

# Cambios en Nutrientes Seleccionados y Microestructura del Maíz Mejorado "Costeño" y el Maíz Común Durante la Preparación y el Almacenamiento de Tortillas.

R. Mora-Escobedo,<sup>1,\*</sup> P. Osorio-Díaz,<sup>1,2</sup> M.I. García-Rosas,<sup>1</sup>  
A. Bello-Pérez<sup>2</sup> y H. Hernández-Unzón<sup>1</sup>

El objetivo de este trabajo fue estudiar cómo las diferentes etapas en la elaboración y almacenamiento de la tortilla afectan al almidón resistente para dos tipos de maíz.



## Introducción

El maíz constituye el principal alimento básico para un amplio grupo de personas en Latinoamérica, en donde generalmente se consume en forma de tortilla. Es importante mencionar que en algunas regiones del sur de Estados Unidos, el proceso de elaboración de tortilla también es muy popular (Paredes López y Mora-Escobedo, 1983). La mayoría se producen por el proceso tradicional. Este proceso consiste en cocer el grano en un exceso de agua con cal y dejar reposar el grano por 12 horas. El grano obtenido (nixtamal) se muele en molinos de piedra hasta obtener una masa, la cual se corta en forma de discos y se cocen en horno de gas (Serna-Saldívar et al., 1990).

De acuerdo con Campus-Bapoli et al. (1999) el consumo per cápita de maíz en México es aproximadamente de 250 g/día. De hecho, en algunas áreas rurales de México y Centroamérica, el consumo de tortillas de maíz proporciona cerca de 70% de calorías en la dieta diaria. El almidón es el principal componente

del maíz. Todos los almidones pueden degradarse por la  $\alpha$ -amilasa humana. Sin embargo, la velocidad y cantidad que se puede digerir en el intestino delgado determina sus propiedades fisiológicas, las cuales dependen de tres factores principales:

- a) su estado físico, ya sea granos enteros, en polvo o en forma dispersa
- b) la naturaleza de la forma cristalina de los gránulos de almidón y la proporción amilosa-amilopectina, y
- c) cualquier efecto en el procesamiento el cual pueda producir retrogradación, como alimentos ricos en almidón cocidos y refrigerados (Hiele et al., 1990; Englyst et al., 1992, 1996; Cummings y Roberfroid, 1997).

La velocidad y cantidad de almidón digerible es un factor importante para controlar la glucosa e insulina en sangre (Wolever y Miller, 1995). Algunos almidones afectan las funciones de digestión (Munster et al., 1994; Cummings et al., 1996). Si una fracción del almidón o los productos de su hidrólisis evitan la digestión y pasan hasta el intestino grueso, en donde se puede fermentar,

se conoce como almidón resistente (RS) (Englyst et al., 1992).

Fisiológicamente, las funciones del RS como fibra al no ser digerido en el intestino delgado sufre un grado de fermentación en el intestino grueso (Ranhotra et al., 1996).

Generalmente se acepta que el proceso de añadir cal al maíz involucra una degradación extensa de las macromoléculas (Serna-Saldívar et al., 1993). El RS puede ser un componente importante de las tortillas porque frecuentemente es resultado del proceso del calentamiento del almidón y depende de las condiciones de dicho proceso. Por tanto, es importante estudiar los cambios del almidón durante el proceso de manufactura tradicional de la tortilla y durante su almacenamiento para conocer sus repercusiones nutricionales y tecnológicas. El objetivo de este trabajo fue estudiar cómo las diferentes etapas en la elaboración y almacenamiento de la tortilla afectan el RS, utilizando almidón de maíz de calidad y compararlo con el maíz común. También se analizaron los cambios fisicoquímicos y microestructurales durante el procesamiento y almacenamiento de tortillas de maíz.

<sup>1</sup>Departamento de Graduados en Alimentos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México.

<sup>2</sup>Centro de Desarrollo de Productos Bióticos, IPN, México.

