

CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DEL ALMIDÓN JÍCAMA (*Pachyrhizus erosus*) DURANTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO POR SIMULACIÓN DE HORNEO Y SU EFECTO EN EL ÍNDICE GLICÉMICO

M. Ramírez-Miranda, M. de la P. Salgado-Cruz, G. Calderón-Domínguez

Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Carpio y Plan de Ayala s/n, Casco de Sto. Tomás, México, D.F. 11340. México. *ramirez_monica@hotmail.com

RESUMEN:

El efecto del tratamiento térmico sobre almidón de jícama y las relaciones entre el tamaño de los gránulos fue investigado, se calculó el porcentaje de cristalinidad y el índice glucémico. Una dispersión acuosa de almidón se trató térmicamente simulando un proceso de horneado de un producto de panificación por calentamiento hasta temperaturas finales diferentes (60, 70 y 80°C). La caracterización gránulo se realizó por técnica de microscopía confocal y se evaluaron los cambios en el índice glicémico. El tamaño de partícula del almidón nativo jícama varió de 4 a 17 micras. Estos gránulos fueron en estrecho contacto unos con otros, mientras que las muestras tratadas térmicamente pierden su estructura. El almidón en su estado nativo es resistente a la digestión enzimática y las diferencias en la estructura de la matriz amorfa debido a tratamiento térmico, tienen el mayor efecto sobre el comportamiento de la digestión enzimática.

ABSTRACT:

The effect of thermal treatment on jicama starch was investigated, and the relationships among the granule size, the percentage of crystallinity and the glycemic index were estimated. An aqueous dispersion of starch was thermal treated by heating it up simulating a baking process to different final temperatures (60, 70 and 80°C). The granule characterization was performed by confocal microscopy and the changes in the glycemic index was also evaluated. The particle size of the jicama native starch ranged from 4 to 17 microns. These granules were in close contact with each other, while heat treated samples lose their structure. The starch in its native state is resistant to enzymatic digestion and the differences in the structure of the amorphous matrix due to heat treatment, have the greatest effect on the enzymatic digestion behavior.

Palabras clave: almidón, índice glicémico, Jícama

Keywords: glycemic index, Jicama, starch

Área: Frutas y Hortalizas

INTRODUCCIÓN

El gran valor nutricional de los tubérculos y raíces reside en su capacidad potencial de constituir una de las fuentes de energía alimentaria más barata de los países en desarrollo. Dentro de éstos encontramos a la jícama, la cual es originaria de México y América Central donde se le considera un producto poco explotado (Ramírez-Bahena et al., 2009) y cuyo valor económico deriva de ser un cultivo de bajo costo y buena rentabilidad (Heredia, 1996). Desde el punto de vista nutricional, la jícama tiene un aporte energético bajo (87g de humedad/100 g jícama), es una buena fuente de vitamina C (21mg/ 100g de jícama), además de

contener 1.3g de proteína, 0.1g de lípidos, 0.7g de fibra, y 10.3g de almidón en 100g de muestra húmeda (Casanueva, 1995), por lo que este tubérculo tiene potencial como fuente de almidón, y que a la fecha ha sido poco estudiado. En el campo, esta raíz presenta problemas de fracturas cuando se encuentra en crecimiento; a este fenómeno o suceso se le llama comúnmente "reventado" y hace que el producto no sea apto para su comercialización en fresco. Aproximadamente 30% de la producción se pierde por este fenómeno, aunque se desconoce el origen de este problema (Galván, 2002), sin embargo podría dársele un valor agregado al ser utilizado para extraer almidón.

Por otro lado, cuando el almidón es hidratado y se calienta, se observan cambios químicos, texturales y estructurales que tienen una influencia considerable en el índice glicémico, es decir, la digestibilidad del almidón y su capacidad de ofrecer más o menos glucosa. Debido a esto, parece una cuestión crucial entender completamente la relación entre la microestructura, los cambios que se producen con el tratamiento térmico y su efecto sobre la digestibilidad del almidón. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue caracterizar la estructura del tubérculo y el almidón obtenido a partir de jícama (*P. erosus* L. Urban) por la aplicación de microscopía de alta resolución y espectroscopía, y los cambios que se producen con el tratamiento térmico y su efecto en la respuesta glicémica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tubérculos de jícama (*P. erosus* L. Urban) de la variedad " San Juan ", cosecha 2013, (10% de proteína, 0.76% grasa, 5.3% ceniza y 79.23% carbohidratos, bs) proporcionados por productores de Nayarit, México. Para la extracción del almidón se siguió la metodología propuesta por Novelo-Cen y Betancur-Ancona, (2005). Las muestras procesadas térmicamente fueron adquiridas sometiendo una suspensión preparada a partir de almidón aislado de jícama (12,2 g), a una relación almidón-agua 1:3, a un proceso de calentamiento. Esta suspensión (48,8 g) se vertió en bandejas de aluminio (7,7 cm de diámetro, 5.9cm altura, 68.52mL) y se trató térmicamente en un horno de cocción giratorio, (Henry Simon Limited, Stockport, Cheshire, Reino Unido) a 185 ° C. Dos experimentos diferentes se llevaron a cabo por esta metodología: uno para seleccionar las condiciones de proceso y el otro para obtener las muestras tratadas térmicamente.

