

## Dependencia del tiempo de reposo y de la temperatura de cocción sobre la difusión de los iones de calcio durante el proceso de cocimiento alcalino de maíz mediante la técnica de microondas

J. L. Fernández-Muñoz\*, E. San Martín-Martínez, J. A. I. Díaz-Góngora, A. Calderón,  
H. Ortiz-Cárdenas, M. A. Gruintal-Santos.

*Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Legaria Calz. Legaria 694, Col. Irrigación, México D. F., México, C. P. 11500.*

(Recibido: 14 de octubre de 2006; Aceptado: 20 de noviembre de 2006)

En este trabajo se reporta la difusión de los iones calcio en las diferentes partes del grano de maíz durante el cocimiento alcalino con microondas como una función de tiempo de reposo, para dos procesos de cocimiento: uno durante 100 minutos a alrededor de 72°C, y el otro durante 45 minutos próximo a 92°C. En cada proceso de cocimiento las muestras se dejaron reposar de 0 a 24 h, para medir el contenido de calcio como una función del tiempo de reposo. Por medio de espectroscopia de absorción atómica se midió el contenido de calcio en el pericarpio, germen y endospermo, estas partes fueron obtenidas de granos de maíz después de cada proceso de cocimiento, reposado y deshidratado. Entre ambos, se obtuvieron diferencias significativas en el contenido de calcio, siendo mayor en el pericarpio y menor en el endospermo. La difusión de los iones calcio en el pericarpio y el endospermo, demuestra una dependencia no lineal con respecto al tiempo de reposo, y un incremento notable con la temperatura de cocción. Este comportamiento, a temperaturas más altas, se debe a una degradación más rápida del pericarpio. Por otro lado, la difusión de los iones calcio en el germen, muestran una dependencia no lineal con el tiempo de reposo, también como un aumento de la difusión de los iones calcio con la temperatura de cocimiento para tiempos de reposo menores a 12 horas y una disminución de la difusión del calcio con la temperatura de cocimiento en tiempos de reposo mayores a 12 horas. Esto último se debe a la pérdida del pericarpio y parte del germen durante el proceso de lavado del grano cocido, la cual es rica en contenido de calcio, esta fracción sufre mayor daño a temperaturas más altas de cocimiento. Este trabajo de investigación es información importante sobre efectos del tiempo de reposo y temperatura de cocimiento sobre la difusión de iones calcio durante el proceso de cocimiento con microondas del maíz comercial. Al comparar las áreas de los perfiles de cocimiento, el incremento del tiempo de reposo y disminución de la temperatura de cocimiento son los factores que contribuyen al ahorro de energía en microondas alrededor de un 12.62%.

**Palabras clave:** Nixtamalización; Microondas; Difusión; Calcio

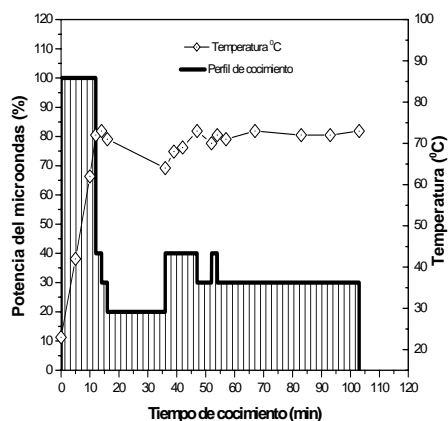
In this work it is report the calcium ion diffusion through the different parts of the corn kernel during alkaline cooking with microwave nixtamalization as a function of steeping time, and for two cooking processes, one for 100 min at in the order of 72°C and the other for 45 min at 92°C. In each cooking process the samples were steeping time from 0 to 24 h, to measure the content of calcium as a function of steeping time. By means of atomic absorption spectroscopy we measured calcium content in pericarp, germ and endosperm obtained from corn kernel after each nixtamalized process. Between both nixtamalization processes, we obtained significant differences of calcium content, being higher in the pericarp and lower in endosperm. Calcium ion diffusion in the pericarp, germ and endosperm show a no linear dependence with the steeping time and an important increasing with the cooking temperature and steeping time. This behavior, for higher temperatures, is due to faster pericarp degradation. In the other hand, calcium ion diffusion in the germ shows an irregular linear dependence with the cooking temperature and steeping time, as well as, an increase of calcium ion diffusion with the cooking temperature for steeping time smaller than 12 h and a diminution of calcium diffusion with the cooked temperature for steeping time higher than 12h. This fast, is due to the lost of part of the germ surface, and pericarp are rich in calcium content, during the rinsed process, which it has a bigger damage for highest cooking temperature. This research contents important information on effects of the steeping time and temperature on the calcium ions diffusion during the cooking process with microwaves of the commercial corn. When comparing the areas of the cooking profiles, the increment of the steeping time and decrease of the temperature are the factors that contribute to the energy saving in microwaves around 12.62%.

