

ESTUDIO PRELIMINAR DE LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA FRACTURA Y FUERZA DE FIRMEZA PARA FRUTA DE UCHUVA (*Physalis peruviana* L.)

Héctor José Ciro Velasquez¹; Omar Hideki Buitrago Giraldo² y
Sebastián Adolfo Pérez Arango³

RESUMEN

*Se hizo la caracterización reológica de la uchuva (*Physalis peruviana* L.) a través de la respuesta mecánica bajo ensayos de compresión unidireccional a pruebas de firmeza y fractura, para 3 grados de madurez (verde, pintón y maduro) y los días transcurridos después de la cosecha (1, 3, 5, 7, 9 días). 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, indicando que el fruto maduro es más susceptible al daño mecánico con respecto al verde y pintón.*

Palabras claves: Uchuva, firmeza, fuerza de fractura, reología, textura, daño mecánico.

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY OF MECHANICAL RESISTANCE TO FRACTURE AND FIRMNESS FORCE FOR UCHUVA (*Physalis peruviana* L) FRUITS

*A rheological characterization under unidirectional compression of uchuva fruits (*Physalis peruviana* L.) was undertaken measuring the flesh firmness force and the fracture force according to three specific developmental stages unripe, ripening, ripe and five postharvest times (1,3,5,7 and 9 days). The results showed that the flesh firmness and the mechanical resistance to the fracture in two loading directions longitudinal and transversal diminish with the postharvest time. Moreover, the ripe fruit is more susceptible to mechanical damage with respect to unripe and ripening fruit.*

Key words: Uchuva, flesh firmness, fracture force, rheology, texture, mechanical damage.

¹ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <hjciro@unal.edu.co>

² Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia <ohbuitra@unalmed.edu.co>

³ Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <saperez0@unalmed.edu.co>

Recibido: Junio 18 de 2006; aceptado: Abril 29 de 2007.

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín.Vol.60,No.1.p.3785-3796. 2007

En la actualidad, Colombia es el mayor productor de uchuva (*Physalis peruviana* L.) del mundo, seguido por Sudáfrica. El cultivo de la uchuva es un renglón de la economía agrícola, que presenta muy buenas perspectivas, por el gran interés que prestan los mercados nacionales e internacionales; el cual se deriva principalmente de las características medicinales que posee la fruta y a su contenido nutricional que supera a otros frutos considerados como sobresalientes.

La uchuva pertenece al grupo de las frutas tropicales y goza de un alto posicionamiento, caracterizado por el consumo elitista y la distribución en puntos de venta de frutas exóticas exclusivas, en hoteles y restaurantes. Comparando a la uchuva sudafricana y europea, la cultivada en Colombia es más dulce, de tamaño más grande y color atractivo, lo que representa una oportunidad de promoción y diferenciación para el producto nacional.

El mercado externo, exige unas normas de calidad en las que el empaque debe tener una resistencia a la compresión, aptitud para el apilamiento, estabilidad durante el transporte y aireación adecuada. Sin embargo, hasta el momento en Colombia existe un desconocimiento global en el sector frutícola de la resistencia y comportamiento mecánico de las frutas, lo cual ha originado una falta de conocimientos apropiados a nivel de manejo de cosecha y poscosecha de esta fruta que permitan controlar los posibles riesgos por daño mecánico.

La uchuva es una planta originaria de América del sur y actualmente cultivada con fines comerciales en otras regiones del mundo como los altiplanos de los países tropicales y en varios subtropicales que incluyen Malasia, China y los países del Caribe, entre otros. La planta crece silvestre y semisilvestre en las zonas tropicales altas entre los 1500 y 3000 msnm. La fruta es altamente nutritiva con contenidos importantes de vitaminas A y C, Hierro y Fósforo, es una baya carnosa en forma de globo, con un diámetro que oscila entre 1,25 y 2,5 cm y un peso entre 4 y 10 g, cubierto por un cáliz o capacho formado por cinco sépalos que la protege contra insectos, pájaros, patógenos y condiciones climáticas extremas (Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC 1999).