Las temperaturas y tiempos de horneado se eligieron sobre la base de la aparición de la viscosidad de las muestras, y en el cambio en la velocidad de calentamiento que se midieron con termopar tal como se obtiene a partir de las curvas de tiempo-temperatura de calentamiento. Una vez que se seleccionaron estas condiciones de procesamiento, se obtuvieron muestras tratadas térmicamente. Las muestras tratadas térmicas se recogieron en los tiempos de calentamiento seleccionados, se enfriaron (20°C ± 2°C), y se secaron por congelación en una liofilizadora (-50°C, 75034 Bench Top Freeze Dryer, Labconco, Kansas City, MO, U.S.A) hasta que el contenido de humedad de la muestra alcanzó un valor de 6% ± 1%. Las muestras se llevaron a almacenamiento a -24°C durante menos de una semana. Se llevaron a cabo al menos tres experimentos independientes.

Láser microscopía confocal de barrido (LCSLM)

El análisis se realizó en rebanadas de jícama, y en almidones nativos y tratados térmicamente, siguiendo la metodología propuesta por Díaz-Ramírez et al. 2013, con algunas modificaciones. Las muestras (0,5 x 0,5 x 0,5 cm³) se tiñeron con 2 ml de una solución 0,15% de Rodamina B (Sigma Chemicals) en agua, el exceso de colorante se eliminó mediante lavado de la muestra con agua desionizada luego se secó en un horno (Binder, 53 FD, Alemania) a 30°C durante 24 horas. Las micrografías se obtuvieron utilizando un microscopio de barrido láser confocal (LSM 710, Carl Zeiss, Oberkochen, Baden-Wurtemberg, Alemania) con lentes de 20x en una longitud de onda de 518 nm para la excitación de rodamina B, con una emisión máxima a 568 y 625 nm. Las imágenes fueron adquiridas en el color RGB y se guardan en formato TIFF. La determinación del índice glicémico se hizo por medio de una digestión de almidón *In vitro*, el análisis se llevó a cabo de acuerdo a la metodología propuesta por Goni (1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las imágenes del almidón de jícama obtenidas por CSLM muestran una estructura similar a los almidones de otras fuentes como maíz, papa etc., tanto del gránulo como del corte de la jícama. La Figura 1(A) presenta la microestructura de parénquima del tejido fresco de tubérculo de jícama, comparando con las imágenes obtenidas del almidón aislado (1B) así como los tratados térmicamente (1C, D y E). La estructura celular de la jícama es claramente visible, así como los gránulos de almidón nativo dentro de las células (Figura 1 A₂ y B).

