

## Efecto de la concentración de hidróxido de calcio y tiempo de cocción del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas y reológicas del nixtamal

Castillo V.K.C., Ochoa M.L.A., Figueroa C.J.D., Delgado L.E., Gallegos I.J.A., Morales C.J.

Instituto Tecnológico de Durango, CINVESTAV-Querétaro, México

**RESUMEN.** Se evaluó el efecto de la concentración de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y tiempo de cocción del grano de maíz sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas durante la nixtamalización tradicional. Se observó que a mayor concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y mayor tiempo de cocción del grano, la temperatura de gelatinización aumentó significativamente. El maíz nixtamalizado con 2 g/100g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y 60 min de tiempo de cocción, presentó mayor absorción de calcio, 0.152 g/100g, mostrando un aumento significativo respecto a la concentración inicial ( $\approx 500$  g/100g). Todas las muestras presentaron un patrón de difracción de rayos X de almidón tipo A, con diferencias en la intensidad de la difracción. La viscosidad aparente del nixtamal disminuyó considerablemente al utilizar condiciones de procesamiento más altas. Se encontró que la capacidad de retención de agua aumentó con la temperatura.

**Palabras clave:** Nixtamalización, almidón, gelatinización.

**SUMMARY.** Effect of calcium hydroxide concentration and cooking time of corn grain (*Zea mays* L.) nixtamalized, over physicochemical and rheological nixtamal characteristics. The effect of calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) concentration and cooking time on physicochemical and pasting properties of maize, during traditional nixtamalization was evaluated. It was observed that the higher the  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  concentration and cooking time the higher the gelatinization temperature. Grain samples treated with 2 g/100g of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  and 60 min of cooking time presented higher calcium absorption (0.152 g/100g) showing a significant increment ( $\approx 500$  g/100g). Results of X-ray diffraction showed that all the samples had X-ray diffraction pattern of starch type A, showing differences in the intensity of the diffraction as indicated by the percentage of crystallinity. The apparent viscosity of the nixtamal considerably decreased when the processes conditions were higher. Water retention capacity increased with temperature.

**Key words:** Nixtamalization, starch, gelatinization.

### INTRODUCCION

La nixtamalización del maíz es un proceso pre-colombino que consiste en cocer el grano de maíz en una solución alcalina usando hidróxido de calcio y actualmente utilizado para preparar tortillas de buena calidad y otros productos alimenticios elaborados a partir del maíz como son: harinas instantáneas de maíz nixtamalizado, tacos, botanas como chips de maíz y tortilla chips (1-3). Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz con suficiente agua (1 kilogramo de maíz por 2-3 litros de agua), con álcali, preferentemente  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , a temperatura menor a la de ebullición, por 30-60 minutos. El grano se deja reposar entre 12-14 horas en la solución (nejayote), el nixtamal resultante es lavado de 2-4 veces para eliminar el exceso de cal, el nixtamal obtenido es molido en un molino de piedras para obtener la masa (4).

Esta técnica de cocimiento alcalino, sirve para suavizar el grano de maíz y permite que las tortillas tengan mayor calidad nutricional comparada con el maíz crudo, por los cambios químicos de los nutrientes que en él ocurren (5). Se ha establecido que el proceso de nixtamalización es selectivo para las proteínas del maíz, ya que durante el cocimiento, la zeína,

proteína deficiente en lisina y triptófano, y que es una proteína nutricionalmente pobre, disminuye su solubilidad, mientras que la glutelina que tiene un mayor valor nutricional aumenta su solubilidad y con ello la disponibilidad de los aminoácidos esenciales (6,7). Después de la nixtamalización, la lisina y el triptófano, se incrementan en 2.8 veces, y la relación de isoleucina a leucina aumenta 1.8 veces (8). Lo anterior indica que el proceso de nixtamalización incrementa el balance de aminoácidos esenciales, agregándole más valor nutricional a las proteínas. Los cambios en composición química son el resultado de pérdidas de ciertas estructuras físicas del grano así como también de compuestos químicos, inducidos por el agua, el pH alcalino de cocción, el tiempo de cocción y remojo y las temperaturas aplicadas (9,10). Durante el cocimiento del grano se llevan a cabo reacciones bioquímicas, entrecruzamientos e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, como las propiedades estructurales y de textura de la tortilla producida (11). Estos cambios, se deben principalmente a modificaciones que ocurren en la estructura del almidón (4).

El calcio desempeña un papel importante durante la nixtamalización del grano de maíz. El tratamiento con cal facilita la remoción del pericarpio durante la cocción y el reposo, controla la actividad microbiana, mejora el sabor, aroma, color, vida de anaquel y el valor nutricional de las tortillas (12). La cantidad de calcio incorporado al grano durante el proceso de nixtamalización, tanto en el pericarpio, endospermo y germen es muy importante porque la interacción entre el hidróxido de calcio y los diferentes componentes del grano determinan las características fisicoquímicas y sensoriales de los productos elaborados a partir de masa de maíz (13). Se realizaron estudios enfocados a la absorción del calcio después de someter el maíz al proceso de nixtamalización (14), los autores indicaron que el calcio se incorpora al grano de maíz durante la nixtamalización, enlazándose con el almidón y aumentando aproximadamente tres veces la cantidad de calcio unido al almidón, en relación al calcio determinado en muestras sin nixtamalizar.

Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue comparar algunas propiedades fisicoquímicas y reológicas de nixtamal obtenido obtenido bajo diferentes condiciones de procesamiento.

## MATERIALES Y METODOS

### Maíz

Maíz (*Zea mays L.*) variedad CAFIME, tradicionalmente usado para la elaboración de tortillas fue obtenido en la región de Durango, México (cosecha 2006). El maíz fue almacenado en condiciones de refrigeración (4°C) antes de la nixtamalización.

### Caracterización del grano

Los componentes proximales fueron determinados por los métodos de la AOAC (15); humedad (Método 925.09), cenizas (Método 923.03); grasa cruda o extracto etéreo (Método 920.39); nitrógeno total por el método micro-Kjeldahl (Método 954.01) usando 6,25 como factor de conversión para el cálculo de proteína; Almidón total por el método enzimático 76-13 (AACC 2000), usando amiloglucosidasa/á-amylasa (Megazyme International Ireland Limited, Wicklow Ireland) (16). Los análisis se realizaron por triplicado.

### Proceso de nixtamalización

El maíz CAFIME fue cocinado en una relación grano:agua de 1:3 por 30, 45 y 60 min a 92°C con una concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  de 1, 1.5 y 2 g/100g. Después del cocimiento, el maíz se dejó en reposo en el nejayote por 12 horas, posteriormente el nejayote se drenó y el nixtamal se lavó dos veces para eliminar el exceso de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y pericarpio, y así obtener el nixtamal, el cual se molió en un molino de piedras comercial para la obtención de la masa.

La masa se deshidrató en un secador de charolas con capacidad para 5 kg, las condiciones de secado fueron a 70°C por 4 horas para obtener un contenido de humedad en el rango de 9-12% (base húmeda). La masa seca fue molida para obtener harina fina con un tamaño de particular de 250  $\mu\text{m}$  usando malla N° 60 (Mont Inox USA), a la harina obtenida, se le llevó a cabo las siguientes determinaciones: contenido de calcio, capacidad de retención de agua, viscosidad aparente, porcentaje de cristalinidad y temperatura de gelatinización.

## Determinaciones fisicoquímicas

### Contenido de calcio

La concentración de calcio fue evaluada por medio de un espectrofotómetro de absorción atómica de doble flama (2280 Perkin Elmer) equipado con una lámpara de deuterio. El equipo fue operado con 12 psi de aire seco, 70 psi de acetileno, flama de 422.7 nm de acuerdo al método 968.08 AOAC (15).

### Capacidad de retención de agua (CRA)

Fue determinado de acuerdo al método propuesto por Bryant y Hamaker (17). En este procedimiento 5 ml de agua deionizada fueron añadidos a 0.25 g de muestra previamente pesada en tubos de centrifuga. Los tubos fueron calentados a 60, 70, 80 y 90°C por 15 min, agitándolos vigorosamente cada 5 min. Después, los tubos fueron centrifugados a 1000 rpm por 15 min. Se decantó el sobrenadante, inclinado los tubos a un ángulo de 45° por 10 min. Los tubos fueron pesados y el incremento en peso fue usado para calcular la CRA en porcentaje.

### Viscosidad aparente

Se determinó mediante un analizador de viscosidad (RVA) (Newport Scientific Pty, Australia), para determinar la viscosidad aparente en nixtamal en función de la temperatura. El contenido de humedad de las muestras fue determinado y ajustado en base a 14% (base húmeda). Se usaron 4 g de muestra para el análisis, adicionando agua destilada hasta obtener un peso constante total de agua y muestra de 28 g. Las palas rotatorias del equipo fueron conectadas por dos minutos y la suspensión mantenida a 50°C para estabilizar la temperatura y asegurar una dispersión uniforme; posteriormente se aumentó la temperatura de la suspensión a 92°C a una velocidad constante de 5.6°C por minuto y finalmente se enfrió a 50°C en 7.5 min (18).

### Difracción de rayos-X y porcentaje de cristalinidad

Para estas determinaciones se utilizó un difractor de rayos-X, marca RIGAKU, modelo Dmax2100. Se tomaron muestras de material molido. Se colocaron en el portamuestras y se hizo el barrido desde 20 hasta 60° en la escala de  $2\theta$ . Para obtener el porcentaje de cristalinidad se obtuvo el área total bajo la curva de difracción incluyendo los picos, y se

restó el área correspondiente a la difracción no-coherente. El área de los picos del maíz crudo se consideró como el 100% de cristalinidad (4).

### Calorimetría diferencial de barrido

Se determinó con un calorímetro modelo DSC550, Instrument Specialists Incorporated, previamente calibrado con Indio. La muestra (2 mg), se pesó directamente en las cápsulas de aluminio, se añadió agua deionizada con una microjeringa para obtener una suspensión entre 65% y 75% de humedad (base seca). Después de sellar las charolas de aluminio con la muestra se dejaron equilibrar 15 min a temperatura ambiente y se calentaron en el equipo desde 30-120°C a una velocidad programada de 10°C/min. En todas las corridas se utilizó una charola vacía como referencia (19).

