) Pericarpio. Es la estructura más externa del grano de maíz y está compuesto principalmente de hemicelulosa. Le confiere dureza al grano y propiedades semipermeables.

d) Punta. Es lo que sobra del órgano de adhesión del grano de maíz con el olote.

1.1.2 Composición

En la tabla 1.1 se muestra la composición química promedio para el grano de maíz producido en México. Se puede observar que es un alimento con bajo contenido de proteínas, pero alto en carbohidratos, por lo



que lo convierte en una de las principales fuentes de energía (Bressani, et al 1972).

Tabla 1.1
Composición química del maíz mexicano.
Fuente: Hernández (1983), Hawthorn (1992)

Componente	Contenido	(g componente / 100 g maíz)
Proteínas	8.5 - 10	
Carbohidratos	68 - 72	
Grasa	3.5 - 4.5	
Fibra	2 - 2.4	
Minerales	3.5 - 4.5	

CARBOHIDRATOS

El maíz está compuesto principalmente de carbohidratos. De los carbohidratos el almidón representa el 98% y el resto está dado por sacarosa, glucosa, fructosa, rafinosa, celulosa, hemicelulosa y pentosanas. El principal componente del almidón es la amilopectina (73%) y la menor parte es la amilosa (26%) (Inglett, 1980).



LÍPIDOS

Los lípidos del maíz están compuestos principalmente de triacilglicéridos en cuya composición predominan los ácidos grasos insaturados.

Los mamíferos, pueden sintetizar ácidos grasos saturados y monoinsaturados a partir de otros precursores, pero son incapaces de fabricar ácidos grasos insaturados que se denominan esenciales (Lehninger, 1985). Estos ácidos, al no sintetizarse en los mamíferos, deben obtenerse de fuentes vegetales donde abundan, como el maíz.

En la tabla 1.2 se presenta el contenido de los principales ácidos grasos presentes en el aceite refinado de maíz.



Tabla 1.2

Ácidos grasos presentes en aceite de maíz refinado.

Fuente: American Association of Cereal Chemists. 1987.

Nombre del ácido graso	Número de átomos de carbono presentes en la cadena	Número de dobles enlaces	g ácido graso/100 g de aceite
Linoléico	18	2	61.9
Oléico	18	1	24.1
Palmítico	16	0	11.1
Estearico	18	0	2.0
Linolénico	18	3	0.7
Araquidónico	20	0	0.2
Mirístico	14	0	0.2
Laurico	12	0	0.1

VITAMINAS

Contiene también dos importantes vitaminas liposolubles: vitamina A y vitamina E. Con respecto a las vitaminas hidrosolubles, es deficiente en ácido fólico y cianocobalamina. La niacina se encuentra en un complejo no disponible hasta el momento de la nixtamalización (Watson y Ramstad 1987).



PROTEÍNAS

Según Osborne y Chittendem (Paulins, 1981) las proteínas del maíz pueden clasificarse de acuerdo a su solubilidad, en albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas.

La proteína más abundante en el maíz es la zeína, la cual es una prolamina. Ésta, es de mala calidad ya que es baja en lisina y triptofano (aminoácidos esenciales) y tiene exceso de leucina, lo que provoca un desequilibrio de aminoácidos.

Las glutelinas, contienen 5% de glicina, 4% de lisina y 1% de triptofano. Además, comparándolas con la zeína, tienen un contenido mayor de ácido aspártico, arginina, cistina y valina, pero un menor contenido de ácido glutámico, isoleucina, leucina y prolina. Así, las glutelinas tienen un mayor valor biológico que la zeína (Watson y Ramstad, 1987)

1.1.3. Clasificación

Botánicamente, el maíz está clasificado de la



siguiente manera (Bartolini, 1989)

Reino	Vegetal
División	Tracheophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledoneae
Grupo	Gumiflora
Orden	Graminales
Familia	Gramineae
Tribu	Maydeae
Género	Zea
Especie	Mays

Según la Norma Oficial Mexicana (NOM-FF-34-1982), comercialmente, el maíz se clasifica como:

- Blanco. Se define a este maíz como el que corresponde a este color y no presenta más del 5% de otros colores.

- Amarillo. Este maíz tiene un elevado contenido de carotenos, por lo que en su mayoría, es empleado para forraje.



- Pinto. Se define como cualquier tipo de maíz que contenga más del 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado).

- Mezclado. Existen 2 tipos:

1) Aquel maíz blanco que presenta un mínimo y máximo de 5% y 10% de maíz amarillo respectivamente y viceversa.

2) Aquel maíz blanco que presenta más del 10% de maíces amarillos y viceversa.

Estructuralmente, el maíz puede clasificarse en:

- Dentado. Se caracteriza por una depresión en la corona del grano originada por la contracción del endospermo a medida que el grano va secándose. Su uso principal es como materia prima industrial y para consumo humano y animal.

- Cristalino. Contiene un 95% de endospermo cristalino (González, 1995), generalmente, el grano es liso y redondo.



- Harinoso. No contiene endospermo cristalino. En México es utilizado para hacer pozole.

- Palomero. El endospermo es cristalino y muy duro. Contiene una parte muy pequeña de endospermo harinoso. Su forma es redonda y puntiaguda. Principalmente, está destinado para consumo humano en forma de rosetas de maíz.

- Dulce. Durante el desarrollo del endospermo de este tipo de maíz, el azúcar no es convertida a almidón o la conversión es mucho más lenta. En México, el consumo es “poco”.

- Tunicado. Cada grano, está encerrado en una vaina. No se usa para consumo.

1.2 Nixtamalización

El maíz ha sido el cereal básico en la alimentación del pueblo mexicano durante varias centurias. Asimismo, el desarrollo de México ha estado estrechamente relacionado con el cultivo y consumo de este grano.



Es ampliamente conocido que algunas culturas latinoamericanas de donde podemos destacar a los Mayas, no sólo conocían, cultivaban y consumían maíz, si no que lo preparaban mediante un proceso térmico alcalino para poder transformarlo en masa, con la que preparaban atole, tamales y tortillas. A este proceso se le conoce en México como Nixtamalización, palabra náhuatl derivada de nextli que significa cenizas de cal y tamalli que significa masa de maíz.

En esa época, el único fin de la nixtamalización era cocer el grano para ablandarlo e hincharlo y así facilitar su molienda.

Algunos grupos étnicos, como los purépechas, molían el maíz con bicarbonato para prevenir la constipación. Otros grupos lo daban de alimento a los enfermos con fines terapéuticos.

Existen estudios antropológicos que concluyen que la nixtamalización permitió el desarrollo de sociedades indígenas en Mesoamérica debido a que proporciona un incremento nutricional en el maíz (Katz et al, 1974).



El objetivo general de la nixtamalización es gelatinizar parcialmente al almidón, hidrolizar parcialmente la hemicelulosa del pericarpio y liberar niacina (Chávez, 1973).

Se ha observado que las condiciones del procesamiento para obtener nixtamal, varían dependiendo de la producción, de la forma de consumo, de los hábitos regionales, del molino y de la variedad del grano (Fonseca, 1991).

El proceso general de nixtamalización se observa en el cuadro 1.3. Consiste en mezclar al grano con el doble del equivalente de su peso en agua y agregar cal en una concentración del 1-2 % con respecto al peso del maíz. La mezcla se calienta a 80°C de 20 a 45 minutos. Se deja reposar hasta el día siguiente (12-18 horas). Al finalizar, el pericarpio está parcialmente separado y el endospermo hinchado. Se separa por decantación y lavados. Posterior a este proceso, el nixtamal se muele para producir masa (López, 1986).

Durante la cocción del maíz, la cantidad de almidón que se gelifica es relativamente pequeña. La temperatura es suficientemente alta, pero la cantidad



de agua es limitada. El grano de maíz es muy duro y denso; por esto, es necesario un período de tiempo bastante largo para que el centro del grano llegue a empaparse de agua. Las sales solubles y el azúcar del grano elevan la temperatura de gelificación. El hidróxido de calcio se añade principalmente para suavizar el pericarpio del maíz. El pericarpio y el agua de

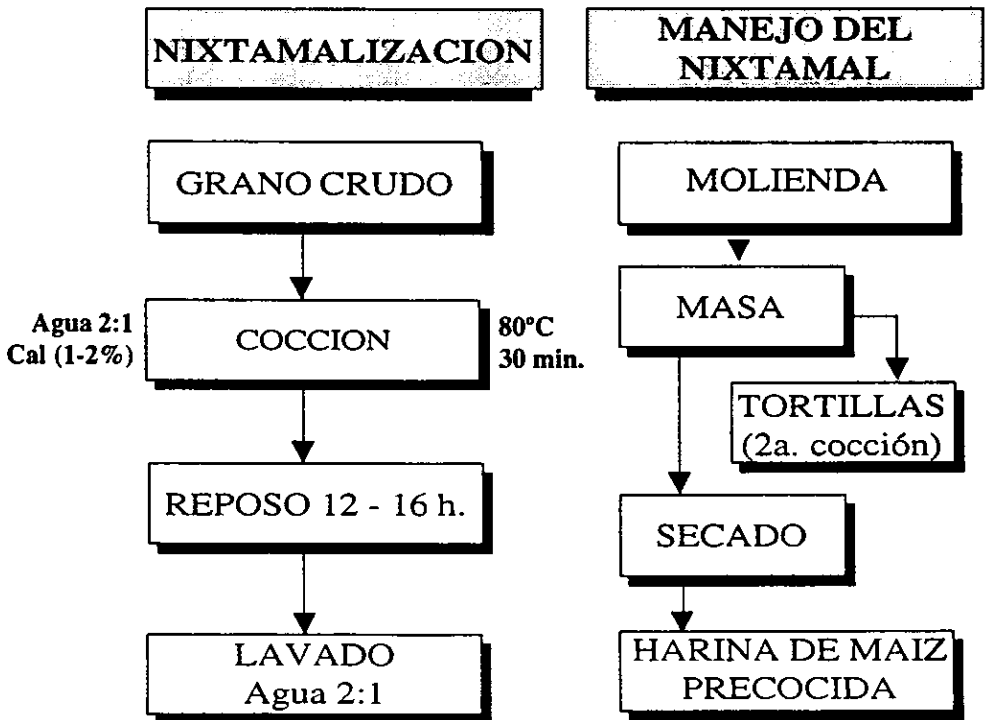


Figura 1.3

Diagrama esquemático del proceso de nixtamalización y manejo de nixtamal.



cocción se eliminan con lavados antes de la molturación. El tiempo necesario de cocción varía según el tipo de maíz y está relacionado aparentemente con la velocidad de penetración del agua. Es necesario que todo el grano se hidrate por igual.

La nixtamalización produce algunos cambios significativos en el maíz, entre los que se pueden citar:

- Gelatinización parcial del almidón
- Disminución del contenido de proteína, ya que cuando se hidrolizan algunas fracciones proteínicas, se solubilizan y se pierden en el nejayote, que es el agua de cocción y el agua de lavado
- Aumento en la disponibilidad de los aminoácidos debido a la desnaturalización parcial de la proteína
- Aumenta la disponibilidad de niacina
- Aumento considerable del contenido de calcio
- Disminución en el contenido de fibra cruda debido a la hidrólisis del pericarpio (Bressani, 1972)
- Pérdida de vitaminas hidrosolubles
- Reducción en el contenido de grasa, por la liberación de ácidos grasos que ocurre en la hidrólisis alcalina. (Pérez, 1992; Trejo-González y Feria-Morales, 1982; Machorro, 1984)



1.3 Tortilla

En el país, el maíz representa el 52.7% de la producción total agrícola, es el cultivo nacional más importante. De la superficie total destinada a la agricultura, el maíz abarca el 51% (Floyd et al, 1995).

De la producción total de maíz, el 81% se destina a consumo humano, el 15% a forraje y el 4% restante se transforma en almidones, glucosa, dextrinas, féculas y otros derivados.

Cuando se elaboran tortillas, la masa de nixtamal representa el 46% del costo total de la producción de tortillas y el 39% si se trata de harina nixtamalizada.

Las proteínas que aporta una tortilla son 69% mas baratas que el equivalente aportado por el pan (Durán, 1981).

El consumo de maíz excede en un 128% al de trigo, frijol y arroz juntos. La mayor parte del maíz, se consume en forma de tortillas, esto es aproximadamente el 80% del maíz destinado a consumo humano.



El consumo promedio diario per cápita de tortilla es aproximadamente de 300 g, aunque algunos estudios reportan que el consumo varía con la edad y situación económica de las personas. Niños entre uno y cinco años consumen de 100 a 200 g mientras que hombres adultos consumen aproximadamente 600 g (Chávez, 1973).

El aporte diario de proteínas y energía que da la tortilla es el 27% y 33% respectivamente, en niños de uno a dos años. En niños de cuatro a cinco años la tortilla contribuye con el 33% de proteínas y el 39% de las calorías diarias (Bressani, et al., 1972).

La composición aproximada de la tortilla se muestra en la tabla 1.3.1. La variación en el contenido de cada componente varía según el tipo de maíz y el contenido de humedad.

