

# CARACTERIZACIÓN FÍSICA, GEOMÉTRICA Y MECÁNICA DE HUITLACOCHES (*Ustilago maydis* (D.C.) Corda)

## PHYSICAL, GEOMETRICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF HUITLACOCHES (*Ustilago maydis* (D.C.) Corda)

Artemio Pérez-López<sup>1\*</sup>; Carlos A. Villaseñor-Perea<sup>2</sup>; Teodoro Espinosa Solares<sup>1</sup>;  
Cecilia Ortega-Herrera<sup>3</sup>; Miguel Reyes-Vigil<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, <sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México- Texcoco, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico Superior de Libres, Camino Real esq. Calle Cuauhtémoc, Barrio de Tetela, Libres, Puebla, C. P. 73780. MÉXICO.  
Correo-e: aperezl.dia@gmail.com (\*Autor para correspondencia)

### RESUMEN

Se evaluaron las propiedades físicas, geométricas y mecánicas de mazorcas con huitlacoche. Los valores promedio de peso, el diámetro medio geométrico, la esfericidad, el área de la superficie externa y el volumen del huitlacoche fueron: 259.7 g, 78.4 mm, 65.5 %, 196.03 cm<sup>2</sup> y 266.9 cm<sup>3</sup>, respectivamente. El color del peridio se ubica en la escala del color gris (L\* = 40.4 %, ángulo de tono = 86.9, pureza de color = 5.0). La fuerza de ruptura del peridio por punción fue 1.4 N, y la fuerza de ruptura de la mazorca con huitlacoche por compresión fue 377 N con una deformación de 2.9 mm·mm<sup>-1</sup>.

**Palabras clave adicionales:** *Ustilago maydis*, esfericidad, compresión axial, fuerza de ruptura, propiedades físicas.

### ABSTRACT

Physical, geometrical and mechanical properties of huitlacoche cobs were assessed. The average values of weight, geometric mean diameter, sphericity, the external surface area and volume of huitlacoche were: 259.7 g, 78.4 mm, 65.5 %, 196.03 cm<sup>2</sup> and 266.9 cm<sup>3</sup>, respectively. The color of the peridium is located in the gray scale (L\* = 40.4, hue = 86.9, chroma = 5.0). The peridium breaking to the puncture strength was 1.4 N, and the breaking strength of the huitlacoche cob by compression was 377 N with a deformation of 2.9 mm·mm<sup>-1</sup>.

**Additional keywords:** *Ustilago maydis*, sphericity, axial compression, force of rupture, physical properties.

### INTRODUCCIÓN

El hongo *Ustilago maydis* (D.C.) Corda cuando infecta y se desarrolla sobre los granos tiernos de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) o del teosinte (*Zea mexicana* L.), se le conoce popularmente como “huitlacoche”, el cual es ampliamente utilizado en la cocina tradicional mexicana desde antes de la conquista española (Pataky y Chandler, 2003; Ruíz y Martínez, 1998). Cuando la planta resulta infectada se induce la clorosis y/o pigmentación con antocianinas y posteriormente ocurre la formación de las agallas que caracterizan este producto (Herrera y Ulloa, 1998; Castro y Ruiz, 2003).

Las propiedades físicas y geométricas de muchos productos agrícolas han sido investigados con la finalidad de entender su comportamiento mecánico (Gyeong-Won, 2008) son un factor importante para el diseño de estructuras de empaque y almacenamiento. En las frutas, por ejemplo, la forma y las dimensiones físicas son importantes para su clasificación y para determinar la cantidad de frutos que pueden ser colocados en los contenedores. Cuando las frutas y hortalizas son transportadas hidráulicamente, el diseño de la velocidad del fluido está relacionada con la densidad y la forma (Wilhelm *et al.*, 2004). El volumen y el área superficial son importantes en el modelado de la transferencia

de calor y de masa durante las operaciones de enfriamiento y secado (Wilhelm *et al.*, 2004; Jahromi *et al.*, 2008). Para frutos de manzana, durazno, pera y arándano se reportan valores de esfericidad que varían entre 89 – 90 % (Mohsenin, 1986).