## Materiales y Métodos

### Muestras

INIFAP (Instituto Nacional de Investigación Agrícola y Forestal) del estado de Morelos, México, suministro maíz Costeño mejorado. Se compró maíz crudo comercial en una industria procesadora de maíz local. El contenido de amilosa aparente del maíz Costeño mejorado fue de  $36.0 \pm 2.47\%$  y en el maíz común fue de un promedio del 28%, según reportó Bello-Pérez et al. (1998).

### Preparación de la Muestra

El almidón de maíz blanco de calidad (denominado Costeño mejorado) es una variedad que se cultiva en la región central de México. Esta es una variedad que se consume como maíz dulce o por la industria de procesamiento de maíz local. Se usó como materia prima para este estudio por su alto contenido de almidón y por su posibilidad de formar RS.

Se aplicó el método tradicional para producir nixtamal, masa y tortillas usando la variedad Costeño (Rendón-Villalobos et al., 2002). Los lotes de las muestras de 1 kg de maíz (Costeño) se cocieron en 3L de solución de cal (1%, en base al peso del grano). El maíz se coció a 85°C por aproximadamente 40 min, se dejó reposar en el mismo recipiente por 16 h y posteriormente la solución cocida (nejayote) se desechó. Se lavó el nixtamal tres veces con agua corriente para eliminar el salvado y el exceso de cal. El nixtamal se molió con un molino de piedras comercial hasta obtener una masa. La masa se moldeó a presión para hacer tortillas de 1 mm de grueso. Las tortillas se cocieron en una estufa doméstica de gas. Las tortillas frías se empacaron en bolsas de polietileno (20cm x 30cm) y se almacenaron durante 10 días a 5°C. Por otro lado, se recolectaron maíz común, masa y tortillas de una industria procesadora de maíz. Las muestras se analizaron

después de 0, 5 y 10 días de almacenamiento. Se analizó la composición química del maíz, masa, tortillas frescas y almacenadas de ambas muestras.

### Metodología

El contenido de humedad se determinó secando hasta un peso constante en un horno de aire forzado a 100°C. Se analizó en las muestras el contenido de nitrógeno por digestión Kjeldahl, se calculó el contenido de proteínas como  $N \times 5.85$ . Se midió la grasa cruda en las muestras por extracción con éter en un aparato Goldfish después de la evaporación del solvente. El contenido de cenizas se determinó después de la incineración a 500°C (AACC, 1995).

### Fibra Dietética

Se analizó el contenido de fibra dietética soluble (SDF) y fibra dietética insoluble (IDF) de acuerdo al método AOAC-AACC (45.4.08). Las muestras desgrasadas y secas se gelatinizaron

con  $\alpha$ -amilasa termoestable (Sigma P-5380) y después digerida enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar la proteína y almidón. Se eliminó IDF filtrando y lavando el residuo con agua. Se precipitó el SDF en el filtrado añadiendo 95% de etanol al filtrado. Posteriormente el precipitado se volvió a filtrar, se lavó con etanol al 78% y 95% de etanol y acetona, se secó y pesó. Se analizó un duplicado para proteínas y el segundo se incineró a 525°C para determinar el contenido de cenizas. La fibra total (%TDF) se calculó como la suma de SDF e IDF (AOAC, 1995).

### Aislamiento del almidón

El almidón se aisló de las muestras de maíz Costeño y común para determinar los cambios microestructurales durante el proceso de nixtamalización. Se aisló de las muestras usando la metodología reportada por Paredes-López et al. (1989).



### Almidón digerible *in vitro*

La digestibilidad del almidón se determinó de acuerdo al método de Marlett y Longacre (1966). Los duplicados de las muestras secas sin grasa sufrieron tratamientos enzimáticos secuenciales por pepsina, pancreatina y amiloglucosidasa para la digestión de las proteínas y del almidón. Se utilizó el método enzimático colorimétrico (glucosa oxidasa) para determinar el almidón disponible (Sigma kit 510-DA).