### Análisis estadístico

Los datos fueron analizados con ANOVA mediante el uso de la tecnología GLM (Modelo lineal generalizado), y posteriormente sometidos a la prueba de Duncan y Tuckey para determinar diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre las muestras mediante el software estadística version 6.0. (20)

## RESULTADOS

La composición química del maíz fue: contenido de humedad  $9.4 \pm 0.24\%$ , cenizas,  $1.25 \pm 0.13\%$ , proteína  $6.36 \pm 0.11\%$ . En cuanto al contenido de grasa se encontró un valor de  $5.18 \pm 0.16\%$ . El contenido de almidón encontrado fue de  $62.44 \pm 0.18\%$ .

### Contenido de calcio

La Tabla 1 muestra el contenido de calcio en el nixtamal en función de la concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y tiempo de cocción del grano para muestras cocidas a 92°C y 12 horas de tiempo de reposo usando un proceso de nixtamalización tradicional. El contenido de calcio en la muestra control (sin nixtamalizar) fue 0.030% (p/p), llegando a un máximo de 0.152% (p/p) en muestras tratadas con 2 g/100g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a 60 min de tiempo de cocinado del grano (un incremento aproximado de  $\approx 500\%$  en el contenido de calcio).

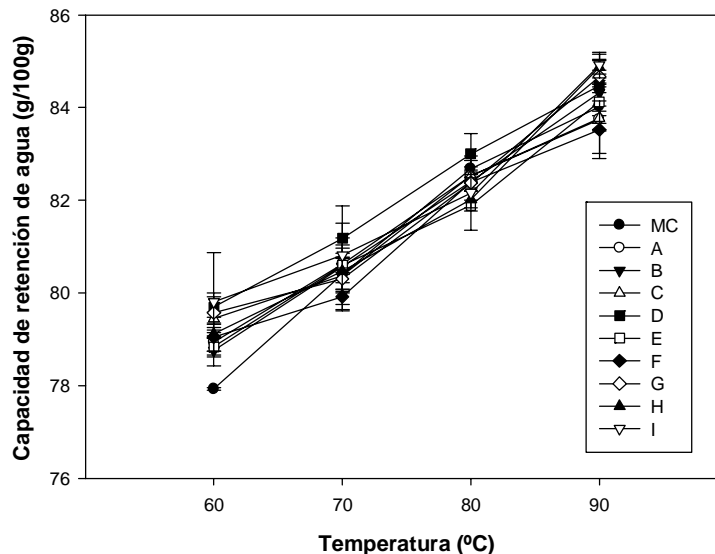
TABLA 1  
Concentración de calcio a distintas concentraciones de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y tiempos de cocinado del grano

Concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (g/100g)	Tiempo (min)	Contenido de calcio (g/100g)	Incremento en el contenido de calcio (%)
1	30	$0.112 \pm 0.0002a$	373.33
1	45	$0.121 \pm 0.0002b$	403.33
1	60	$0.133 \pm 0.0016c$	443.33
1.5	30	$0.105 \pm 0.0014d$	350.00
1.5	45	$0.124 \pm 0.0002eb$	413.33
1.5	60	$0.140 \pm 0.0001f$	466.66
2	30	$0.128 \pm 0.0019e$	426.66
2	45	$0.145 \pm 0.0002g$	483.33
2	60	$0.152 \pm 0.0007h$	506.66

Índices distintos evidencian diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ).

FIGURA 1

Capacidad de retención de agua (g/100g) en nixtamal: MC: muestra control, A:1%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 30min, B:1%, 45 min, C:1%, 60min, D:1.5%, 30 min, E:1.5%, 45 min, F: 1.5%, 60 min, G: 2%, 30 min, H:2%, 45 min, I:2%, 60 min.



### Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua (CRA) para las muestras estudiadas con distintas concentraciones de  $\text{Ca(OH)}_2$  y tiempos de cocción del grano se muestra en la Figura 1. En general, conforme la temperatura se incrementó, los valores de CRA se elevaron, no mostrando un efecto significativo entre las muestras ( $p < 0.05$ ).

### Temperatura de gelatinización

De estos resultados se observa que tanto la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$ , como el tiempo de cocinado del grano ejercen un efecto significativo ( $p < 0.05$ ) sobre la temperatura de gelatinización. Resultados mostrados en la Tabla 2 manifiestan que a mayor concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y tiempo de cocción del grano la temperatura de gelatinización aumenta, alcanzando la temperatura de gelatinización más alta en aquella donde se usó la mayor concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y mayor tiempo de cocinado, obteniendo un valor de  $76.9^\circ\text{C}$ .

