

CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SEMILLAS DE OPUNTIAS (*Opuntia spp.*) CULTIVADAS EN EL ESTADO DE HIDALGO, MÉXICO

Francisco Prieto-García¹, Santiago Filardo-Kerstup¹, Elizabeth Pérez-Cruz¹, Rosa Beltrán-Hernández¹, Alma Román-Gutiérrez¹ y María Méndez-Marzo²

RESUMEN

Los frutos del nopal (*Opuntia spp.*) constituyen un alimento muy utilizado en varios países de América Latina. Usualmente sus semillas son desechadas aunque existe la posibilidad de que contengan componentes básicos que puedan permitir su utilización como complemento nutritivo u otro producto provechoso en la agroindustria. El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización física y química de semillas de tres especies de *Opuntia* (*O. heliabravoana*, *O. xocconostle* y *O. ficus-indica*) a fin de aportar conocimientos específicos sobre ellas. Se colectaron frutos maduros en diferentes municipalidades del estado de Hidalgo, México, y se les extrajeron las semillas, las cuales fueron secadas y sometidas a los análisis. Las semillas de las tres especies mostraron similitud entre sus características físicas por sus valores de densidad y dureza a la abrasión. Por sus tamaños y volúmenes relativos *O. ficus-indica* resultó 2,37 veces más voluminosa que la más pequeñas de ellas, la *O. heliabravoana*, y 1,50 veces mayor que la *O. xocconostle*. Los tamaños de gránulos y sus morfologías resultaron similares. Por sus contenidos de aceites vegetales, fibras, almidones y carbohidratos resultaron con valores relativamente altos lo cual les confiere características favorables para ser evaluadas como alimento nutritivo. No obstante, en todas ellas se encontraron cantidades significativamente importantes de plomo, lo cual descalificaría su utilidad como producto alimenticio.

Palabras clave adicionales: Nopal, análisis proximal, metales pesados, tamaño de partículas, microscopía electrónica

ABSTRACT

Chemical and physical characterization of seeds of *Opuntia spp.* grown in Hidalgo State, Mexico

The fruits of nopal (*Opuntia spp.*) represent a valuable food in various Latin America countries. Usually, their seeds are discarded although they could contain basic components that might allow them to be used as nutritional complement or as other product convenient for the industry. The objective of this work was to perform a physical and chemical characterization of seeds of three species of *Opuntia* (*O. Heliabravoana*, *O. Xocconostle*, and *O. ficus-indica*) to generate specific knowledge from them. Fruits were collected in different municipalities of Hidalgo State, Mexico, and the seeds extracted, dried, and analyzed. The seeds showed similarity in the physical characteristics of density and hardness to the abrasion, except for small differences. Due to its relative size and volume, the seed of *O. ficus-indica* resulted 2.37 times more voluminous than the smallest seed (*O. heliabravoana*) and 1.50 times greater than the one from *O. xocconostle*. The size and morphologies of grains were similar among the species. Due to their relatively high content of oil, fibers, starches and carbohydrates they result interesting to be evaluated as nutritious food. However, in all of them it was found significantly high amounts of lead, which is a metal non desirable in any food.

Additional key words: Prickly pear, proximal analysis, heavy metals, particle size, electron microscope

INTRODUCCIÓN

La familia de las cactáceas está integrada por alrededor de 2000 especies distribuidas por lugares de clima desértico o muy seco,

principalmente en América Central y del Sur. Las condiciones geográficas de México con su relieve tan particular, han favorecido la diversificación de estas plantas, dando lugar a zonas de una gran riqueza biológica; en este

Recibido: Mayo 29, 2006

Aceptado: Diciembre 20, 2006

¹ Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
e-mail: prietog@uaeh.reduah.mx

² Centro de Investigaciones de Materiales y Metalurgia, Ciudad Universitaria, Carretera Pachuca-Tulancingo, km 4,5.
C.P. 42076. Pachuca de Soto. Hidalgo. México.

país se reconocen unas 100 especies (Bravo-Hollis, 1991), siendo endémicas un número importante de ellas.

Ampliamente utilizadas como alimento humano, la mayoría de las cactáceas, son aprovechadas como alimento principalmente por sus frutos y hojas. El nopal y su fruto, la tuna, también forman parte de la dieta de muchos animales.

En lugares áridos y ventosos se utilizan para fijar el suelo y prevenir la erosión de las lluvias que normalmente se producen de forma intensa en algunas épocas del año. Este uso se hace muy adecuado en los cultivos que se llevan a cabo en forma de terrazas.