### Contenido de Almidón Resistente (RS3)

El procedimiento gravimétrico-enzimático para la determinación y aislamiento de almidón retrógrado resistente (contenido de RRS o RS3) se describió previamente por Saura-Calixto et al. (1993). El análisis siguió un patrón de modificación del método AOAC para la determinación de fibra. Consiste de una hidrólisis enzimática del almidón primero con  $\alpha$ -amilasa caliente (Sigma P-5380) y después con amiloglucosidasa (Sigma A-9913) para el rendimiento de la glucosa. El IDF se obtuvo después de varias etapas de enjuagado y centrifugación. El RS se extrajo del residuo insoluble con una solución de KOH 2M y se volvió a tratar con amiloglucosidasa. La glucosa se determinó en el sobrenadante con el reactivo GOD-POD (glucosa oxidasa peroxidasa). Se calculó RS3 como glucosa (mg) x 0.9 (factor de conversión por la hidrólisis del almidón).

### Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido se condujo usando un Instrumento modelo DSC TA S910, equipado con un

sistema de enfriamiento para temperaturas tan bajas como 40°C. Este equipo se usó para estudiar la fase de transición del almidón. El DSC se calibró con Indio (punto de fusión = 156.6°C, E = 28.6J/g). Las muestras de 5 mg se ajustaron con agua hasta el 70% de su contenido original de humedad y posteriormente se colocaron las muestras en un recipiente de aluminio pre-pesado. Los recipientes se sellaron y pesaron para determinar su masa actual. Para todas las corridas de DSC, se utilizó un recipiente de aluminio vacío como una referencia inerte. El rango de barrido fue de 0-200°C a 5°C/min. El análisis de DSC se realizó por triplicado para cada una de las muestras (Osorio-Díaz, 2000).

### Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Se utilizó la microscopía electrónica de barrido para estudiar los cambios del complejo geométrico que ocurre durante la nixtamalización, elaboración y almacenamiento de tortillas. Estos estudios se realizaron en muestras de almidón de maíz crudo, masa y tortillas frescas y almacenadas por 5 días. Las muestras se secaron a 37°C y almacenaron en un desecador con CaCl<sub>2</sub> antes de su análisis. Se colocaron con una cinta adhesiva doble en un adaptador de aluminio, cubierto con 200nm de oro-paladio y visto en un electromicroscopio de barrido JEOL JSM a un voltaje de 10 y 15 kV (Christianson et al., 1982; Sahai y Jackson, 1996).

### Análisis Estadístico

Se realizaron el análisis de varianza (ANOVA,  $p < 0.05$ ) y la prueba de Tukey para el promedio de separación de

medias con el software SYSTAT versión 5.0 (Wilkinson y Howe, 1992). Los resultados se expresaron como valores promedio  $\pm$  la desviación estándar de tres determinaciones por separado.

## Resultados y Discusión

### Composición Aproximada

El contenido de proteína en ambas muestras de maíz crudo fue similar (10.0%), en la masa fluctuó entre 8.8 y 9.3% y en tortillas entre 8.7 y 8.9%. El cambio en el contenido total de proteína del maíz crudo y tortilla fue similar al previamente reportado por otros investigadores (Bressani et al., 1990; Gómez et al., 1991) y fue debido a la pérdida de proteína soluble en el agua de nejayote. El maíz común y el costeño no mostraron cambios significativos durante el proceso de nixtamalización y almacenamiento (Tabla 1). Sin embargo, se observó una disminución en el contenido de proteína para ambas muestras de maíz crudo y masa (Tabla 1) lo que sugiere que, durante el proceso de nixtamalización, una parte de este componente se elimina en el nejayote. Este comportamiento lo reportó Rendón-Villalobos et al. (2002).

El maíz costeño no mostró cambios estadísticos significativos ( $p < 0.05$ ) en los valores obtenidos durante el proceso de nixtamalización ni durante el almacenamiento. Sin embargo, se observó una disminución de grasa del maíz común (6.4% para maíz crudo y 3.4% para la masa) debido a que durante el proceso de nixtamalización, una parte de este componente se elimina en el nejayote (Rendón-Villalobos et al., 2002).

Tabla 1. Composición de muestras de maíz durante el proceso de nixtamalización.