Las frutas se consideran materiales viscoelásticos los cuales presentan conjuntamente propiedades de flujo viscoso y sólido elástico (Mohseinin 1986). Además, Rao y Steffe 1992, consideran que factores tales como la presión de turgencia, rigidez de la pared celular, contenido de fibra y agua, tiempo, temperatura y dimensiones geométricas del producto determinan el comportamiento reológico de una fruta o vegetal. Algunas pruebas reológicas típicas en productos de naturaleza viscoelástica tales como relajación y fluencia son descritas por (Ibarz y Barbosa 2003).

Kader 2002, señala que, en el caso de la fruta, el sabor es el factor que mayor ponderación debe tener, por sobre aquellos que tradicionalmente

han tenido mayor consideración, como son el aspecto y la textura. Anzaldúa 1994, en cambio, sostiene que los consumidores están cada vez más concientes de la textura, y que los nuevos productos basan su atractivo en nuevas y diferentes texturas, más que en nuevos sabores u otras propiedades senso-riales. A su vez, define a la textura como la propiedad sensorial de los alimentos, que es detectada por los sentidos del tacto, la vista y el oído, y que se manifiesta cuando el alimento sufre una deformación ante la imposición de una fuerza.

Las propiedades reológicas de los productos hortofrutícolas constituyen aspectos importantes de calidad, especialmente en frutas tan delicadas y de corta vida de anaquel. Entre esas propiedades están el peso y el tiempo que podrían soportar antes de llegar a sus límites de elasticidad, de deformación plástica, o de resistencia al corte en diferentes estados de madurez, así como el grado de deformación cuando la fruta cae de diferentes alturas y sobre diversos tipos de superficies, todo ello con la finalidad de conocer la resistencia de la fruta al daño mecánico y de esta manera mejorar su manejo postcosecha (Chávez y Franco 1996).

Mohsenin 1974, considera que las propiedades mecánicas de las frutas y hortalizas pueden tener aplicaciones prácticas, como la caracterización del material, la determinación del tiempo óptimo de cosecha y del mejor método de separación de la planta, la eliminación de productos con calidad indeseable, y la disminución del daño

mecánico durante su cosecha y poscosecha, además en el diseño de equipos. En este contexto, Mohsenin 1974, define a la reología como la ciencia que estudia las propiedades mecánicas y estructurales de las frutas y vegetales en sus diversos estados físicos. Además, Szczesniak 1973, considera que la textura es la variable que involucra a todas las propiedades mecánicas de un alimento, cuya determinación incluye cinco parámetros primarios: firmeza, elasticidad, cohesividad, viscosidad, adhesividad.

Mohsenin 1986, define los modelos reológicos como representaciones mecánicas dispuestas en una combinación definida de resortes y amortiguadores, las cuales son usadas para explicar, interpretar y predecir el comportamiento de los materiales viscoelásticos y suponen el funcionamiento cualitativo con cierto grado de aproximación al comportamiento del material. El resultado del comportamiento mecánico conduce a resultados de naturaleza reológica basadas en la Ley de Hooke y la Ley de viscosidad newtoniana. Entre los modelos viscoelásticos lineales más ampliamente usados están los de Maxwell, Kelvin y Burger.

De acuerdo a Mohsenin 1986, los materiales biológicos son considerados materiales de ingeniería cuyas propiedades mecánicas están relacionadas con el comportamiento del material bajo la acción de fuerzas aplicadas, donde la fractura mecánica ha sido reconocida como una de las principales características texturales de los alimentos, ya que tiene notables

implicaciones con la respuesta sensorial a la masticación como también un factor decisivo en operaciones de manejo y almacenamiento de productos y en la determinación de la aplicabilidad de métodos de transporte y funcionamiento de equipos (Pollak y Peleg 1980).

Según Stroshine 1999, la fractura puede ser descrita a nivel macroscópico como la formación de grietas o ranuras en el producto, sin embargo, existen otros tipos de falla en los cuales las células pueden ser fracturadas, situación que ocurre especialmente en frutas y vegetales cuando existe un daño por "magulladura". Por otra parte, el proceso de fractura se puede considerar constituido por dos componentes, la iniciación y la propagación de la grieta (Dieter 1986). Además de estos dos componentes, Bourne 2002, considera un tercer componente: falla final.