TABLA 2  
Temperatura de gelatinización en muestras tratadas a distintas concentraciones de  $\text{Ca(OH)}_2$  y tiempos de cocinado del grano

Concentración de $\text{Ca(OH)}_2$ (g/100g)	Tiempo (min)	Temperatura de Gelatinización ( $^\circ\text{C}$ )
1	30	72.4±0.2a
1	45	74.2±1.8ab
1	60	75.1±1.6b
1.5	30	74.6±1.8b
1.5	45	76.0±2.1ac
1.5	60	76.2±3.2ab
2	30	75.6±0.1bc
2	45	76.2±1.2ab
2	60	76.9±0.2bc

Indices distintos evidencian diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ )

### Difracción de rayos-X y porcentaje de cristalinidad

En la Figura 2 se presentan los difractogramas de rayos-X y la cristalinidad durante el proceso de nixtamalizado del maíz con 1 g/100g de  $\text{Ca(OH)}_2$  (A), 1.5 g/100g (B) y 2 g/100g (C). Todas las muestras presentaron un patrón de difracción de rayos-X tipo A típico del almidón de maíz. Los picos cristalinos muestran un espaciamiento planar correspondiente similar en 3.3; 3.8; 4.3 y 5.03 Å, pero se encontraron diferencias en la intensidad de la difracción, lo cual se manifestó al calcular la cristalinidad, en donde se observó que al aumentar la

concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y el tiempo de cocción del grano, la cristalinidad disminuyó. La mayor pérdida de cristalinidad se observó en aquella muestra tratada con 2 g/100g de concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 60 min de tiempo de cocción del grano.

### Propiedades de viscosidad

Los resultados de las propiedades de viscosidad del nixtamal obtenido bajo distintas condiciones de procesamiento se presentan en la Tabla 3. En cuanto a la temperatura de pastificado, las muestras presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), observándose que este valor aumentó conforme se incrementó la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y el tiempo de cocinado del grano, estos resultados coinciden con aquellos reportados en las determinaciones térmicas realizadas por calorimetría diferencial de barrido en donde las muestras nixtamalizadas mostraron un comportamiento similar al aumentar la concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  y el tiempo de cocción. El valor máximo de viscosidad obtenido a los  $90^\circ\text{C}$  durante el proceso de calentamiento de las muestras por medio de RVA (Rapid Visco Analyzer), se reportó como pico máximo de viscosidad ( $V_{\text{max}}$ ). En la Tabla 3 se observó que la muestra tratada con 1.5 g/100g de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 30 min de tiempo de cocción del grano es la que presentó un valor mayor de  $V_{\text{max}}$  (3025.5 cP), y la muestra tratada con 1.5 g/100g de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 60 min presentó el valor menor (1630.5 cP). Con excepción de la muestra que obtuvo el valor de  $V_{\text{max}}$ , todas las muestras presentaron valores más bajos respecto al maíz crudo (3010 cP, datos no mostrados), las muestras estudiadas presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre ellas. De manera general, los valores de viscosidad mínima ( $V_{\text{min}}$ ) de cada una de las muestras presentaron diferencia significativa ( $p < 0.05$ ), la muestra tratada con 1.5 g/100g de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 60 min de tiempo de cocinado del grano fue la que obtuvo un valor menor de  $V_{\text{min}}$  (1157.5 cP) y, la muestra con 1.5 g/100g de  $\text{Ca(OH)}_2$  y 30 min de cocción obtuvo el valor más alto (1979 cP).

## DISCUSION

El contenido de proteína en maíz resultó menor que el reportado para maíz blanco y amarillo en donde se encontraron valores de 10.4% y 9.5% respectivamente (21). Resultados encontrados de contenido de grasa fue similar a lo reportado para maíz amarillo QPM 11-368C donde reporta valores de 5.12% (22), y finalmente para el contenido de almidón total el resultado obtenido en este trabajo concuerda con lo reportado para maíces pigmentados (morado y azul) en donde reportan valores entre 60-65% (23).

TABLA 3  
Propiedades de viscosidad en nixtamal. Temperatura de pastificado (TP), viscosidad máxima (Vmax), viscosidad mínima (Vmin), viscosidad Final (Vfin)

Muestra	TP (°C)	Vmax (cP)	Vmin (cP)	Vfin (cP)
1 Ca(OH) <sub>2</sub> , 30	75.50±0.35a	2810.5±47.37a	1841.5±72.83a	4954.5±7.77a
1 Ca(OH) <sub>2</sub> , 45	76.77±0.14b	2281±118.08cd	1573.5±92.58cd	4189.5±74.24cd
1 Ca(OH) <sub>2</sub> , 60	77.20±0.70b	2307.5±48.08dc	1602±27.57cd	4304±60.10d
1.5 Ca(OH) <sub>2</sub> , 30	75.85±0.10a	3025.5±45.45b	1979±21.92b	5370.5±24.74b
1.5 Ca(OH) <sub>2</sub> , 45	77.20±0.07b	2365±44.54de	1567.5±3.53cd	4342±103.23e
1.5 Ca(OH) <sub>2</sub> , 60	78.87±0.28c	1630.5±38.89f	1157.5±28.99e	3050±103.23e
2 Ca(OH) <sub>2</sub> , 30	76.85±0.42b	2161±98.28c	1499.5±70.71c	4088.5±176.77c
2 Ca(OH) <sub>2</sub> , 45	77.4±0.24b	2451.5±27.57ed	1769.5±0.70ad	4841±125.86a
2 Ca(OH) <sub>2</sub> , 60	78.47±0.31c	2175±38.18c	1628.8±26.87d	4388.5±24.74d