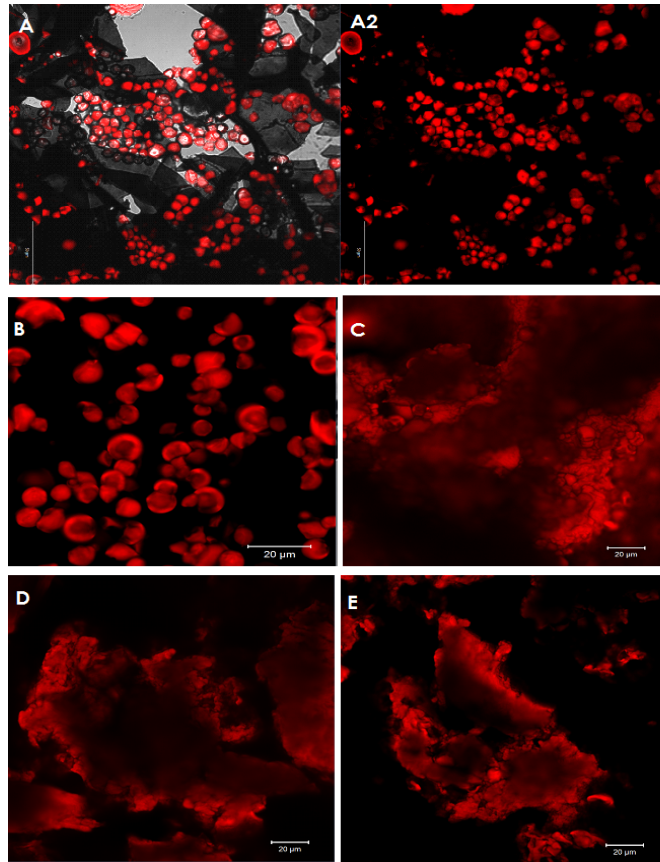


Figura 1. Micrografías obtenidas con el microscopio Confocal de cortes de jícama (A y A2); almidón aislado (B), y almidones tratados térmicamente (C) a 60°C, (D) 70°C y (E) 80°C teñidos con Rodamina.

La forma esférica y poliédrica de los gránulos que se observan en almidones nativos de otras fuentes es reconocida, se observan también grandes cúmulos de gránulos de almidón (Figuras C, D y E) debidos al tratamiento térmico, en muchas aplicaciones y en casi todas las aplicaciones en alimentos, los almidones se calientan antes de su uso. El calentamiento de la suspensión de almidón conduce a que los gránulos se hinchen y finalmente la pérdida de la estructura de los gránulos de almidón, en el caso del tratado a 60°C se observan todavía algunos gránulos enteros, sin embargo, estos se observan hinchados, en el caso de los almidones tratados a 70 y 80°C se observa que han perdido la estructura formando una pasta.

Por lo tanto en las micrografías obtenidas del almidón nativo de jícama se observa una estructura del granulo definida, sin embargo al ser sometida a tratamiento térmico se observa cómo va deformándose el granulo, esto es debido a que arriba de los 50°C, las partes amorfas absorben más agua y la estructura granular comienza a cambiar. Este proceso es irreversible y la estructura granular queda destruida. Con un posterior calentamiento del gránulo, el hinchamiento continúa, mientras que al mismo tiempo la amilosa lineal amorfa se difunde fuera del gránulo hacia alrededor de la fase acuosa (Zamudio, 2005).

Índice Glicémico

La tasa de digestión de los alimentos es el principal determinante de la respuesta glicémica y está influenciado por diferentes factores tales como las propiedades químicas y de tratamiento térmico (Goni et al, 1997). Los patrones de hidrólisis (Figura 2) difieren sustancialmente durante la primera etapa de hidrólisis (menos de 60 min). El tiempo de hidrólisis requerida para alcanzar la meseta (la máxima hidrólisis) se redujo proporcionalmente a medida que la temperatura de tratamiento térmico aumenta.

El almidón de Jícama en su estado nativo (NS) como en situ se hidrolizó más lentamente, alcanzando una meseta después de 90 min. Este comportamiento indica que el almidón en su estado nativo es resistente a la digestión enzimática (Granfeldt et al, 2000; Holm et al., 1988), resultados similares a los reportados por Chung et al, 2006. Las muestras de almidón gelatinizado parcialmente (70°C) que se muestra velocidades de hidrólisis entre los de 70 y 80°C, lo que indica que la velocidad de hidrólisis se aumentó proporcionalmente por el grado de gelatinización (de fusión). Después de 2 h de tratamiento enzimático todas las muestras de almidón alcanzaron máximo la digestión, y las diferencias en los niveles máximos se convirtieron menor.

Las muestras de almidón gelatinizado parcialmente mostraron niveles máximos similares a la de NW (aproximadamente 90%), independientemente del grado de gelatinización. La muestra completamente gelatinizado (80°C), sin embargo, se hidrolizó al máximo a un nivel de más de 95%, aproximadamente el 5% más altos que los de NS. Cuando los gránulos de almidón en agua están expuestos al calor, los enlaces de hidrógeno inter e intra-molecular entre cadenas de almidón se rompen, dejando que los gránulos se hinchen y luego se rompan. La disponibilidad de cadenas de almidón a las enzimas digestivas se aumenta así como la gelatinización progresa.