Szczesniak (1983) y ASAE (2006) coinciden en que las pruebas de compresión son muy útiles para determinar las propiedades mecánicas de los productos biológicos, ya que por medio de estas pruebas se puede conocer la carga máxima permisible que puede soportar el producto antes de manifestarse el daño. Estas pruebas comúnmente se realizan con equipos completamente automatizados, tales como la INSTRON (Universal Testing Machine), de donde se obtienen las curvas de “fuerza vs deformación” que permiten determinar el punto de ruptura del material. Respecto a los factores de deterioro, Villanueva-Verduzco *et al.* (2007) afirmaron que el huitlacoche es un producto muy frágil frente a los daños mecánicos, pues el tejido (peridio) que cubre la agalla del hongo se lastima y se deshace con mucha facilidad, lo que provoca que pierda el aspecto agradable. Los resultados hallados hasta ahora muestran que el huitlacoche se deteriora más rápidamente con un mayor grado de manipulación (Martínez-Flores *et al.*, 2008), pero no existe información que describa de manera cuantitativa la resistencia o fragilidad de este producto.

Algunas características físicas (peso, diámetro, área, volumen, etc.), geométricas (forma, esfericidad, etc.) y mecánicas (carga de ruptura, deformación, etc.), que se evalúan en el presente trabajo, servirán como base para alimentar herramientas de diseño y construcción de estructuras de empaque que ayudarían a minimizar los daños mecánicos producidos por la manipulación del huitlacoche después de la cosecha. Esta acción ayudaría a preservar la calidad del producto. En este sentido, el presente estudio plantea como objetivo evaluar las características físicas, geométricas y mecánicas de la mazorca con huitlacoche inmediatamente después de la cosecha.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se empararon mazorcas frescas de maíz (*Zea mays*) cubiertas en su totalidad por el hongo huitlacoche (*Ustilago maydis*) adquiridas en la Central de Abasto de la Ciudad de México. El material se produjo a cielo abierto de un lote comercial ubicado en Tehuacán, Puebla y la cosecha se realizó 14 h antes de la adquisición. La mazorca de huitlacoche se transportó del lugar de la cosecha hasta la Central de Abastos envuelta en la hoja del maíz y en bolsas de plástico de aproximadamente 20 kg. Posterior a la compra, cada mazorca fue envuelta en papel y posteriormente puesta en una sola capa en cajas de cartón corrugado para evitar daños mecánicos por fricción, vibración o compresión durante su transporte hacia el sitio de la caracterización. El tiempo de transporte fue de aproximadamente 2 h. En el laboratorio, se hizo una clasificación por sanidad y calidad visual, eliminando aquellas unidades donde se observaron daños.

Se seleccionaron de forma aleatoria 45 mazorcas y se les midió el peso con una balanza digital portátil marca Ohaus® de 0.1 g de sensibilidad. El color externo se midió en tres posiciones

distintas en la superficie de la mazorca con un colorímetro Hunter Lab modelo Mini Scan XE Plus No. 45/0-L Hunter Lab® y se tomaron los datos de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ . Con estos valores se calcularon el ángulo de tono (hue) y pureza de color (chroma) con las ecuaciones propuestas por Hutchings (1999).

$$\text{ángulo de tono} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (1)$$

$$\text{pureza de color} = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

Para la caracterización física y geométrica se seleccionaron de forma aleatoria 135 mazorcas y se determinaron sus dimensiones: longitud ( $l$ ) de la mazorca, diámetro mayor perpendicular a  $l$  ( $a$ ) y diámetro menor perpendicular a  $l$  y  $a$  ( $b$ ) (Figura 1) con

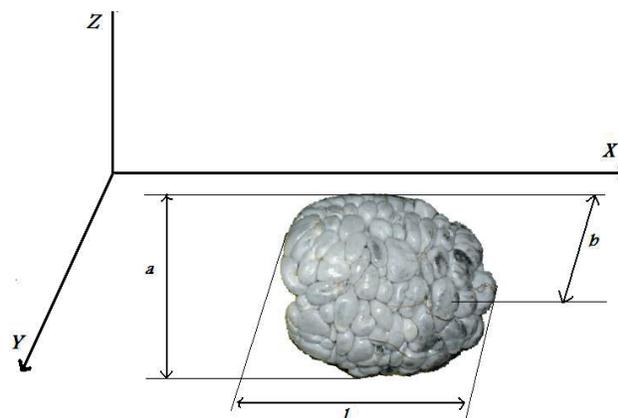


FIGURA 1. Representación de los tres ejes y las tres dimensiones perpendiculares ( $l$ ,  $a$ ,  $b$ ) en la mazorca con el hongo huitlacoche.

