

## Cambios de solubilidad de las proteínas de maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento

Francisco Vásquez-Lara<sup>1,3</sup>  
Benjamín Ramírez-Wong<sup>2</sup>  
Francisco Javier Cinco-Moroyoqui<sup>2</sup>

### RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto del tiempo de cocimiento alcalino sobre los cambios en solubilidad que sufren las proteínas del maíz durante la obtención de los diferentes productos del proceso de elaboración de la tortilla. Lotes de 20 kg de maíz fueron sometidos a nixtamalización usando una concentración de cal de 1 % a temperatura de ebullición del agua. Se probaron tres tiempos de nixtamalización (25, 45 y 65 min). Después de 14 h de reposo, el maíz se lavó para obtener el nixtamal, el cual se llevó a una tortillería comercial para ser molido y elaborar los discos de masa que fueron cocidos en un horno de tres bandas. Las muestras obtenidas del proceso fueron maíz, nejayote, nixtamal, masa y tortilla a las cuales se les realizó extracción de proteínas por el método de Paulis (1975) y Paulis y Wall (1979). La cuantificación de las fraccio-

nes proteínicas se llevó a cabo por el método de Lowry modificado por Hartree (1972). Se utilizó un diseño factorial con dos factores: El tiempo de cocimiento (25, 45 o 65 min) y el tipo de producto obtenido (nejayote, nixtamal, masa y tortilla). Este diseño fue aplicado a cada fracción proteínica. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza con un nivel de significancia del 95 %. La fracción proteínica I (albúminas y globulinas) mostró los valores más altos de solubilidad en nejayote para los tres tiempos de cocimiento, mientras que para la fracción II (prolaminas) la solubilidad en nejayote, nixtamal, masa y tortilla se mantuvo casi constante a los 25 y 45 min de cocimiento, sin embargo, a los 65 min de cocimiento se observó un incremento significativo en nejayote y tortilla. La fracción proteínica III (gluteninas reducidas) mostró incrementos en solubilidad a partir de la obtención del nixtamal para los tres

<sup>1</sup> Profesor Investigador Asociado B. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C., Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Carretera a la Victoria km. 0.6, Hermosillo, Sonora, México. fvas@ciad.mx

<sup>2</sup> Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la Universidad de Sonora. C. P. 83000. Hermosillo, Sonora, México. bramirez@guaymas.uson.mx

<sup>2</sup> Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la Universidad de Sonora. C. P. 83000. Hermosillo, Sonora, México. fcinco@guayacan.uson.mx

<sup>3</sup> Trabajo realizado en el Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA). Universidad de Sonora. Luis Encinas y Rosales. C. P. 83000. Hermosillo, Sonora, México.

tiempos de cocimiento. La fracción proteínica IV (gluteninas) incrementó su solubilidad en la etapa de obtención del nixtamal, sin embargo, a partir de ese producto se presenta una disminución hasta la obtención de la tortilla.

*Palabras clave:* Maíz, nixtamalización, solubilidad y fracciones proteínicas.

## ABSTRACT

The objective of this research was to determine the effect of the time of alkaline cooking on the changes in solubility proteins of maize during the different products obtained from the making process of the tortilla. Batches of 20 kg of maize were alkaline cooked using 1 % lime at boiling temperature. Three cooking times were used; 25, 45 or 65 min. After 14 h of steeping, maize was washed twice with tap water to obtain nixtamal, then ground to obtain masa, to finally prepare tortillas. The obtained samples of the process were maize, nejayote, nixtamal, masa and tortilla. Proteins were extracted from samples following the Paulis (1975) and Paulis and Wall (1979) procedures. The Lowry modified by Hartree (1972) assay was used to measure protein content. A factorial design with two factors was used: The time of alkaline cooking (25, 45 or 65 min) and the type of product (nejayote, nixtamal, masa and tortilla). This design was applied to each protein fraction. To the collected data, an analysis of variance with a level of significance of 95% was carried out. The protein fraction I (albumins and globulins) showed the highest values of solubility in nejayote for the three times of alkaline cooking. For fraction II (prolamins) the solubility in nejayote, nixtamal, masa and tortilla stayed almost constant 25 and

45 min of cooking, nevertheless, cooking time of 65 min had a significant increase in this fraction in nejayote and tortilla. The protein fraction III (reduced glutenins) showed increases in solubility in nixtamal for the three cooking times. The protein fraction IV (glutenins) increased its solubility in nixtamal, nevertheless, from that product appears a diminution until the product, tortilla.

