

EFFECTO DEL CALCIO EN LAS MODIFICACIONES MICROESTRUCTURALES Y MORFOLÓGICAS EN EL ENDOSPERMO DEL MAÍZ QPM H-368C SOMETIDO A UN TRATAMIENTO TÉRMICO ALCALINO

I. Rojas-Molina¹, E. Gutiérrez-Cortez^{2,3}, M.E. Rodríguez-García^{3,4}, R. Hernández-Reyes⁵, A. Cornejo^{2,3} y J. Arenas⁵, A. Rojas⁶, C. Ibarra⁶

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Licenciatura en Nutrición, Universidad Autónoma de Querétaro. Av. de las Ciencias S/N. Juriquilla, Delegación Santa Roja Jáuregui, Querétaro, México. C.P. 76230.

² Departamento de Posgrado e Investigación. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas S/N, Querétaro, México. C.P. 76060.

³ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Cuautitlán. Av. 1º de Mayo, Col. Sta. María las Torres. Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México. C.P. 54740.

⁴ Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, México. C. P. 76230, A. P. 1-1010.

⁵ Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de la Investigación Científica S/N. Ciudad Universitaria. México, D. F. México. C.P. 04510.

⁶ Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de las Campanas S/N, Querétaro, México. C.P. 76060.

E-mail: jirojasmolina@yahoo.com.mx o isela@fata.unam.mx

Introducción: En México, el maíz se consume principalmente en forma de tortilla y productos nixtamalizados. La elaboración de la tortilla se realiza a través del cocimiento alcalino del maíz; este proceso es comúnmente conocido como *nixtamalización*, el cual se lleva a cabo en dos etapas: la primera consiste en el calentamiento del grano (precocido) y la segunda en el reposo del mismo en su líquido de cocción. Ambas etapas se realizan en presencia de una solución saturada de hidróxido de calcio, cuya concentración puede variar de 0.5 a 2 % [1,2].

Uno de los fenómenos mayormente estudiados que se presentan en el grano de maíz nixtamalizado es la *gelatinización* del almidón, debido a su importancia para el desarrollo de las propiedades texturales y reológicas de la *masa* empleada para la producción de tortillas. El almidón es el componente químico mayoritario del grano de maíz, el cual se localiza en paquetes o gránulos recubiertos por una matriz proteínica. El almidón está conformado por dos estructuras macromoleculares: la amilosa y la amilopectina, las cuales mantienen una organización estructural y un arreglo relativo en el interior de los gránulos de almidón. Este orden se manifiesta en la estructura cristalina de estos glucanos, el cual se modifica durante el proceso de nixtamalización. Así mismo, se ha señalado que la nixtamalización retarda la gelatinización del almidón debido a la aparente interacción del calcio con el almidón [3]. Con respecto a este último punto, es importante mencionar que los trabajos reportados en la literatura se han realizado sin considerar el origen anatómico-estructural de las partículas que constituyen el nixtamal y la masa, así como la relación entre el contenido de calcio y las transformaciones estructurales y morfológicas del grano procesado. El estudio de la relación entre estas modificaciones y el contenido de calcio se circunscribe al endospermo del maíz, dado que esta estructura constituye la fracción mayoritaria (79.4 %) del peso total del grano. En este trabajo se considera que es muy importante tener una comprensión profunda de los fenómenos físicos y químicos que tienen

lugar en el grano durante el método tradicional de nixtamalización, con la finalidad de proponer innovaciones tecnológicas en este proceso, el cual continúa considerándose como el estándar de calidad para los productos derivados de este método empleado para el procesamiento industrial del maíz.

Objetivo: Evaluar la concentración de calcio en diferentes capas del endospermo del grano de maíz QPM H-368C, sometido a un tratamiento térmico alcalino a diferentes tiempos de reposo, para relacionar la concentración de calcio con las transformaciones morfológicas y microestructurales en el grano nixtamalizado.