un calibrador manual Trupper®. Con estos datos se calcularon el volumen ( $V$ ) en  $\text{mm}^3$ , diámetro medio geométrico ( $D_g$ ) en mm y la esfericidad ( $\phi$ ) de la mazorca con las siguientes ecuaciones (Mohsenin, 1986; Aydin, 2003):

$$V = \frac{\mu \cdot l \cdot a \cdot b}{6} \quad (3)$$

$$D_g = (l \cdot a \cdot b)^{0.333} \quad (4)$$

$$\phi = \frac{(l \cdot a \cdot b)^{0.333}}{l} \times 100 \quad (5)$$

donde  $l$  es la longitud,  $a$  es el diámetro mayor y  $b$  es el diámetro menor de la mazorca con huitlacoche. Esta forma de evaluar la esfericidad asume que el volumen del sólido es igual al volumen de una elipsoide triaxial con interceptos  $l$ ,  $a$ ,  $b$  y que el diámetro de la esfera circunscrita es el intercepto más largo del elipsoide (Wilhelm *et al.*, 2004). Asimismo, se determinó el área de la superficie ( $S$ ) en  $\text{mm}^2$  del huitlacoche mediante la siguiente ecuación (Mohsenin, 1986; Baryeh, 2001):

$$S = \pi \cdot D_g^2 \quad (6)$$

Se midió la firmeza del peridio como la fuerza necesaria para su penetración con un Texturómetro manual Chatillon® modelo MT150L provisto de un puntal cónico de 0.7 cm en la base y un ángulo de 55°. La penetración del puntal fue hasta una distancia de 2 mm y se hizo en tres partes diferentes de la superficie del huitlacoche y se reportaron los valores promedio de las mediciones en newtons (N).

Las mazorcas fueron sometidas a pruebas de compresión mecánica uniaxial en una máquina universal de ensayos mecánicos INSTRON (*Universal Testing Machine*), modelo 4469, USA., equipado con una celda de carga de 500 N. La velocidad de desplazamiento de la cruceta fue de 8 mm·min<sup>-1</sup> y la muestra se colocó en posición horizontal entre dos platos de compresión siguiendo la metodología reportada en la literatura (ASAE, 2005; Moreira *et al.*, 2007; Villaseñor-Perea *et al.*, 2006). La ruptura de la mazorca se consideró como la fuerza máxima de ruptura, reportada en newtons, y la deformación como la distancia hasta el punto de ruptura, medida en milímetros; ambos parámetros se calcularon con el Software de Aplicación de Ensayo de Materiales serie IX de INSTRON versión 7.25.00 (INSTRON, 1995). Los resultados de las variables se reportan como el promedio de las mediciones, incluyendo su coeficiente de variación. A partir de las dimensiones se hicieron curvas de distribución de frecuencias con el software SigmaPlot 11 (SigmaPlot, 2009) y un análisis de correlación de Pearson con el software SAS (Statistical Analysis System) (SAS, 1996).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El peso promedio de las mazorcas estudiadas fue de 259.7 g (C.V. = 32.5 %). La medida de las dimensiones del huitlacoche permitió obtener el valor promedio del diámetro medio geométrico que fue de 78.4 mm (C.V. = 12.2 %) y de la esfericidad de 65.5 % (C.V. = 2.4 %). Este valor indica que la mazorca con huitlacoche

se asemeja en un 65.5 % a la forma de una esfera. El color medido en el peridio del huitlacoche tuvo una luminosidad (L\*) de 40.4 %, ángulo de tono de 86.9 y pureza de color de 5.0. De acuerdo con la escala CIELAB el ángulo de tono se localiza en la zona de colores amarillos y la pureza de color en la zona de los tonos grises, es decir, el amarillo se encuentra muy mezclado con el gris, lo que indica un color de baja pureza (Hutchings, 1999; Martínez-Flores *et al.*, 2008). Los mismos autores mencionan que el ángulo de tono y la pureza de color no sufrieron cambios después de once días de almacenamiento a diferentes condiciones de temperatura, por lo que la luminosidad se convirtió en el parámetro más importante para explicar el cambio total de color en el huitlacoche en postcosecha. A manera de referencia visual se puede decir que el peridio del huitlacoche muestra una tonalidad plateada cuando es recién cosechado, y esta se va oscureciendo conforme avanza el periodo de almacenamiento por efecto de la deshidratación o como consecuencia de los daños mecánicos por la manipulación.