*Key words:* Maize, nixtamalization, solubility and protein fractions.

## INTRODUCCIÓN

El proceso tradicional de producción de la tortilla, se puede considerar como un proceso poco eficiente, ya que consume mucho tiempo y energía. Se ha intentado diseñar un proceso continuo con poco o ningún tiempo de reposo, pero con poco éxito. Se considera que es difícil el diseño de procesos a escala industrial, los cuales sean eficientes y capaces de producir tortillas con la textura, sabor y olor deseables en los productos preparados de masas de maíz (Pflugfelder, 1986). En México, la tortilla típica es aquella que tiene buenas características de textura y sensoriales cuando está fresca (de consumo inmediato), pero no dura mucho tiempo (no más de tres días), mientras que en Estados Unidos una tortilla típica tiene una alta vida de anaquel (más de dos semanas) que se comercializa en supermercados pero que en sus propiedades de textura y sensoriales son deficientes. Pocos trabajos se han hecho para buscar que componentes químicos del maíz son los que le dan las propiedades funcionales tanto a la masa como a la tortilla. De esos componentes el almidón es al que se le ha dado mayor importancia, dejando por un lado otros componentes tan importantes como las

proteínas y los lípidos. En el caso particular de la proteína, los estudios se han enfocado más desde el punto de vista nutricional, que de los cambios que van sufriendo durante el proceso de elaboración de la tortilla. Vivas y col., (1987) utilizando un solo tiempo de nixtamalización fraccionaron proteínas usando el método reportado por Paulis y col., (1975) y Paulis y Wall (1979). Cuatro fracciones secuenciales o extractos fueron obtenidos de muestras de harina de maíz: fracción I (albúminas y globulinas), fracción II (prolaminas), fracción III (gluteninas reducidas) y fracción IV (gluteninas). En estudios realizados por Gómez y col., (1989) observaron que durante el cocimiento de la masa para elaborar la tortilla de maíz, la proteína es modificada por el calentamiento de cocción, siendo ésta probablemente un componente de capas amorfas de material localizado alrededor de los gránulos de almidón. Otros estudios realizados por Batterman-Azcona y Hamaker (1998) propusieron que las proteínas del maíz (zeínas) son liberadas de cuerpos proteicos formando polímeros viscoelásticos durante el proceso de extrusión. Hamaker y col., (1986) reportaron también que la solubilidad de albúminas, globulinas y prolaminas de sorgo y maíz se ven disminuidas después del cocimiento de las harinas de estos granos en agua (pH neutro). Asimismo, Vivas y col., (1987) mostraron que el procesamiento al-

calino redujo la solubilidad de proteínas en soluciones salinas y alcohólicas, confirmando que el procesamiento del maíz y sorgo en tortillas afectó significativamente la solubilidad de las proteínas y su estructura. Es por lo anterior, que este estudio se realizó con el objetivo de conocer los cambios en solubilidad que sufren las proteínas durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz,

ya que esto podría suministrar un mejor entendimiento de su relación con las características texturales, reológicas y de vida de anaquel. Además, esto podría ayudar a conocer mejor el efecto de las variables de proceso sobre las proteínas y como afectan las propiedades funcionales de estos productos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizó maíz blanco variedad Dekalb cosechado en el Estado de Sonora, México y el cual es empleado en tortillerías comerciales de la localidad. El maíz se limpió utilizando un limpiador (Marca Clipper, Modelo M2BC). La composición química del maíz fue la siguiente: humedad 9.4 %, ceniza 1.1 %, grasa 3.1 % y proteína 9.5 %, todo lo anterior en base seca.

### Proceso de elaboración de la tortilla

El maíz se nixtamalizó en una planta piloto, mientras que la masa y la tortilla se obtuvieron en una

*La unidad experimental fueron los 20 kg de maíz.*

*Cada tratamiento fue realizado por duplicado y se aleatorizaron.*

*A los datos obtenidos se les realizó análisis de varianza con un nivel de confiabilidad del 95%.*