Para la columna de muestra: Ca(OH)<sub>2</sub> (g/100g), Tiempo (min)

Indices distintos evidencian diferencias estadísticamente significativas (p<0.05)

### Contenido de calcio

En la Tabla 1, se observó que conforme se incrementa la concentración de Ca(OH)<sub>2</sub> y el tiempo de cocción, la concentración de calcio absorbido fue mayor. Los resultados encontrados en este trabajo, son similares a lo reportado para maíz amarillo en donde al nixtamalizar con 2% de Ca(OH)<sub>2</sub> y 40 min a 92°C, la cantidad de calcio se incrementó de 0.024% a 0.092% (p/p), mostrando un aumento de ≈400% (1). Esto significa que el maíz retiene gran cantidad de calcio durante la cocción, en donde a mayores concentraciones de Ca(OH)<sub>2</sub> y tiempos prolongados de cocimiento ocurre una mayor absorción.

### Capacidad de retención de agua

Resultados de capacidad de retención de agua mostrados en la Figura 1, concuerdan con resultados reportados para maíz comercial nixtamalizado (24), en donde al someter el maíz a un proceso de cocción durante la nixtamalización el almidón pierde estructura, la cual dió como resultado mayor absorción de agua. Esto debido a que un excesivo calentamiento provoca que los gránulos de almidón pierdan su estructura e integridad formando una pasta gelatinizada con mayor índice de absorción de agua. Con esto se pueden obtener masas con mayor adhesividad lo cual dificulta su manejo durante la elaboración de tortillas.

### Temperatura de gelatinización

Valores bajos de temperaturas de gelatinización sugieren condiciones de procesamiento más severas, ya que un tratamiento térmico drástico produce gelatinización del almidón con mayor grado de desorganización. Sin embargo, se reporta que al aumentar la cantidad de Ca(OH)<sub>2</sub> durante el proceso de nixtamalizado, la temperatura de gelatinización aumenta, reportando un incremento en la concentración de

calcio en el proceso, interacciones Ca<sup>++</sup> - almidón pueden producir gránulos con un aumento en su integridad estructural dando como resultado temperaturas de gelatinización más altas (25).

### Difracción de rayos-X y porcentaje de cristalinidad

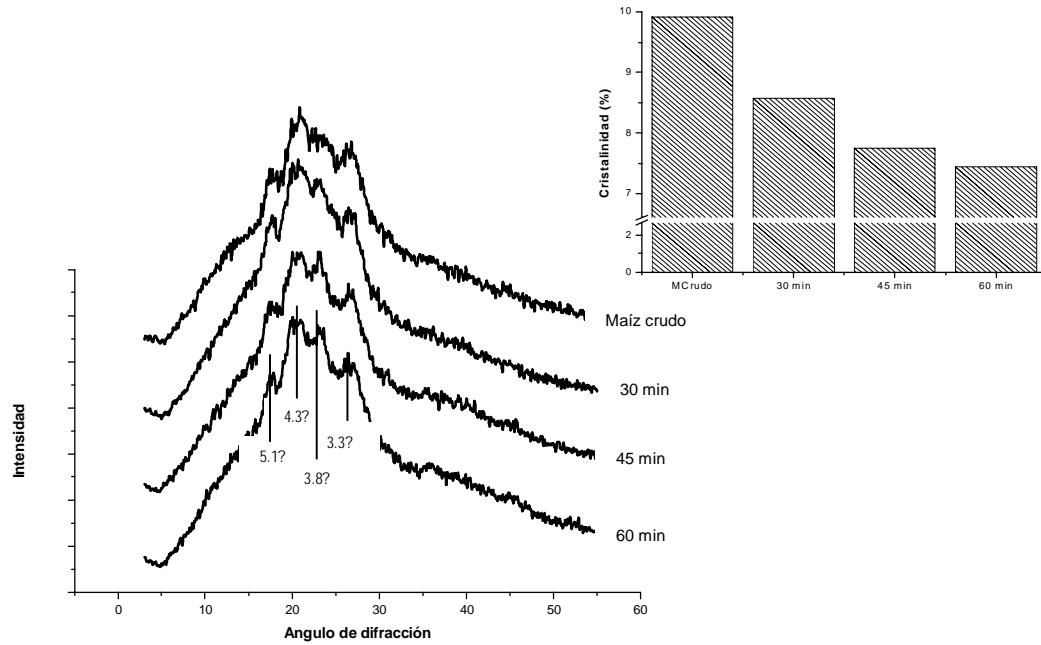
Todas las muestras presentaron un patrón de difracción de rayos-X tipo A típico del almidón de maíz, el cual se caracteriza por un alto grado de ramificación y longitud de cadenas cortas; este tipo de patrón se encuentra principalmente en los cereales (26). Los picos correspondientes a 3.3, 3.8 y 5.03 Å, tienden a disminuir, debido al desarreglo de la estructura cristalina con la cocción del grano de maíz y el de 4.3 Å que corresponde a un almidón del tipo A+V se hace presente en mayor grado. Esto concuerda con lo reportado para grano de maíz nixtamalizado (4), quienes evidencian que al someter un almidón del tipo A en un proceso térmico húmedo este cambia a una estructura del tipo A+V (4). Esta pérdida de estructura puede ser debido a la modificación que sufre el almidón presente durante el proceso de gelatinización, ocasionado por el uso de alta temperatura y tiempos prolongados de cocción empleados en el proceso de nixtamalización.