El área superficial promedio fue de 196.03 cm<sup>2</sup> (C.V. = 24.8) y el volumen 266.9 cm<sup>3</sup> (C.V. = 17.8) (Cuadro 1). La importancia que tiene conocer las propiedades físicas, geométricas y la composición estructural de un producto biológico es por su gran influencia en el comportamiento mecánico del producto cuando es sometido a cargas de compresión (Sadriani *et al.*, 2008). Asimismo, estas propiedades son útiles si se quisiera diseñar equipo u operaciones de transformación del producto para conseguir un periodo más largo de almacenamiento (v.g. secado) (Jannatizadeh *et al.*, 2008).

La fuerza promedio necesaria para penetrar el peridio que cubre la agalla del huitlacoche es de 1.4 ± 0.3 N (Tabla 1). Este resultado da una idea de la fragilidad de la cubierta del huitlacoche. Como dato de referencia, considerando similares condiciones metodológicas de medición de la variable, se puede mencionar que para penetrar la piel de frutos de mango (*Maguifera indica* L.) en estado maduro se requirieron 30 N (Jha *et al.*, 2006); para la penetración de la pulpa de frutos de zapote mamey en estado

**CUADRO 1. Propiedades físicas, geométricas y mecánicas de huitlacoche (*Ustilago maydis*).**

| Propiedad   | n   | Media  | C.V. (%) |
|---|-----|--------|----------|
| Peso de una mazorca con huitlacoche (m), g              | 45  | 259.7  | 32.5     |
| Longitud de mazorca (l), mm                             | 135 | 126.4  | 26.5     |
| Diámetro mayor (a), mm                                  | 135 | 71.5   | 17.9     |
| Diámetro menor (b), mm                                  | 135 | 56.6   | 18.9     |
| Volumen de la mazorca con huitlacoche, cm <sup>3</sup>  | 135 | 266.9  | 17.8     |
| Diámetro medio geométrico de la mazorca, mm             | 135 | 78.4   | 12.2     |
| Esfericidad de la mazorca, %                            | 135 | 65.5   | 2.4      |
| Área de la superficie de la mazorca, cm <sup>2</sup>    | 135 | 196.03 | 24.8     |
| Color L*  | 45  | 4.4    | 13.1     |
| ángulo de tono (hue)                                    | 45  | 86.9   | 13.0     |
| pureza de color (chroma)                                | 45  | 5.0    | 12.9     |
| Firmeza del peridio, N                                  | 135 | 1.4    | 21.4     |
| Fuerza máxima de ruptura de la mazorca, N               | 45  | 377    | 27.5     |
| Deformación hasta punto de ruptura, mm·mm <sup>-1</sup> | 45  | 2.9    | 55.1     |

n es el número de muestras estudiadas, C.V. es el coeficiente de variación.

maduro (*Pouteria sapota*) se requirieron 22.6 N (Alia-Tejacal *et al.*, 2005) y para penetrar la piel de frutos de ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) fue necesaria una fuerza de 3.4 N (Pérez-López *et al.*, 2004).

