

AVANCE EXPERIMENTAL DE LA INGENIERÍA DE POSTCOSECHA DE FRUTAS COLOMBIANAS: RESISTENCIA MECÁNICA PARA FRUTOS DE UCHUVA (*Physalis peruviana l*)

EXPERIMENTAL ADVANCES OF THE POST HARVESTING HANDLING ENGINEERING OF COLOMBIANS FRUITS: RESISTANCE MECHANICAL OF UCHUVA FRUITS (*Physalis peruviana l*)

HÉCTOR JOSÉ CIRO VELÁSQUEZ

Prof. Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Agrícola y de alimentos

JAIRO ALEXANDER OSÓRIO SARAZ

*Prof. Asistente, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Agrícola y de alimentos
aosorio@unal.edu.co*

Recibido para revisar Febrero 28 de 2007, aceptado Agosto 30 de 2007, versión final Septiembre 09 de 2007

RESUMEN: Usando técnicas destructivas bajo compresión unidireccional bajo una velocidad de carga constante, las fuerza de fractura y la fuerza de firmeza para frutos de uchuva fueron determinadas. Los resultados indicaron que la fuerza de firmeza y la resistencia mecánica a la fractura en dos sentidos de carga longitudinal y transversal disminuyen con el tiempo de poscosecha de la fruta, siendo el fruto maduro más susceptible al daño mecánico con respecto al verde y pintón.

PALABRAS CLAVE: Uchuva, firmeza, reología, poscosecha.

ABSTRACT: The rupture and flesh firmness forces to Uchuva fruits were determined using the destructive technique under unidirectional compression at constant deformation rate. The statistical results indicated that the flesh firmness and the mechanical resistance to the fracture in two loading directions (longitudinal and transversal) diminishes with the post-harvesting time where the mature fruit is more susceptible to mechanical damage with relation to pinton and green fruit.

KEY-WORDS: Uchuva, flesh firmness, rheology, postharvesting.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, Colombia es el mayor productor de Uchuva (*Physalis Peruviana l*) del mundo, seguido por Sudáfrica. El cultivo de la Uchuva (*Physalis Peruviana l*) es un renglón de la economía que en la actualidad presenta muy buenas perspectivas por el gran interés que prestan los mercados nacionales e internacionales.

Este interés se deriva principalmente de las características medicinales que posee el fruto y a su contenido nutricional superando a otros frutos considerados como sobresalientes (Mercedes y Montenegro, 2004)

La Uchuva (*Physalis Peruviana l*) pertenece al grupo de las frutas tropicales exóticas y goza de un alto posicionamiento, caracterizado por el precio elevado, el consumo elitista y la

distribución en puntos de venta de frutas exóticas exclusivas, en hoteles y restaurantes a nivel nacional y mundial (ICONTEC, 1999).

A nivel de ingeniería, las frutas e vegetales son considerados materiales viscoelásticos o viscoplásticos cuyo comportamiento mecánico e estructural a diferentes condiciones de carga e deformación es una combinación del estado sólido e líquido. Factores tales como la presión de turgencia, rigidez de la pared celular, contenido de fibra y agua, tiempo, temperatura, dimensiones geométricas del producto, variedad de cultivo e historial de manejo a nivel de cosecha y poscosecha del producto determinan la respuesta reológica de esta clase de materiales bioingenieriles (Mohseinin, 1986; Rao y Steffe, 1992)

Para procesos de poscosecha, las propiedades mecánicas de las frutas y vegetales resultantes de los ensayos reológicos son importantes para la adopción, diseño y optimización de sistemas de empaque, transporte, manejo del producto e control de daño mecánico (Mohseinin, 1986; Chávez y Franco, 1996)

Valente y Ferrandis (2003), consideran que las propiedades viscolásticas de las frutas y vegetales, además del sabor e aroma, están relacionadas con la percepción humana de la textura del producto y como uno de los factores más importante en la aceptabilidad del producto por parte del consumidor (Anzaldúa y Morales, 1994; Kader, 2002; Surmacka-Szczesniak, 2002)