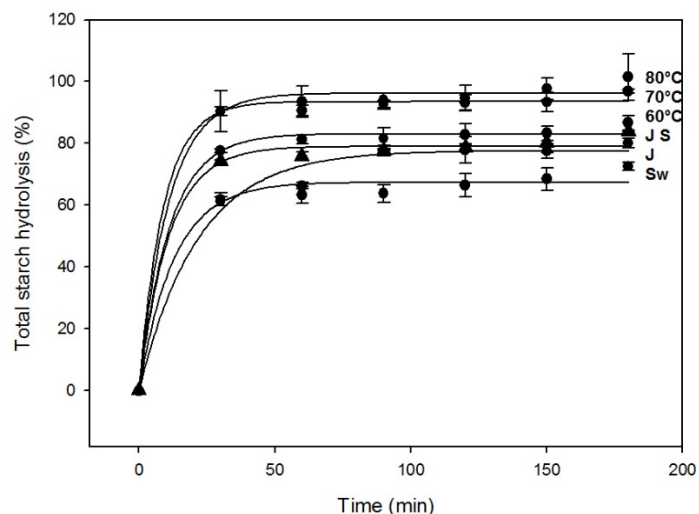


Figura 2. Digestión enzimática de almidón de jícama (NS), y tratado térmicamente a 60, 70 y 80°C.

En la tabla 2 se presenta una comparación de los valores del índice glicémico de la jícama, el almidón aislado y tratado térmicamente con almidón de trigo. Los resultados muestran que tanto la jícama como el almidón aislado como los tratados térmicamente tiene un alto índice glicémico ($GI > 70$) (Jenkins et al., 2002) el comportamiento del almidón nativo puede deberse al tamaño de los gránulos que los hace más sensibles al ataque enzimático. Cuando los gránulos son sometidos a tratamiento térmico a bajas temperaturas (60°C) el proceso de gelatinización es limitada y parte de los gránulos mantienen su estructura y se refleja en un bajo índice glicémico (90.16 ± 1.20) comparado con tratamientos a más altas temperaturas ($70-80^{\circ}\text{C}$) como se muestra en la figura 2, esto también es consistente con los resultados obtenidos por microscopia con focal. La respuesta del Índice glicémico es influenciada por el tamaño del granulo, algunos estudios (Trinidad et al 2010; Chung et al., 2006) reportan que para almidón de arroz que tienen tamaños pequeños de almidón tienen una gran susceptibilidad a la hidrólisis enzimática, a este respecto los gránulos de jícama son pequeños ($4-17 \mu\text{m}$) lo que incrementa la superficie del área a la hidrólisis enzimática y por lo tanto el índice glicémico. Es por esta razón que los granulos nativos se rompen más lentamente que lo observado en el tratamiento térmico (Castro, 2006)

Tabla 3. Comparación de los valores del índice glicémico de jícama, almidón aislado y almidón tratado térmicamente. $60, 70$ y 80°C con almidón de trigo

Almidón	K	C_{∞}	HI	GI
J	0.0359	41.12	79.15	73.35
NS	0.0359	41.12	62.58	74.07
NW	0.052	36.47	72.59	70.76
60°C	0.096	84.13	91.91	90.16 ± 1.20
70°C	0.099	94.71	103.88	96.74 ± 0.66
80°C	0.103	96.64	105.60	97.68 ± 1.14

J, Jícama, NS, Almidón nativo; NW, almidón de trigo; C_{∞} Balance de concentración; K = constante cinética, HI, Grado de Hidrólisis

Bibliografía

- L. Novelo-Cen and D. Betancur-Ancona (2005) Chemical and functional properties of *Phaseolus lunatus* and *Manihot esculenta* starch. *Starch* 57 (9): 431-441).
- M. Díaz-Ramírez, G. Calderón-Domínguez, J. J. Chanona-Pérez, A. Janovitz-K., R. López-Santiago, R. Farrera-Rebollo & M. P. Salgado-Cruz. Modelling sorption kinetic of sponge cake crumb added with milk syrup. *International Journal of Food Science and Technology* 2013, 48, 1649–1660.
- A. Bordoloi, L. Kaur, J. Singh, 2012. Parenchyma cell microstructure and textural characteristics of raw and cooked potatoes. *Food Chemistry* 133, 1092-1110.
- S. L. Amaya- Llano, F. Martínez-Bustos, A. L Martínez-Alegría, J. J. Zazueta-Morales, 2011. Comparative studies on some physicochemical, thermal, morphological and pasting properties of acid thinned jicama and maize starches. *Food and Bioprocess Technology* DOI10.1007/s11947-008-0153-z.