### Propiedades de viscosidad

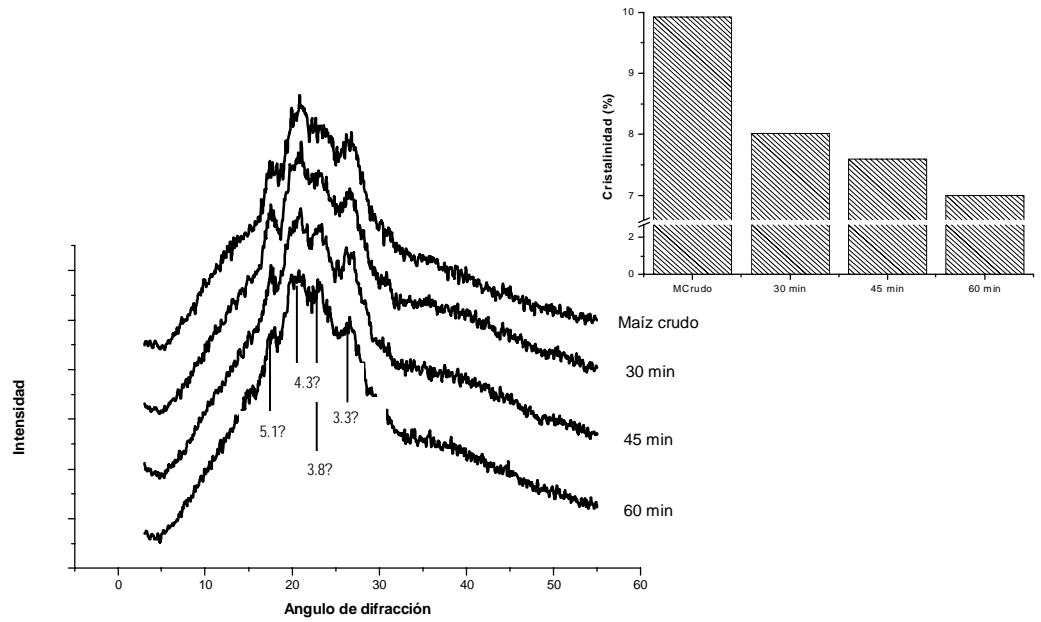
La temperatura de pastificado actúa como un indicativo de la temperatura mínima requerida para cocer la harina (27). Un aumento en la temperatura de pastificado indica que el gránulo de almidón se protege durante el procesamiento debido a un rearrreglo estructural de la molécula de almidón (28,29). Por lo tanto, al obtener temperaturas de pastificado altas, indica que se requiere de mayor energía para calentar los gránulos de almidón que se encuentren intactos. La Vmax esta inversamente relacionada con el grado de gelatinización de los almidones. Un almidón después de gelatinizado no

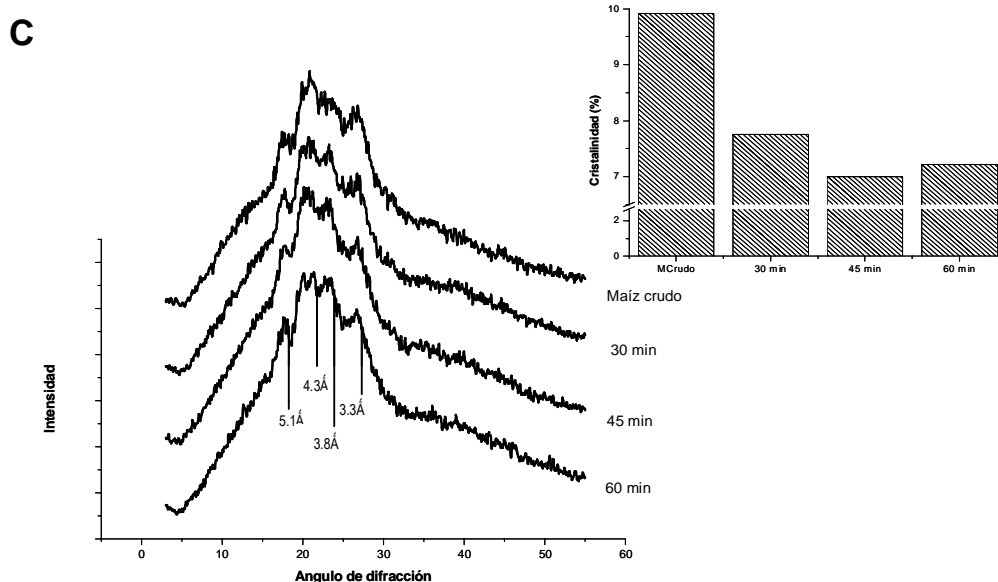
FIGURA 2  
 Difractogramas de rayos-X y cristalinidad del maíz durante el proceso de nixtamalización. A: nixtamal con 1% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , B: nixtamal con 1.5% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , C: nixtamal con 2% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

