

# ESTUDIO DE LA FORMACIÓN DE CRISTALES DE OXALATO DE CALCIO EN PENCAS DE NOPAL (*Opuntia ficus indica*) EN FUNCIÓN DE SU ETAPA DE DESARROLLO

M. E. Rodríguez-García<sup>1,2</sup>, I. Rojas-Molina<sup>3</sup>, C. de Lira<sup>3</sup>, A. Cornejo-Villegas<sup>2,4</sup>, A. Del-Real<sup>1</sup>, C. Muñoz-Torres<sup>5</sup>, A. Aguilera-Barreiro<sup>3</sup>, E. Gutiérrez<sup>2,4</sup>, Y. Durán-Miganjos<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Juriquilla, Querétaro, México. C. P. 76230.

E-mail: marioga@fata.unam.mx

**Introducción:** En México el nopal (*Opuntia ficus indica*) es una planta de amplia distribución en el territorio de nuestro país, el cual se consume como vegetal entre la población en diferentes etapas de maduración desde 24 hasta 48 días (con un peso de 60 a 150 g, respectivamente), también es utilizado como forraje. El consumo principal del nopal en fresco corresponde a las primeras etapas de desarrollo (nopalito), es decir, con un periodo de desarrollo menor a 32 días y cosechado cuando la penca tiene un peso de 100 g. El nopal también ha sido empleado en la medicina tradicional para el tratamiento de algunas enfermedades como la diabetes, para la reducción de peso y colesterol [1-4]. La caracterización química del nopal demuestra su alto contenido de vitaminas y minerales [5]. Los estudios relacionados con el contenido de minerales en el nopal no consideran la etapa de desarrollo de la penca, este factor puede influir en el contenido de minerales de esta cactácea [6]. Los productos lácteos son la principal fuente de calcio en la dieta de la población en los Estados Unidos de Norte América [7]. Sin embargo, la ingesta de calcio en los países en vías de desarrollo, a través de los productos derivados de la leche es limitado debido al costo que presentan y por otra parte, es necesario considerar a la población que padece de intolerancia a la lactosa [8]. Por estas razones es importante estudiar el contenido de minerales en el nopal, específicamente el calcio y su biodisponibilidad. El calcio libre está relacionado con la cantidad de calcio total presente en el nopal excepto el calcio presente en forma de oxalato de calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ). El oxalato de calcio es el biomineral más común en las plantas superiores. Este compuesto se acumula en forma de cristales en el interior de las células vegetales como producto de los procesos intracelulares. El  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  se encuentra en dos estados de hidratación en las plantas denominadas wewelita y wedelita. Se ha señalado que aún cuando el nopal constituye una fuente importante de minerales, el calcio contenido en sus tejidos no es totalmente biodisponible. Algunos trabajos han reportado el contenido de oxalatos en pencas de nopal procedentes de un comercio; sin embargo, muestran datos correspondientes

únicamente a una etapa de desarrollo [9], por lo tanto, no se ha publicado información con respecto al contenido de oxalatos en función de su etapa de maduración.

**Objetivo:** Analizar el contenido de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), oxalato de calcio ( $\text{CaC}_2\text{O}_4$ ) y la formación de cristales de oxalato de calcio en las pencas de nopal (*Opuntia ficus indica*) cosechadas en diferentes estadios de maduración, a fin de conocer el comportamiento de los compuestos de calcio en el nopal durante su desarrollo y considerarlos en investigaciones enfocadas al estudio de la biodisponibilidad del calcio presente en esta cactácea en la formación de masa ósea.

**Metodología:** Las pencas de nopal se cultivaron en un campo experimental de la UNAM Campus Juriquilla, empleando fertilizantes orgánicos y fueron cosechadas en diferentes etapas de desarrollo correspondientes a 22 días ( $60 \pm 3$  g), 40 días ( $100 \pm 5$  g), 52 días ( $150 \pm 7.5$  g) y 64 días ( $200 \pm 10$  g) durante el ciclo primavera-verano del 2007. Posteriormente, se eliminaron las espinas de las pencas, se cortaron en rebanadas de 3 mm de espesor y se secaron en un horno de vacío ( $10^2$  Torr) a  $40^\circ\text{C}$ . El proceso de deshidratación se llevó a cabo durante 12 h, en cada charola se colocaron 4 kg de nopal. El material deshidratado se pulverizó en un molino de martillos (PULVEX 200) utilizando una malla de 0.5 mm. Se determinó el contenido de calcio total utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer, Mod. AAnalyst 300, USA) de flama utilizando una mezcla de gases (aire-acetileno), equipado con un corrector de respaldo y una lámpara de cátodo hueco de deuterio. Las condiciones de operación del equipo fueron: 12 psi de aire seco, 70 psi de acetileno, una flama a 422.7 nm, lámpara con 10 Ma de corriente y con una apertura de 0.7 nm. El contenido de oxalatos se determinó con el método 974.24 de la AOAC [10]. Adicionalmente, se detectó la presencia de compuestos cristalinos de calcio en el polvo de nopal mediante la técnica de difracción de rayos X. Las muestras se empaquetaron en un portamuestras de aluminio. Los patrones de difracción de rayos X se obtuvieron con un difractor Rigaku Miniflex, las condiciones de operación fueron a 35 K y 15 mA, con una radiación de  $\text{Cu K}_\alpha$  a una longitud de onda  $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ . Los datos fueron recolectados desde  $4^\circ$  hasta  $30^\circ$  en la escala del ángulo  $2\theta$  a una velocidad de 0.05 s. Los difractogramas se analizaron con un software (Diffract/AT, Socavin VI-2). El microanálisis de minerales se llevó a cabo en diferentes secciones de la penca de nopal deshidratada, para tal efecto se cortaron pequeñas piezas de nopal fresco (0.5 mm de grosor), las cuales se colocaron en una charola y se secaron a vacío. Las muestras se montaron en un portamuestras y se cubrieron con una capa de oro. El estudio de la formación y el análisis elemental de compuestos de oxalato se realizó con un microscopio electrónico de barrido (Jeol JSM 6060LV, Japan) acoplado a un microanalizador INCA con una resolución de 5 nm, ajustado con un espectrómetro de rayos X con energía de dispersión (Oxford Instrument, UK).