La fractura puede ser clasificada en dos (2) categorías generales: *fractura dúctil* y *fractura frágil*. La fractura dúctil es caracterizada por una apreciable deformación plástica antes y apreciable absorción de energía durante la propagación de la grieta mientras la fractura frágil es caracterizada por una rápida propagación de la grieta sin alta absorción de energía (Dieter 1986).

Rao y Steffe 1992, reconocen que 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.

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, donde el módulo de elasticidad o de Young es una buena medida para materiales como el acero, pero para frutas no es adecuado porque éstas tienen características viscoelásticas, por lo que se recomienda utilizar un coeficiente de elasticidad específico para este tipo de materiales (Fekete 1994).

De acuerdo a Barbosa *et al.* 2003, además de que la fuerza de firmeza es el mejor indicador a nivel práctico para determinar la maduración de una fruta en sus diferentes etapas, ésta determina los niveles óptimos de consumo, transporte y manejo del producto. Situación similar expresan Crisosto *et al.* 1998, quienes afirman que la fuerza de firmeza además de determinar el estado de maduración de una fruta y adicionalmente es un buen predictor de su vida útil potencial y grado de ablandamiento.

Thompson 1998, define la firmeza como un proceso no destructivo el cual es utilizado para determinar la calidad de poscosecha de una fruta y que su técnica de determinación puede ser basada en deformación forzada, fuerza-impacto, vibración de baja frecuencia, vibración sónica y respuesta acústica, y considera que una fruta puede cambiar su firmeza durante el proceso de poscosecha especialmente durante la madurez fisiológica cuando el producto se ablanda rápidamente.

Watada 1995, también estima que la firmeza puede ser medida con la fuerza requerida para deformar o penetrar un producto, y agrega que el método de deformación permite registrar la curva del tiempo-fuerza conocida como perfil de firmeza. Finney 1973, comenta que la resistencia al corte se considera como la máxima fuerza requerida para romper un material, mientras que la plasticidad es la deformación permanente que presenta el material al aplicarle cierta fuerza.

Según Valero y Ruiz 1996, la firmeza, es fundamental para la aceptabilidad de los frutos y para su posible almacenamiento, depende del momento de recolección y de la temperatura de almacenamiento y puede relacionarse con el color externo. Además es un importante atributo físico usado por inspectores de campo, cultivadores, investigadores y consumidores para definir la calidad de una fruta (Mitcham *et al.*1997).

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 anual de 21 °C, precipitación promedio anual de 1500 mm, humedad relativa de 65 % y una altitud sobre el nivel del mar de 1470 m.

El C. I. La Selva de CORPOICA, suministró la fruta procedente de una misma producción y variedad.

Materiales y equipos.

Uchuvas clasificadas en tres grados de madurez diferentes: verde, pintón y maduro.

Analizador de textura: Texture Analyser: Modelo TA-XT2i 110v. 50/60Hz. 500 ma.

Plato de compresión de 75 mm de diámetro.

Aguja de penetración cilíndrica de 2 mm de diámetro.

Software Texture Expert Exceed. Version 1.00.

Agua destilada.

Bolsas plásticas.

Software estadístico SAS. Versión 8.0.

Métodos. Determinación de la fuerza de fractura.

Las frutas fueron sometidas a pruebas de compresión unidireccional en dos sentidos de carga (longitudinal y transversal) a una velocidad de 1 mm/s a través del tiempo (1, 3, 5, 7, 9 días), el cual fue tomado 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 considero a lo largo del ecuador.

La información obtenida fue procesada usando el software Texture Expert Exceed versión 1.00. El valor de la fuerza de fractura para cada ensayo fue determinado mediante la información grafica fuerza contra deformación. Esta variable fue definida como el punto donde existió una caída brusca de la fuerza representando un aumento de la deformación del producto.

Para establecer la fuerza de firmeza la fruta se sometió a un proceso de punzamiento a una velocidad de 1 mm/s,

donde para cada grado de madurez (verde, pintón y maduro) se realizaron 10 repeticiones a través del tiempo (1, 3, 5, 7, 9 días), el cual fue contado a partir del día en que se cosecharon las frutas.