La industria productora de tortillas está integrada por fábricas de harina, tortillerías, molinos de nixtamal y molinos-tortillerías. La industria de la harina de maíz en México, tuvo su origen a principios de los años cincuenta y actualmente México es el principal pro-



Tabla 1.3.1

Fuente: Hernández, M. et al (1987), Renhotra, G. S. (1985)

Composición aproximada de la tortilla

Componente	$\frac{\text{g componente}}{100 \text{ g tortilla}}$	Por tortilla (35g)
Humedad	38 - 45	13.3 - 15.8
Proteína	5.3 - 7.2	1.9 - 2.5
Grasa	0.8 - 3.8	0.3 - 1.3
Cenizas	0.9 - 1.2	0.3 - 0.4
Fibra dietética	3.4 - 4.1	1.2 - 1.4
Fibra cruda	0.7 - 1.7	0.24 - 0.6
Carbohidratos	42.8 - 48	15 - 17
Energía (Kcal/100g)	205 - 224	72 - 78.4
	$\frac{\text{mg}}{100 \text{ g}}$	mg por tortilla (35g)
Fósforo	180 - 260	64 - 91
Calcio	90 - 210	34.3 - 73.5
Magnesio	60 - 65	21 - 23
Hierro	1.2 - 2.5	0.42 - 0.87
Zinc	1.1 - 1.4	0.38 - 0.49
Cobre	0.13 - 0.17	0.04 - 0.06
Manganeso	0.4 - 0.41	0.14
Sodio	2 - 17	0.7 - 6
Potasio	105 - 185	36.8 - 64.8
Tiamina	0.7 - 0.17	0.24 - 0.06
Riboflavina	0.01 - 0.12	0.29 - 0.56
Ac. Fólico	0.006 - 0.019	0
Ac. Pantoténico	0.163 - 0.241	0.05 - 0.08
Vitamina B6	0.118 - 0.302	0.04 - 0.1



ductor del mundo. Para vislumbrar la importancia y magnitud de la industria de harina nixtamalizada en México, la tabla 1.3.2 muestra la capacidad de producción instalada de las dos principales marcas de plantas procesadoras de harina nixtamalizada, MASECA y MINSA.

Tabla 1.3.2 Capacidad de producción instalada de harina nixtamalizada. Datos proporcionados por la Comisión Nacional de la Industria del Maíz para Consumo Humano. Enero-diciembre, 1980

MASECA		MINSA	
PLANTA	PRODUCCION TOTAL (toneladas)	PLANTA	PRODUCCION TOTAL (toneladas)
Acaponeta, Nay.	87,600	Tlalnepantla, Mex.	87,120
Guadalajara, Jal.	43,800	Jaltipan, Ver.	29,040
Zamora, Mich.	87,600	Arriaga, Chis.	29,040
Chihuahua, Chih.	131,400	Guadalajara, Jal.	58,080
Monterrey, N.L.	131,400	Los Mochis, Sin.	58,080
Rio Bravo, Tamps.	87,600		
Chinameca, Ver.	87,600		
Cd. Obregón, Son.	87,600		
Culiacán, Sin.	73,000		
TOTAL	905,200	TOTAL	261,360



1.4 Almidón

El almidón es el polisacárido más importante desde el punto de vista comercial y es probablemente el más abundante en la naturaleza. Es la reserva energética de las plantas así como lo es el glucógeno en los animales. Es el responsable de las características de textura de muchos alimentos con alto contenido de éste.

Las fuentes principales de almidón son los cereales, principalmente maíz, y la papa.

1.4.1 Estructura

El almidón está formado por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. Estos polisacáridos se encuentran radialmente distribuidos en capas concéntricas, formando una estructura rígida llamada gránulo. Estos gránulos son únicos y característicos para cada tipo de almidón, es decir, su estructura y proporción dependen de la procedencia del almidón.

Los gránulos del almidón de maíz miden de 12 a 25 micras y presentan una forma redonda o poligonal (Charley, 1991)



Amilosa. La amilosa está formada por una cadena lineal de D-glucopiranosas unidas por enlaces glucosídicos α -D-(1-4). Esta cadena, adquiere una estructura tridimensional de forma helicoidal. Puede tener desde 200 monómeros unidos hasta 2,500. Generalmente, la amilosa representa un 20-25% del total del almidón. (Figura 1.4.1)

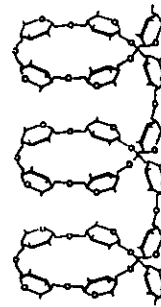


Figura 1.4.1
Estructura de la Amilosa

Amilopectina. La amilopectina está formada por una cadena principal de D-glucopiranosas con enlaces α -D-(1-4). A diferencia de la amilosa, la amilopectina presenta ramificaciones con enlaces α -D-(1-6). La molécula es más pesada que la amilosa y se encuentra en mayor proporción que ésta (75-80%) . (Figura 1.4.2)

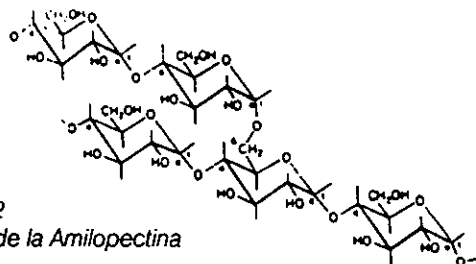


Figura 1.4.2
Estructura de la Amilopectina



1.4.2 Gelatinización

El almidón en su estado natural, es insoluble en agua, ya que para mantener la forma helicoidal de la amilosa, hay puentes de hidrógeno comprometidos en la estructura.

Aún así, la molécula tiene algunos grupos hidrofílicos que son los responsables del hinchamiento del gránulo al estar en contacto con agua fría (Davidek et al, 1990).

Si se somete una suspensión de almidón a un tratamiento térmico de 50-60 ° C, ocurren cambios importantes en las zonas amorfas. Suceden rupturas de los puentes de hidrógeno involucrados en la molécula, para que después se reformen con el agua presente en la suspensión. De esta manera, aumenta la absorción de agua y se vuelve soluble. A este fenómeno se le conoce como gelatinización y va acompañado de la pérdida de birrefringencia debido a la ruptura del arreglo radial del polímero.

Como cada tipo de almidón tiene distinto grado de cristalización en la molécula, los tiempos y tempe-



raturas de gelatinización varían (Yuan et al, 1993; Pomeranz, 1991).

1.4.3 Retrogradación

Una vez gelatinizado el almidón, con el paso del tiempo las cadenas de amilosa y las fracciones lineales de la amilopectina tienden a reorientarse paralelamente entre ellas interaccionando mediante puentes de hidrógeno, ocurriendo así la insolubilización del almidón. Este fenómeno, es conocido como retrogradación. Existen varios factores que afectan la velocidad y grado de retrogradación, entre los más importantes se pueden citar la temperatura de almacenamiento, el tipo de almidón y algunos componentes presentes en la matriz alimenticia.

La retrogradación puede conducirse hacia la solidificación del gel o la formación de un arreglo cristalino (figura 1.4.3.1)

El proceso de retrogradación de la amilopectina es reversible cuando se aplica calor. Sin embargo, la retrogradación de la amilosa es totalmente irreversible



por métodos convencionales de calentamiento (Hodge, 1985)

Algunos autores afirman que existe un problema desde el punto de vista nutricional, ya que las zonas cristalinas que se forman durante la retrogradación son difícilmente atacadas por las enzimas amilolíticas del sistema digestivo del ser humano, reduciéndose así el valor energético y nutritivo del almidón.

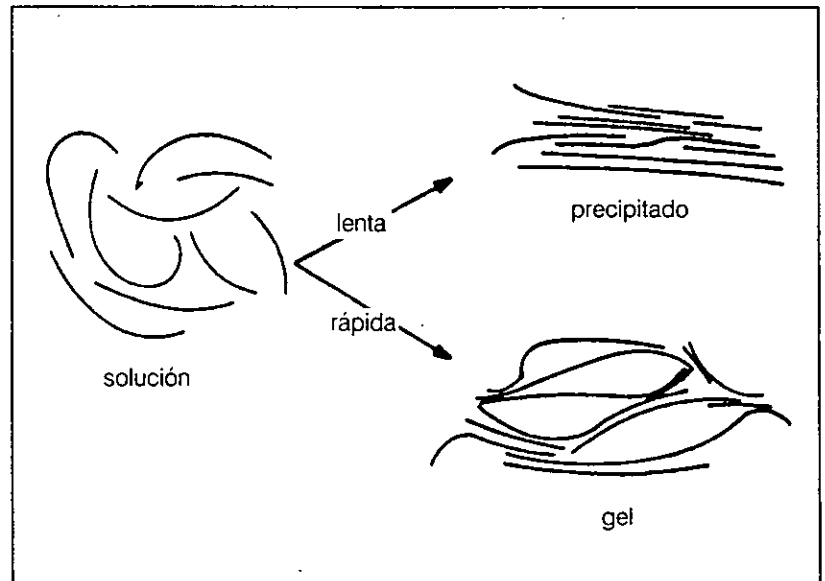


Figura 1.4.3.1.
Mecanismo de Retrogradación del almidón



1.4.4 Almidón retrogradado: una medida del envejecimiento

El almidón es responsable del envejecimiento en productos con alto contenido de éste. Es bien sabido, que la retrogradación del almidón produce el endurecimiento del producto confiriendo así nuevas características organolépticas no deseables.

Las investigaciones realizadas hasta el momento, se han enfocado principalmente al envejecimiento del pan, ya que es un producto de consumo mundial, el envejecimiento de éste acarrea grandes pérdidas a la industria panadera. El producto es vendido a consignación precisamente por tener tan corta vida de anaquel. Aproximadamente en dos días recogen todo el pan que no se vendió (10% del total).

El envejecimiento del pan involucra la correosidad en la corteza y alteraciones en la miga. Estas últimas son provocadas por el cambio del almidón a través del tiempo.



En un principio, se pensaba que el fenómeno de endurecimiento de la miga se debía a la alta susceptibilidad de la amilosa para retrogradarse, pero investigaciones posteriores proponen que la retrogradación de la amilopectina juega un papel más importante dentro del envejecimiento (Pomeranz, 1992). El mecanismo propuesto para la retrogradación del pan se muestra en la figura 1.4.4.1

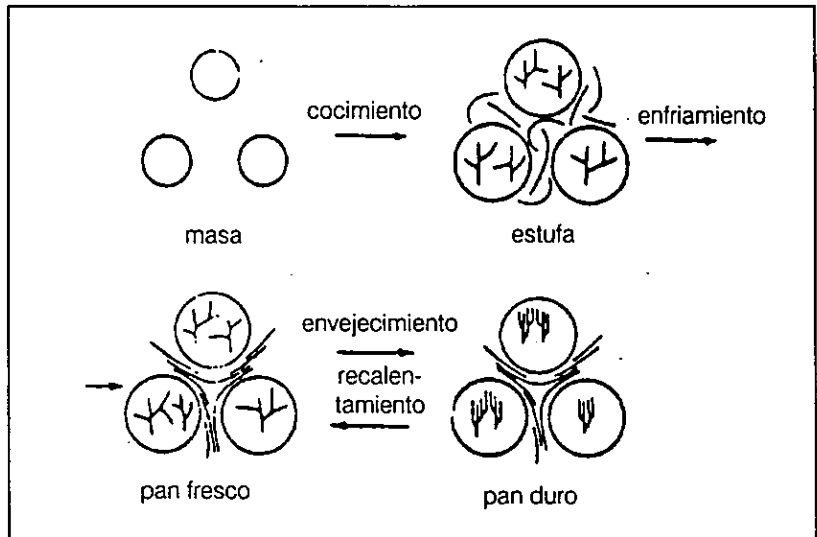


Figura 1.4.4.1

Mecanismo propuesto para la retrogradación del almidón durante el envejecimiento del pan

Cuando las cadenas de amilopectina se unen, ocurre la expulsión de agua, dando lugar a la deshidratación y envejecimiento del pan. Dado que los



cristales de amilopectina funden a 60 °C, la reacción es reversible cuando se aplica calor húmedo (siempre y cuando la retrogradación no esté muy avanzada).

Se cree que la opacidad de la miga es debida a la formación de cristales de amilopectina debido a que provoca un cambio en el índice de refracción.

Algunos factores aceleran o retrasan el proceso de envejecimiento. Ciertos productos están adicionados con algunos surfactantes que forman complejos con la amilosa (Hoseney, 1992), evitando así, que las cadenas de amilosa interactúen entre sí, además de evitar que el grano se hinche tanto durante el proceso de gelatinización. Otros productos están adicionados de enzimas y/o gomas vegetales.

La temperatura también juega un papel muy importante en la velocidad de envejecimiento. Las bajas temperaturas aceleran el fenómeno de envejecimiento debido a que la retrogradación se ve favorecida (Hoseney, 1992).



1.5 Análisis Térmico

1.5.1 Definición

La Confederación Internacional de Análisis Térmico, define a este análisis como un grupo de técnicas que miden una propiedad física de una muestra sometida a un programa de temperatura controlada. La propiedad física a medir debe estar en función de la temperatura.