La fractura mecánica en frutas ha sido reconocida como una de las principales características texturales del producto, ya que tiene notables implicaciones con la respuesta sensorial a la masticación como también un factor decisivo a nivel de ingeniería (Bourne, 2002; Mohsenin, 1986; Pollak y Peleg, 1980; Singh y Reddy, 2006; Stroshine, 1999). Las propiedades reológicas de falla son consideraciones importantes en su susceptibilidad al daño mecánico, los cuales incluyen cortes, abrasiones, grietas y amagalladuras subcutáneas, donde el daño mecánico es el resultado de cargas estáticas, cíclicas o de impacto que sufre el producto en el

momento de cosecha o poscosecha. (Rao y Steffe, 1992)

La firmeza es la resistencia de un material a la deformación o penetración, y cada material se caracteriza por una curva de deformación en respuesta a niveles variables de fuerza o presión (Fekete, 1994). El grado de firmeza de una fruta cambia con el avance del proceso de maduración del fruto (Hernández *et al.* 2005).

Shmulevich *et al.* (2003) y Konopack y Plocharski (2004), consideran la firmeza de una fruta como una propiedad textural que define la calidad interna e externa del producto. La firmeza junto con la determinación de otras propiedades fisico-químicas, representan un parámetro importante en la evaluación objetiva de la calidad de estos productos (Muramatsu *et al.* 1997).

Otros investigadores (Barbosa *et al.* 2003; Gutierrez *et al.*, 2007; Crisosto *et al.* 1998; Thompson, 1998; Valero y Ruiz 1996) definen la fuerza de firmeza como el mejor indicador a nivel práctico para determinar la maduración de una fruta en sus diferentes etapas, niveles óptimos de consumo y transporte, sistemas de procesamiento, manejo del producto, grado de ablandamiento y consistencia.

A pesar de que existen un amplio número de investigaciones a nivel mundial en diversas clases de frutas, en Colombia es escasa la información de las propiedades reológicas y características viscoelásticas para este tipo de producto.

Este trabajo evaluó experimentalmente en diferentes tiempos de poscosecha y grados de madurez, la fuerza de fractura y la fuerza de firmeza en frutos de uchuva usando técnicas destructivas a compresión unidireccional manteniendo la velocidad de deformación constante. La fuerza de fractura fue evaluada en dos condiciones de carga (longitudinal y transversal).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agrícolas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, a una temperatura promedio de 21°C y humedad relativa de 65%.

Materiales

- Uchuvas clasificadas en tres grados de madurez diferentes: verde, pintón y maduro. La corporación CORPOICA, La Selva, suministró la fruta procedente de una misma producción y variedad.
- Texturómetro: Texture Analyser: Modelo TA-XT2i.
- Plato de compresión de 75 mm de diámetro.
- Aguja de penetración cilíndrica de 2mm de diámetro.
- Software Texture Expert Exceed 2.64.
- Software estadístico SAS. Versión 8.0.

Métodos

Caracterización Reológica. Consistió en determinar la fuerza de fractura y fuerza de firmeza de frutos de Uchuva (*Physalis Peruviana l*) de una misma producción. La fruta fue seleccionada y clasificada en 3 diferentes grados de madurez (verde, pintón y maduro) y almacenada bajo condiciones controladas de refrigeración.

Fuerza de fractura. Los frutos de uchuva fueron sometidos a compresión unidireccional usando un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro Systems, London, U.K) a una velocidad de carga de 1 mm/s. Para diferentes tiempos de poscosecha (1, 3, 5, 7, 9 días) el producto fue sometido en dos sentidos de carga (longitudinal y transversal). El tiempo fue considerado a partir del momento en que se cosecharon las frutas. La dirección longitudinal fue tomada de polo a polo, mientras que la

dirección transversal se consideró a lo largo del eje del ecuador del fruto.