Los llamados Xoconostles son frutos ácidos de algunas especies de *Opuntia* con altos contenidos de ácido ascórbico. Presentan gran potencial económico debido a sus múltiples usos como verdura, condimento, fruta fresca, dulces cristalizados, forraje, y posibles propiedades medicinales (Scheinvar, 1999).

Sin embargo, a pesar de los diferentes usos de los frutos de las opuntias, no se ha estudiado si sus semillas pudieran tener utilidad alimenticia o agroindustrial.

El objetivo de este trabajo consistió en caracterizar la composición física y química de las semillas de tres especies mexicanas de *Opuntia* cultivadas en el estado de Hidalgo (*Opuntia heliabravoana*, *O. xoconostle* y *O. ficus indica*) para aportar conocimientos que ayuden a definir su potencialidad de uso.

MATERIALES Y MÉTODOS

Muestras. Obtención y preparación

Muestras representativas de semillas de las tres especies en estudio, fueron extraídas de frutos cultivados en diferentes municipalidades del estado de Hidalgo. Se retiró de ellas todo tipo de material o pulpa, y luego fueron colocadas para secado a condiciones atmosféricas en charolas de plástico; posteriormente fueron seleccionadas en forma manual para que fueran lo más homogéneas posibles en cuanto a su estructura física. Se tomaron aproximadamente 150 g de una muestra de semilla de cada especie, previamente secada, se sometieron a molienda y se pasaron a través de tamices Tyler a tamaños de 200 µm.

Análisis físicos y químicos

Antes de la molienda, a las semillas se les practicaron los siguientes análisis físicos (AOAC, 1995; Norma Mexicana, 2003): humedad, ceniza, densidad por peso de un hectolitro y por peso de mil granos, índice de flotación (expresándose como porcentaje de granos flotantes), dureza por abrasión (expresándose como porcentaje del peso perdido por abrasión luego de frotarlos por cinco veces a lo largo de 23 cm de un papel de lija Nº 100) y determinación de volumen unitario.

Las fracciones molidas ya en polvo fino se sometieron a las siguientes determinaciones químicas (AOAC, 1995): grasas totales, proteínas, fibra bruta total, y los elementos metálicos sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, y zinc. Los azúcares fueron determinados según Ödön y Tirso (1985) y BOE (1988). Los carbohidratos totales (% CHT) fueron obtenidos por diferencia a partir de la siguiente expresión (Pere, 1999; Blanco et al., 2000):

$$\% \text{ CHT} = 100 - \Sigma A$$

$$\Sigma A = \% \text{ H}_2\text{O} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ fibras} + \% \text{ grasas} + \% \text{ cenizas}$$

Paralelamente, se estimaron de forma aproximada los porcentajes de almidones totales a partir del siguiente cálculo (Blanco et al., 2000):

$$\% \text{ Almidones totales} = \% \text{ CHT} - \% \text{ ART}$$

CHT = carbohidratos totales y ART = azúcares reductores totales.

Análisis de partículas

Se analizó la distribución y tamaño de partículas de almidones contenidos en las semillas; para esto se realizó una separación de los gránulos de almidones, previa molienda y suspensión en agua fría y posterior separación por centrifugación. Los sólidos sedimentados (almidones no solubles en agua fría) se resuspendieron en agua desionizada y se llevaron a un equipo analizador de tamaño de partículas por difracción de rayos láser Beckman Coulter modelo LS 13-320. Además se evaluó la morfología de las partículas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB), en un equipo Jeol, modelo JSM-6300.

Las muestras en polvo fueron colocadas en portamuestra y recubiertas previamente con oro en un equipo previsto para ello modelo Desk II. Se

trabajó a 15 KV, a iguales distancias de trabajo y aumento de 2000X.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis físicos

Los resultados de la caracterización física se muestran en el Cuadro 1. Se aprecia que los mayores valores de densidad por peso hectolitro (DPH) los presenta a *O. heliabravoana* y se corresponden con los valores de mayor dureza o resistencia a la abrasión y el menor volumen en la semilla. Esto es indicativo que su estructura es más sólida y compacta, lo que sugiere la idea de que es poco porosa.