Por medio de la gráfica fuerza-deformación proveniente del software Texture Expert Exceed, versión 1.00, se obtuvo la fuerza máxima en Newtons que necesita la sonda para penetrar la cáscara de la uchuva, y la fuerza media que corresponde a la fuerza que necesita el dispositivo para penetrar posteriormente la pulpa

Análisis estadístico. Para la fuerza de fractura y por cada grado de madurez de la fruta de uchuva se realizó un arreglo factorial completamente aleatorizado de orden $5 \times 2 \times 10$ (5 días después de la cosecha, dos sentidos de carga y diez repeticiones) para un total de 300 unidades experimentales. La velocidad de deformación fue de 1 mm/s, las direcciones de carga longitudinal y transversal. Los resultados de la fuerza de fractura, fueron sometidos a un análisis de varianza a un nivel de significancia de 5 % y los valores promedio de los tratamientos se compararon utilizando pruebas de Duncan a un nivel de significancia de 5 %.

Para la fuerza de firmeza y por cada grado de madurez de la fruta de uchuva

se realizó un arreglo factorial completamente aleatorizado de orden $5 \times 1 \times 10$ (5 días después de la cosecha, 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, fueron sometidos a un análisis de varianza a un nivel de confianza del 5 % y los valores promedio de los tratamientos se compararon utilizando pruebas de Duncan al 5 %. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS, versión 8.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización reológica: Carga unidireccional

Fuerza de firmeza máxima (pericarpio). En la Tabla 1 se muestra el análisis de varianza para la variable respuesta fuerza de firmeza en la cáscara, utilizando tiempo pos-cosecha (días) y grado de madurez como factores fijos. Los resultados mostraron que el grado de madurez tiene un efecto significativo sobre la fuerza de firmeza máxima mientras que el factor tiempo y la interacción tiempo - madurez no son significativos a un nivel de significancia del 5 %.

Tabla 1. Análisis de varianza para la firmeza máxima del pericarpio en frutas de uchuva.

Fuente de variación	Valor de P
Madurez	<,0001
Tiempo	0,3897
Madurez*Tiempo	0,7107

La Tabla 2 muestra un análisis de intervalos múltiples de Duncan al 5 % indicando que fuerza de firmeza máxima en el pericarpio de frutas de uchuva para el grado de madurez verde es superior

significativamente con respecto al pintón y maduro e independiente del tiempo de poscosecha. La Figura 1 muestra el valor medio de la fuerza máxima con sus intervalos de confianza al 5 %.

Tabla 2. Firmeza máxima del pericarpio de frutas de uchuva en diferente estado de desarrollo.

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

*Valores seguidos con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Duncan (P=0,05)

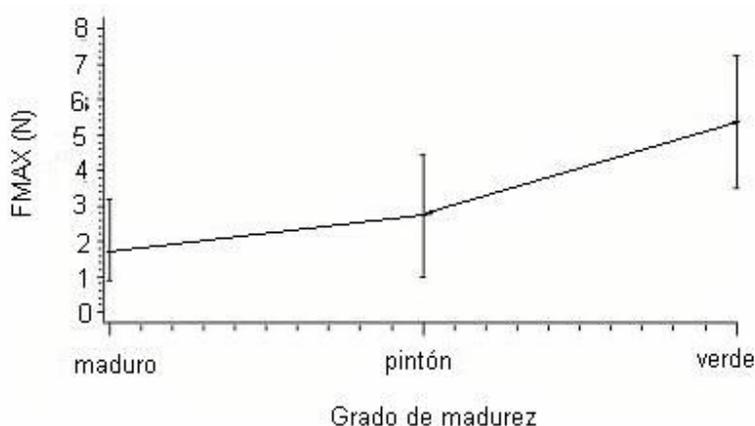


Figura 1. Comportamiento de la firmeza máxima del pericarpio en frutas de uchuva de acuerdo con el grado de madurez.

Fuerza de firmeza media (mesocarpio). En la Tabla 3 se presenta el análisis de varianza a un nivel de significancia del 5 % para la variable respuesta fuerza de firmeza media en la pulpa. Los resultados indican que el grado de madurez, el tiempo de poscosecha y su interacción es significativa al 5 %.