La información obtenida fue procesada usando el software Texture Expert Exceed versión 2.64. Para cada grado de madurez (verde, pintón y maduro) fueron realizadas 10 repeticiones para cada sentido de carga (longitudinal y transversal), para un total de 60 frutas por día.

El valor de la fuerza de fractura para cada ensayo fue determinado mediante la información fuerza vs deformación. Esta variable fue definida como el punto donde existió una caída brusca de la fuerza representando un aumento de la deformación (Figura 1).

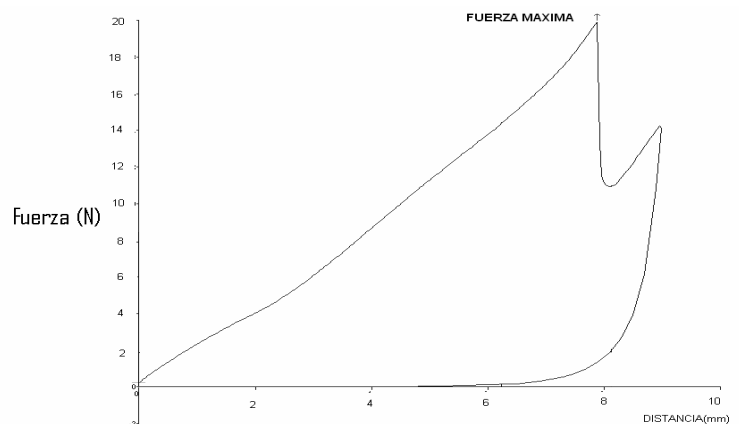


Figura 1. Curva de flujo obtenida bajo compresión unidireccional para la fuerza de fractura.

Figure 1. Flow curve obtained under uniaxial compression to the fracture force.

Fuerza de firmeza. Se determinó utilizando un analizador de textura (TA:XT2i, Stable Micro Systems, London, U.K), adaptándole una aguja de penetración cilíndrica de 2mm de diámetro. La fruta se sometió a un proceso de punzamiento a una velocidad de carga constante de 1 mm/s. Para cada grado de madurez (verde, pintón y maduro) se realizaron 10 repeticiones a través del tiempo de poscosecha del producto (1,3,5,7 y 9 días)

El valor de la fuerza de firmeza máxima y la fuerza de firmeza media fue determinado como lo indica la Figura 2.

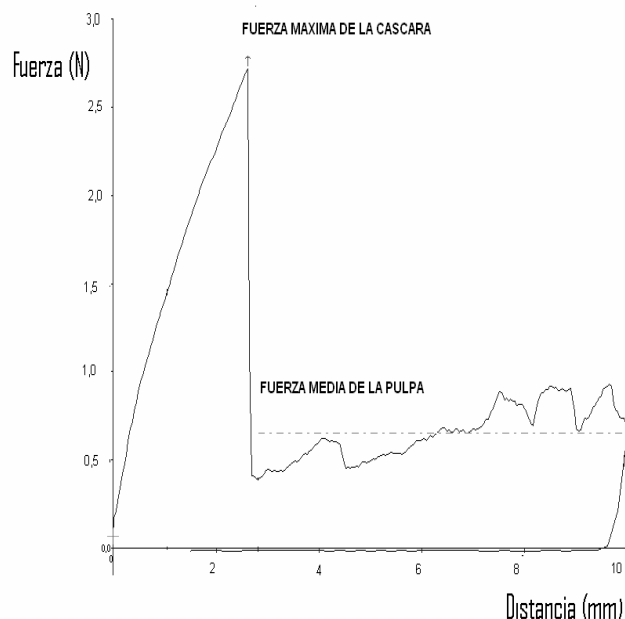


Figura 2. Curva de flujo obtenida bajo compresión unidireccional para la fuerza de firmeza

Figure 2. Flow curve obtained under uniaxial compression to the flesh firmness force

Análisis estadístico

Fuerza de fractura. Por cada grado de madurez de la fruta de Uchuva (*Physalis Peruviana l*) se realizó un arreglo factorial completamente aleatorizado de orden $5*2*10$ (5 tiempos de poscosecha, dos sentidos de carga y diez repeticiones) para un total de 300 unidades experimentales.