Por otra parte, *O. xocostle* presentó el mayor valor de densidad por peso de mil granos (DPMG) y se corresponde a la menor resistencia a la abrasión y la menor densidad por índice de flotación (DIF), lo que indica que sus semillas son más blandas, más pesadas en sus masas relativas y poco porosas dado el bajo valor de la DIF. La especie *O. ficus-indica* es la menos pesada (bajos valores de DPH y DPMG), es blanda, la más porosa de las tres especies y resultó 2,37 veces más voluminosa que *O. heliabravoana*, y 1,50 veces mayor que *O. xocostle*.

Cuadro 1. Parámetros físicos de los granos o semillas de tres especies de Opuntias (valores medios y medida de dispersión)

Especie	DPH	DPMG	DIF	DzaA	Vol
<i>O. heliabravoana</i>					
Media	65,29	17,03	14,80	11,43	12,13
C.V. (%)	1,30	1,48	12,72	10,83	8,89
<i>O. xocostle</i>					
Media	64,22	29,19	6,80	7,42	19,16
C.V. (%)	1,42	4,55	14,61	13,71	5,14
<i>O. ficus-indica</i>					
Media	55,97	13,43	23,21	7,59	28,70
C.V. (%)	4,77	7,82	8,71	5,31	11,36

DPH: Densidad peso hectolitro ($\text{kg}\cdot\text{hL}^{-1}$)

DPMG: Densidad peso mil granos ($\text{g}\cdot 1000 \text{ granos}^{-1}$)

DIF: Densidad por índice de flotación (%)

DzaA: Dureza por abrasión (%)

Vol: Volumen del grano (mm^3)

Análisis proximales

Los resultados de los análisis proximales, incluyendo los azúcares y almidones, se muestran en los Cuadros 2 y 3. Se puede apreciar que

las tres especies presentan niveles bastante similares en humedad y contenido de cenizas, este último parámetro asociado a los niveles de metales que pueden contener. Así mismo, los contenidos en fibra bruta total y carbohidratos las hacen similares.

Las tres especies presentan significativos porcentajes en grasas, destacándose por los más altos valores la especie *O. xocostle*; esto puede ser indicativo de que por los altos contenidos en carbohidratos y grasas pudieran servir para elaborar algún complemento alimenticio en caso de que se comprobara que los tipos de grasas no sean potencialmente perjudiciales a la salud humana (Dendy y Dobraszczyk, 2004). Por sus bajos contenidos proteicos no serían interesantes.

Con relación a los contenidos de almidones estimados en las tres especies (Cuadro 3) se observa que los más altos valores de azúcares reductores y sacarosa los presentó *O. xocostle*, lo cual es concurrente con el hecho de que los frutos de esta especie se utilicen para el consumo, fundamentalmente en elaboración de dulces o postres. Son también importantes los contenidos de almidones que se aprecian en las tres especies.

Análisis de metales

Las concentraciones totales de metales bioacumulados en las semillas de las tres especies estudiadas se muestran en el Cuadro 4. Con relación a elementos metálicos esenciales, se observa en la especie *O. xocostle* menores valores de calcio y mayores de magnesio en comparación con *O. heliabravoana* y *O. ficus-indica* lo que parece reflejar su procedencia de suelos dolomíticos (Borrego y Burgos, 1986).

Por los contenidos de oligoelementos se debe resaltar que el zinc no fue detectado en ninguna muestra, lo que pudiera indicar un déficit del elemento en estos suelos o que es poco bioacumulable por estos tipos de semillas.

Se puede observar la ausencia de cantidades detectables de elementos tóxicos tales como arsénico, mercurio y cadmio; con referencia al cromo sólo se observó presencia en la especie *O. ficus-indica* en valores por debajo de los que permiten algunas normas para semillas y granos (Normativa Argentina, 2004). Sin embargo los contenidos observados en plomo en las tres

especies sí se consideran elevados, especialmente en *O. heliabravoana* por lo cual no es de extrañar que en otras partes del fruto que usualmente son consumibles (pulpa y corteza), pudieran ser aún más significativos y tornarse peligrosos.

El plomo puede provenir de los propios suelos donde se cultivan estas especies o de las aguas

utilizadas para riegos. Así, Prieto et al. (2005a) reportan que en otros trabajos se han encontrado apreciables concentraciones de arsénico bioacumulado en cultivos que han sido cosechados en zonas con significativos niveles de este elemento tanto en el suelo como en las aguas de riego.