Metodología: El grano de maíz se cultivó en el campo experimental del INIFAP unidad Bajío. Cada muestra se preparó cocinando 3 kg de granos de maíz en una solución de hidróxido de calcio (grado alimenticio, Fermont, Monterrey, NL, México) al 1% en relación al peso de maíz. La cantidad de solución de Ca(OH)_2 empleada se encuentra en una relación 2:1 en base al peso del grano. El maíz se adicionó al reservorio y se calentaron hasta alcanzar la temperatura de 92°C. Después de la etapa de cocción, el maíz se puso a reposar durante 0, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15 h. El licor de cocción o *nejayote* se drenó y se inició con el proceso de lavado de los granos, los cuales se lavaron dos veces consecutivas con agua destilada en una relación 2:1 (v/w) mezclando los granos en el agua de lavado durante 1 minuto. Después del proceso de lavado y drenado, se molieron 2.6 kg de la muestra en un molino de piedras (FUMASA, M100, Querétaro) hasta obtener la masa y posteriormente se deshidrató utilizando un horno de vacío. Las condiciones de secado se ajustaron a una temperatura de 40°C durante 8 horas. A continuación el material se pulverizó en un molino de martillos (PULVEX 200, México D.F. México) equipado con una malla de 0.8 mm para obtener las *harinas de maíz nixtamalizado* (HMN). También se elaboró una *muestra control* (CT) a partir de la cocción de los granos de maíz en ausencia Ca(OH)_2 . Los 0.4 kg de los granos lavados remanentes y procedentes de cada muestra, se les separó el pericarpio, endospermo y germen manualmente. El endospermo se secó en un horno con flujo de aire a 40°C durante 8 h (hasta alcanzar un contenido de humedad del 12%). Las capas más externas del endospermo correspondientes al 10% y al subsiguiente 10% del peso total del endospermo, se removieron en forma manual, un endospermo a la vez puliendo sus cinco caras con una lija de papel (Fandelli, Sic B-99, 1200 USA). El 80% remanente pertenece a las capas más internas de esta estructura. El contenido de calcio de las muestras se realizó empleando un espectrofotómetro de absorción atómica (AAAnalyst 300, Perkin Elmer) [4]. El estudio de las transformaciones microestructurales de las capas más externas o periféricas del endospermo (10%, 10% w/w) y de las capas internas (80% remanente) del grano de maíz nixtamalizado, se realizó con un difractor de rayos X (Siemens D5000). La evaluación de las modificaciones morfológicas en el endospermo del grano nixtamalizado se efectuó mediante la técnica de microscopía electrónica de barrido a bajo vacío (MEB-BV) empleando un microscopio JSM 5600LV, con una resolución de 5 nm, ajustado con un espectrómetro de rayos X con energía de dispersión (Noran Instrument, Mod. Voyager 4.2.3. El grado de gelatinización del almidón en cada una de las fracciones del endospermo (periférico e interno) de los granos de maíz procesados, se analizaron empleando un calorímetro diferencial de barrido (Q100, TA Instruments, NY) [5]. La relación entre el calcio fijado en el endospermo del grano de maíz y el tiempo de reposo a través de un análisis de correlación simple, utilizando el coeficiente de correlación de Pearson.

Resultados: El contenido de calcio en el endospermo total, en las capas externas y en las capas internas de esta estructura se incrementa en forma lineal en función del tiempo de reposo. Los coeficientes de correlación de Pearson