Fuerza de firmeza. Por cada grado de madurez de la fruta de Uchuva (*Physalis Peruviana l*) se realizó un arreglo factorial completamente aleatorizado de orden $5*1*10$ (5 tiempos de poscosecha, un sentido de carga y diez repeticiones) para un total de 150 unidades experimentales. La velocidad de deformación fue de 1 mm/s.

Los resultados de la fuerza de firmeza y fractura, fueron sometidos a un análisis de varianza a un nivel de significancia del 5%

($P=5\%$). Los valores promedios de los tratamientos se compararon utilizando pruebas de Duncan para $P=5\%$. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS, versión 8.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.).

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fuerza de Firmeza Máxima (Cáscara). En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza ($P=0,05$) para la variable respuesta fuerza de firmeza en la cáscara, utilizando tiempo de poscosecha y grado de madurez como factores fijos. Los resultados indicaron que el grado de madurez tiene un efecto significativo sobre la fuerza de firmeza máxima mientras que el factor tiempo y la iteración tiempo-madurez no son significativos.

Tabla 1. Análisis de varianza para la fuerza de firmeza máxima (Cáscara)

Table 1. Analysis of variance to maximum flesh firmness (skin).

Fuente de Variación	Valor de P
Madurez	< 0,0001
Tiempo	0,3897
madurez*tiempo	0,7107

La fuerza de firmeza máxima en la cáscara de Uchuva para el grado de madurez verde es superior significativamente con respecto al pintón y maduro e independiente del tiempo de poscosecha (Tabla 2).

Tabla 2. Prueba de Duncan ($P=5\%$) para la firmeza máxima.

Table 2. Duncan's test ($P=5\%$) to maximum flesh firmness force.

Grado de madurez	Media (N)
Maduro	1,697 ^A
Pintón	2,715 ^B
Verde	5,393 ^C

*Medias con diferente superíndice indican grupos estadísticamente diferentes.

Fuerza de Firmeza media (pulpa). En la Tabla 3 se muestra el análisis de varianza ($P=0,05$) para la variable respuesta fuerza de firmeza

media en la pulpa. Los resultados expresan que el grado de madurez, el tiempo de poscosecha y su interacción son significativos.

Tabla 3. Análisis de varianza para la fuerza de firmeza.

Table 3. Analysis of variance to the flesh firmness force.

Fuente de Variación	Valor de P
madurez	<0,0001
tiempo	<0,0001
madurez*tiempo	<0,0001

La Figura 3 muestra el comportamiento de la fuerza de firmeza media para la Uchuva, donde para el grado de madurez verde es significativamente superior con respecto al fruto pintón y maduro en los tres primeros días poscosecha. A partir de este día la fuerza tiende a ser igual e independiente con el grado de madurez de la fruta. También se observa que la resistencia mecánica de la fruta a la penetración tiende a disminuir con el tiempo de poscosecha del producto, lo cual está asociada con la degradación de la pared celular epidermal: los valores de la fuerza de firmeza medidas en el exocarpio son significativamente diferentes con los valores medios obtenidos en la pulpa, cuyo valor es un promedio generalizado para la región mesocarpiana y jugosa.

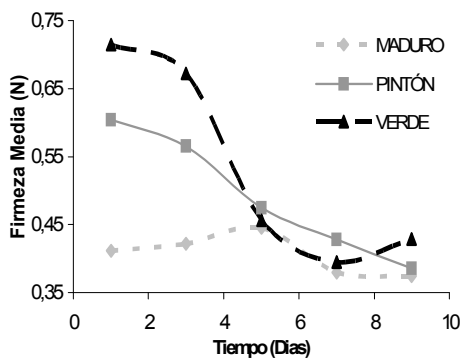


Figura 3. Comportamiento de la fuerza de firmeza media.