Muestra	g/100g d.b. (media $\pm$ Desviación estándar. n = 3)*					
	Proteína		Extracto de éter		Ceniza	
	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común
Maíz Crudo	10.0 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	10.0 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	6.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	6.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	1.2 $\pm$ 0.0	2.1 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Masa	9.3 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	8.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	7.2 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	3.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.0	3.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>
Tortilla Fresca	8.9 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	8.7 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	6.6 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	3.3 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.4 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>
Tortilla almacenada 5 días	8.7 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	8.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	6.5 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	3.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.1	3.3 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>
Tortilla almacenada 10 días	8.7 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	8.8 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	6.4 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>	3.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.5 $\pm$ 0.0	3.3 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>

\* Las diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes ( $p < 0.05$ ).



PEQUEÑA CUBICADORA DE ALTO RENDIMIENTO



# DIVERSACUT **SPRINT**<sup>TM</sup>

DE TAMAÑO MUCHO MÁS COMPACTO, SIMILAR A LA MÁQUINA CONSTRUIDA EN UNA FORMA FIRME Y SÓLIDA COMO LO ES LA CUBICADORA DIVERSACUT 2110®.



La cubicadora Diversacut Sprint<sup>TM</sup>, de Urschel Laboratorios, es la nueva cubicadora de alto rendimiento, diseñada para cortes uniformes en cubos, tiras y rebanadas de una gran variedad de vegetales, frutas y carnes.

Eficiencia y flexibilidad son las características principales en la máquina "Sprint".

El tamaño compacto de la máquina combina con la facilidad para los cambios en formas y tamaños de cortes para una infinidad de posibilidades de producción.

El tamaño máximo aproximado del producto que se alimenta a la máquina es de 6.5" (165.1 mm) en cualquiera de sus dimensiones.

La máquina "Sprint" produce una innumerable variedad de cortes planos y ondulados, rebanadas, tiras y cubos dentro del rango de 1/8" a 1" (1.6mm hasta 25.4mm)

Para mayor información ó para realizar pruebas con su producto, contacte a su representante local.



[www.abamex-ing.com.mx](http://www.abamex-ing.com.mx)  
[info@abamex-ing.mx](mailto:info@abamex-ing.mx)  
 LD sin Costo 01-800-508-1615  
 (Méx. D.F.) (55) 5481-1550

**URSCHEL**<sup>®</sup>  
 LOS ESPECIALISTAS EN REDUCCION DE TAMAÑO

©Urschel and DiversaCut 2110 son marcas registradas de Urschel Laboratories, Inc.  
<sup>TM</sup> DiversaCut Sprint - Patentes pendientes en los E.E.U.U. y en el extranjero.

El contenido de ceniza fue diferente entre las dos muestras. La explicación podría ser la alta concentración de calcio utilizada durante la nixtamalización para el maíz común. Durante el proceso de nixtamalización, el contenido de ceniza aumenta en ambos tipos de muestras pero en la muestra de maíz Costeño no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \geq 0.05$ ). Este aumento podría ser resultado del uso de cal, la cual contiene minerales tales como el calcio, magnesio, sodio y potasio (Bressani et al., 1990).

### Fibra Dietética

La cantidad de fibra dietética soluble en maíz crudo y tortilla fresca fue muy diferente en ambas muestras (Tabla 2). El maíz Costeño mostró un aumento estadísticamente significativo ( $p \leq 0.05$ ) en su estado crudo y tortilla, mientras que la tortilla fresca de maíz común tuvo un valor estadísticamente menor ( $p \leq 0.05$ ) que el maíz crudo. Básicamente en ambas muestras hubo un aumento en el SDF de la tortilla fresca y almacenada 5 y 10 días, lo cual se pudo deber a la retrogradación del almidón como se reportó previamente (Rendón-Villalobos et al., 2002).

La fibra insoluble disminuyó del maíz crudo al cocido, debido principalmente a la eliminación de la cáscara de la semilla durante el cocimiento alcalino. TDF fue mayor en las muestras de maíz Costeño que en el maíz común, debido quizá a las diferencias en la morfología, ya que el grano Costeño es mayor que el grano de maíz común. Los niveles relativamente altos de fibra en tortillas es

nutricionalmente importante, particularmente para quien consume grandes cantidades de maíz procesado.