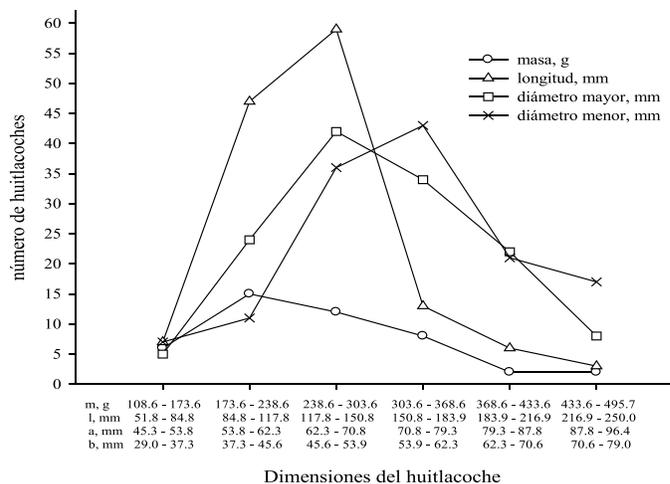
La mazorca de huitlacoche requiere de una fuerza de  $377 \pm 104$  N para su ruptura, con una deformación de  $2.9 \pm 1.6$  mm·mm<sup>-1</sup>. Sólo con fines referenciales, debido a que no existe en la literatura información semejante de otros productos comestibles que pertenezcan a la misma familia del huitlacoche, se citarán a continuación algunos datos reportados para frutos realizados con la misma metodología; para albaricoque (*Prunus armeniaca* L.) se reportan valores de fuerza de ruptura que varían desde 5.02 hasta 7.25 N (Haciseferogullari *et al.*, 2007); para frutos de cereza dulce (*Prunus avium* L.) los valores son de 13.34 hasta 15.04 N (Vursavus *et al.* 2006) y para frutos de melón (*Cucumis melo* L.) de 1950 N (Villaseñor-Perea *et al.* 2006). La fuerza de ruptura del peridio del huitlacoche puede atribuirse al reacomodo que experimentan las agallas, la porosidad del producto y la resistencia que proporciona la mazorca tierna de maíz donde se encuentran unidas las agallas (Cuadro 1). La fuerza necesaria para penetrar el peridio de cada agalla fue de 1.4 N. El valor de carga de compresión es un criterio ingenieril empleado en el diseño de estructuras de empaque para dar protección a los productos en caso de estibamiento; sin embargo, debe considerarse que el peridio que cubre la agalla del huitlacoche es mucho más frágil y este aspecto debe cuidarse para tener un producto de calidad. Martínez-Flores *et al.* (2008) menciona que los daños ocasionados por la manipulación o deshidratación llevan a la aparición de manchas negras y ruptura del peridio, lo que representa una pérdida de la calidad en el huitlacoche.

Aproximadamente el 33 % de los huitlacoche tuvo un peso en el intervalo de 173.6 – 238.6 g, en el 43 % de los huitlacoche la longitud varió entre 117.8 – 150.8 mm, en el 31 % el diámetro mayor fue entre 62.3 – 70.8 mm y el 32 % tuvo un diámetro menor entre 53.9 – 62.3 mm (Cuadro 2). La variable longitud (*l*) se correlacionó negativamente con el diámetro menor (*b*) y el peso (*m*) (Figura 2), esto indica que el diámetro menor y la masa disminuyen en tanto la mazorca con huitlacoche es más larga. En una mazorca de menor longitud el hongo de huitlacoche se desarrolla mejor dándole mayor grosor y peso.

**CUADRO 2. Coeficiente de correlación de Pearson (r) entre las variables: longitud (l), diámetro mayor (a), diámetro menor (b) y peso (m) mazorcas con huitlacoche.**

| Variabes | relación entre variables | Coefficiente de correlación |
|----------|--------------------------|-----------------------------|
| L/a      | 1.76                     | -0.002 <sup>ns</sup>        |
| L/b      | 2.23                     | -0.334 <sup>***</sup>       |
| L/m      | 0.48                     | -0.519 <sup>***</sup>       |

ns, \*\*\* no significativo y significativo a  $P \leq 0.001$ , respectivamente.



**FIGURA 2. Curvas de distribución de frecuencia del peso (m), longitud (l), diámetro mayor (a) y diámetro menor (b) de mazorcas con huitlacoche.**

## AGRADECIMIENTO

Se agradece el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto SEP-2004-C01-47725 “Producción controlada e intensiva de huitlacoche (*Ustilago maydis* D.C. Corda) y alternativas para su manejo en postcosecha” y al Programa Universitario de Investigación en Alimentos de la Universidad Autónoma Chapingo.

## LITERATURA CITADA

- Alia-Tejacal I.; Colinas-León M. T.; Martínez-Damián M. T.; Soto-Hernández R. M. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* (Jacq) H.E.Moore & Stearn). Revista Fitotecnia Mexicana 28: 17-24.
- American Society of Agricultural Engineering. 2006. ASAE standard, Compression test of food material of convex shape. ASAE \$368.4 DEC2000 (R2006).
- Aydin C. 2003. Physical properties of almond nuts and kernel. Journal of Food Engineering 60: 315-320.
- Baryeh E. A. 2001. Physical properties of bambara groundnuts. Journal of Food Engineering 47: 321-326.
- Castro E. L.; Ruiz H. I. 2003. Huitlacoche: una delicadeza alimenticia que se puede producir en el Valle del Yaqui. Instituto Tecnológico de Sonora. Perspectiva Universitaria 2: 27-28.
- Gyeong-Won K.; Gab-Soo D.; Yeonghwan B.; Yasuyuki S. 2008. Analysis of Mechanical Properties of Whole Apple Using Finite Element Method Based on Three-Dimensional Real Geometry. Food Science Technology Res. 14(4): 329-336.
- Haciseferogullari H.; Gezer I.; Musa-Özcan M.; Muratasma B. 2007. Postharvest chemical and physical-mechanical properties of some apricot varieties cultivated in Turkey. Journal of Food Engineering 79: 364-373.
- Herrera T.; Ulloa M. 1998. El Reino de los Hongos: Micología Básica y Aplicada. UNAM-Fondo de Cultura Económica. 2a Edición. México. 547 p.
- Hutchings B. J. 1999. Food color and appearance. Second Edition. Ed. Aspen 8 Publishers. USA. pp 610.
- INSTRON. 1995. Manual de referencia. Software Instron Serie IX. Illinois Tool Works Inc. USA. 70 p.