Figure 3. Flesh firmness force obtained in the fruit pulp.

Prueba de Fractura. La Tabla 4 muestra un análisis de varianza ($P=0,05$) para el factor tiempo, grado de madurez y dirección de carga

(longitudinal y transversal) con sus respectivas iteraciones expresando efectos significativos sobre la variable de respuesta fuerza de fractura.

Tabla 4. Análisis de varianza para la fuerza de fractura.

Table 4. Analysis of variance to the fracture force.

Fuente de Variación	Valor de P
Madurez	<0,0001
Posición	<0,0001
madurez*posición	<0,0001
Tiempo	0,0015
madurez*tiempo	<0,0001
posición*tiempo	0,0061
madurez*posición*tiempo	0,0148

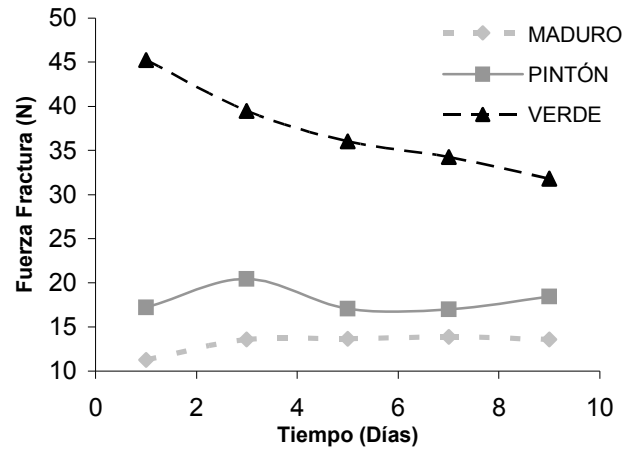


Figura 4. Fuerza de fractura bajo compresión unidireccional (posición longitudinal).

Figure 4. Fracture force under uniaxial compression (longitudinal loading).

El fruto verde presenta la mayor resistencia mecánica a la fractura con respecto al fruto maduro y pintón para el tiempo de poscosecha evaluado (Figura 4). La fruta en condición madura es la que presenta más baja resistencia mecánica. Existe una notable disminución de esta propiedad para los frutos verdes con respecto a los demás grados de maduración. Comportamiento similar se presenta para la posición de carga transversal (Figura 5).

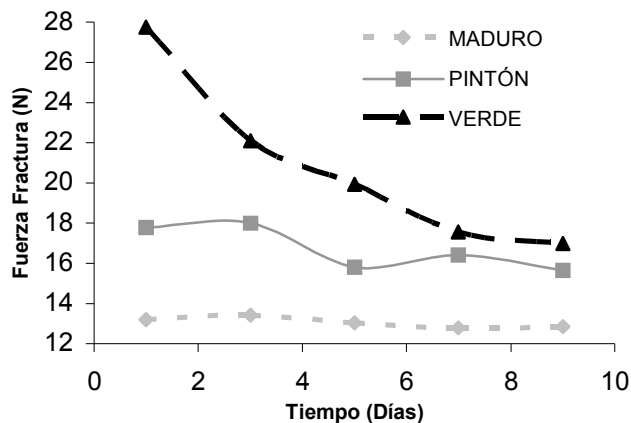


Figura 5. Fuerza de fractura bajo compresión unidireccional (posición transversal).

Figure 5. Rupture force under uniaxial compression (transversal loading).

La Figura 4 y 5 muestran que la tasa de disminución de resistencia para los frutos verdes es más alta con respecto a los demás grados de madurez. Esto puede ser originado fundamentalmente a que la fruta cosechada en su estado de maduración verde exhibe más altas tasas de respiración, lo cual incrementa el proceso de maduración y una disolución progresiva más altas de la pared celular y lamela media llevando a un cambio más significativo en el ablandamiento de la fruta (Aguilera y Stanley, 1999)

En la Tabla 5 se encuentran los promedios generalizados de la fuerza de fractura para los diferentes grados de maduración en función de la dirección de carga. Los resultados indican que para una dirección de carga dada la resistencia es más alta para el fruto verde con respecto al pintón y maduro mostrando diferencias significativas para $P=5\%$. Para el fruto verde su resistencia a la fractura es más alta en posición longitudinal que transversal, situación similar ocurre para el grado de madurez pintón. Sin embargo para el fruto maduro la resistencia en dirección longitudinal y transversal es similar.