*Para observar diferencias entre tratamientos específicos se utilizó la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó usando el paquete computacional SAS (SAS Institute Inc.).*

tortillería comercial. Se emplearon lotes de 20 kg de maíz que se nixtamalizaron a diferentes tiempos de cocimiento: 25, 45 o 65 min. La concentración de cal fue del 1 % en base al peso del maíz, y la cantidad de agua fue de 60 litros (relación 3:1 agua-maíz). La temperatura de cocimiento del maíz fue la de ebullición del agua. Una vez cocido, el maíz se dejó reposar durante 14 h a temperatura ambiente. Al cabo de este tiempo se hizo una separación del líquido de cocimiento (nejayote) y nixtamal. El grano cocido fue lavado dos veces con 20 litros de agua en cada ocasión. El agua de lavado fue agregada al nejayote. El nixtamal obtenido fue llevado a una tortillería comercial para ser molido y obtener la masa que se utilizó para la elaboración de la tortilla. Del proceso se colectaron nixtamal, masa, tortilla, nejayote y aguas de lavado (ambas se juntaron y se homogenizaron), así como el grano de maíz. Las muestras anteriores se guardaron en bolsas de polietileno y se almacenaron a temperaturas de congelación.

#### Preparación de las muestras

Las muestras de grano, nixtamal, masa y tortilla que se almacenaron a temperatura de congelación fueron secadas en un secador tipo túnel (S/M) a 60 °C durante 4 h. Después se molieron en un molino de café a un tamaño de partícula malla 80 y se guardaron en bolsas de polietileno a temperatura de congelación. Para el caso del nejayote y agua de lavado se tomaron muestras de 200 ml y se secaron en un horno de convección a 105 °C. Los sólidos totales obtenidos fueron molidos y almacenados de la misma manera que las muestras anteriores.

#### Caracterización de las proteínas

Las muestras obtenidas fueron sometidas a fraccionación de proteínas en base a su solubilidad.

Esto se llevó a cabo de acuerdo al método reportado por Paulis (1975) y Paulis y Wall (1979) con ligeras modificaciones. Se colocaron en un tubo de plástico (50 ml) 1.5 g de muestra en base seca y 9 ml de NaCl 0.5 M, se agitó por 2 h con un agitador (Marca Wrist-Action, Modelo DD) dentro del cuarto frío a 4 °C y se centrifugó durante 20 min a 12100g. El sobrenadante se colectó y el precipitado se sometió al mismo tratamiento que la muestra original excepto que el tiempo de agitación fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción I (albúminas y globulinas) la cual se almacenó a 4 °C. Al precipitado obtenido de estas extracciones se le adicionó 9 ml de alcohol terbutílico al 60%, se agitó por 2 h a temperatura ambiente y se centrifugó por 20 min. El sobrenadante obtenido en esta etapa se guardó en refrigeración. El precipitado fue tratado igual que el anterior, excepto que la agitación duró 1 h. Los sobrenadantes fueron la fracción II (prolaminas) y se almacenaron a 4 °C. El precipitado originado de la extracción anterior se le agregó 9 ml de alcohol terbutílico al 60 % y beta mercaptoetanol al 2%, las condiciones de agitación y centrifugación fueron las mismas que se mencionaron anteriormente. Los sobrenadantes que se obtuvieron comprenden la fracción III (gluteninas reducidas). Las condiciones de almacenamiento fueron las mismas que las fracciones anteriores. Al precipitado se le adicionó 9 ml de buffer tris, dodecil sulfato de sodio al 2 % y beta mercaptoetanol al 5 % y se colocó en un baño de agua (Marca Precisión GCA) a 50 °C por 2 h. Después se centrifugó a 12100g durante 20 min y el sobrenadante se guardó. El precipitado se trató igual a excepción del tiempo que duró en el baño de agua que fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción IV (glutenina) que se almacenó igual que las fracciones anteriores.

### Cuantificación de proteína soluble

La concentración de proteína en los sobrenadantes obtenidos de la fracción anterior fue determinada usando el método de Lowry modificado por Hartree (1972) con ligeras modificaciones. En un tubo de ensayo se colocaron alícuotas de las fracciones proteicas obtenidas y se ajustaron a un volumen de 1 ml con agua. Se les adicionó 0.9 ml de una solución A (2 g tartrato de sodio y potasio y 100 g de carbonato de sodio fueron disueltos en 500 ml de hidróxido de sodio 1 N y diluidos en agua a 1 litro). Después las muestras se colocaron en un baño de agua a 50 °C por 10 min. Pasado ese tiempo, se sacaron del baño de agua y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Enseguida se les agregó 0.1 ml de una solución B (2 g de tartrato de sodio y potasio y 1 g de sulfato de potasio pentahidratado fueron disueltos en 90 ml de agua y 10 ml de hidróxido de sodio 1 N) para continuar con un reposo de 10 min a temperatura ambiente. Luego se les adicionó 3 ml de una solución C (1 ml reactivo de Folin más 15 ml de agua) y se colocaron nuevamente en un baño de agua a 50 °C por 10 min y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, las muestras fueron leídas en un colorímetro (Marca Spectronic 21) usando una longitud de onda de 650 nm obteniéndose los resultados en absorbencia.