**Resultados:** El contenido de calcio en el nopal se incrementó en función de la etapa de maduración de la penca desde 1.56 % (60g) hasta 3.72 % (200 g). A este respecto, el calcio presente en los alimentos de origen vegetal abundantes en este mineral como por ejemplo, las espinacas, las acelgas, la soya y los granos no es biodisponible, debido a que contienen altos niveles de fitatos y oxalatos los cuales enlazan el calcio disminuyendo su absorción. Los difractogramas correspondientes a la penca de nopal de 200 g mostraron una disminución en los picos característicos a los compuestos de oxalato, lo que indica una disminución en el contenido de oxalato de calcio en función de su etapa de desarrollo. Las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido muestran evidencia de que los cristales de oxalato de calcio se localizan en la parte externa de la penca, cuya forma y tamaño

se modifican en función de la maduración; específicamente, el tamaño de los cristales de oxalato de calcio se incrementó de la siguiente manera: 40  $\mu\text{m}$  (60 g), 55  $\mu\text{m}$  (100 g), 72  $\mu\text{m}$  (150 g) y 100  $\mu\text{m}$  (200 g). La presencia de los cristales de oxalato de calcio podría limitar la biodisponibilidad del calcio en el nopal; no obstante, de acuerdo con estos resultados, la biodisponibilidad podría ser dependiente de la etapa de desarrollo de la penca. Lo anterior debido a que el contenido de oxalato de calcio en las pencas de 200 g disminuyó en un 50 % con respecto al contenido de este compuesto en las pencas de 60 g. Las pencas de 150 g (42 días) presentaron el mayor contenido de calcio, esto significa que el calcio disponible limita el crecimiento de los cristales de oxalato de calcio.

**Conclusiones:** El contenido de calcio en las pencas de nopal (*Opuntia ficus indica*) se incrementó en función de su etapa de desarrollo. El contenido oxalatos se redujo aproximadamente el 50 % en las pencas de 200 g con respecto a las pencas de 60 g. La biodisponibilidad del calcio presente en el nopal podría ser mayor en las pencas de nopal con un peso inferior a 200 g. Lo anterior significa que las pencas con un peso mayor a 250 g no deben incluirse en la dieta, en virtud de que en los estados tardíos de maduración el contenido de oxalato de calcio se incrementa, el cual disminuye la biodisponibilidad del calcio libre presente en la penca de nopal.

**Referencias:**

- [1] Hegwood, A.D. Hort Science, 25 (1990) 1515-1516.
- [2] Muñoz-Chávez, M. Chávez, A, Valles, B., Roldán, J.A., World review of nutrition and dietetics, (1995) 109-134.
- [3] Trejo-González, A., Gabriel-Ortíz, G., Puebla-Pérez, A.M., Huizar-Contreras, M.D., Munguía-Mazariegos, M.R., Mejía-Arreguín, S., Calva, E., J. Ethnopharmacology, 55 (1996) 27-33.
- [4] Frati-Munari, A.C., Gordillo, B.E., Altamirano, P., Araiza, C.R., Diabetes Care, 11 (1988) 63-69.
- [5] Rodríguez-Félix, A., Cantwell, M., Plant Foods Hum Nutr, 38 (1988) 83-89.
- [6] Rodríguez-García, E., de Lira, C., Hernández-Becerra, E., Cornejo-Villegas, M.A., Palacios-Fonseca, A.J., Rojas-Molina, I., Reynoso, R., Quintero, L.C., Del Real, A., Zepeda, T.A., Plant Foods Hum Nutr, 62 (2007) 107-112.
- [7] Berner, L.A., McBean L.D., Logfrem, P.A., Food Tech., 44 (1990) 50-70.
- [8] Serna-Saldívar, S.O., Rooney, L.W., Greene, L.W., Cereal Chem., 68 (1991) 550-555.
- [9] McConn, M.M., Nakata, P.A., J. Agric. Food Chem., 52 (2004) 1371-1374.
- [10] AOAC., Official Methods of Analysis, 16 th Ed. Method 974.24. The Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.