La fruta en condición verde exhibe la más alta anisotropía del material.

Tabla 5. Prueba de Duncan para la fuerza de fractura.

Table 5. Dunca's test to the fracture force.

Grado de madurez	Posición	Posición
	Longitudinal: Fuerza de fractura (N)	Transversal: Fuerza de fractura (N)
maduro	13,1727 ^A	13,0718 ^A
pintón	18,0423 ^B	16,8274 ^B
verde	40,2481 ^C	23,2637 ^C

* Medias con diferente superíndice indica grupos estadísticamente diferentes al 5%.

La disminución de la resistencia mecánica de la fruta de uchuva tanto a fractura y firmeza puede ser debido a que durante el proceso de maduración estudiado se presenta un ablandamiento de la rigidez celular de la fruta originado por una degradación de los hidratos de carbono poliméricos específicamente sustancias pécticas y hemicelulares, las cuales debilitan las fuerzas cohesivas entre células y la pared celular. Además, Aguilera y Stanley (1999) consideran que durante la maduración la velocidad de degradación de las sustancias pécticas está relacionada con el ablandamiento de la fruta, situación similar expresan Rao y Steffe (1992), los que explican que durante la maduración las sustancias pécticas se depolimerizan y solubilizan además de que las células pierden humedad debido a la transpiración disminuyendo la presión de turgencia y debilitando finalmente la estructura y consistencia de la fruta.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Ya que la fruta de la Uchuva exhibió un comportamiento altamente dependiente del tiempo, es indispensable relacionar la respuesta mecánica del fruto con propiedades físicas y químicas tales como color, tamaño (dimensiones geométricas), grados Brix, acidez, temperatura y humedad relativa, presión de turgencia entre otras.

Establecer parámetros de manejo de poscosecha de la fruta intentando correlacionar la respuesta reológica del producto con estudios de vida útil,

almacenamiento, empaque, condiciones de transporte y sistemas de procesamiento.