### Almidón Digerible

Se registró una variación apreciable del almidón digerible entre las dos muestras (Tabla 3). Costeño mostró valores más altos que el maíz común. Esta variación pudo ser debido a que hay más regiones granulares amorfas presentes en esta variedad y las cuales pueden ser más fáciles de atacar por las enzimas (Perera et al., 2001). Otra explicación podría ser que este material tuvo una mayor cantidad de amilopectina que de amilosa, ya que Morales et al (1997) reportó una mayor digestibilidad para la amilopectina que para la amilosa. En el maíz común, no se encontraron diferencias importantes ( $p \geq 0.05$ ) para el almidón digerible en masa y tortilla fresca (0 días de almacenamiento, Tabla 3). La digestibilidad del almidón en tortillas almacenadas por 5 y 10 días fue significativamente menor ( $p \leq 0.05$ ) que en la masa y en la tortilla fresca de ambas muestras. Los bajos valores de almidón digerible registrados durante el almacenamiento para las dos muestras pueden estar relacionados con el desarrollo de fracciones retrógra-

das indigeribles en almacenamiento en frío (Rendón-Villalobos et al., 2002). El almidón no digerible, junto con otros componentes de alimentos podría reducir el índice glicémico y las respuestas a insulina (Wolever y Miller, 1995). Esto es importante para los tratamiento de diabetes y podría generar cambios en las recomendaciones para diabéticos.

### Almidón Resistente (RS3)

Las cantidades de RS3 aumentan significativamente ( $p \leq 0.05$ ) durante el proceso de nixtamalización y almacenamiento. La masa mostró valores menores de RS. El incremento mayor en RS3 en ambas muestras se observó durante el almacenamiento de tortillas. Una mejora del RS en este tipo de alimento tiene implicaciones importantes en la salud, ya que los carbohidratos, incluyendo el RS, frecuentemente interactúan con la digestión de proteínas y lípidos, lo que baja indirectamente el valor calórico de la dieta como un todo (Livesey y Elia, 1996). Cuando está presente en cantidades importantes, el RS baja la densidad calorífica de los alimentos. También se reportó que el RS provoca una baja respuesta glicémica (Jenkins et al., 1982). Estos resultados

**Tabla 3. Almidones digeribles y resistentes de muestras de maíz**

Muestra	Almidón Digerible (g/100g almidón, promedio $\pm$ DS, n = 3)*		Almidón Resistente (g/100g almidón, promedio $\pm$ DS, n = 3)*	
	Costeño	Común	Costeño	Común
	Maíz Crudo	91.6 $\pm$ 1.1 <sup>a</sup>	89.3 $\pm$ 0.3 <sup>a</sup>	-
Masa	91.1 $\pm$ 2.0 <sup>a</sup>	87.6 $\pm$ 0.26 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	0.4 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>
Tortilla Fresca	88.6 $\pm$ 2.6 <sup>b</sup>	88.4 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	1.0 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	0.6 $\pm$ 0.2 <sup>a</sup>
Tortilla almacenada 5 días	80.8 $\pm$ 1.6 <sup>c</sup>	79.3 $\pm$ 0.16 <sup>b</sup>	1.9 $\pm$ 0.04 <sup>c</sup>	5.1 $\pm$ 0.4 <sup>b</sup>
Tortilla almacenada 10 días	78.6 $\pm$ 0.6 <sup>c</sup>	80.57 $\pm$ 0.42 <sup>b</sup>	3.2 $\pm$ 0.06 <sup>d</sup>	7.4 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>

\*Valores Promedio Seguido por diferentes letras tienen diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 2. Cambios en el contenido de fibra dietética durante el proceso de nixtamalización y almacenaje del maíz.**