Tabla 3. Análisis de varianza para la firmeza media del mesocarpio interacción en frutas de uchuva.

Fuente de variación	Valor de P
Madurez	<0,0001
Tiempo	<0,0001
Madurez*Tiempo	<0,0001

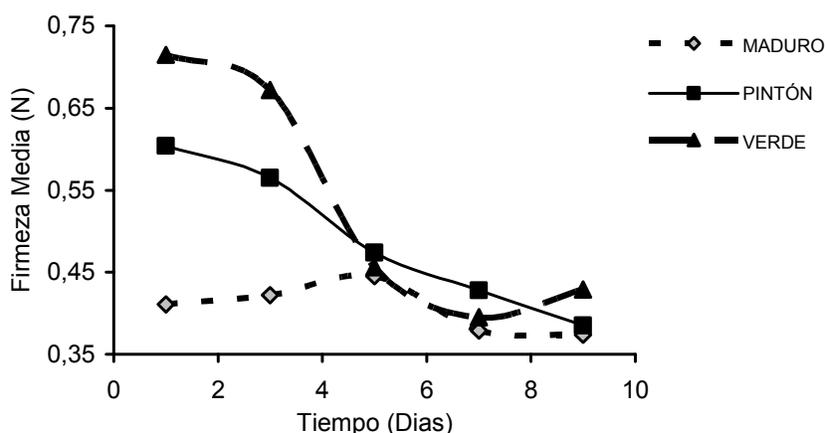


Figura 2. Comportamiento del grado de madurez en frutas de uchuva en los días transcurridos después de la cosecha.

La Figura 2 permite apreciar que la fuerza de firmeza en el grado de madurez verde, es superior con respecto a la fruta en estado pintón y madura en los tres primeros días posteriores a la cosecha. 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 asociado con la degradación de la pared celular epidérmica: los valores de la fuerza de firmeza medidas en el exo-

carpio son significativamente diferentes con los valores medios obtenidos en la pulpa, cuyo valor es un promedio generalizado para la región mesocarpiana y jugosa.

Prueba de fractura. La Tabla 4 muestra un análisis de varianza al 5 % para el factor tiempo, grado de madurez y dirección de carga (longitudinal y transversal) con sus respectivas interacciones con efectos significativos sobre la variable de respuesta fuerza de fractura.

Tabla 4. Análisis de varianza para la fractura en frutas de uchuva.

Fuente de variación	Valor de P
Madurez	<0,0001
Posición	<0,0001
Madurez*Posición	<0,0001
Tiempo	0,0015
Madurez*Tiempo	<,0001
Posición*Tiempo	0,0061
Madurez*Posición*Tiempo	0,0148

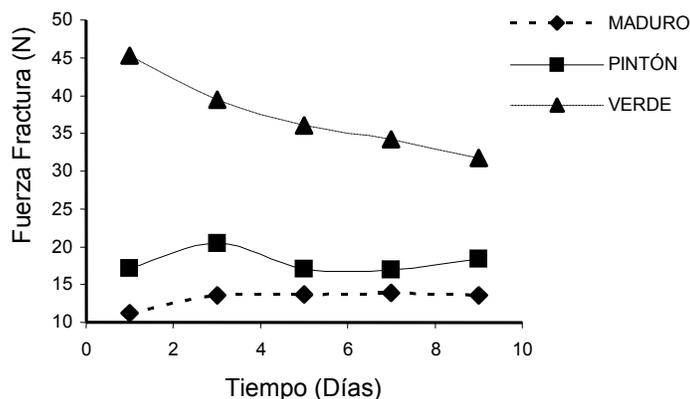


Figura 3. Resistencia mecánica de frutas de uchuva en posición longitudinal según el estado de desarrollo y el tiempo posterior a la cosecha.

En la Figura 3 se observa que el fruto verde presenta mayor resistencia mecánica a la fractura con respecto al fruto maduro y pintón para el tiempo de poscosecha evaluado. La fruta en condición madura es la que presenta más baja resistencia mecánica. También es notable la disminución de la resistencia mecánica a la fractura de los frutos verdes con respecto a los demás grados de maduración. Comportamiento similar se presenta para la posición de carga transversal (Figura 4).