Cuadro 2. Análisis proximales de los granos o semillas de tres especies de Opuntias (en paréntesis la desviación estándar)

Especie	Humedad	Cenizas	Grasa (%)	Fibra total	Proteína
<i>O. heliabravoana</i>	3,97 (0,02)	0,95 (0,06)	16,99 (0,57)	3,02 (0,11)	2,10 (0,09)
<i>O. xocconostle</i>	4,09 (0,19)	1,03 (0,11)	19,24 (0,45)	2,56 (0,22)	0,64 (0,02)
<i>O. ficus-indica</i>	3,55 (0,09)	1,01 (0,08)	17,22 (0,46)	2,66 (0,14)	0,97 (0,01)

Cuadro 3. Análisis de azúcares y almidones en los granos o semillas de tres especies de Opuntias (en paréntesis la desviación estándar)

Especie	Carbohidratos totales (CH)	Azúcares reductores (%)	Sacarosa	Almidones
<i>O. heliabravoana</i>	72,97 (0,80)	3,42 (0,01)	0,70 (0,02)	68,85 (0,83)
<i>O. xocconostle</i>	72,62 (0,76)	5,30 (0,49)	1,08 (0,07)	66,24 (1,32)
<i>O. ficus-indica</i>	74,68 (0,56)	4,16 (0,13)	0,85 (0,02)	69,67 (0,71)

Cuadro 4. Contenidos de metales esenciales y tóxicos en los granos o semillas de tres especies de Opuntias

Especie	Aluminio	Cadmio	Calcio	Cromo	Plomo	Magnesio	Potasio	Sodio	Zinc	Arsénico	Mercurio
	mg·kg ⁻¹										
<i>O. heliabravoana</i>	7,317	<0,0026	809,824	<0,005	70,791	2159,458	223,228	4,701	<0,0014	<0,0039	<0,0024
<i>O. xocconostle</i>	5,555	<0,0026	251,493	<0,005	43,996	2990,760	178,556	3,314	<0,0014	<0,0039	<0,0024
<i>O. ficus-indica</i>	2,484	<0,0026	736,444	8,012	21,346	1431,201	239,723	3,627	<0,0014	<0,0039	<0,0024

Tamaño y morfología de partículas

Los resultados del análisis de tamaño y distribución de partículas o gránulos de almidón contenidos en las semillas de estas especies, se pueden observar en la Figura 1a, b y c. Sus tamaños promedios varían entre 23,81 y 55,13 μm , resultando parecidos en formas y tamaños a los gránulos de almidón en granos de cereales.

En este sentido se observa que la especie *O. xocconostle* presenta los gránulos de mayor tamaño y la *O. heliabravoana* la de diámetros más pequeños; sin embargo, ambas presentan una gran variabilidad en distribución de tamaños en comparación con la especie *O. ficus-indica*.

Las curvas de distribución de tamaños de partículas de los almidones contenidos en las

semillas de estas especies se asemejan a las encontradas en granos o semillas de cereales como trigo, arroz y maíz (Prieto et al., 2005b).

El rango de variación en el tamaño de las partículas se asemeja igualmente a lo reportado por estos autores para granos de arroz y trigo.

La morfología de las partículas se muestra en las microfotografías de la Figura 2a, b y c. Es de hacer notar que los tamaños de las partículas señalados en la Figura 1 son similares a los que señalan las microfotografías.

Se puede observar que las estructuras que se presentan en forma de gránulos son almidones y se corresponden con los que se reportan por diferentes autores para otros granos (Sharp, 1987; Blanco et al., 2000; Prieto et al., 2005b).