(r) para la relación entre estas variables fueron de $r = 0.97$, $r = 0.97$ y $r = 0.94$, respectivamente. Estos coeficientes fueron mayores con respecto al coeficiente observado para la relación entre el contenido de calcio en el grano total y el tiempo de reposo ($r = 0.71$). Las capas más externas del endospermo mostraron una modificación en la estructura cristalina del almidón de maíz, lo anterior se refleja en los patrones de difracción de rayos X, los cuales corresponden a un material amorfo, en tanto que los patrones correspondientes al 80% remanente presentan los patrones característicos de un material cristalino. Las zonas amorfas en distintas zonas del endospermo del maíz nixtamalizado, no fueron detectados con anterioridad [6], debido a que estos autores estudiaron el grano entero, considerándolo como un sistema homogéneo. Estos estudios de difracción de rayos X, en el endospermo del grano nixtamalizado, demuestran que el almidón localizado en las capas externas de esta estructura, presentan el fenómeno de gelatinización por efecto del tratamiento térmico alcalino y por lo tanto, a la presencia del calcio. Las capas más externas del endospermo del maíz nixtamalizado no presentaron el pico endotérmico característico del almidón de maíz nativo, el cual se encuentra entre los 64 y 81°C. El pico de las capas más externas del endospermo del maíz QPM H-368, sin ningún tratamiento se detectó a 72.91°C, el cual está asociado al fenómeno de gelatinización del almidón. Esto significa, que por efecto del tratamiento térmico alcalino, el almidón contenido en estas muestras fue gelatinizado, lo anterior se corroboró con los estudios de difracción de rayos X. Por otra parte, las capas internas del endospermo del grano nixtamalizado presentaron el pico endotérmico característico del almidón nativo. Las imágenes obtenidas mediante MEB-BV evidenciaron las transformaciones morfológicas que experimentan la capa de aleurona, la matriz proteínica y los gránulos de almidón en el endospermo del grano nixtamalizado, lo que permite sustentar en parte el modelo fenomenológico propuesto para la difusión de calcio en el grano durante este proceso, así como las transformaciones en su calidad nutrimental.

Conclusiones: El contenido de calcio en el endospermo total, capas externas e internas del endospermo del maíz nixtamalizado, se incrementa en forma lineal con el tiempo de reposo. El calcio fijado en las capas más externas del endospermo es mayor, con respecto a las capas más internas de esta estructura [4]. Este trabajo refiere por primera vez en la literatura científica, que las transformaciones en las propiedades térmicas y en la estructura cristalina del almidón en el endospermo del grano nixtamalizado son más evidentes en las capas más externas de esta estructura, donde la fijación del calcio también es mayor. Por consiguiente, el concepto actual del proceso de nixtamalización debe modificarse y redefinirse de la siguiente manera: *la nixtamalización es el tratamiento térmico alcalino del grano de maíz, en donde ocurre una gelatinización total de los gránulos de almidón de las capas externas del endospermo del grano y una gelatinización parcial del almidón de las capas más internas* [5]. Estos resultados justifican que el estudio de las modificaciones en los componentes químicos del grano nixtamalizado, deben abordarse en lo sucesivo, considerándolo como un sistema no homogéneo, es decir, en forma estratificada.

Referencias:

- [1] Bressani, R. y Scrimshaw, N.S., J. Agric. Food Chem, 6 (1958) 770-774.
- [2] Sahai, E., Surjewan, I., Mua, J.P., Buendia, M.O., Rowe, M. and Jackson, D.S., Cereal Chem, 77 (2000) 254-258.
- [3] Bryant, C.M., and Hamaker, B.R., Cereal Chem, 74 (1997) 171-175.
- [4] Gutierrez, E., Rojas-Molina, I., Pons-Hernández, J.L., Guzmán, H., Agua-Ángel, B., Arenas, J., Fernández, P., Palacios-Fonseca, A., Herrera, G. and Rodríguez, M.E., Cereal Chem., 84 (2007) 186-194
- [5] Rojas-Molina, I., Gutierrez-Cortez, E., Palacios-Fonseca, A., Baños, L., Pons-Hernández, J.L., Guzmán-Maldonado, S.H., Pineda-Gómez, P. and M.E. Rodríguez, Cereal Chem., 84 (2007): 304-312

[6] Gomez, M.H., Lee, J.K., McDonough, C.M., Waniska, R.D. and Rooney, L.W., *Cereal Chem.*, 69 (1992) 275-279.