Cuando la muestra es comparada con un material de referencia, se denomina análisis térmico diferencial.

1.5.2 Fundamento

Cuando un material pasa por un cambio de estado físico, por ejemplo una fusión o una transición cristalina de una forma a otra, o cuando reacciona químicamente, tiene lugar una absorción o un desprendimiento de calor. Muchos de estos procesos pueden ser iniciados simplemente aumentando la temperatura del material. Así, los sistemas térmicos diferenciales, tienen



como finalidad registrar la diferencia entre el cambio de entalpía que ocurre entre una muestra y algún material inerte de referencia cuando ambos son calentados y así poder hacer una correlación del cambio en la entalpía y el cambio estructural de la molécula.

1.5.3 Clasificación y Diferencias entre sistemas

Existen muchos tipos de sistemas térmicos diferenciales, los más utilizados son la Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y el análisis térmico diferencial (DTA). Este último puede clasificarse en DTA clásico y DTA "Boersma". Las diferencias más importantes entre ellos se ilustran en la figura 1.5.3.1

En los sistemas DTA clásico y DTA Boersma, la muestra y la referencia son calentados por una sola fuente de calor. La diferencia entre estos dos sistemas, radica en la posición de los sensores que miden la temperatura. En el DTA clásico, los sensores están introducidos en el material, en cambio, en el DTA Boersma están dispuestos junto a los crisoles que contienen el material, esto hace que la variación de la resistencia térmica causada por los mismos materiales disminuya.

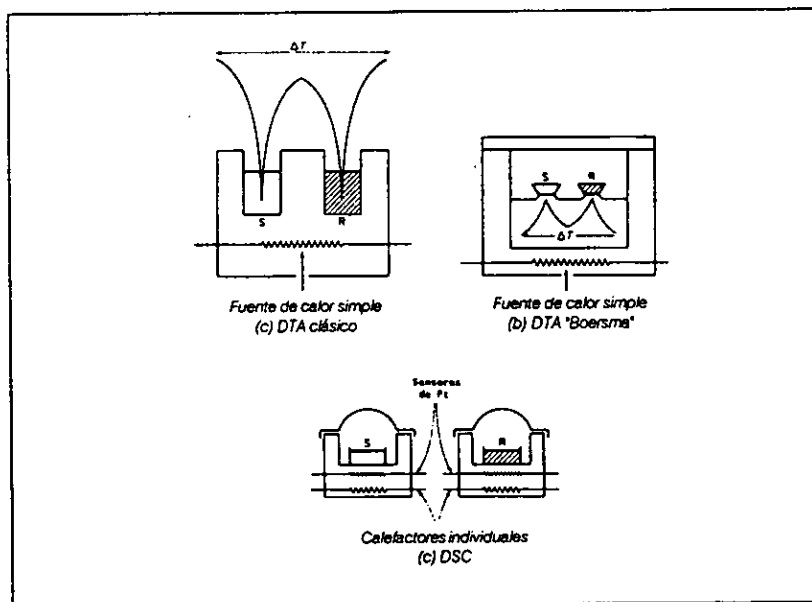


Figura 1.5.3.1 Representación esquemática de los tres principales sistemas de análisis térmico (Cortesía de Perkin-Elmer Corporation, 1970)

A diferencia del DTA (clásico y Boersma), el DSC calienta por separado a la muestra y a la referencia mediante fuentes de calor individuales.

Esta diferencia en el funcionamiento, determina la diferencia en las mediciones.

El DSC mide directamente el flujo de calor entre la muestra y la referencia para mantener al sistema en un balance nulo de temperatura.



El DTA mide la diferencia de temperatura que existe entre la muestra y el material de referencia. Esta diferencia de temperaturas, tiene que ser transformada a flujo de calor mediante un factor matemático determinado empíricamente.

Por esta razón, es mucho más exacta la medición con DSC.

La única ventaja que ofrece el DTA sobre el DSC, es el rango tan amplio de temperaturas que maneja (arriba de 1600 °C), pero en alimentos, es raro el caso en donde se utilizan temperaturas mayores a los 200°C.

1.5.4 Calorimetría Diferencial de Barrido

Los calorímetros diferenciales de barrido, están diseñados para medir el flujo calórico diferencial requerido para mantener una muestra, y un material de referencia inerte a la misma temperatura. Esta temperatura está normalmente programada para barrer un rango de temperatura aumentando linealmente a una velocidad preestablecida.

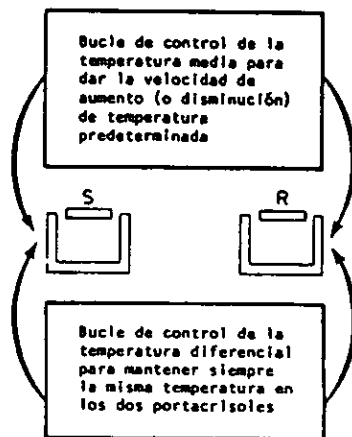
El sistema está dividido en dos bucles distintos como se muestra en la figura 1.5.4.1



Uno de estos bucles controla la temperatura media, de forma que la temperatura de la muestra y de la referencia aumenta a una velocidad determinada, que es registrada. El segundo bucle tiene como función asegurar que si se produce una diferencia de temperatura entre la referencia y la muestra (debido a reacciones exotérmicas o endotérmicas en la muestra), se modifique la potencia de entrada a fin de anular esta diferencia. En esto consiste el principio de "balance nulo" de temperatura. De este modo, las temperaturas de los portamuestras se mantienen iguales mediante un ajuste contínuo y automático de la potencia calefactora.

La teoría del DSC y su empleo en la instrumentación termoanalítica es propiedad de Perkin Elmer Corporation (Patente U.S. 3.263.484)

Figura 1.5.4.1
Representación esquemática de los bucles de control del DSC





1.5.5

Aplicación del DSC en Investigación de Alimentos

El DSC puede usarse para detectar dos tipos de transiciones: Transiciones de primer orden y transiciones de segundo orden.

Las transiciones de primer orden son transiciones de fusión y las de segundo orden son de cristalización.

Las transiciones de fusión son para monitorear cambios como desnaturalización de proteínas, gelatinización de almidón y fusión de cristales de grasa. Las transiciones de cristalización son de utilidad para caracterizar gránulos de almidón o monitorear productos congelados.

DSC también puede ser utilizado para estudiar estabilidad oxidativa y pureza, sobre todo en sabores.

Principalmente, se ha utilizado para estudiar los biopolímeros de los alimentos (proteínas, almidón y grasa)

La desnaturalización térmica de proteínas puede



ser detectada como un pico endotérmico en los termogramas obtenidos por DSC, ya que la ruptura de enlaces intramoleculares de hidrógeno es una reacción endotérmica. Por otro lado, la ruptura y agregación de interacciones hidrofóbicas, son reacciones exotérmicas y pueden afectar la determinación de la entalpía total. Sin embargo, el área bajo la curva de transición ofrece un estimado de la energía térmica requerida para desnaturalizar la proteína.

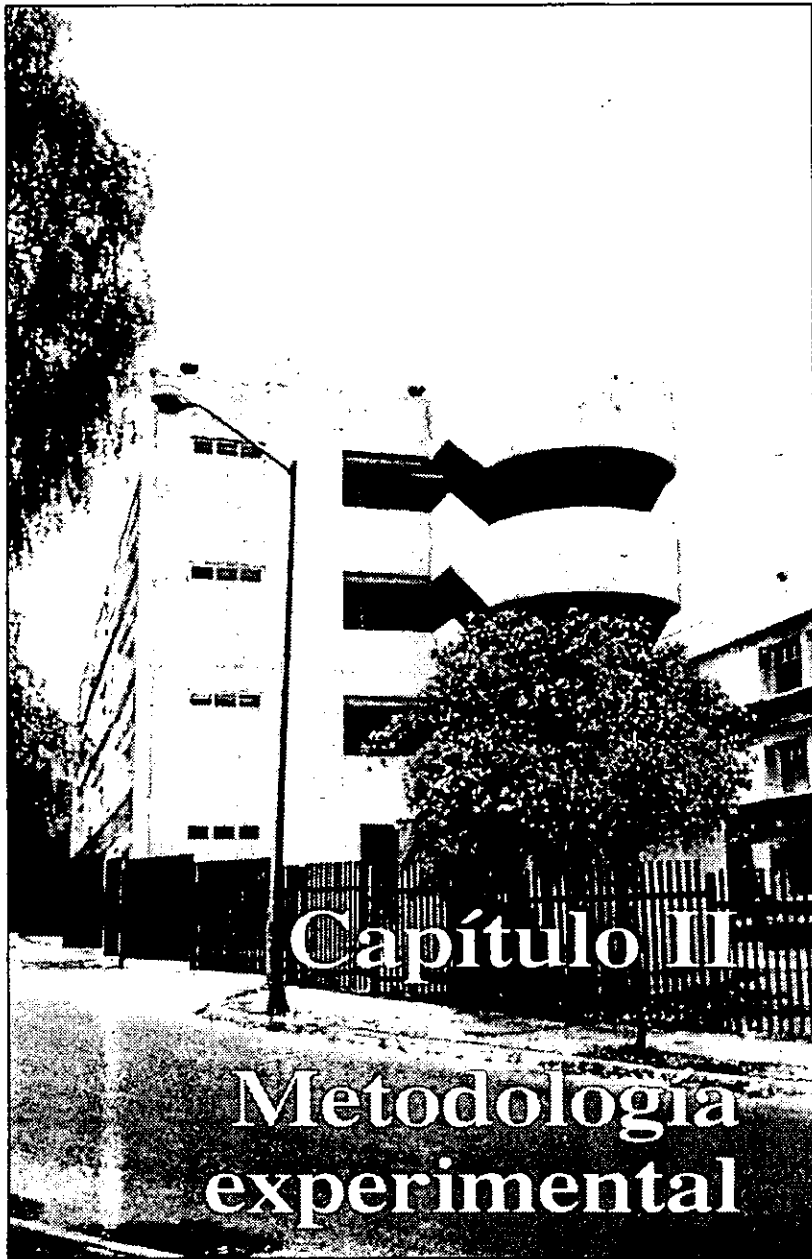
En el caso del almidón, DSC ha revelado la naturaleza biopolimérica de los gránulos de almidón y su comportamiento como biopolímero vítreo parcialmente cristalino.

La Calorimetría Diferencial de Barrido puede utilizarse para estudiar los efectos de la molienda y aditivos en el comportamiento de la gelatinización, así como cualquier factor que afecte este fenómeno.

También se utiliza para monitorear la retrogradación, ya que cuando la muestra es calentada, ocurre una ruptura de los enlaces intramoleculares de hidrógeno que están manteniendo a la estructura cristalina del almidón retrogradado, lo que trae consigo un cambio de energía en el sistema, que es registrada como una transición endotérmica.



Facultad de Química, Conjunto 'E'



Capítulo II

Metodología experimental



II. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental se divide en cuatro importantes etapas:

1. Elaboración de tortillas
2. Almacenamiento
3. Extracción de almidón
4. Análisis de las porciones amiláceas extraídas

1. Elaboración de tortillas

Se decidió elaborar las tortillas utilizando maíz del híbrido H-447 cultivado en el ciclo 1994, proveniente de la Unidad de Investigación de Granos y Semillas del Instituto de Biología ubicado en Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. Esta decisión tiene su fundamento en que dicho maíz fue caracterizado por calorimetría diferencial de barrido en el año de 1996, de tal forma que se cuenta con los perfiles calorimétricos del grano.



El proceso para la elaboración de tortilla se realizó mediante 4 operaciones:

- a) Nixtamalización
- b) Lavado
- c) Molienda
- d) Moldeado

a) Nixtamalización. La nixtamalización se realizó calentando el maíz con agua y cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) durante 30 minutos a 80°C . Se dejó reposar por 12 horas.