Además un análisis de las Figuras 3 y 4 muestra que la tasa de disminución de resistencia para los frutos verdes es más alta con respecto a los demás grados de madurez, esto debido fundamentalmente a que la fruta cosechada verde exhibe más altas tasas de respiración, lo cual hace acelerar el proceso de maduración y una disolución progresiva de la pared celular y lamela media llevando a un cambio mas significativo en el ablandamiento de la fruta (Aguilera y Stanley 1999).

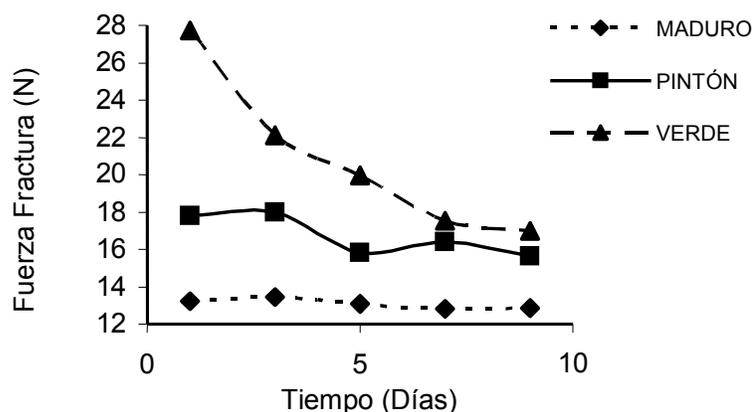


Figura 4. Resistencia mecánica de frutas de uchuva en posición transversal según el estado de desarrollo y el tiempo posterior a la cosecha.

La Tabla 5 muestra 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 mos-

trando diferencias significativas al 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.

Tabla 5. Fuerza de fractura en frutas de uchuva en posición longitudinal con diferente estado de desarrollo.

Grado de madurez	Posición longitudinal Fuerza de fractura (N)	Posición 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

* Valores seguidos con letras iguales no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba de Duncan (P=0,05)

La disminución de la resistencia mecánica de la fruta de uchuva tanto a fractura y firmeza puede ser debida a que durante el proceso de maduración estudiado, se presenta un ablandamiento de la rigidez celular de la fruta. Es conocido que durante este proceso existe 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.

En un segundo estudio se correlacionarán los valores hallados de fuerza de fractura y fuerza de firmeza con propiedades físico-químicas tales como color, SST, pH y acidez.

CONCLUSIONES

La fruta de uchuva es un material altamente anisotrópico, donde su comportamiento reológico a la compresión unidireccional depende significativamente del grado de madurez, de la dirección de carga y el tiempo de poscosecha.

La resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para frutas de uchuva disminuyen con el tiempo de poscosecha de la fruta, esto originado fundamentalmente por el proceso de maduración y

ablandamiento de la fruta. La fruta de uchuva en su estado de desarrollo madura es más susceptible a daños mecánicos a nivel de poscosecha con respecto a las frutas verdes y pintonas.

RECOMENDACIONES

Ya que la fruta de la uchuva exhibió un comportamiento altamente dependiente del tiempo, se hace necesario adelantar estudios que pretendan predecir el comportamiento reológico tanto a fractura como a firmeza en función de parámetros ambientales tales como temperatura y humedad relativa además de propiedades a nivel micro y macro estructural del producto incluyendo la presión de turgencia del material celular.

Estos hallazgos serán útiles para adelantar investigaciones que permitan correlacionar los valores encontrados con estudios de vida útil, almacenamiento y condiciones de transporte y manejo del producto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar sus más sinceros agradecimientos al C. I. La Selva de CORPOICA, por el apoyo brindado para llevar a cabo esta investigación.

BIBLIOGRAFIA

Aguilera, José Miguel and Stanley, David W. 1999. Microestructural principles of food processing and engineering. 2nd. ed. Maryland, USA: ASPEN Publications. 495 p.

Anzaldúa Morales, A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Zaragoza, España: Acribia. 198 p.