Muestra	Porcentaje (promedio $\pm$ desviación estándar, n = 3)*					
	Fibra Dietética Soluble		Fibra Dietética Insoluble		Fibra Dietética Total	
	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común
Maíz Crudo	0.9 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	1.2 $\pm$ 0.2 <sup>b</sup>	13.8 $\pm$ 0.8	8.6 $\pm$ 0.3	14.7	9.8
Masa	1.4 $\pm$ 0.1 <sup>b</sup>	1.0 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	12.8 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.3	14.2	9.3
Tortilla Fresca	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	1.0 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	12.6 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.2	14.2	9.8
Tortilla almacenada 5 días	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	1.2 $\pm$ 0.3 <sup>b</sup>	12.5 $\pm$ 0.5	8.5 $\pm$ 0.8	14.1	9.7
Tortilla almacenada 10 días	1.8 $\pm$ 0.1 <sup>c</sup>	1.3 $\pm$ 0.2	12.5 $\pm$ 0.3	8.6 $\pm$ 0.3	14.3	9.9

\* Las diferentes letras en la misma columna son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ).

se pueden explicar con la modificación del almidón (Stute, 1992) lograda por tratamientos con calor que siempre provocan alteraciones estructurales (Biliaderis et al., 1985).

### Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

La calorimetría diferencial de barrido se utilizó para detectar gránulos gelatinizados en masa y retrogradación en tortillas frescas y almacenadas por 5 y 10 días. Los parámetros de DSC registrados fueron temperatura de llegada ( $T_0$ ), pico ( $T_p$ ) y de terminación ( $T_c$ ), los valores de entalpía ( $\Delta H$ ).  $T_p$  y  $\Delta H$  de muestras de maíz crudo Costeño y común fueron de 75.1°C y 4.6 J/g, y 73.8°C y 13.5 J/g respectivamente (Tabla 4). Se obtuvo un valor mayor de  $T_p$  para el maíz Costeño comparado con la del maíz común, lo cual se puede deber a una cadena más larga de amilopectina (Jane et al., 1999). Esto indica que el maíz creció en una región de clima caliente, ya que los valores  $T_p$  también se han asociado con factores como la temperatura ambiental durante el llenado del grano (Noda et al., 2003). La masa de Costeño y maíz común mostraron dos transiciones endotérmicas. Las temperaturas  $T_p$  fueron de 75.1 y 73.8°C y la entalpía de gelatinización de 4.6 y 13.2 J/g para el maíz Costeño y común respectivamente.

La entalpía sustancialmente menor del almidón Costeño sugiere que el orden y grado de cristalinización fue menor que la del maíz común. Estos resultados concuerdan con la digestibilidad del almidón. La masa del maíz

común mostró una segunda transición endotérmica sobre  $T_p$  de 108.9°C la cual corresponde a la complejo amilosa-lípido (Chinnaswamy y Hanna, 1990) y tuvo una entalpía de gelatinización de 6.2J/g. No hubo transición endotérmica en tortillas frescas en ambas muestras, lo que indica ya sea que todas las estructuras cristalinas naturales se transforman o que el almidón se gelatinizó completamente (Fisher y Thompson, 1997).

Las tortillas almacenadas bajo refrigeración a 5°C durante 5 días mostraron reacciones endotérmicas a 53.2 y 54.8°C para el maíz Costeño y común respectivamente, generadas por la retrogradación de la amilopectina durante el almacenamiento. El menor grado de reorientación o re-asociación de las ramificaciones de las cadenas de amilopectina que las que existen en el almidón natural puede explicar la retrogradación endotérmica de la amilopectina observada a una temperatura menor al rango de gelatinización (Bello-Pérez y Paredes-López, 1995). Los cristales en el almidón están compuestos de porciones de moléculas ramificadas de amilopectina en lugar de moléculas lineales. En general, esta observación fue consistente con los resultados de Fisher y Thopson (1997), quienes reportaron que se asume que la retrogradación de la amilopectina es responsable de los eventos endotérmicos que ocurren de 35 a 65°C en muestras calentadas y almacenadas a 5°C.

Se obtuvieron resultados similares por Singh et al. (2001). Estos autores estudiaron las propiedades térmicas

dentro del marco del proyecto de Mejora Germoplásmica del Maíz (GEM) y se encontraron valores endotérmicos de retrogradación a  $T_p$  de 53.8, 52.7 y 54.7°C para GEM, híbridos comerciales e innatos respectivamente. Los valores de entalpía para 5 y 10 días de almacenamiento fueron menores que para la masa que se reportó anteriormente (Ring et al., 1987).

### Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Las estructuras de los gránulos secos de almidón de maíz Costeño y común (Figura 1(A) y (B)) fueron de forma esférica, angular, con depresiones e irregulares; incluso se observaron poblaciones de gránulos grandes y pequeños (Pan y Jaylin, 2000). El almidón de maíz Costeño tuvo gránulos ligeramente más grandes que los del maíz común. Estas diferencias morfológicas se podrían relacionar a la composición del almidón (36 y 28% para maíz Costeño y común respectivamente). La estructura molecular de los compuestos ramificados y no ramificados fueron responsables de la contracción radial y de la expansión tangencial (Sterling, 1978). La digestibilidad mejorada del almidón de maíz Costeño por las enzimas comparada con la del maíz común pudo ser causa a una mejor accesibilidad a los gránulos de almidón causados por las características morfológicas tales como las cavidades de los gránulos (Figura 1(A)) como lo reportaron Paredes-López y Saharopulos (1982).

El cocimiento alcalino y remojar el maíz para producir nixtamal causó exudación de gránulos de almidón a través

**Tabla 4. Temperaturas pico y entalpía de transición de maíz, masa, tortillas frescas y almacenadas, medidas por DSC (promedio  $\pm$  desviación estándar, n = 3).**

Muestra	Primera Transición				Segunda Transición				Tercera Transición			
	Retrogradación de Amilopectina				Gelatinización				Complejo Amilosa-Lípido			
	$T_p$ (°C)		$\Delta H$ (J/g, d,b)		$T_p$ (°C)		$\Delta H$ (J/g, d,b)		$T_p$ (°C)		$\Delta H$ (J/g, d,b)	
	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común	Costeño	Común
Maíz Crudo	-	-	-	-	-	73.8 $\pm$ 0.1	4.6 $\pm$ 0.1	13.5 $\pm$ 0.0	-	-	-	-
Masa	-	-	-	-	79 $\pm$ 0.1	75.2 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 0.0	5.3 $\pm$ 0.9	-	108.9 $\pm$ 0.4	-	6.2 $\pm$ 0.7
Tortilla Fresca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tortilla almacenada 5 días	53.2 $\pm$ 0.0	54.8 $\pm$ 0.3	3.8 $\pm$ 1.0	3.8 $\pm$ 0.6	-	-	-	-	-	-	-	-
Tortilla almacenada 10 días	55.7 $\pm$ 1.0	59.9 $\pm$ 3.6	2.7 $\pm$ 0.4	3.6 $\pm$ 0.3	-	-	-	-	-	-	-	-

del grano (Gómez et al., 1992). Es posible apreciar en las muestras de masa de almidón (Figura (C) y (D)) algunos gránulos de almidón con superficies relativamente suaves. Estos gránulos y formas moleculares de almidón en masa fueron el resultado de una gelatinización incompleta. Los gránulos en masa exhiben doble refracción, visualizadas como cruz de malta bajo luz polarizada (datos no mostrados) de acuerdo con los resultados DSC; Gómez et al. (1992) encontraron un comportamiento similar. La estructura de la masa de maíz Costeño fue muy diferente en comparación con la del maíz común. Los gránulos de