La concentración de cal fue de 1.5 % con respecto al peso del maíz. El contenido de agua fue el equivalente al doble del peso del maíz.

b) Lavado. Primeramente, se desechó el nejayote y posteriormente se realizaron dos lavados. La cantidad de agua que se utilizó para cada lavado fue el equivalente al doble del peso del maíz. Durante el lavado, el maíz se frotó fuertemente entre sí.

c) Molienda. Cuando el grano ya está nixtamalizado y lavado, se procede a la molienda. La molienda se



llevó a cabo en un molino eléctrico para nixtamal marca The Straub Company modelo 4E (fig.1)

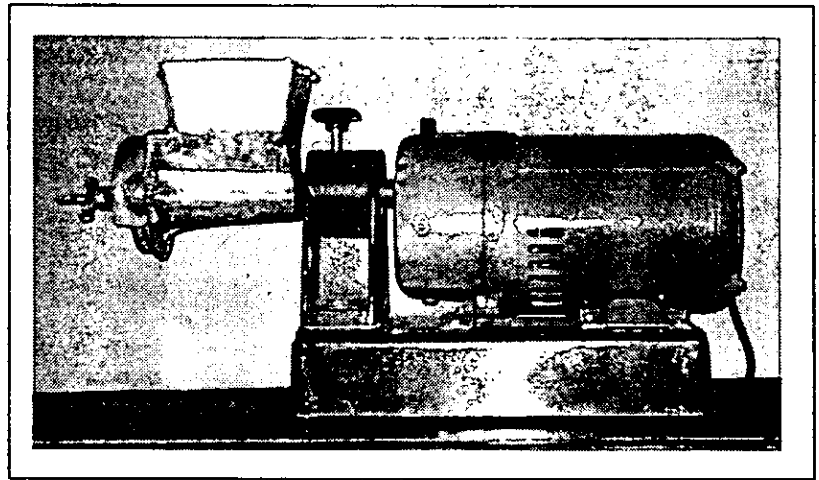


Figura 1 Molino eléctrico para nixtamal The Straub Company mod. 4E.

d) Moldeado. El moldeado se realizó manualmente con una máquina tortilladora González (fig.2). Una vez realizadas las tortillas se procedió a la cocción. Se probaron varios tiempos de cocción manteniendo la temperatura constante, hasta obtener un termograma con un rango de ΔH de gelatinización de 0-0.5 J/g

La cocción se llevó a cabo en una estufa de cocina por 80 segundos (40s de cada lado) a 80-85° C.

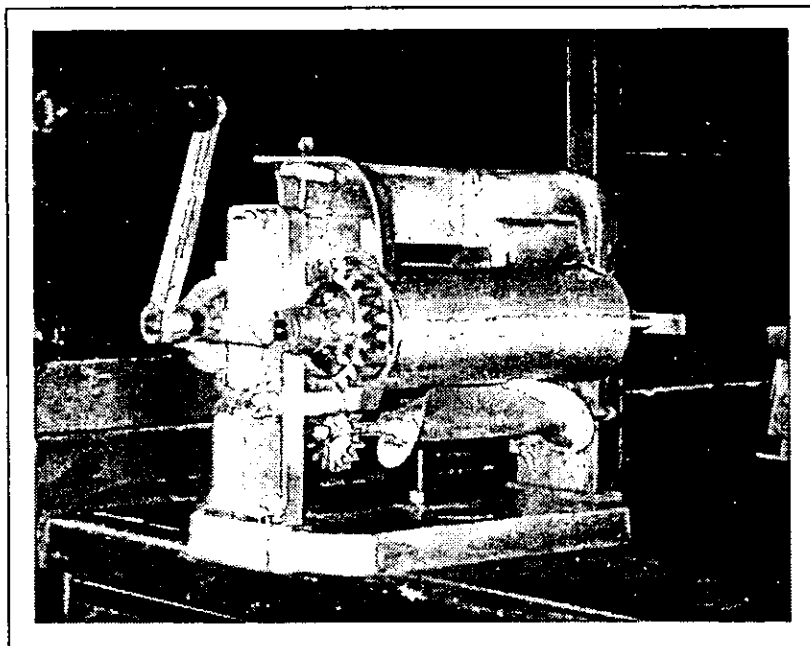


Figura 2 *Máquina tortilladora manual marca González.*

Con el fin de retardar la retrogradación del almidón de la tortilla, se probó una nueva formulación con lípidos. Esta formulación consiste en agregar 0.57% de una mezcla de lípidos (0.14% de cera de abeja y 0.42% de parafina) a la masa.

El proceso para la producción de tortillas fue el mismo para las tortillas sin aditivo que para las tortillas formuladas con lípidos. Los lípidos se incorporaron a la masa durante la molienda.



Las tortillas con parafina-cera de abeja sólo se evaluaron calorimétricamente. Paralelo a esta evaluación, se corrieron muestras de tortilla comercial para su posterior comparación.

2. Almacenamiento

2.1 Determinación de las condiciones

Primero, se realizó un estudio preliminar para determinar el tiempo de almacenamiento tomando muestras a tres diferentes tiempos (t_0 , $t_1=1$ semana y $t_2=1$ mes) y a dos temperaturas (refrigeración y congelación). Se hizo el estudio calorimétrico de las muestras y se observó que el máximo de retrogradación se alcanza en una semana. Se decidió hacer un monitoreo de 15 días con el fin de asegurar alcanzar la retrogradación máxima.

2.2 Almacenamiento

Se elaboraron dos lotes de tortillas. Cada lote se dividió en dos partes. Una parte se sometió a refrigeración y la otra a congelación. El refrigerador/congelador utilizado es marca Whirpool con doble puerta.



3. Extracción del almidón

La extracción del almidón de tortilla refrigerada y congelada se llevó a cabo a diferentes tiempos durante 15 días. Se realizó la primera extracción al tiempo cero (tortilla recién hecha).

Se utilizaron tres métodos de extracción para:

- a) Evaluación calorimétrica (análisis fisicoquímico)
- b) Evaluación espectrofotométrica (análisis químico)
- c) Evaluación de digestibilidad (análisis enzimático)

a) Extracción de almidón total para la evaluación calorimétrica

Se pesó una muestra de tortilla molida y se enjuagó con agua a T ambiente. La cantidad de agua utilizada correspondió al doble del peso de la muestra. Se recuperó el agua de lavado que contiene el almidón y se secó en una estufa de vacío marca National Appliance Company modelo 5831 (fig.3) a 40 °C por 12 horas. Se trituroó en mortero y se tamizó a través de una malla del No.100.

b) Extracción de almidón gelatinizado para la evaluación espectrofotométrica

Este método se basa en la solubilización diferencial del almidón gelatinizado (Guraya y Toledo 1993).



Se pesaron 0.2 g de muestra molida, se agitaron por 15 minutos con 15 mL de Hidróxido de Potasio 0.2 N. El pH de la mezcla se ajustó a 5.5 utilizando Ácido Fosfórico y se aforó a 100 mL con agua destilada. Se tomó una alícuota de 100 microlitros, se transfirió a un vaso y se diluyó con 5 microlitros de agua destilada. Para desarrollar color en la mezcla, se añadieron 50 microlitros de una solución estándar de iodo.

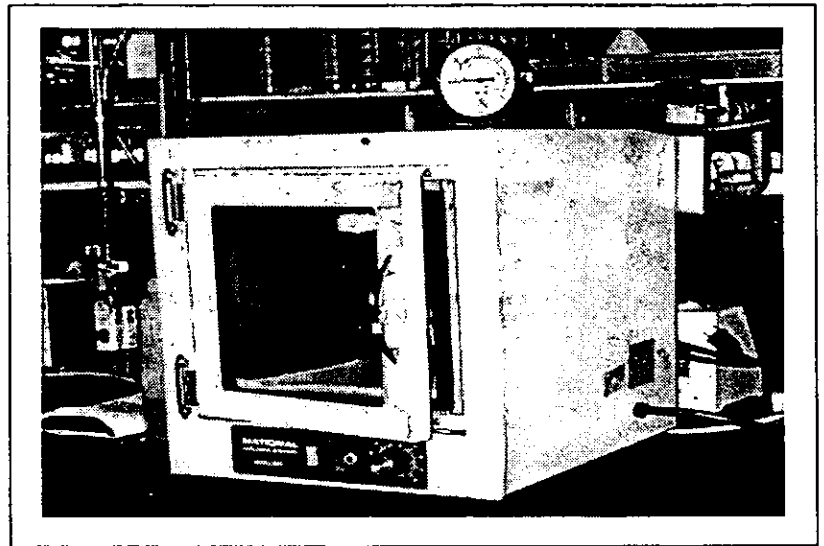


Figura 3 Estufa de vacío National Appliance Company modelo 5831.

c) Extracción para la evaluación de digestibilidad

Para evaluar la digestibilidad se llevaron a cabo dos tipos de extracciones:



1) Para almidón en solución

Se pesaron 10 g de tortilla molida y se agitaron por 5 minutos con 50 mL de agua destilada a 37°C, posteriormente se centrifugó la solución a 7500 rpm durante tres minutos; del sobrenadante se tomó una porción para el análisis.

2) Para almidón total

Se pesaron 5 g de tortilla molida, se agitaron con 25 mL de solución amortiguadora de fosfatos 0.2 M, y pH de 6.8 por 5 minutos. Con estas mezclas se realizó el análisis.

Estas extracciones se realizaron para las tortillas al t=0 y al t=7

4. Análisis de las porciones amiláceas extraídas

4.1 Análisis Calorimétrico

Para analizar el almidón extraído, es necesario preparar una suspensión de 40 g / 60 ml de agua (Sánchez, 1998) y colocar 5mg en un crisol para calorimetría perfectamente engargolado. El rango de temperatura de análisis fue de 40-110 °C. El crisol de referencia contenía únicamente aire. Se utilizó un flujo de Nitrógeno de 20-25 mL N/min.



El calorímetro utilizado es marca Perkin Elmer modelo DSC 7 (fig.4) y fue calibrado con Indio.

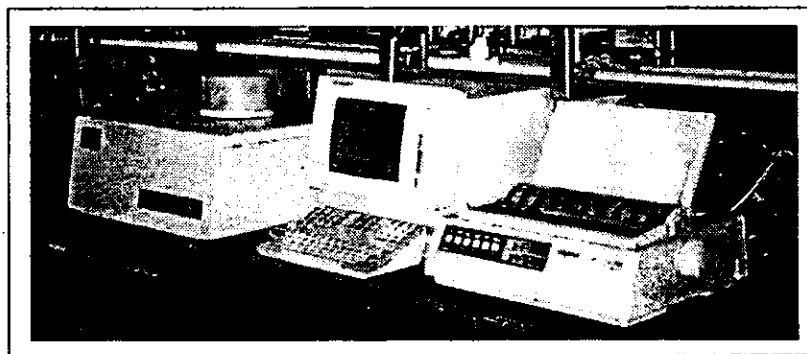


Figura 4 Calorímetro Perkin Elmer modelo DSC 7

4.2 Análisis Espectrofotométrico

Se utilizó un Espectro UV/Vis marca Perkin Elmer modelo Lambda 3B (fig.5). La mezcla colorida se leyó a 600 nm. Se realizó un blanco de reactivos. Es importante mencionar que la muestra se debe de leer en los primeros 15 minutos después de la adición del yodo, ya que pasado este tiempo la absorbancia deja de ser constante.

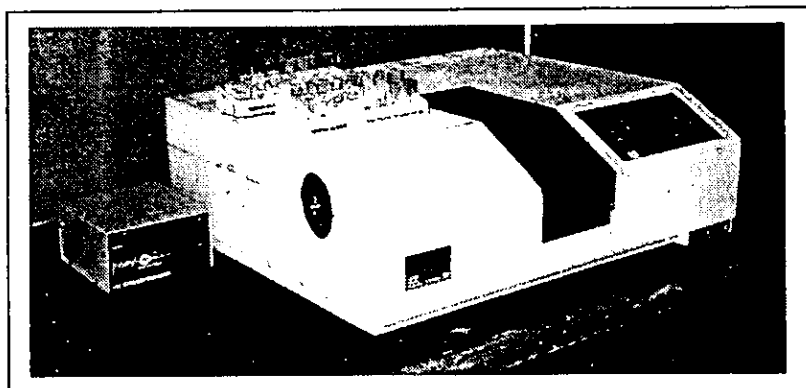


Figura 5 Espectrofotómetro Perkin Elmer modelo Lambda 3B.

Cabe mencionar que todas las determinaciones fueron hechas por triplicado.

4.3 Análisis de digestibilidad

El análisis de digestibilidad se basa en la hidrólisis del almidón mediante α - amilasa pancreática. Por tal motivo, fue necesario determinar la actividad de la enzima.

4.3.1 Determinación de la actividad enzimática

La actividad enzimática se reporta en unidades de actividad. Una unidad se definió como la cantidad de enzima que hidroliza un gramo de almidón en un minuto bajo condiciones de ensayo.



- 1) Se preparó una solución de almidón soluble (Merck) al 0.1% en agua.
- 2) Se preparó una solución enzimática al 0.05% de α -amilasa pancreática en solución amortiguadora de fosfatos 0.2 M a un pH de 6.8.
- 3) En tres tubos de reacción, se colocaron 1.2 mL de solución de almidón y 1.1 mL de solución amortiguadora. Posteriormente, se sometieron a un baño de temperatura controlada a 37 °C .
- 4) Únicamente a dos tubos se les agregó 0.1 mL de la solución enzimática. A partir de la adición anterior, se contó el tiempo con cronómetro.
- 5) A los tres minutos, se paró la reacción enzimática de uno de los tubos mediante la adición de un mL de solución de iodo con HCl al 0.1 N. A los seis minutos, se paró la reacción del otro tubo de la misma manera que el anterior.
- 6) Al tubo sin enzima, se le agregó un mL de la solución de iodo para desarrollar color y se agregaron 8.8 mL de agua para tener un volumen final de 12.1 mL.
- 7) A los tubos con enzima, se les agregó 8.7 mL de agua.
- 8) Se leyó la absorbancia a 620 nm contra un blanco de reactivos.
- 9) Se elaboró una curva patrón de almidón.