**A**



**B**





desarrolla viscosidad, y por el contrario uno nativo tiende a desarrollar la viscosidad a su máxima capacidad (3,4). Los resultados obtenidos de  $V_{max}$  concuerdan con lo reportado para almidones de harinas de maíz crudo y maíz nixtamalizado en donde se analizó el perfil de viscosidad, encontrando diferencias significativas entre ambas muestras, reportándose valores más bajos para maíz nixtamalizado que para maíz crudo (30,31). Estos patrones demuestran que los cambios producidos durante la nixtamalización en el almidón, modifican el comportamiento de los productos nixtamalizados durante el proceso de cocción, debido a que grandes cantidades de las cadenas de amilosa son solubilizadas, siendo baja la contribución de estas moléculas en la viscosidad del sistema analizado, dando como resultado una disminución de la viscosidad (32,33). De acuerdo a los resultados, se observa que altos valores de  $V_{min}$  están asociados con altos valores de  $V_{max}$  y con el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón durante el calentamiento (29,31). La viscosidad final ( $V_{fin}$ ) fue afectada significativamente por la temperatura en su término lineal, obteniendo valores más altos de  $V_{fin}$  en aquellas muestras con mayor valor de  $V_{max}$ . Es posible que durante el enfriamiento de la muestras, se llevó a cabo una reasociación de las moléculas de almidón, especialmente entre las cadenas de amilosa, lo cual dió como resultado la formación de un gel y por lo tanto un incremento en la  $V_{fin}$  (32, 34, 35), y de acuerdo a lo reportado, altos valores de  $V_{fin}$  reflejan una gran cantidad de amilosa lixiviada (36).

### CONCLUSIONES

El proceso de nixtamalización, es una técnica ampliamente utilizada en la industria de la elaboración de tortillas, sin

embargo las diferencias en las condiciones de procesamiento afectaron significativamente las propiedades fisicoquímicas del nixtamal, por lo tanto es importante estudiar dichas condiciones para cada tipo de producto.

La difusión de los iones calcio hacia el interior del grano es un proceso lineal debido a la estructura del grano la cual está en función de la concentración de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y del tiempo de cocción durante el proceso de nixtamalización. Las mejores condiciones de procesamiento del nixtamal fueron 1.5 g/100g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con 30 min de cocción, seguida por el tratamiento de 1.0 g/100g de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  con 30 min de cocción, siendo aquellos que presentaron los más altos valores de viscosidad superando inclusive al maíz sin procesar. Estas condiciones permitieron obtener un nixtamal con mayor capacidad de absorción de agua y se espera obtener productos de mejor calidad.

### REFERENCIAS

1. Fernández MJ, Rojas MI, González DM, Leal M, Valtierra ME, San Martín ME, Rodríguez ME. Study of calcium ion diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem.* 2004; 81:65-69.
2. Rendón VR, Bello PL, Osorio DP, Tovar J, Paredes LO. Effect of storage in vitro digestibility and resistant starch content of nixtamal, masa, and tortilla. *Cereal Chem.* 2002; 79:340-344.
3. Sahai D, Buendia MO, Jackson DS. Analytical techniques for understanding nixtamalized corn flour particle size and functionality relationships in a masa flour sample. *Cereal Chem.* 2001; 78:14-18.
4. Arámbula VG, Barrón AL, González HJ, Moreno ME, Luna BG. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays L.*) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano,