Barbosa Cánovas, Gustavo; Fernández Molina, Alzamora, Juan J. Stella M. Tapia, Maria S. López Malo, Aurelio and Chanes, Jorge Welti. 2003. Handling and preservation of fruits and vegetables by combined methods for rural areas. Roma: Agriculture Organization of the United Nations. 99 p. (Technical Manual FAO Agricultural Services Bulletin, no. 149).

Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity. Concept and measurement 2nd. ed. New York: Academic Press. 416 p.

Crisosto, Carlos; Sheaffer, Katrina Boyd, Joan; Garner, David; Labavitch, John and Shackel, Ken. 1998. Improving the ripening protocol for warehouses and retail stores. Delayed cooling 1998. Research Report, California peaches, plums, and nectarines. California: Tree Fruit Agreement. p. 30-46.

Chávez, S. y Franco, H. 1996. Propiedades biomecánicas de los frutos, caso zarzamora. En: IX Curso de Actualización, Frutales con Futuro en el Comercio Internacional. (1996: México). Memorias. México: Fundación Salvador Sánchez Colin CICTAMEX, S.C. 165 p.

Dieter, George, E. 1986. Mechanical metallurgy. 3rd. ed. New York: Mc Graw Hill. 249 p.

Fekete, A. 1994. Elasticity characteristics of fruits. En: Internanational Agrophysics. Vol. 8, no. 3; p. 411-414.

- Finley, J. R. E. E. 1973. Elementary concepts of rheology relevant to food texture studies. p. 33-51. En: Kramer, A. and Szczesniak, A. S., eds. Texture measurements of foods. New York: Reidel Publishing Company.
- Ibarz, A. and Barbosa Cánovas, Gustavo. 2003. Unit operations in food engineering. Boca Raton, FA: CRC Press. 882 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 1999. Frutas frescas: uchuva. Bogotá: ICONTEC. 15 p. (Norma Técnica Colombiana; NTC-4580).
- Kader, A. 2002. Potential for improving quality and extending postharvest life of stone fruits by genetic manipulation. p. 58-60. En: Segundo Seminario Internacional en Mejoramiento Genético de Frutales de Carozo: Actualizaciones en mejoramiento genético y postcosecha y su relación con el mercado (2002: Santiago, Chile). Memorias Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Mitcham, Elizabeth; Clayton, Murray; Biasi Bill y Southwick Steve. 1997. Evaluation of four cherry firmness measuring devices. Davis, CA: University of California. Department of Pomology. (13th Annual Postharvest Conference, article # PC971).
- Mohsenin, N. N. 1974. Mechanical properties of fruits and vegetables. Review of a decade of research applications and future needs. En: Transactions of the ASAE. Vol. 15; p. 1064-1070.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach Science Publishers. 664 p.
- Pollak, K. and Peleg, M. 1980. Early indication of failure in large compressive deformation of solid foods. En: Journal of Texture Studies, Vol. 45, no. 4; p. 825-830.
- Rao, M. A. and Steffe, J. F. 1992. Viscoelastic properties of foods. New York: Elsevier Applied Science. 444 p.
- Stroshine, R. 1999. Physical properties of agricultural materials and food products. West Lafayette: Purdue University. Department of Agricultural and Biological Engineering. 152 p.
- Szczesniak, A. S. 1973. Instrumental methods of textural measurements. p. 71-104. En: Kramer, A. and Szczesniak, A. S., eds. Texture measurements of foods. New York: Reidel Publishing.
- Thompson, A. Keith. 1998. Tecnología post-cosecha de frutas y hortalizas. Convenio SENA-Reino Unido, Colombia. p. 48-51.
- Valero Ubierna, C. y Ruiz Altisent, M. 1996. Técnicas de medida de la calidad de frutas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ingeniería Rural. Disponible en Internet. <http://www.lpftag.upm.es/pdf/2000%2520CtmcsPDF+T%C3%A9cnicas&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co>[Consultada: 25 Jun. 2006].
- Watada, A. 1995. Methods of determining quality of fruits and vegetables. Acta Horticulturae. Vol. 379, p. 559-567.