- Jannetizadeh A.; Boldaji M. N.; Fatahi R.; Varnamkhasti M. G.; Tabatabaeefar A. 2008. Some postharvest physical properties of Iranian apricot (*Prunus armeniaca* L.) fruit. *International Agrophysics*. 22: 125-131.
- Jahromi M. K.; Rafiee S.; Jafari A.; Bousejin M. R. G.; Mirasheh R.; Mohtasebi S. S. 2008. Some physical properties of date fruit (cv. Dairi) *International Agrophysics*. 22: 221-224.
- Jha S. N.; Kingsly A. R. P.; Chopra S. 2006. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering* 72: 73-76.
- Martínez-Flores A.; Corrales-García J. J.; Espinosa-Solares T.; García-Gatica P.; Villanueva-Verduzco C. 2008. Cambios postcosecha del hongo comestible huitlacoche (*Ustilago maydis* (DC.) Corda). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 14: 339-346.
- Mohsenin N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers. New York, USA. 664 p.
- Moreira R.; Chenlo F.; Abelenda N.; Vázquez M. J. 2007. Rheological behavior of chestnuts under compression test. *International Journal of Food Science and Technology* 42: 1188-1194.
- Pataky J.K.; Chandler M.A. 2003. Production of huitlacoche, *Ustilago maydis*: 22 timing inoculation and controlling pollination. *Mycologia*. 95(6): 1261-1270.
- Pérez-López A.; Saucedo-Veloz C.; Árevalo-Galarza M. L.; Muratalla-Lúa A. 2004. Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruela mexicana (*Spondias purpúrea* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 27: 133-139.
- Ruiz-Herrera J.; Martínez-Espinosa A.D. 1998. The fungus *Ustilago maydis*, 3 from the aztec cuisine to the research laboratory. *Internat Microbiol*. 1:149-158.
- Sadrnia H.; Rajabipour A.; Jafari A.; Javadi A.; Mostofi Y.; Kafashan J.; Dintwa E.; De Baerdemaeker J. 2008. **Internal bruising prediction in watermelon compression using nonlinear models**. *Journal of Food Engineering* 86: 272-280.
- SAS Institute .1996. *SAS/STAT Guide for personal Computers*, version 6.12. SAS Institute, Cary, N.C. 1028 p.
- SigmaPlot . 2009. *SigmaPlot for Windows versión 11*. Systat Software Inc. San Jose, CA, USA.
- Szczesniak, A. S. 1983. *Physical properties of foods*. Institute of Technologists, Amherst, Massachusetts. pp. 1-37.
- Villanueva-Verduzco C.; Sánchez-Ramírez E.; Villanueva-Sánchez E. 2007. El huitlacoche y su cultivo. *Mundi-Prensa México*. S.A. de C.V. México D.F. 96 p.
- Villaseñor-Perea C. A.; Chávez-Franco S. H.; Saucedo-Veloz C.; Salazar-Zazueta A.; Landois-Palencia L. L.; Hernández G. L. H. 2006. Comportamiento mecánico y fisiológico de frutos de melón (*Cucumis melo* L.) bajo compresión axial. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29: 157-162.
- Vursavus K.; Kelebek H.; Selli S. 2006. A study on some chemical and physico-mechanic properties of three sweet cherry varieties (*Prunus avium* L.) in Turkey. *Journal of Food Engineering* 74: 568-575.
- Wilhelm L. R., Suter D. A.; Brusewitz G. H. 2004. *Physical Properties of Food Materials*. In: *Food and Process Engineering Technology*. L R Wilhelm, D A Suter, G H Brusewitz (eds). St. Joseph Michigan: ASAE. USA. 315 p.