- masa y tortilla de maíz. Arch Latinoamer Nutr. 2001; 51(2).
5. Gómez MH, Lee JK, McDonough CM, Waniska RD and Rooney LW. Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. Cereal Chem. 1992;69:275-279.
  6. Martínez FHE, Figueroa CJD, Martínez BF, González HJ, Rodríguez GME, Banos LAM, Garnica RMG. Physical properties and composition of femur of rat fed with diets based on corn tortillas made from different processes. Int J Food Sci Nutr. 2002;53:155-162
  7. Paredes LO, Schevenin ML, Hernández LD and Cárabez TA. Amaranth starch-isolation and partial characterization. Starch/Starcke. 1989;41:205-207.
  8. Katz EE and Labuza TP. Effect of Water Activity on the Sensory Crispness and Mechanical Deformation of Snack Food Products. J Food Sci. 1981;46:403-409.
  9. Rodríguez ME, Yañez LM, Alvarado GJJ, Vargas U, Sánchez SF, Figueroa CJ. Influence of the structural changes during alkaline cooking on the thermal, rheological and dielectric properties of maize tortillas. Cereal Chem. 1996; 73(5):593-600.
  10. Sefa DS, Cornelius B, Sakyi DE, Ohene AE. Effect of nixtamalization on the chemical and functional properties of maize. Food Chemistry. 2004; 86:317-324.
  11. Bello PL, Osorio DP, Agama AE, Núñez SC, Paredes LO. Propiedades químicas, fisicoquímicas y reológicas de masas y harinas de maíz nixtamalizado. Agrociencia. 2002; 36:319-328.
  12. Rooney LW and Suhendro EL. Perspectives on nixtamalization (alkaline cooking) of maize for tortillas and snacks. Cereal Foods World. 1999; 44: 466-470.
  13. Fernández MJL, Rodríguez ME, Pless RC, Martínez FHE, Leal M, Martínez JL and Baños L. Changes in Nixtamalized Corn Flour Dependent on Postcooking Steeping Time. Cereal Chem. 2001; 79(1):162-166.
  14. Trejo González A, Feria Morales A, Wild Altamirano C. The role of lime in the alkaline treatment of corn for tortilla preparation. Advances in Chemistry. 1982. Series 198:245-263
  15. AOAC, Official Methods of Analysis of the AOAC International. 18th edition. W. Horowitz and G. W. Latimer Jr. Ed. Association of Analytical Chemists, Maryland USA. 2005.
  16. American Association of Cereal Chemists (A.A.C.C.) Approved Methods of the AACCC. St. Paul, MN. 2000.
  17. Bryant CM and Hamaker BR. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. Cereal Chem. 1997; 74:171-175.
  18. Gaytán MM, Martínez BF, Morales SE. Aplicación de un proceso de cocimiento dieléctrico en la elaboración de harinas instantáneas de maíz amarillo para preparación de frituras de masa y tortillas. Arch Latinoamer Nutr. 2006; 50(4).
  19. Méndez MG, Solorza FJ, Velázquez VM, Gómez MN, Paredes LO, Bello PL. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrociencia. 2005; 39:267-274.
  20. Statistica for Windows Version 6.0 (R2007a). Computer program manual. Tulsa: StatSoft, Inc. 2007.
  21. Bressani R, Benavides B, Acevedo E, Ortíz MA. 1990. Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality protein maize during rural tortilla preparation. Cereal Chem. 2008; 67:515-51.
  22. Gutierrez E, Rojas-Molina I, Pons-Hernandez JL, Guzman H, Agua-Angel B, Arenas J, Fernandez P, Palacios-Fonseca A, Herrera G and Rodriguez ME. Study of calcium diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. Cereal Chem. 2007; 84:186-194.
  23. Agama AE, Ottenhof MA, Farhat IM, Paredes LO, Ortíz CJ, Bello PL. Efecto de la nixtamalización sobre las características moleculares del almidón de variedades pigmentadas de maíz. Interciencia. 2004; 29(11):1-19.
  24. Campus BO, Burgos EE, Torres ChP, Ramírez WB, Serna SS. Physicochemical changes of starch during maize tortilla production. Starch/Starcke. 1999; 51:173-177.
  25. Cory MB, Hamaker BR. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. Cereal Chem. 1997; 74:171-175.
  26. Zobel HF, Young SN, Rocca LA. Starch Gelatinization: An X-ray Diffraction Study. Cereal Chem. 1998; 65(6):443-446.
  27. Singh N, Richa B, Rhythm G, Mukti G, Jaghmohan S. Physicochemical, thermal and pasting properties of fractions obtained during three successive reduction milling of different corn types. Food Chemistry. 2009; 113:71-77
  28. Hoover R, Li YX, Hynes G, Senanayake N. Physicochemical characterization of mung bean starch. Food Hydrocolloids. 1997; 11:401-408
  29. Yanika W, Chureerat P, Vilai R. Pasting properties of a heat-moisture treated canna starch in relation to its structural characteristics. Carbohydrate Polymers. 2009; 75:505-511.
  30. Méndez MG, Solorza FJ, Velázquez VM, Gómez MN, Paredes LO, Bello PL. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. Agrociencia. 2005; 39:267-274.
  31. Sefa DS, Cornelius B, Sakyi DE, Ohene AE. Application of response surface methodology for studying the quality characteristics of cowpea-fortified nixtamalized maize. Innovative Food Science and Emerging Technologies. 2003; 4:109-119.
  32. Jiménez HJ, Salazar MJ, Ramos RE. Physical, chemical and microscopic characterization of a new starch from chayote (*Sechium edule*) tuber and its comparison with potato and maize starches. Carbohydrate Polymers. 2007; 68:679-686.
  33. Ragae S, El-Sayed M, Abdel-Aal. Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. Food Chem. 2006; 95:9-18.
  34. Chaunier L, Della Valle G, Lourdin D. Relationships between texture, mechanical properties and structure of cornflakes. Food Research International. 2007; 40:493-503.
  35. Hagenimana A, Ding X and Fang T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. J. of Cereal Science. 2006; 43:38-46.
  36. Méndez MG, Sánchez RM, Paredes LO, Bello PL. Thermal and rheological properties of nixtamalized maize starch. Int J Biol Macromolecules. 2006; 40:59-63.

Recibido: 28-07-2009

Aceptado: 20-10-2009