**Words key:** Nixtamalization; Microwaves; Diffusion; Calcium

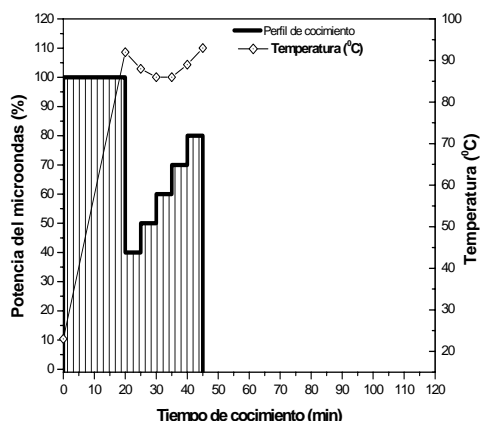
### Introducción

Durante el proceso tradicional de nixtamalización, el grano del maíz se cuece en una solución acuosa de hidróxido de calcio, posteriormente se reposa de 1 a 24 h y se lava dos o tres veces con agua, para separar los restos del material orgánico (pericarpio, germen, y fracciones del endospermo)

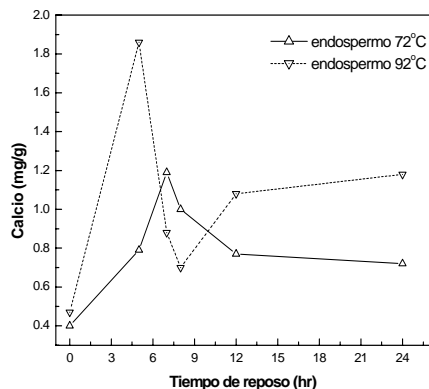
así como el exceso de calcio. Después de la nixtamalización, los granos nixtamalizados de maíz son molidos en un molino de piedras para producir masa, y posteriormente deshidrato para obtener harina instantánea [1,2]. Durante el período de reposo y cocimiento, el calcio se difunde dentro del grano de maíz, lo cual influye en las características fisicoquímicas y sensoriales de la harina de



**Figura 1.** Perfil uno de cocimiento variando la temperatura de cocimiento y potencia del horno de microondas como función del tiempo de tratamiento térmico alcalino alrededor de 72°C.



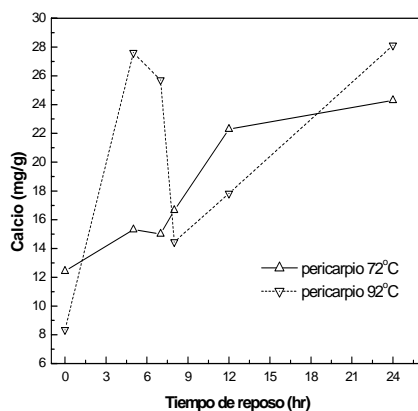
**Figura 2.** Perfil dos de cocimiento haciendo variar la temperatura de cocimiento y potencia del horno de microondas como función del tiempo de tratamiento térmico alcalino alrededor de 72°C.



**Figura 3.** Contenido de calcio en el endospermo nixtamalizado por microondas a dos diferentes temperaturas en función del tiempo de reposo.