### Diseño de experimentos y análisis estadístico

Se utilizó un diseño factorial con dos factores: El tiempo de cocimiento (25, 45 o 65 min) y el tipo de producto obtenido (nejayote, nixtamal, masa y tortilla). La unidad experimental fueron los 20 kg de maíz. Cada tratamiento fue realizado por duplicado y se aleatorizaron. A los datos obtenidos se les realizó análisis de varianza con un nivel de confiabilidad del 95%. Para observar diferencias

entre tratamientos específicos se utilizó la prueba de Tukey. El análisis estadístico se realizó usando el paquete computacional SAS (SAS Institute Inc.).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

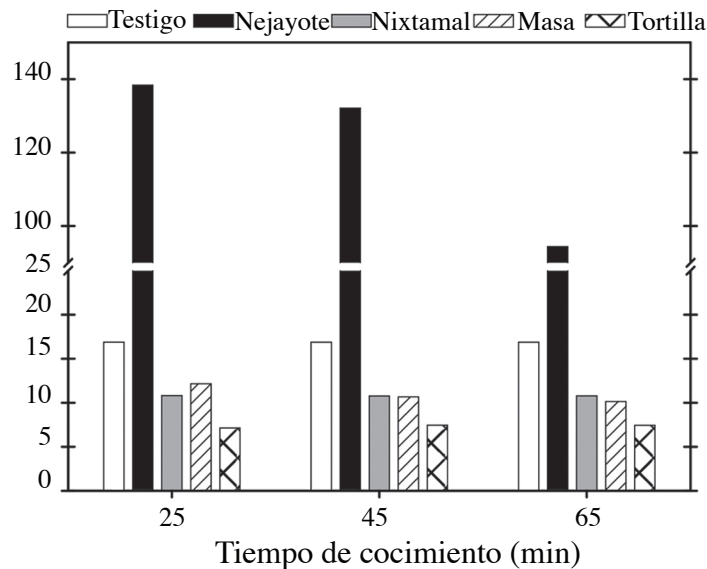
### Fraccionación de las proteínas

Para el análisis estadístico de las fracciones, además del factor tiempo de cocimiento, también se tomó en cuenta cada fracción y cada producto del proceso. El análisis de varianza (ANDEVA) mostró que el tiempo de cocimiento, tipo de producto y la interacción de ambos afectaron muy significativamente ( $p \leq 0.01$ ) cada una de las fracciones proteicas. Estas fracciones fueron nombradas como fracción I (albúminas y globulinas), fracción II (prolaminas), fracción III (gluteninas reducidas) y fracción IV (gluteninas), respectivamente.

### Análisis de las proteínas por fracción

Fracción I. La Fig. 1 muestra el efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción I del maíz, nejayote, nixtamal, masa y tortilla. Las determinaciones de solubilidad de las proteínas hechas en maíz fueron tomadas como referencia con respecto a los otros productos. Los valores mayores se obtuvieron en el nejayote. A medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, la fracción I disminuyó en nejayote. Esto posiblemente este relacionado con la pérdida de sólidos que sufre el maíz durante la nixtamalización la cual fue mayor a medida que aumentó el tiempo de cocimiento a 65 min. En los otros productos: nixtamal, masa y tortilla, no se notaron cambios significativos con respecto al tiempo de cocimen-

**Figura 1.** Efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción IV (gluteninas) durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.