4.3.2 Determinación de la digestibilidad del almidón en solución

- 1) Primeramente, se obtuvo la concentración de almidón presente en 0.5 mL de los extractos obtenidos de la tortilla al $t=0$ y al $t=7$

- 2) Con base en la actividad enzimática, se agregó la cantidad de enzima necesaria (0.45 mL de solución enzimática) para hidrolizar el 50% del almidón presente en el extracto a 37°C en un minuto

- 3) Se determinó la absorbancia a 620 nm

- 4) Se midió el porcentaje de almidón digerido calculando la diferencia entre el almidón inicial y el almidón restante después de la hidrólisis

4.3.3 Determinación de la digestibilidad del almidón total

Se tomó una alícuota de 3 mL del extracto para determinar la cantidad inicial de azúcares reductores por el método ácido dinitrosalicílico (DNS).

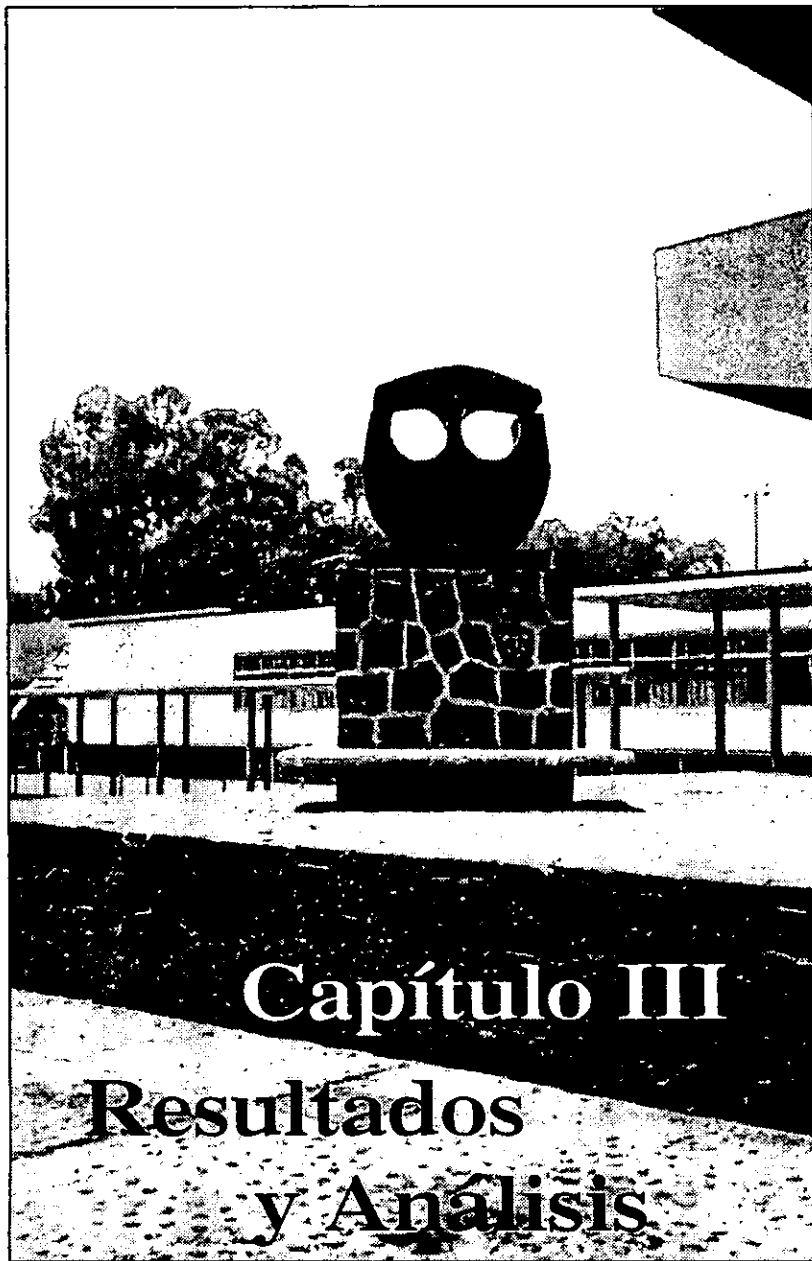


Al extracto sobrante, se le agregaron 18 mL de solución enzimática al 5 % (tomando como base la actividad enzimática y un contenido de 40 g de almidón por cada 100 g de tortilla) y se mantuvo en agitación constante por un minuto. Pasado exacto el tiempo, se paró la reacción con NaOH 0.1 N y se centrifugó a 7500 rpm durante 5 minutos. Se tomó una alícuota y se determinó la cantidad de grupos reductores solubles liberados por la hidrólisis enzimática, mediante el método DNS.

El porcentaje de digestibilidad se calculó considerando que los grupos reductores liberados de tortilla recién elaborada corresponden a un 100% de digestibilidad.



Símbolo de la Facultad de Química, en la explanada del Edificio "A"



Capítulo III

Resultados y Análisis



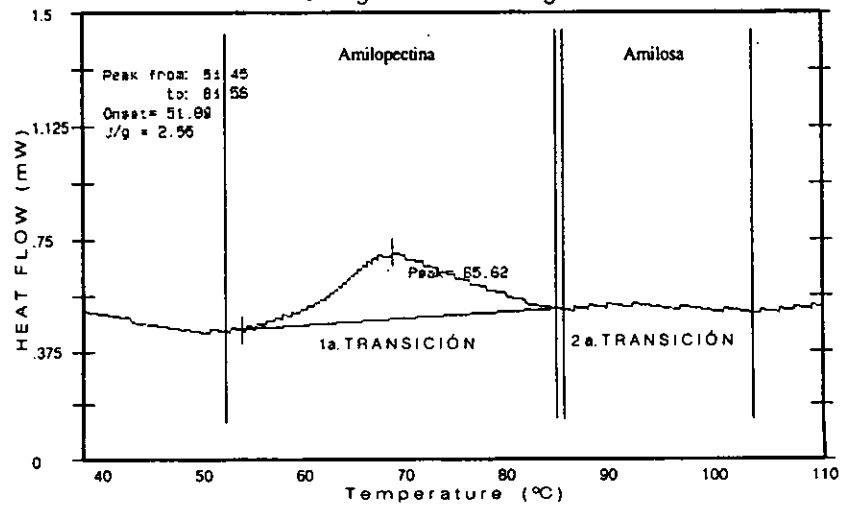
III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS Y ANÁLISIS

a) Evaluación calorimétrica

Antes de elaborar las tortillas, se analizó calorimétricamente el nixtamal al tiempo cero.

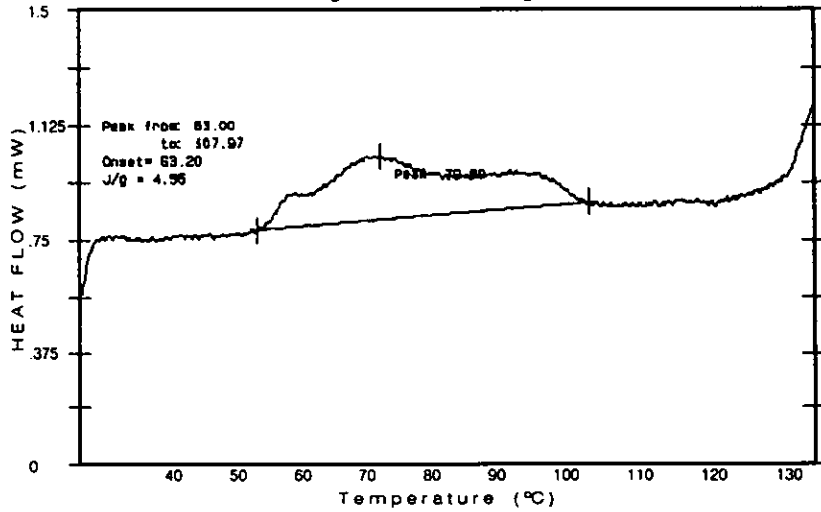
El almidón de nixtamal presenta dos transiciones (ver termograma 1 y tabla 1) que al compararlas con los estándares de gelatinización de la amilosa y la amilopectina (ver termogramas 6 y 7) se observa que la primera transición corresponde a la gelatinización de la amilopectina y parte de la amilosa, en tanto que la segunda transición corresponde únicamente a la gelatinización de la amilosa.

Termograma 1. Perfil de gelatinización del nixtamal.





Termograma 6. Perfil de gelatinización de la amilosa.



Termograma 7. Perfil de gelatinización de la amilopectina.

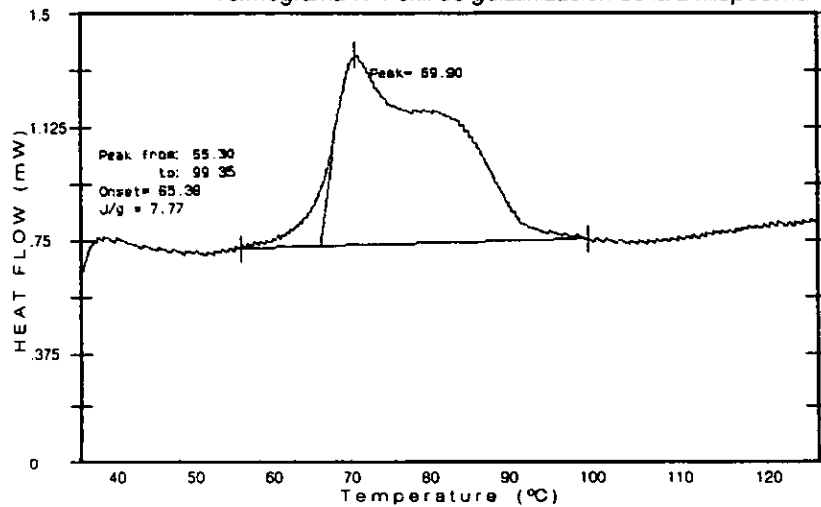




Tabla 1. Valores del perfil de gelatinización del nixtamal

Fuente de Almidón	Nixtamal t=0
No. Trans.	2
Tmax. transición	65.19 (0.629) 89.23 (1.79)
Rango T de transición	50.94 - 81.80 81.84 - 99.46
ΔH	2.545 0.07

El nixtamal presenta transiciones de gelatinización debido a que en la nixtamalización del grano sólo se logra una gelatinización parcial, entonces el almidón que queda sin gelatinizarse es el que provoca una señal calorimétrica. Esta señal no se ve en los termogramas obtenidos de tortilla, ya que en la tortilla el almidón se encuentra totalmente gelatinizado.

Es por eso, que en un monitoreo calorimétrico de retrogradación de nixtamal se podría ver una combinación de transiciones de gelatinización y retrogradación.

Dicho monitoreo no se llevó a cabo debido a que nixtamal rara vez es almacenado; rápidamente es



transformado a otros productos como tortilla, tamales o atole y éstos son los que experimentan la retrogradación.

A continuación se muestran los termogramas obtenidos del monitoreo calorimétrico de la retrogradación del almidón extraído de tortilla sometida a refrigeración y congelación durante 15 días con sus respectivas tablas de datos.

Termograma 2. Monitoreo calorimétrico de tortilla congelada durante 15 días.

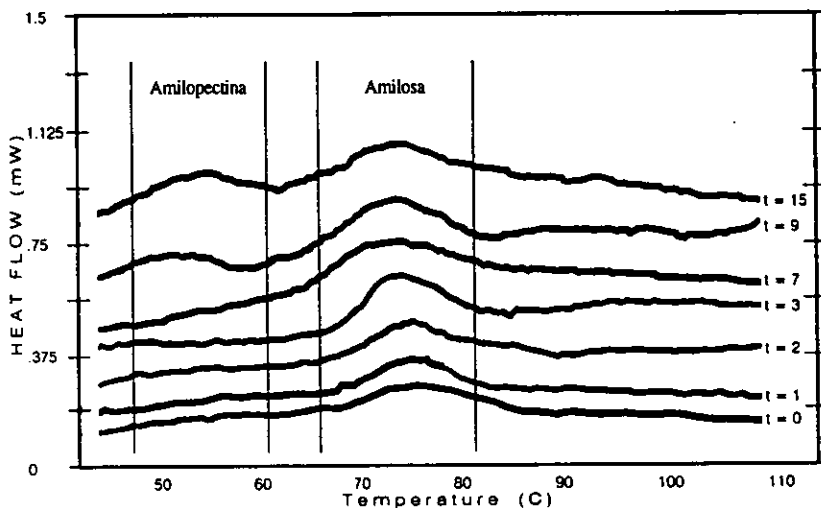




Tabla 2. Monitoreo calorimétrico del envejecimiento de la tortilla durante 15 días en congelación.