maíz instantánea. El tiempo de reposo causa una gelatinización parcial del almidón, durante este periodo, el grano de almidón se hincha causando un cambio en la estructura cristalina [2]. La tortilla de maíz es un alimento básico para la población Mexicana, y recientemente ha sido adoptada en EU, principalmente en lugares con un alto índice de inmigrantes. En México, el consumo promedio diario de este producto es 325g por persona [3]. El mercado de la tortilla, es ahora importante para un número creciente de familias en México y en EU. Por otro lado, el conocimiento científico y la tecnología han permitido un creciente consumo de tortillas, beneficiando a la industria de este producto nixtamalizado. La nixtamalización es un proceso tradicional mexicano, el cual consiste en tres pasos sucesivos: primero, los granos de maíz se cuecen en una suspensión alcalina de hidróxido de calcio durante una hora aproximadamente, y en segundo lugar, se deja reposar el maíz cocido en la misma solución por varias horas, y por último, los granos de maíz se lavan para quitar el exceso de hidróxido del calcio, fracciones de pericarpio, y germen. La cantidad de calcio incorporado en cada uno de los diversos componentes de los granos de maíz afecta las características finales del producto [4]. Fernández-Muñoz et al (2004) [2] reportaron que las variaciones en el contenido de calcio afectan algunas características físicas, térmicas, reológicas, estructurales y color, de las tortillas. También han demostrado para las harinas instantáneas, variaciones no lineales en el contenido de calcio con respecto al tiempo de reposo. La difusión de los iones calcio en los granos de maíz se ha visualizado con la ayuda de un radioisótopo del calcio [5]. Fernández-Muñoz et al (2004) [2] han reportado que, para el proceso tradicional de nixtamalización, la difusión de los iones calcio depende de la integridad y las características particulares de cada una de las partes del grano de maíz. Tradicionalmente son usados hornos eléctricos o de gas butano para el cocimiento del maíz, mientras que en lugares remotos es común utilizar leña para el cocimiento del maíz. El horno de microondas también ha sido usado para cocer maíz en presencia de cal, como se reporta en el trabajo de Martínez-Bustos et al (2000) [6], concluyendo estos autores que el nixtamal cocido por medio del microondas tiene características similares al cocido con otros métodos. Esta reportado el trabajo de: Martínez-Bustos, F., García, M. N., Chang, Y. K., Sánchez-Sinencio, F., and Figueroa, C. J. D. 2000. Characteristics of maize flours produced with the use of microwave heating during alkaline cooking. *J. Sci. Food Agric.* 80:651-656. Que elaboraron tortillas con grano nixtamalizado por microondas. Por lo tanto la aseveración a continuación tiene que ser cambiada.

En toda la revisión bibliografía que fue realizada, no encontramos estudios sobre difusión de iones calcio en los componentes del grano de maíz durante la nixtamalización mediante la técnica de microondas. Por lo tanto en este trabajo, se reporta un estudio sobre la difusión de calcio en diferentes partes del grano de maíz, cocidos a diferentes temperaturas en un horno de microondas comercial. Las variaciones en el tiempo de reposo se reflejan en la cantidad



**Figura 4.** Contenido de calcio en el pericarpio nixtamalizado por microondas a dos diferentes temperaturas en función del tiempo de reposo.

de calcio absorbido por el pericarpio, germen y endospermo.

### Parte experimental

#### Preparación de muestras.

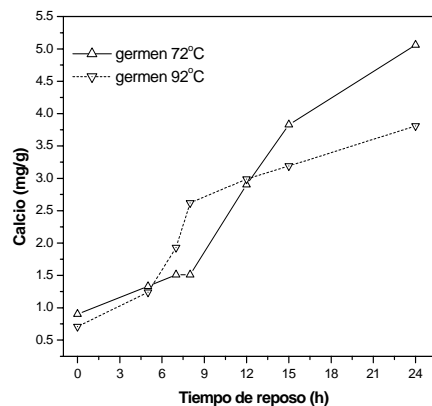
Mezclamos en un recipiente de plástico 2kg de maíz blanco comercial, 2L de agua y 20g de hidróxido de calcio y les aplicamos dos procesos de cocimiento en un horno de microondas (Daewoo), el proceso uno de cocimiento se muestra en la figura 1 y el segundo en la figura 2. En ambos procesos se hizo variar la potencia de horno de microondas para que la temperatura se mantuviera para uno alrededor de 72 y el otro de 92°C (si promediamos están cercanos a estos valores). Terminando la fase de cocción para ambos procesos las muestras se dejaron reposar de 0, 5, 7, 8, 12, 15, 24 h. Cada muestra fue drenada, se lavó dos veces y se deshidrató en una mufla a 70°C por 24 h.

#### Espectroscopía de absorción atómica.

Para determinar el contenido de calcio en el pericarpio, germen y endospermo se realizó una mineralización, usando el método 968.08 (AOAC 1988) [9] y posteriormente se determinó la concentración de los iones calcio con una doble radiación de absorción atómica del espectrómetro (analyst 300, Perkin Elmer), equipado con una lámpara de deuterio, un corrector de fondo, y una lámpara catódica de vacío, operada con 12 psi de presión de aire seco, 70 psi de acetileno, 422.7 nm de flama, 10 mA de corriente y 0.7 mm en el ancho de la abertura.