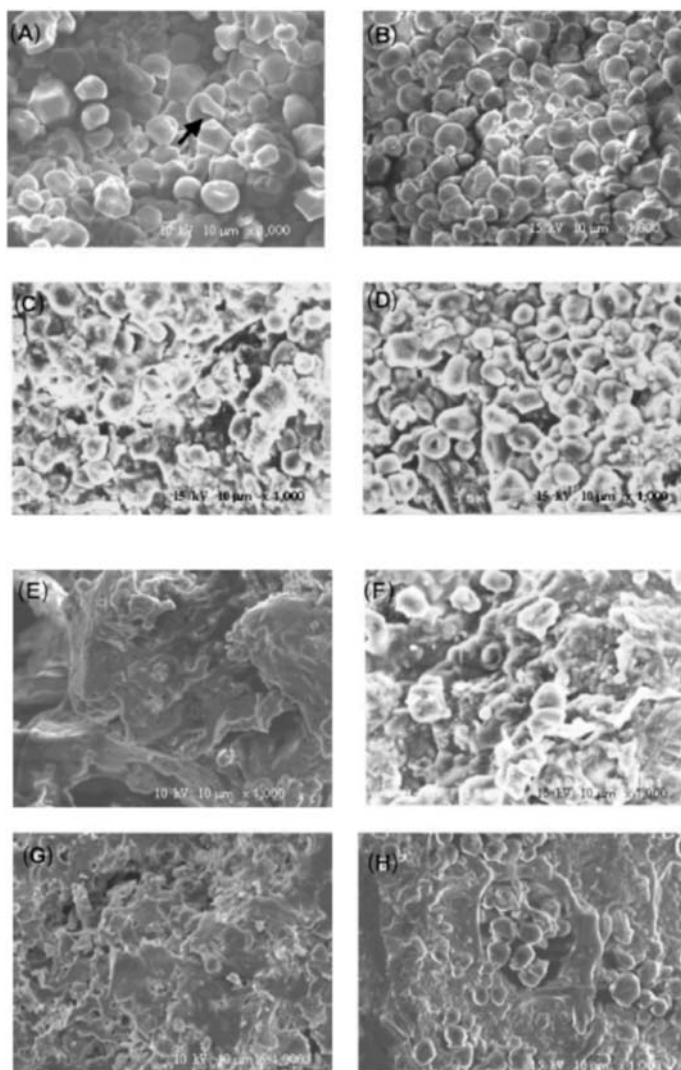
la masa de maíz Costeño presentaron menos resistencia al proceso alcalino y a la fuerza mecánica (Figura 1(C)). Este comportamiento se puede atribuir a las diferencias en las moléculas de almidón, ya que Jane et al (1999) encontraron que la integridad granular se conservaba mejor en almidones normales que en cerosos.

El almidón de maíz Costeño y común de tortillas frescas mostraron una estructura cohesiva y pegajosa (Figura 1 (E) y 1(F)). Este pegamento esta compuesto de almidón gelatinizado y contiene principalmente gránulos de

almidones completamente gelatinizados. A temperaturas altas, los gránulos de almidón perdieron sus cadenas distintivas, Christianson et al. (1982) observaron procesos similares cuando estudiaron la correlación entre las propiedades reológicas y microestructurales de los gránulos de almidones de maíz. La influencia de altas temperaturas en la masa y estrés mecánico durante la elaboración de tortilla es suficiente para afectar el desarrollo de gránulos de almidón (Gómez et al., 1992). Estos cambios morfológicos concordaron con la falta de transición endotérmica obtenida por DSC, indicando una gelatinización total. Sin embargo, los gránulos del almidón de maíz Costeño se desbarataron más que en el almidón de maíz común (Figura 1(E) y (F)). Sahai et al. (2001) encontraron varios factores, tales como la composición y dureza del maíz que afectaron la nixtamalización. Esta diferencia en la estructura puede indicar que el proceso alcalino térmico fue más drástico para el maíz Costeño que para el maíz común.

Las diferencias entre las tortillas frescas y almacenadas (Figura 1(G) y (H)) se relacionaron con las diferencias en la humedad causadas por la interacción del  $\text{Ca}^{2+}$  -almidón, la cual estabiliza la estructura y reduce la retención de agua (Bryant y Hamaker, 1997). En fotografías microscópicas del almidón de maíz Costeño no se visualizaron formas granulares pero con una extensa reorganización de los componentes del almidón, se observaron aglomeraciones en el almidón de maíz común. Son necesarios más estudios para la caracterización de la amilosa y amilopectina en ambos tipos de almidón.

**Figura 1. Fotografías de escaneo electrónico de maíz crudo: Costeño (A), maíz común (B), las flechas negras muestran las cavidades en el almidón. Masa: Costeño (C), maíz común (D). Tortilla fresca: Costeño (E), maíz común (F). Tortilla almacenada por 4 días; Costeño (G), maíz común (H).**



#### Fuente:

Food Sci Tech Int  
2004;10(2):0079-9

**Traducción: I.A. Violeta Morales V.**