ALMIDÓN TORTILLA CONGELADA				
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)	NUMERO DE TRANSICIONES	TEMPERATURA MAXIMA DE TRANSICIÓN (°C)	RANGO DE TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (°C)	ΔH J/g
0	1	70.99	63.79 - 81.46	0.22
1	1	72.76	61.71 - 102.83	2.31
2	1	71.85	60.167 - 102.89	2.37
3	1	70.27	62.29 - 99.63	2.47
7	1	74.49	64.195 - 105.44	2.51
9	2	51.49	45.65 - 60.69	0.16
		72.34	62.48 - 101.22	2.38
15	2	51.25	45.56 - 60.50	0.14
		73.53	63.19 - 102.90	2.40

Termograma 3. Monitoreo calorimétrico de tortilla refrigerada durante 15 días.

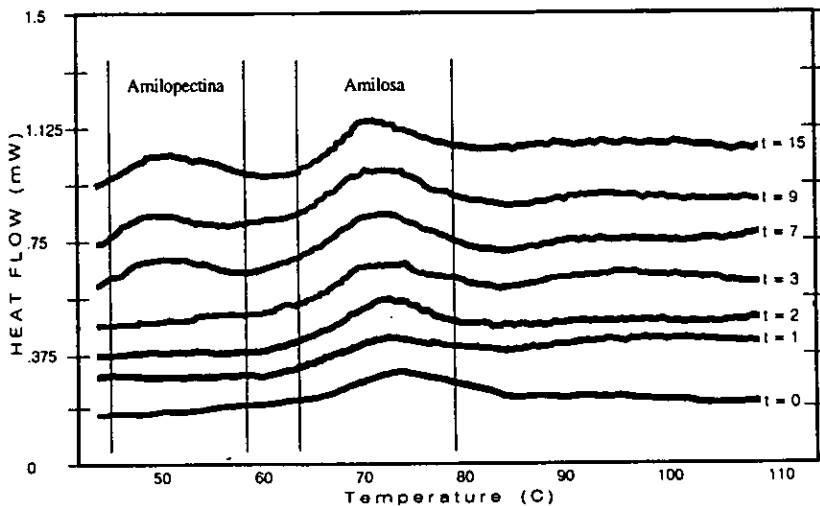




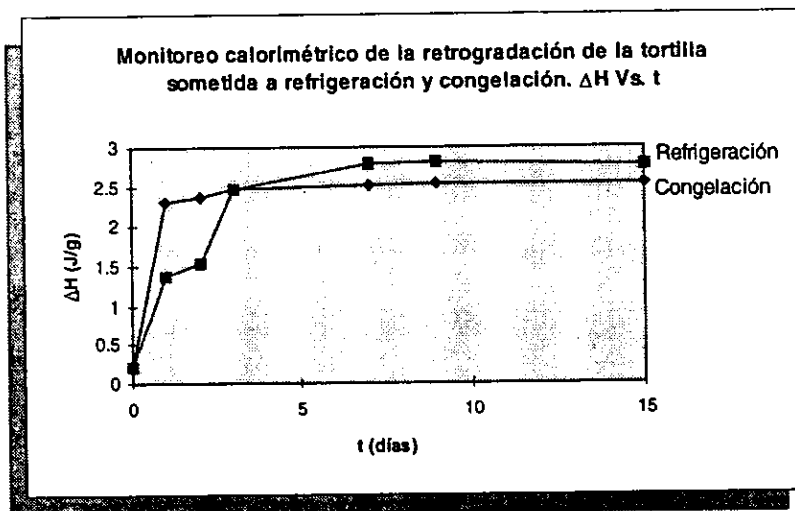
Tabla 3. Monitoreo calorimétrico del envejecimiento de la tortilla durante 15 días en refrigeración.

ALMIDON TORTILLA REFRIGERADA				
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (DIAS)	NUMERO DE TRANSICIONES	TEMPERATURA MAXIMA DE TRANSICIÓN (°C)	RANGO DE TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (°C)	ΔH J/g
0	1	70.99	63.79 - 81.46	0.22
1	1	70.99	60.47 - 99.74	1.38
2	1	72.15	62.99 - 103.42	1.54
3	1	73.22	63.307 - 102.82	2.47
7	2	51.325	45.42 - 60.0325	0.305
		70.187	61.007 - 102.477	2.48
9	2	51.025	45.50 - 60.46	0.22
		70.66	60.457 - 100.142	2.58
15	2	51.249	45.62 - 60.20	0.24
		71.02	61.23 - 102.13	2.53

Durante los primeros dos días de almacenamiento, el almidón de la tortilla sometida a congelación se retrogradó mas rápidamente que el almidón de la tortilla en refrigeración, sin embargo, al tercer día de almacenamiento se observa que las entalpías alcanzaron valores equivalentes. Esto significa que se necesita la misma cantidad de energía para separar las cadenas "reordenadas" del almidón durante la congelación y en la refrigeración. Se estableció por lo tanto que en ambas condiciones se obtiene el mismo nivel de retrogradación al tercer día de almacenamiento (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Monitoreo del envejecimiento de tortilla refrigerada y congelada.



A partir del tercer día, se observó que el almidón de tortilla en refrigeración presentó valores más altos de ΔH que el extraído de la tortilla congelada, es decir, experimentó una mayor retrogradación.

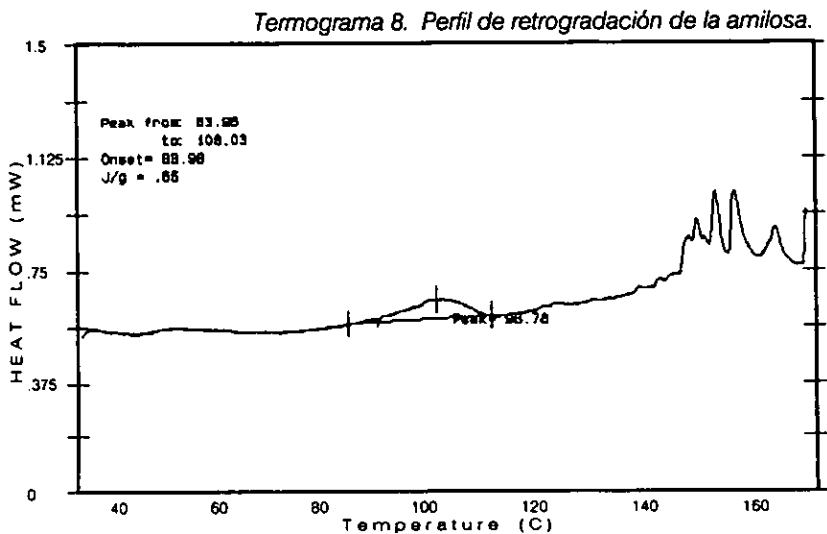
Al séptimo y noveno día de almacenamiento de la tortilla en refrigeración y congelación respectivamente, se observa la aparición de una nueva transición a menor temperatura (ver termogramas 2 y 3).

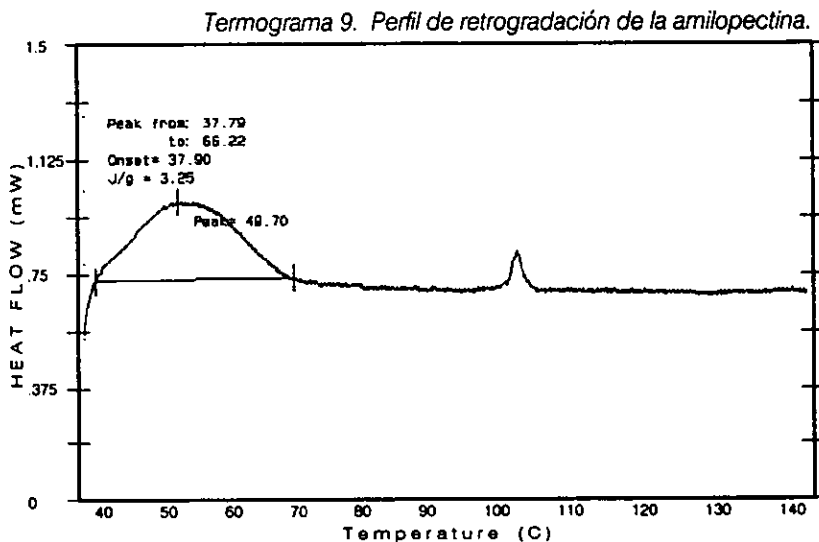
Al observar el rango de temperatura a la cual ocurre esta transición (ver tabla 2 y 3), y comparándolo con los datos obtenidos del termograma estándar de amilopectina



retrogradada (ver termograma 9), se puede establecer que se trata de la transición de esta última.

De la misma manera, si se observan la transiciones que se dan a mayor temperatura (ver tablas 2 y 3) y se comparan con el perfil calorimétrico de retrogradación de la amilosa (ver termograma 8), se ve que se trata de la misma transición. De estos resultados se encontró que la amilopectina necesita menos energía que la amilosa para separar a las cadenas que se “reordenaron” durante la retrogradación. Sin embargo, la amilosa es más susceptible a la retrogradación, ya que su transición aparece desde el primer día de





almacenamiento. Esto es debido a que su estructura no posee ramificaciones que retarden la asociación de las cadenas.

Se puede observar que el máximo nivel de retrogradación se alcanza a los siete días de almacenamiento (ver gráfica 1). Este mismo resultado fue encontrado por Ward y Hosney en 1994 para amilopectina extraída de maíz y trigo.

Ward y Hosney (1994) reportaron que la temperatura de retrogradación de la amilopectina es de 8-22°C más baja que la temperatura de gelatinización.



Al comparar los termogramas 7 y 9 observamos que se obtuvo el mismo resultado y además al observar los termogramas 6 y 8 podemos concluir que a diferencia de la amilopectina, la transición de retrogradación de la amilosa aumenta alrededor de 20 °C con respecto a la gelatinización, esto, debido a su alta susceptibilidad a la retrogradación y por lo tanto a la formación de muy estables formas cristalinas que necesitan de mayor energía para separarse.

Diversos autores reportan perfiles térmicos de retrogradación de almidón proveniente de trigo, encontrándose los valores entálpicos mucho más pequeños que los encontrados para maíz. Zelenznak y Hosney (1986) reportaron que la concentración de amilopectina incrementa los valores de entalpía, explicándose así dicha diferencia. En un estudio realizado por Ward y Hosney en 1994, explican que el tipo de amilopectina juega un papel importante en la retrogradación: la amilopectina de maíz tiene sólo algunas cadenas cortas, esto es con un grado de polimerización (DP) de 4-5 y muchas cadenas largas (DP 15-20), a diferencia del trigo en donde abundan las cadenas con un DP de 9-13. Así, se explica la rápida retrogradación en el maíz comparado con el del trigo.



Es pertinente hacer notar que si los rangos de temperatura de transición no coinciden perfectamente con los estándares, es porque el almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina. Lo importante es que las transiciones se encuentren en el intervalo de los estándares.

A continuación se muestran los termogramas y tablas de datos obtenidos de tortilla adicionada de parafina-cera de abeja y tortilla comercial sometidas a congelación durante 15 días.

Termograma 4. Monitoreo calorimétrico de tortilla formulada con parafina-cera congelada durante 15 días.

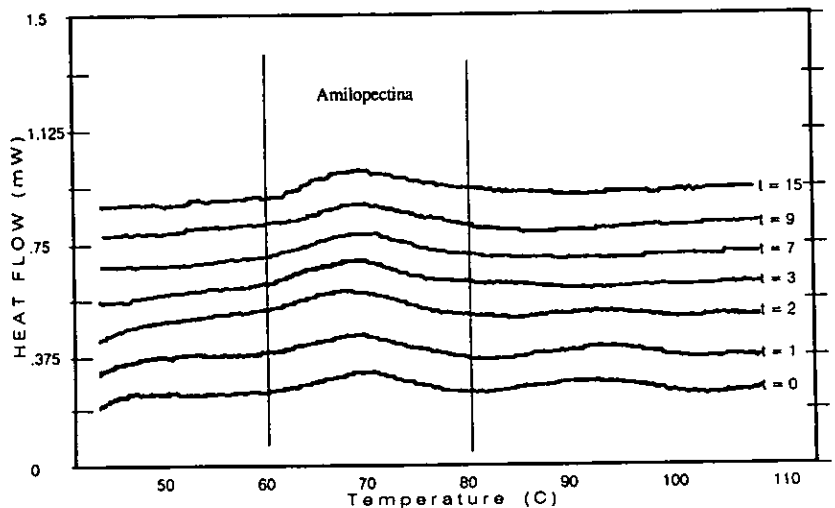




Tabla 4. Monitoreo calorimétrico del envejecimiento de la tortilla formulada con parafina-cera durante 15 días en congelación.

ALMIDON DE TORTILLA PARAFINA-CERA				
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (DIAS)	NUMERO DE TRANSICIONES	TEMPERATURA MAXIMA DE TRANSICIÓN (°C)	RANGO DE TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (°C)	ΔH J/g
0	2	69.23	59.67 - 80.66	0.36
		90.19	81.79 - 100.24	0.02
1	2	70.95	59.59 - 79.81	0.22
		88.92	80.12 - 101.02	0.04
2	2	68.99	61 - 79.98	0.34
		92.64	81.22 - 99.20	0.03
3	1	68.49	59.31 - 78.99	0.27
7	1	69.76	60.49 - 82.75	0.36
9	1	69.09	58.75 - 81.79	0.33
15	1	69.02	60.50 - 80.91	0.34

Termograma 5. Monitoreo calorimétrico de tortilla comercial congelada durante 15 días.