### Resultados y discusión

Como se puede apreciar las áreas bajo las curvas en las Figuras 1 y 2, están relacionadas con la potencia aplicada por el horno de microondas. La figura 1 en el perfil de cocimiento se hace variar la potencia del microondas para dar un cocimiento cercano a 72°C lo que reportan en el



**Figura 5.** Contenido de calcio en el germen nixtamalizado por microondas a dos diferentes temperaturas en función del tiempo de reposo

proceso tradicional [1], de igual manera se hace el segundo perfil de cocimiento (figura 2) lo cual también fue necesario cambiar el perfil de microondas para alcanzar una temperatura cercana a 92°C. Estos dos perfiles de cocimiento muestran que las áreas son menores a medida que se disminuye la potencia de cocimiento del maíz en la solución de hidróxido de calcio, lo que se refleja un ahorro de energía de alrededor de 12.62% al comparar el área de los dos perfiles de cocimiento. La Figura 3 muestra el contenido de calcio en el endospermo nixtamalizado a 72°C y 92°C como función del tiempo de reposo. Cada punto corresponde al promedio de 3 mediciones. Se puede apreciar que la difusión de calcio dentro del endospermo de los granos no es un proceso lineal a medida que se incrementa el tiempo de reposo, donde el incremento de la difusión de calcio depende de la temperatura de cocción previamente y tiempo de reposo designado [4]. Las muestras cocidas a 92°C muestran un alto grado de difusión de calcio hacia el endospermo, alcanzando un máximo de 0.186% de calcio a las 5 horas del tiempo de reposo. En contraste, las muestras cocidas a 72°C muestran un contenido más bajo de 0.119% a un tiempo de reposo de 7 horas. Estos resultados demuestran la importancia de la temperatura de cocimiento con respecto a la incorporación de iones de calcio durante la nixtamalización del maíz. La Figura 4 muestra la difusión de los iones calcio a través del pericarpio de los granos de maíz cocidos a 72°C y 92°C como función del tiempo de reposo. La difusión de los iones calcio a través del pericarpio es mayor, porque es el primer componente del grano de maíz que tiene contacto directo con la suspensión alcalina. Dependiendo de la temperatura de cocimiento, el pericarpio experimenta hidrólisis, al reaccionar con el calcio presente en la solución de cocción, durante la cual pierde compuestos tales como hemicelulosas y otros carbohidratos, por una lixiviación producida por la solución de cocimiento, esta pérdida puede conducir temporalmente a una disminución marcada del contenido de calcio en el pericarpio[6].

Tal disminución es temporal y se puede observar a las 24 h

del tiempo de reposo, para los experimentos donde se usó una temperatura de cocimiento a 92°C, y 7 h de reposo para 72°C (Figura 4). También se puede observar que el pericarpio cocido a 72°C permite la incorporación de más calcio sin la degradación significativa de tiempos de reposo largos, mientras que el pericarpio cocido a 92°C se degrada rápidamente (después de 7 horas), dando por resultado una capacidad menor para incorporar calcio en tiempos de reposo más largos. Una comparación de los resultados de la Figura 3 con los de la Figura 4, muestran que la permeabilidad del pericarpio a los iones calcio, está determinada principalmente por la temperatura de cocción y tiene una influencia similar en el contenido de calcio en el pericarpio y en el endospermo. Como consecuencia de los cambios fisicoquímicos en el pericarpio durante la etapa del cocimiento y reposo, la difusión de los iones calcio en el germen y el endospermo se altera [6,12].

La Figura 5 muestra el contenido de calcio en el germen del maíz nixtamalizado en función del tiempo de reposo para el cocimiento por microondas. Los resultados obtenidos para el maíz cocido a 72°C concuerdan con las observaciones por Fernández-Muñoz et al (2004) [2], demostrando que después de la degradación del pericarpio, la difusión de los iones calcio en el germen aumenta, debido al alto contenido de lípidos y proteínas en el germen, el hidróxido de calcio puede difundirse dentro de esta estructura (Figura 5), saponificando los triglicéridos, y además liberando ácidos grasos [10]. Esta reacción procede durante el tiempo de reposo, conduciendo a un incremento gradual en el contenido de calcio hacia el germen. El carácter alcalino de la solución y las altas temperaturas favorecen la desnaturalización de las proteínas, conduciendo a la exposición de grupos funcionales a iones calcio. Estos procesos explican el aumento constante del contenido de calcio en el germen. Comparando el curso de tiempo de difusión de calcio en el germen y el endospermo para maíz cocido a 72°C, se observa un comportamiento similar mostrado en las curvas del intervalo de tiempo de reposo. Para tiempos de reposo mayores a 12 horas, la incorporación de iones de calcio en el germen es más alta en muestras cocidas a 72°C con relación a las muestras cocidas a 92°C. Este resultado se atribuye a la pérdida del germen durante el proceso de lavado, el cual aumenta a medida que se incrementa la temperatura de cocimiento. En general, la tendencia de las curvas mostradas en las Figuras 3, 4 y 5 concuerdan con los resultados reportados anteriormente [3,9] para la difusión de iones calcio en los diferentes componentes de los granos de maíz nixtamalizado. Una degradación más severa del pericarpio a temperatura de cocción más alta y más concentración de  $\text{Ca(OH)}_2$  permite una difusión de calcio más extensa dentro del pericarpio y el endospermo [2, 9]. Este efecto se confirma en la Figura 4 para cada tiempo de reposo (< 7 horas) donde las muestras cocidas a 92 °C tienen concentración más alta de calcio en el pericarpio y endospermo. Las pérdidas de calcio observadas en los tiempos de reposo intermedios en el endospermo (> 7 h para 72°C y > 5 h para 92°C) para ambas temperaturas de cocción examinadas, corresponden