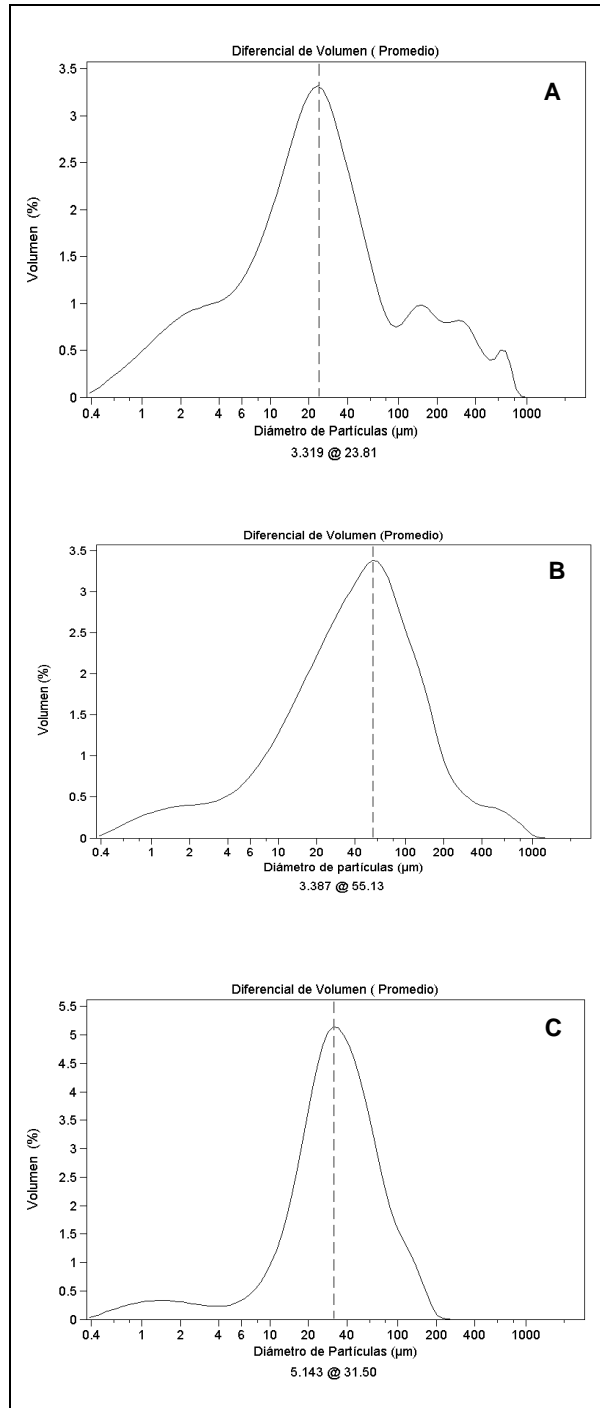


Figura 1. Distribución y tamaño de partículas en los granos o semillas de tres especies de *Opuntias*. A) *O. heliabravoana*, B) *O. xocconostle*, y C) *O. ficus-indica*