REFERENCIAS

- [1] AGUILERA, JOSÉ MIGUEL AND STANLEY, DAVID W. Microestructural principles of food processing and engineering (Second edition). ASPEN publication, Maryland (EEUU), 251-29, 1999.
- [2] ANZALDÚA y MORALES, A. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Edit. ACRIBIA, Zaragoza, España, 1994.
- [3] BARBOSA CÁNOVAS, GUSTAVO. FERNÁNDEZ MOLINA, JUAN J. ALZAMORA, STELLA M. TAPIA, MARIA S. LÓPEZ MALO, AURELIO AND CHANES, JORGE WELTI. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas: Technical manual. FAO Agricultural Services (Bulletin 149), Roma, 2003.
- [4] BOURNE, M. Food texture and viscosity. New York: Academia Press. 2ed, 2002.
- [5] CRISOSTO, CARLOS, KATRINA SHEAFFER, BOYD, JOAN, GARNER, DAVID, LABAVITCH, JOHN, AND SHACKEL, KEN. Improving the ripening protocol for warehouses and retail stores. Delayed cooling. 1998 Research Report, California Peaches, Plums, and Nectarines. California Tree Fruit Agreement, 1998.
- [6] CHÁVEZ, S. y FRANCO, H. Propiedades biomecánicas de los frutos, caso zarzamora. En: Memoria IX Curso de Actualización, Frutales con Futuro en el Comercio Internacional. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX, S.C. México, 1996.
- [7] FEKETE, A. Elasticity characteristics of fruits. Acta Hort. 368, 199-205, 1994.
- [8] GUTIERREZ, ABELARDO, BURGOS, JOSÉ ANTONIO AND MOLTO, ENRIQUE. Pre-commercial sorting line for peaches firmness assessment. Journal of Food Engineering, 81, 721-727, 2007.
- [9] HERNÁNDEZ GÓMEZ, ANTIHUS, WANG, JUN AND GARCÍA PEREIRA, ANNIA. Impulse response of pear fruit and its relation to Magness-Taylor firmness during storage, Postharvest Biology and Technology, 35, 209-215, 2005.
- [10] Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). Norma Técnica Colombiana 4580. Disponible en: <http://www.cci.org.co/ManualdelExportador/Frut as/Uchuva/Calidad02.htm>, 1999.
- [11] KADER, A. Potential for improving quality and extending postharvest life of stone fruits by genetic manipulation. Segundo Seminario Internacional en Mejoramiento Genético de Frutales de Carozo. Actualizaciones en mejoramiento genético y poscosecha y su relación con el mercado. Santiago, Chile, 12 y 13 de noviembre de 2002. Universidad de Chile, Santiago, Chile. 58-60, 2002.
- [12] KONOPACKA, D. and PLOCHARSKI, W. J. Effect of storage conditions on the relationship between apple firmness and texture acceptability, Postharvest Biology and Technology, 32(2), 205-211, 2004.
- [13] MERCEDES CEDEÑO, MARÍA Y MONTENEGRO, DIANA MARGARITA. Plan exportador, logístico y comercialización de uchuva al mercado de Estados Unidos para FRUTEXPO S.C.I., Ltda (Tesis de grado-Ingeniería Agroindustrial), Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia), 2004.
- [14] MOHSENIN, N. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986.

- [15] MURAMATSU, NOBORU, SAKURAI, NAOKI, YAMAMOTO, RYOICHI, NEVINS, DONALD J., TAKAHARA, TOSHIO AND OGATA, TATSUSHI. Comparison of a non-destructive acoustic method with an intrusive method for firmness measurement of kiwifruit, *Postharvest Biology and Technology*, 12, 221–228, 1997.
- [16] POLLAK, K. AND PELEG, M. EARLY indication of failure in large compressive deformation of solid foods, *Journal of Texture Studies*, 45, 825-830, 1980.
- [17] RAO, M.A. and STEFFE, J.F. Viscoelastic properties of foods. ELSEVIER, USA., 1992
- [18] SHMULEVICH, I., GALILI, N., and HOWARTH, M.S. Nondestructive dynamic testing of apples for firmness Evaluation. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 287-299, 2003.
- [19] SINGH, KRISHNA K. AND REDDY, Sreenivasula B. Post-harvest physic-mechanical properties of orange peel and fruit, *Journal of Food Engineering*, 73, 112–120, 2006.
- [20] SHEWFELT, R.L., What is quality? *Postharvest Biol. Technol.*, 15, 197-200, 1999.
- [21] STROSHINE, R.. Physical properties of agricultural materials and food products. Department of Agricultural and Biological Engineering (Purdue University), West Lafayette, 1999.
- [22] SURMACKA-SZCZESNIAK, A., Texture is a sensory property. *Food Qual. Prefer.* 13, 215–225, 2002.
- [23] THOMPSON, A. KEITH. Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas. Convenio SENA-Reino Unido, Colombia, 48-5, 1998.
- [24] VALENTE, MARC AND FERRANDIS, JEAN YVES. Evaluation of textural properties of mango tissue by a near-field acoustic method. *Postharvest Biology and Technology*, 29, 219-228, 2003.
- [25] VALERO UBIERNA, C. y RUIZ ALTISENT, M. 1996. Técnicas de medida de la calidad de frutas. Dpt. Ingeniería Rural, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid. Disponible en: <http://www.iru16.iru.etsia.upm.es/pdf/2000%20Ctmcs.PDF> (consultada en noviembre 11 de 2006).