al material perdido durante el lavado. Las zonas ricas en calcio en las áreas externas del endospermo son removidas en el lavado [2]. Una importante diferencia entre muestras cocidas a 92°C y a 72°C puede verse después de transcurrir 5 horas del tiempo de reposo, para el primer caso, el contenido de calcio baja a un valor mínimo, posteriormente se observa una tendencia hacia arriba, para el segundo caso, el contenido de calcio baja para un tiempo largo de reposo (> 7 h). Si se toma en cuenta el efecto de la etapa del lavado, es claro que la difusión de calcio continua en las regiones internas de los granos de maíz en las muestras cocidas a 92°C, mientras que para las muestras cocidas a 72°C la difusión de calcio al interior del endospermo es interrumpido.

## Conclusiones

- Los resultados muestran que la difusión de iones de calcio, durante el cocimiento alcalino del maíz utilizando un horno de microondas, en el germen, endospermo y pericarpio, es un proceso no lineal a medida que se incrementa el tiempo de cocimiento y reposo e influenciado principalmente por la temperatura de cocimiento.
- Las muestras cocidas a 92°C muestran una difusión mayor del calcio en el endospermo, debido a una degradación mayor del pericarpio, en comparación a muestras cocidas a 72°C, donde el pericarpio actúa como una barrera impidiendo la difusión de los iones calcio al interior al grano de maíz.
- El cocimiento alcalino del maíz por microondas cambia las características fisicoquímicas del pericarpio, germen y endospermo afectando con esto la difusión de calcio hacia el interior del grano de maíz.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado con el apoyo del proyecto SIP-IPN 20070645.

## Referencias

- Fernández-Muñoz, J. L., Rodríguez, M. E., Pless, R. C., Martínez-Flores, H. M., Leal, M., Martínez, J. L., and Baños L. *Cereal Chem.* **79**,162 (2002).
- Fernández-Muñoz, J. L., Rojas-Molina, I., González-Dávalos, M. L., Leal, M., Valtierra, M. E., San Martín-Martínez, E., Rodríguez, M. E.. *Cereal Chem.* **81**, 65 (2004).
- Paredes-López, O., and Saharopoulos-Paredes, M. E. *M Bakers Digest.* **13**, 16 (1983).
- San Martín-Martínez, E., Jaime-Fonseca, M. R., Martínez-Bustos, F., and Martínez-Montes, J. L. *Cereal Chem.* **80**, 13 (2003).
- Zazueta, C., Ramos, G., Fernández-Muñoz, J. L., Rodríguez, M. E., Acevedo-Hernández, G., and Pless, R. C. *Cereal Chem.* **76**, 500 (2002).
- Martínez-Bustos, F., García, M. N., Chang, Y. K., Sánchez-Sinencio, F., and Figueroa, C. J. D. **80**, 651 (2000).

- [7] AOAC. Official Methods of Analysis. 16th Ed. Official Methods of the 968.08. Association of Official Analytical Chemistries: Gaitherssburg, MD. (1998)
- [8] Gomez M. H., McDonough, Rooney L. W., and Waniska R. D., J. food Sci. **54**, 330 (1989).
- [9] Morad M. M., Iskander E. Y., Rooney L. W. and C. F. Earp., Cereal chem. **63**, 255 (1986).
- [10] Martínez-Bustos, F., Martínez-Flores, H. E., San Martín-Martínez, E., Sánchez Sinencio, F., Chang, Y. K., Barrera-Arellano, D., & Ríos, E. J. Sci. Food Agric. **81**, 1 (2001).
- [11] González, R., Reguera, E., Mendoza, L., Figueroa, J. M., and Sánchez-Sinencio, F. J. Agric. Food Chem. **52**, 3831 (2004).