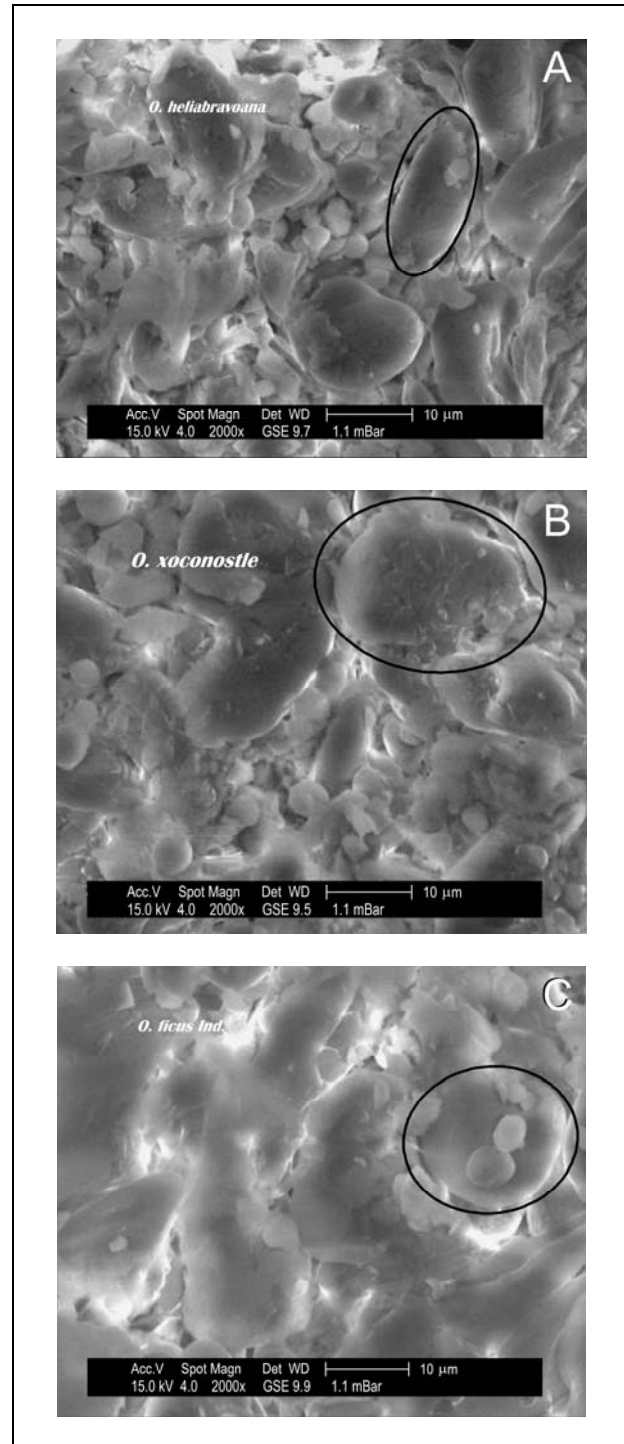


Figura 2. Microfotografía de las partículas de semillas de tres especies de *Opuntias*. A) *O. heliabravoana*, en la cual se aprecian gránulos de tamaño pequeño; B) *O. xocconostle*, con gránulos de mayor tamaño; y C) *O. ficus-indica* con gránulos de tamaño relativamente uniforme

Se aprecia que existen dos tipos de poblaciones bien definidas de gránulos (pequeños y grandes), lo cual guarda similitud con los gránulos de almidón antes mencionados del arroz y el trigo.

Adicionalmente, en la figuras se pueden observar de una manera clara las estructuras filamentosas presentes en *O. heliabravoana*, *O. xoconostle* y *O. ficus-indica*, las cuales están asociadas a las fibras que se arrastran en el proceso de extracción y separación de almidones.

CONCLUSIONES

Las semillas de las tres especies de *Opuntias* evaluadas, por sus altos contenidos en carbohidratos y en particular de almidones y grasas, podrían tener cierto valor nutricional que permita la elaboración de algún producto alimenticio o al menos un suplemento para la alimentación humana. Sin embargo, debe prestarse una especial atención a los contenidos de plomo que presentan, lo que pudiera ser un inconveniente en este sentido.

Por su parte, los gránulos de almidón encontrados en las semillas son similares a los reportados para granos de cereales.

LITERATURA CITADA

1. AOAC. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Volumes I and II. K. Herlich (ed.). AOAC International. Minneapolis, MN.
2. Blanco, M.A., M. de los A. Montero y M. Fernández. 2000. Composición química de productos alimenticios derivados de trigo y maíz elaborados en Costa Rica. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 50(1): 62-74.
3. BOE (Boletín Oficial Español). 1988. Cereales en copos o expandidos. Métodos de análisis. BOE, Madrid. 28 p.
4. Borrego, E.F. y V.N. Burgos. 1986. El Nopal, Ed. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, México. 145 p.
5. Bravo-Hollis, H. 1991. Las Cactáceas de México. Volumen III. UNAM. México, D.F. 643 p.
6. Dendy, D.A. y B.J. Dobraszczyk. 2004. Cereales y Productos Derivados. Química y Tecnología. Ed. Acribia. Zaragoza, España.
7. Normativa Argentina. 2004. Título IV. De los Contaminantes, Párrafo I. De los metales Pesados. Artículo 160. p. 1. Disponible en <http://www.tecnoalimentos.cl/html2/tit04.html>. (revisión de noviembre 2004).
8. Norma Mexicana. 2003. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* L. y *Hordeum distichum* L.). Especificaciones y métodos de prueba. Norma NMX-FF-043-SCFI.
9. Ödön, I.V. y W.S. Tirso. 1985. Química de los Alimentos. Tomo I. Ed. Pueblo y Educación. México.
10. Pere, D. 1999. Analíticos en Alimentaria. Métodos Oficiales de Análisis. Cereales, Derivados de Cereales y Cerveza. Ed. Panreac Química. Madrid. 88 p.
11. Prieto, F., J. Callejas, M.A. Lechuga, J.C. Gaytá y E. Barrado. 2005a. Acumulación en tejidos vegetales de arsénico proveniente de aguas y suelos de Zimapán, estado de Hidalgo, México. Bioagro 17(3): 129-135.
12. Prieto, J., M.A. Méndez, A.D. Román y F. Prieto. 2005b. Estudio comparativo de características físicoquímicas de cereales Kellogg's. Revista Chilena de Nutrición 32(1): 48-59.
13. Scheinvar, L. 1999. Biosistemática de los xoconostles mexicanos y su potencial económico. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Univ. Autónoma de San Luis Potosí, México. pp. 255-274.

14. Sharp, P.F. 1987. Wheat and flour studies.
Density of wheat as influenced by freezing,

stage of development, and moisture content.
Cereal Chemistry 4: 14-46.