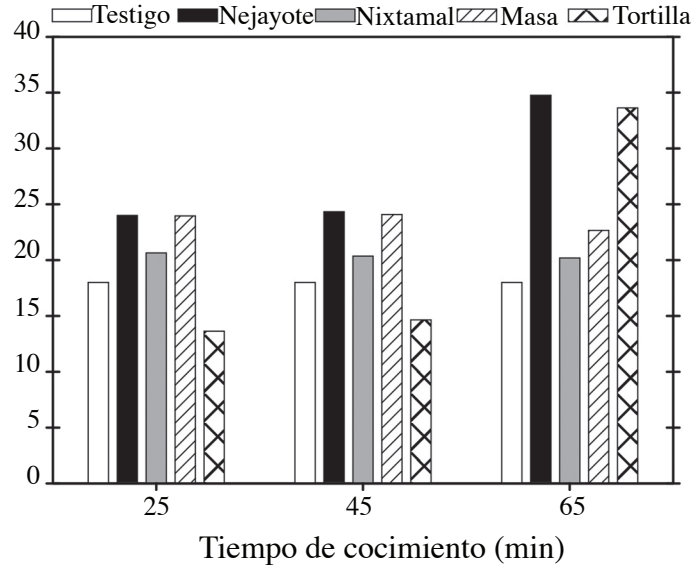


to, ya que esta fracción permaneció casi constante, pero si se observó una disminución con respecto al testigo (grano de maíz). Esta disminución de albúminas y globulinas se ve favorecida por la cantidad de agua utilizada para llevar a cabo el cocimiento del grano (nixtamalización) la cual a cierto tiempo de cocimiento y después de varios lavados ocasiona que haya pérdida de estas proteínas que poseen las características de ser solubles en agua y solución salina.

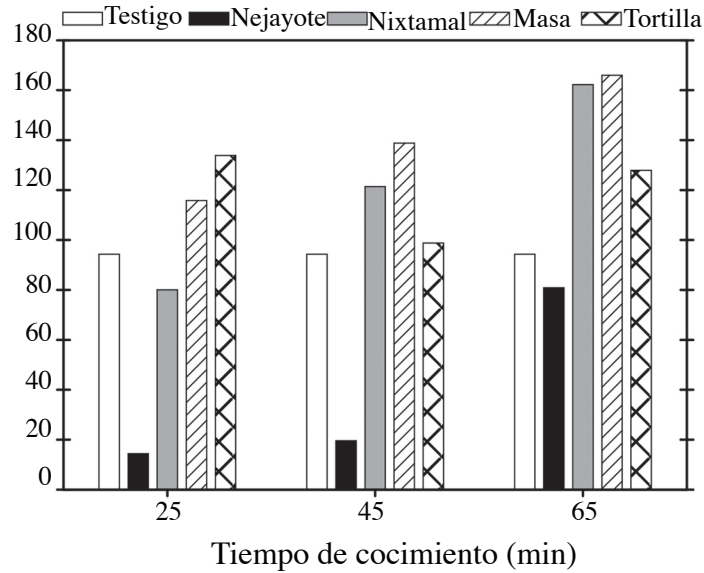
**Fracción II.** El efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción II se presenta en la Fig. 2. El comportamiento que tuvo esta frac-

ción en nejayote, nixtamal, masa y tortilla a tiempos de cocimiento de 25 y 45 min no fueron estadísticamente diferentes ( $p \leq 0.05$ ). Sin embargo, a los 65 min de cocimiento en nejayote y tortilla la concentración de la fracción II se incrementó significativamente, mientras que en nixtamal y masa se observó un comportamiento muy similar a los otros tiempos de cocimiento. El incremento registrado de la fracción prolamina esta relacionado con el aumento de la temperatura de cocimiento lo que origina un mayor daño al grano y provoca junto con los lavados del nixtamal este incremento el cual esta relacionado con las características de solubilidad de esta fracción.

**Figura 2.** Efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción II (prolaminas) durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.



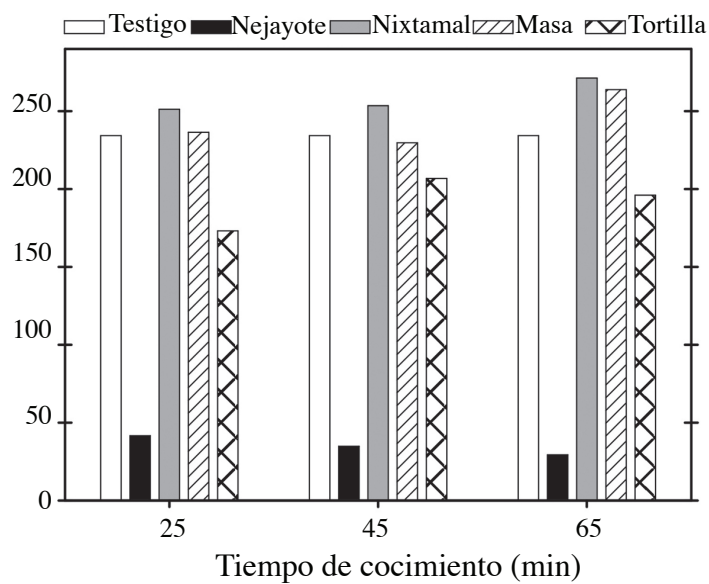
**Figura 3.** Efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción III (gluteninas reducidas) durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.