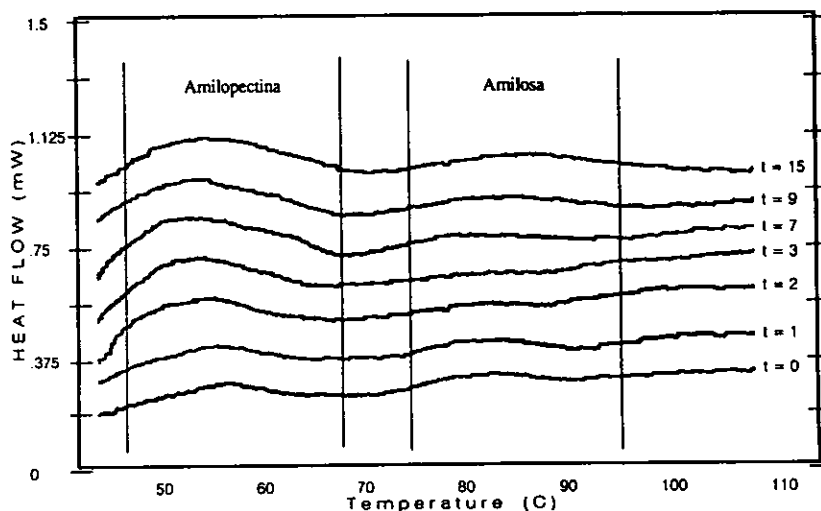




Tabla 5. Monitoreo calorimétrico del envejecimiento de la tortilla comercial durante 15 días en congelación.

ALMIDÓN TORTILLA COMERCIAL				
TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (DÍAS)	NUMERO DE TRANSICIONES	TEMPERATURA MAXIMA DE TRANSICIÓN (°C)	RANGO DE TEMPERATURA DE TRANSICIÓN (°C)	ΔH
0	2	54.45	47.05 - 62.57	0.42
		79.82	72.23 - 90.21	0.17
1	2	54.96	46.67 - 63.90	0.49
		70.80	69.99 - 87.97	0.17
2	2	53.62	49.95 - 61.84	0.51
		78.49	69.99 - 87.97	0.12
3	2	52.56	45.46 - 62.05	0.63
		79.29	71.03 - 87.43	0.11
7	2	53.49	45.45 - 64.65	0.85
		78.83	72.23 - 87.97	0.05
9	2	53.16	45.46 - 62.25	0.71
		77.22	73.38 - 87.43	0.05
15	2	54.49	45.45 - 64.18	0.81
		78.36	73.36 - 86.28	0.05

Como se puede ver, la tortilla adicionada con lípidos no presentó retrogradación alguna. La transición correspondiente a la amilopectina no experimentó ningún cambio significativo y la transición de la amilosa desapareció al tercer día aunque al principio era prácticamente cero (ver termograma 4 y tabla 4).

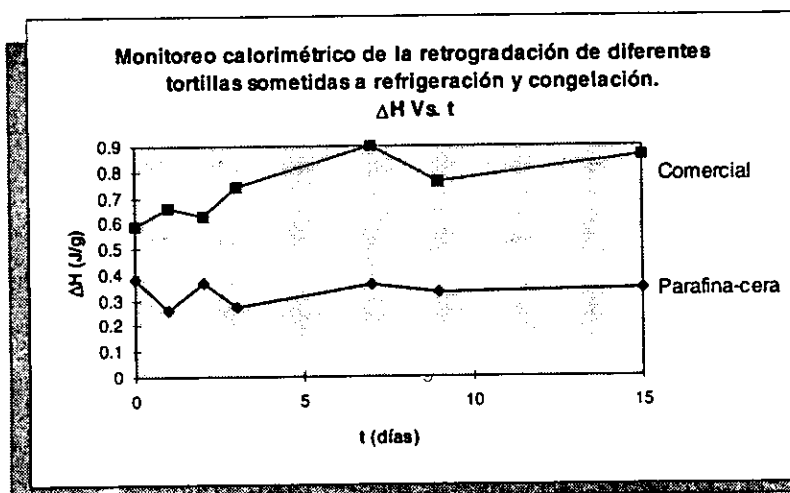
Al observar el termograma 5 y la tabla 5 podemos apreciar la retrogradación de la amilopectina en las tortillas comerciales, que aunque es mucho menor que



la retrogradación de la tortilla preparada en el laboratorio, no puede compararse con la efectividad de los lípidos (ver gráfica 2). Los ingredientes reportados en la etiqueta de las tortillas comerciales indican que están adicionadas con gomas, comunmente carboximetilcelulosa. Las gomas disminuyen la retrogradación, ya que establecen interacciones con las cadenas de amilosa impidiendo parcialmente el reordenamiento de las cadenas lineales de almidón.

Los lípidos tienen una función similar, son cadenas hidrocarbonadas tan largas, que establecen interacciones hidrofóbicas con las cadenas lineales de

Gráfica 2.
Monitoreo del envejecimiento de tortillas con aditivo.





almidón provocando un gran impedimento estérico, pero no sólo eso, la efectividad de los lípidos como inhibidores de la retrogradación ha sido estudiada por varios autores. Eliasson et al en 1981 y Eliasson y Krog en 1985, proponen la existencia de una barrera lipídica en la superficie del gránulo de almidón que hace que la difusión del agua sea más lenta, así una formulación con lípidos puede ayudar a controlar la recristalización de las moléculas de almidón durante el almacenamiento y el transporte de agua dentro del gránulo de almidón. A resultados parecidos llegaron también Axford y Colwell en 1967; Fearn y Russell en 1982; Bulpin et al en 1982; Russell en 1983, Biliarderis et al en 1985 y Miles et al en 1985.

En 1986, Davis et al reportaron que cuando el contenido de ácidos grasos insaturados en un lípido es alto, las entalpías de retrogradación del almidón adicionado con dicho lípido tienden a ser altas también, es decir, los ácidos grasos saturados inhiben mejor la retrogradación. Además encontraron que el nivel de retrogradación depende de la posición y distribución de los ácidos grasos en el glicérido y de la configura-



ción molecular del lípido a adicionar. Aproximadamente el 50% de los grupos hidrofóbicos saturados presentes en el lípido están más disponibles para interactuar con la amilosa y formar complejos que impidan la reasociación entre sus moléculas, así, es más efectiva una mezcla de triglicéridos.

Todos estos estudios explican porque es más efectiva la formulación de lípidos que se utilizaron en este estudio que la formulación con goma de tortilla comercial, ya que la parafina y la cera de abeja es una mezcla de lípidos saturados.

b) Evaluación espectrofotométrica

Para corroborar los resultados obtenidos mediante calorimetría diferencial de barrido, se realizó un monitoreo químico de la retrogradación del almidón, midiendo el almidón gelatinizado, extrayéndolo de los mismos lotes de tortillas sometidas a refrigeración y congelación por 15 días.

En este análisis lo que se extrajo fue el almidón gelatinizado, por lo que es un método indirecto para



monitorear la retrogradación, además es un método relativo, ya que el almidón extraído al tiempo cero es considerado como el 100%. Tomando este 100% como base se calcula el porcentaje de almidón extraído para los demás tiempos. Por diferencia, se puede calcular el porcentaje de almidón retrogradado.

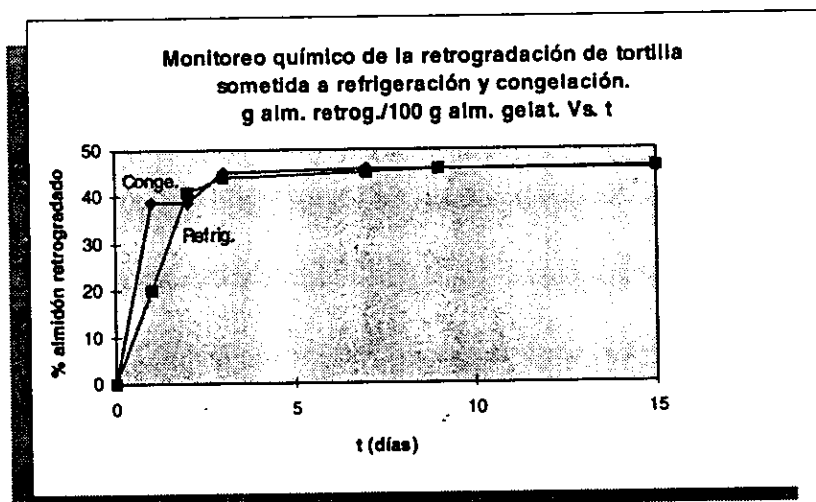
Los resultados de este monitoreo se muestran a continuación.

Tabla 6.
Monitoreo químico del almidón retrogradado de tortilla refrigerada y congelada, medido como el porcentaje de almidón gelatinizado extraído.

TIEMPO (DIAS)	g ALMIDON RETROGRADADO (en 100 g de tortilla)	
	TORTILLA CONGELADA	TORTILLA REFRIGERADA
0	0	0
1	38.83	20.22
2	38.83	40.96
3	45.22	44.15
7	45.86	45.11
9	45.94	45.77
15	45.87	46.14



Gráfica 3.
Contenido de almidón retrogradado en función del tiempo.



Se observa que la retrogradación del almidón de tortilla sometida a refrigeración en un principio se ve retardada con respecto a la congelada y al séptimo día se emparejan. (ver tabla 6 y gráfica 3)

Este análisis químico es mucho menos preciso que el calorimétrico, es por eso que las diferencias entre congelación y refrigeración no se aprecian tan bien como en DSC.

Cuando el almidón se retrograda, establece puentes de hidrógeno entre sus mismas cadenas, de tal



forma que los sitios de unión con moléculas de agua disminuyen, provocando una baja en la solubilidad del almidón. Por lo tanto el rendimiento en la extracción de almidón gelatinizado se ve disminuido con el paso del tiempo. Así, cuando los extractos se hacen reaccionar con iodo, se obtienen valores de absorbancia que disminuyen, esto refleja un aumento en la cantidad de almidón retrogradado.

El máximo de retrogradación se alcanza a los 7 días de almacenamiento, ya que a partir del séptimo día el nivel de retrogradación prácticamente no cambia (ver tabla 6 y gráfica 3).

El nivel de retrogradación que alcanza la tortilla de maíz sometida a almacenamiento a bajas temperaturas es aproximadamente del 46 % del almidón extraíble.

C) Evaluación de digestibilidad

Con el fin de conocer si la retrogradación del almidón experimenta un cambio en la digestibilidad, se realizó



un tratamiento enzimático con el que se obtuvieron los siguientes datos:

La actividad enzimática de la α -amilasa pancreática fue 1.11×10^{-4} g de enzima que hidroliza un g de almidón en un minuto.

Los resultados obtenidos del análisis de digestibilidad del almidón en solución, se muestran en la tabla 7

Tabla 7
Digestibilidad del almidón en solución.

Tiempo de almacenamiento (días)	g Almidón digerido / 100 g almidón inicial
0	30.30
7	23.9

Como se puede ver, en la tortilla recién preparada, se digiere 0.30 g de almidón por cada gramo de almidón extraído, en tanto que siete días después de congelar se digieren únicamente 0.23 g de almidón por cada gramo de almidón extraído, lo que representa una disminución del 21.13% en la digestibilidad de este tipo de almidón.



Los resultados obtenidos del análisis del almidón total, se muestran en la tabla 8. La cantidad de grupos reductores liberados a partir de la tortilla recién hecha, se consideraron como los grupos liberados a un 100% de hidrólisis, es decir a un 100% de digestibilidad.

Tabla 8
Digestibilidad relativa del almidón total.

Tiempo de almacenamiento (días)	Grupos reductores liberados (mg glu / g tortilla)	Digestibilidad %
0	93.79	100
7	58.79	62.68

Esto quiere decir que después de siete días de almacenamiento, la enzima α -amilasa pancreática es incapáz de digerir el 37.3% del almidón total de la tortilla.

Cuando el almidón se retrograda, el arreglo entre la amilosa y la amilopectina es un poco más complicado que el arreglo original. Así, las moléculas se encuentran en una red cristalina tal, que se reduce la accesabilidad del sustrato para la enzima debido al incremento en el orden molecular. Por esta razón, es posible que la digestibilidad se vea disminuída en casi el 40%.



En 1992, Leloup et al encontraron que geles de amilopeptina al 10-17% almacenados a bajas temperaturas durante un cierto período de tiempo, fueron totalmente degradados por α -amilasa pancreática. Posteriormente, Eerlingen et al (1994) demostraron que la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática está en función del nivel de retrogradación del gel y reproduciendo las condiciones que utilizó Leloup para su experimento, encontraron que el gel que manejó tenía un bajo nivel de retrogradación.

Así, se utilizó una tortilla que hubiera alcanzado el nivel máximo de retrogradación.