Fracción III. La Fig. 3 muestra el efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción III del maíz, nejayote, nixtamal, masa y tortilla. A medida que se incrementó el tiempo de cocimiento la concentración aumentó en nejayote, nixtamal y masa. En cambio en la tortilla disminuyó para los tiempos de cocimiento de 45 o 65 min de cocimiento. Lo anterior pudo ser ocasionado por las temperaturas de cocimiento a la cual se expuso el grano de maíz, siendo esto la causa de daño mayor al pericarpio del grano lo que origina una mayor disposición de esta fracción al agua de cocimiento y al agua de lavado, incrementando estos valores en el nejayote obtenido de cada uno de los tiempos de cocimiento. De manera semejante a lo anterior pudo haber sido la causa de incremento de esta fracción para nixtamal y masa.

Fracción IV. El efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción IV se presenta en la Fig. 4. En el nejayote ésta fracción fue pequeña con respecto a la obtenida en el testigo y el resto de los productos. Se registró una disminución a medida que se incrementó el tiempo de cocimiento, lo anterior se explica por la característica de esta fracción proteica de ser insoluble en agua. En nixtamal y masa la concentración de esta fracción permaneció casi igual en los diferentes tiempos de cocimiento. En la tortilla, se observó una disminución más drástica de solubilidad en los diferentes tiempos de cocimiento con respecto a los productos anteriores.

**Figura 4.** Efecto del tiempo de cocimiento y tipo de producto sobre la fracción IV (gluteninas) durante el proceso de elaboración de la tortilla de maíz.





## CONCLUSIONES

El tiempo de cocimiento afectó parcialmente la solubilidad de las fracciones proteínicas, siendo más evidente este efecto en las fracciones II y III.

Se presentó una disminución en la solubilidad de las diferentes fracciones proteínicas, a medida que se obtenían los diferentes productos (nejayote, nixtamal, masa y tortilla), sin embargo, la fracción II a tiempos de cocimiento de 65 min incrementó en tortilla, sucediendo lo mismo para la fracción III a tiempo de cocimiento de 25 min.

La cuantificación de las diferentes fracciones proteínicas demostró que los cambios más notables en solubilidad se dieron en tortilla, donde se aplican altas temperaturas para su elaboración.

Se recomienda investigar el cambio de solubilidad de las proteínas del maíz en harinas comerciales nixtamalizadas para determinar si los cambios de las diferentes fracciones proteínicas son similares a las del proceso de nixtamalización tradicional.

## REFERENCIAS

- Paulis, J. W., Bietz, J. A. and Wall, J. S. 1975. Corn protein subunits. Molecular weights determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *J. Agric. Food Chem.* 23 (2):197-201.
- Paulis, J. W. and Wall, J. S. 1979. Distribution and electrophoresis properties of alcohol-soluble proteins in normal and high-lysine sorghums. *Cereal Chem.* Vol. 56, No. 1, 20-23.
- Hartree, E. F. 1972. Determination of protein: a modification of the Lowry that gives a linear photometric response. *Analytical Biochemistry* 48:422-427.
- Pflugfelder, R. L. 1986. Dry matter distribution on commercial alkaline cooking process for production of tortilla and snack foods. Tesis de Doctorado. Texas A&M. University, College Station, Tx.
- Vivas-Rodríguez, N. E., Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 1987. Effect of tortilla production on protein in sorghum and maize. *Cereal Chem.* 64(6):384-389.
- Gómez, M. H., McDonough, L. W. and Waniska, R. D. 1989. Changes in corn and sorghum during nixtamalization and tortilla baking. I. *Food Science* 54:330-336.
- Batterman-Azcona, S. J., Hamaker, B. R. 1998. Changes occurring in protein body structure and  $\alpha$ -zein during cornflake processing. *Cereal Chemistry* 75, 217-221.
- Hamaker, B. R. Kirleis, A. W., Mertz, E. T., Axtell, J. D. 1986. Effect of cooking of protein profiles and in vitro digestibility of sorghum and maize. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 34, 647-649.
- SAS Institute Inc. 1984. SAS User's guide: Statistics version 5. Edition Cary Inc. SAS Institute.