Las condiciones en las que se lleva a cabo la hidrólisis enzimática son muy importantes, dependen por supuesto, de la determinación enzimática *in vitro* (Englyst et al 1992). Así, si se utiliza una amilasa pancreática estable a 100 °C, es probable que no se encuentre resistencia a la hidrólisis, ya que a esas temperaturas el ordenamiento del almidón retrogradado puede perderse y entonces se pensaría que es debido a la enzima (Srevert y Pomeranz 1989, 1990; Siljeström et al 1989).



Por esta razón, los resultados obtenidos por Berry en 1986 pueden explicarse mediante los procedimientos tan drásticos que utilizó. Berry no encontró un cambio significativo en la resistencia a la hidrólisis de geles de almidón almacenados durante siete días a bajas temperaturas. Sin embargo, Eerlingen et al en 1994, repitieron el experimento de Berry en condiciones menos drásticas y encontraron diferencia significativa en la hidrólisis enzimática del almidón retrogradado, reflejando un aumento en la resistencia.

Como puede verse en el recuento anterior, la bibliografía presenta resultados muy variables en la hidrólisis enzimática del almidón retrogradado, aunque si se analizan con detenimiento todos ellos son congruentes entre si.

Como en este estudio se determinó el cambio en la digestibilidad del almidón de tortilla recién hecha a tortilla retrogradada, las condiciones de ensayo fueron las mismas que en el tracto digestivo para que los resultados fueran representativos.



CONCLUSIONES

- La Calorimetría Diferencial de Barrido es un método óptimo para monitorear el envejecimiento de tortillas de maíz
- La amilosa es más susceptible a la retrogradación que la amilopectina.
- La retrogradación de tortilla de maíz es más rápida bajo condiciones de congelación que de refrigeración, durante los tres primeros días de almacenamiento.
- El máximo de retrogradación en la tortilla de maíz se da a los siete días de almacenamiento.
- El nivel máximo de retrogradación del almidón de tortilla de maíz sometida a refrigeración y congelación es del 46 %.
- La retrogradación del almidón afecta el nivel de digestibilidad de la tortilla



- La enzima α -amilasa pancreática es incapaz de hidrolizar el 37.3% del almidón cuando éste ha alcanzado el nivel máximo de retrogradación
- La tortilla adicionada con parafina-cera de abeja, no experimentó retrogradación alguna durante 15 días de almacenamiento en congelación
- La tortilla comercial únicamente experimentó retrogradación en la fracción de amilopectina durante 15 días de almacenamiento en congelación
- La formulación de parafina-cera de abeja es mejor que la formulación de la tortilla comercial para retardar la retrogradación del almidón



BIBLIOGRAFÍA

American Association of Cereal Chemists. (1987)
Corn: Chemistry and Technology. USA

Axford, D.W., and Colwell, K.H., (1967). *Thermal investigation of bread staling*. Chem. Ind. (London) 467.

Bartolini Roberto. (1989) *El maíz*. Agrogufas Mundi-Prensa. 2da. edición. Madrid

Bazúa, C.D., Guerra, R. (1980). *Los centros de Investigación y Educación Superior y el Desarrollo de Agroindustrias*. Parte II. Nuevos Productos Agrícolas Procesados. Tecnol. Alim. (Mex.), 15 (6): 4-16

Berry C.S., (1986). *Resistant Starch: Formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fiber*. J. Cereal Sci. 4: 301-314

Biliarderis, C.G., Page, C.M., Slade, L., and Sirett, R.R., (1985). *Thermal behavior of amylose-lipid complexes*. Carbohydr. Polymers 5:367

Bressani, R. Braham, J.E. y Béhar M. (1972). *Nutritional Improvement of Maize*. Proceedings International Conference. INCAP. Guatemala, marzo 6-8

Bressani, R. Braham, J.E. y Béhar M. (1972). *La importancia del maíz en la nutrición humana en América Latina y otros países*. En "Mejoramiento Nutricional del Almidón." INCAP, Guatemala, L-4, 325-329.



- Buendía, M.O. Tesis. (1981) *Características morfológicas de mazorca, propiedades físicas y de calidad protéica del maíz (Zea mays L.) normal y mejorado, relacionado con el proceso de nixtamalización*. Departamento de Industrias Agrícolas. UACH. Chapingo, Mex.
- Bulpin, P. V., Welsh, E.J., and Morris, E.R., (1982). *Physical characterization of amylose-fatty acid complexes in starch granules and in solution*. *Stärke* 34:335.
- Cabrera, E., Pineda, U.C., Durán de Bazúa, C., Segura-Jauregui, J.S. y Vernon E.J. (1984). *Kinetics of water diffusion and starch gelatinization during corn nixtamalization*. En "Engineering and food". vol. I pp. 117-125
- Charley, H. (1991) *Tecnología de Alimentos*. Ed. Limusa. 2da.edición. México. pp. 160-190
- Chávez, A. (1973) *El maíz en la nutrición de México* Simposio "Desarrollo y Utilización de maíces de alto valor nutritivo." Colegio de Posgraduados Chapingo México SAG: 144-149
- Davidek, J., Velisek J., Pokorny, J. (1990) *Chemical Changes during Food Processing*. Ed. Elsevier, N.Y. pp. 58-64
- Davis, E.A., Grider and Gordon. (1986) *Microestructural Evaluation of Model Starch System Containing Diferent Types of Oils*. *Cereal Chem* 63(5):427-430
- Dombrink-Kutzman, B. *Zein Composition in Hard and Soft Endosperm of Maize*. *Cereal Chem* 70 (1) 105-108
- Durán, C. (1978) *Procedimiento para cocer maíz por extrusión*. SEPAFIN: Pat. Pend. No. 15943. México, D.F.



- Durán, A.P. Tesis (1981) *Aprovechamiento de Nejayote de Nixtamal por Métodos microbiológicos*. Facultad de Química, UNAM
- Eerlingen, R.C., Jacobs, H., and Delcour, J.A. (1994) *Enzyme-Resistant Starch. V. Effect of Retrogradation of Waxy Maize Starch on Enzyme Susceptibility*. *Cereal Chem.* 71 (4): 351-355
- Eerlingen, R.C., Crombez, M., and Delcour, J.A. (1993). *Enzyme-Resistant I. Quantitative and qualitative influence of incubation time and temperature of autoclaved starch on resistant starch formation*. *Cereal Chem.* 70: 339-344
- Eliasson, A.C., and Krog, N. (1985). *Physical properties of amylose-monoglyceride complexes*. *J. Cereal Sci.* 3:239
- Eliasson, A.C., Larsson, K., and Mieziš, Y. (1981). *On the possibility of modifying the gelatinization properties of starch by lipid surface coating*. *Stärke* 33: 231.
- Englyst, H. N., Kingman, S.M., and Cummings, J.H. (1992) *Classification and measurement of nutritionally important starch fractions*. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Suppl.2): S33-S50
- Fearn, T. and Russell, P. L., (1982) *A Kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry. The effect of specific loaf volume*. *J. Sci. Food Agric.* 33:537
- Fennema, O.R. (1985) *Food Chemistry*. Ed. Marcel dekker, Inc. USA
- Floyd, C.D., Rooney, L.W., and A.J. Buckholt. (1995) *Measuring Desirable and Undesirable Color in White and Yellow Food Corn*. *Cereal Chemistry.* 72, 488-490



Fonseca , P.M. Tesis (1991). *El maíz y su entorno histórico, económico e industrial en México*. Universidad Iberoamericana.

González A.U. (1995) *El maíz y su conservación*. Ed. Trillas México

González, A.D. Tesis (1997). *Deterioro químico de los lípidos y de las proteínas del maíz durante su almacenamiento*. Facultad de Química, UNAM

Gómez, M.H. McDonough, L.W. (1989) *Changes in Corn and Sorghum during nixtamalization and tortilla Baking*. Journal of food Science 54(2) 330-336.

Guraya, H.S. and Toledo, R.T. (1993) *Determining Gelatinized Starch in a Dry Starchy Product* J. Food Science, 58 (4): 888,889,898

Hawthorn, J. (1992) *Fundamentos de la Ciencia de los Alimentos*. Ed. Acribia, México. pp. 60-63

Hernández, M., Chávez, A., Bourges, H. (1983) *Valor nutritivo de los alimentos mexicanos*. Tablas de uso práctico. División de Nutrición INN, México. pp. 1-12

Hodge, J. E., Osman, E.M. (1985) *Hidratos de Carbono*. En "Introducción a la Ciencia de los Alimentos." Fennema, O. R. De. Reverté Capítulo 3 pp. 127.

Hoseney, R.C. (1992) *Principios de Ciencia y Tecnología de los Cereales*. Ed. Acribia, España. pp. 100-103, 228-233

Ingllett, G. (1980) *Corn: culture, processing and products*. AVI Publishing Co. Inc. Wesport Connecticut USA.



- Katz, S.H., Hediger, M.L. and Valleroy, L.A. (1974) *Tradicional Maize Processing Techniques in the New World*. Science, 184:765-773
- Landry J. and Moureaux T. (1980) *Distribution and Amino Acid Composition of Protein Groups Located in Different Histological Parts of Maize Grain*. J. Agric. Food Chem. 28, 1186-1191.
- Lehninger, L.A. (1985) *Bioquímica*. Ed. Omega pp. 161-184
- Leloup, V. M., Colonna, P., and Rings, G. (1992) *Physicochemical aspects of resistant starch*. J. Cereal Sci 16:253-266
- Loeza, C. N. Tesis (1991) *Efecto de la Nixtamalización en la Fermentación del Pozol*. Facultad de Química, UNAM.
- López, B.M. Tesis (1986). *Cinética de difusión acuosa y reacción de gelatinización en la nixtamalización del maíz*. Facultad de química UNAM
- Lucio, A.R. Tesis (1995). *Modificación enzimática de la harina nixtamalizada para incrementar la vida de anaquel de la tortilla*. Facultad de Química, UNAM
- Machorro, V.L. Tesis (1982) *Identificación y cuantificación de aflatoxinas en maíz durante el proceso de nixtamalización*. Facultad de Química, UNAM
- Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P.D., and Ring, S.G. (1985). *The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch*. Carbohydr. Res. 135:271.
- Nieblas J.M. Sánchez A. y Cumplido L.G. (1991) *Efecto del material de empaque y temperatura de almacenamiento en la calidad de la tortilla*. Archivos latinoamericanos de nutrición, 41-4, dic. 584-594



Norma Oficial Mexicana. NOM-FF-34-1982. *Productos Alimenticios no Industrializados para uso humano-cereales-maíz (Zea mays)* Especificaciones.

Paulins W.J. (1981) *Albumins and Globulins in extract of Corn Grain Parts*. Cereal Chemistry 58. pp. 263-273

Pelaez J.M., and Karel. (1980) *Development and stability of intermediate moisture tortillas*. Food proc. Preserv., 4: 51-65

Pomeranz, Y. (1992) *Modern Cereal Science and Technology*. Ed. VCH Publishers N.Y., pp.334-343

Russell, P.L. (1983-a). *A Kinetic study of bread staling by differential scanning calorimetry and compressibility measurements. The effects of different grists*. J. Cereal Asci. 1:285

Saeb, L.M., González, M.L. Tesis (1992). *Estudio del efecto de la nixtamalización sobre los nutrimentos del maíz sano y contaminado naturalmente*. Facultad de Química, UNAM

Sánchez Del Angel, L.S. Tesis Maestría (1998). *Evaluación del Efecto de Almacenamiento sobre las Macromoléculas del maíz por medio de Calorimetría Diferencial de Barrido*. Facultad de Química, UNAM.

Sievert, D., and Pomeranz, V., (1989) *Enzyme-resistant starch I. Characterization and evaluation by enzymatic, thermoanalytical, and microscopic methods*. Cereal Chem. 66:342-347

Sievert, D., and Pomeranz, V., (1989) *Enzyme-resistant starch II. Differential scanning calorimetry studies on heat-treated starches and enzyme-resistant starch residues*. Cereal Chem. 68:86-91



Siljeström, M., Eliasson, A.C., and Björck, I. (1989). *Characterization of resistant starch from autoclaved wheat starch*. *Starch/Staerke* 41:147-151

Trejo-González A., and Feria-Morales A. (1982) *The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation*. *Adv. Chem. Ser. No. 198* pp. 246-263. American Chemical Society.

Vivas N.E., and Waniska R. D. (1987) *Effect of tortilla production on proteins in Sorghum and Maize*. *Cereal Chemistry* 64(6) 384-389.

Watson, A.S., and Ramstad, E.P. (1987) *Corn: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemistry Inc Minnesota USA, 73: 410-423.

Yuan, R.C., Thompson, D.B., and Boyer, C.D. (1993) *Fine Structure of Amylopectin in Relation to Gelatinization and Retrogradation Behavior of Maize Starches from Three wx-containing Genotypes in Two Inbred Lines*. *Cereal Chem.* 70(1): 81-89.

Zeleznak, K.J., and Hosney, R.C. (1986) *The role of water in the retrogradation of wheat starch gels and bread crumb*. *Cereal Chem.* 63:407