

FUERZA DE FRACTURA SUPERFICIAL EN GRANADILLA (*Pasiflora ligularis* Juss) y TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea* Sendt): ESTUDIO EXPERIMENTAL

Héctor José Ciro Velásquez¹; Diego Vahos Monsalve² y
Elkin Alonso Cortés Marín³

RESUMEN

Frutas de granadilla (*Pasiflora ligularis* Juss) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) fueron sometidas a cargas de compresión unidireccional usando un analizador de textura TA.XT2i. Los ensayos se realizaron según dos sentidos de carga (longitudinal y transversal) y cuatro velocidades (1, 3, 6 y 9 mm/s). Los análisis estadísticos mostraron que la fuerza de fractura para las dos frutas es independiente de la velocidad de compresión, donde la fuerza de fractura para granadilla es independiente de la dirección de carga tomando un valor de 93,3 N (9,52 kgf) mientras que en tomate de árbol esta fuerza depende de la dirección de carga tomando valores en sentido longitudinal de 144,697 N (14,765 kgf) y en sentido transversal de 185,827 N (18,962 kgf).

Palabras claves: fractura, propiedad mecánica, viscoelasticidad, daño mecánico, granadilla, tomate de árbol.

¹ Profesor Asistente. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. - hjciro@unalmed.edu.co -

² Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. - dlvahos@yahoo.com -

³ Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. - ecortes@unalmed.edu.co -

ABSTRACT

SUPERFICIAL FRACTURE FORCE IN GRANADILLA (*Pasiflora ligularis* Juss) and TOMATO TREE (*Cyphomandra betacea* Sendt): EXPERIMENTAL STUDY

Granadilla fruits (*Pasiflora ligularis* Juss) and tree tomatoes (*Cyphomandra betacea* Sendt) were subjected to unidirectional compression loads using a TA.XT2i texture analyzer. The trials were conducted employing two load directions (longitudinal and transversal) and four loading rates (1, 3, 6 and 9 mm/s). The statistical analyses showed that the fracture force for the two fruits is independent of the application velocity, with the fracture force for granadilla being independent of the load direction, exhibiting an average value of 93,3 N (9,52 kgf), while in tree tomatoes the force depended on the load direction, exhibiting mean values for longitudinal loads of 144,697 N (14,765 kgf) and 185,827 N (18,962 kgf) for transverse loads.

Key words: fracture, mechanical properties, viscoelasticity, mechanical damage, granadilla, tree tomatoes.

INTRODUCCIÓN

En Colombia la producción de granadilla (*Pasiflora ligularis* Juss) y tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) satisface la demanda nacional y en forma parcial la internacional. Los volúmenes de producción además de los riesgos de contaminación por agroquímicos y problemas fitosanitarios, también se ven expuestos a las condicionantes de manejo en la cosecha y en la poscosecha que afectan su calidad, protección, presentación y mercadeo.

Las frutas y vegetales son materiales biológicos, que desde su cosecha y en los procesos de manipulación durante la poscosecha están sometidos a diversas condiciones de fuerzas o cargas aplicadas, las cuales pueden ocasionar graves daños mecánicos que afectarán tanto su calidad, comercialización y precio; por lo tanto

resulta determinante identificar las magnitudes de esas cargas y esfuerzos para mejorar las técnicas de índices de cosecha, empaque, transporte, manejo, control de daño mecánico y de calidad teniendo presente la conservación de la calidad del producto ofreciéndole al consumidor un producto altamente valorable. Los modelos reológicos pueden predecir el comportamiento mecánico de los materiales sometidos a diferentes condiciones de esfuerzo. Sin embargo, debido a la heterogeneidad estructural de los materiales vegetales, la manipulación matemática se hace extensiva y laboriosa y en algunos casos infructuosa conllevando a la utilización de técnicas experimentales con el fin de determinar el comportamiento mecánico de estos tipos de materiales; admitiendo que dicho comportamiento puede estar afectado por una combinación de múltiples valores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas del producto.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades de la granadilla

Según Garcés y Saldarriaga (1992), la granadilla es un fruta tropical originaria de los altiplanos húmedos de la zona andina que por su forma, color y sabor, está abriendo un espacio importante en los mercados nacionales e internacionales.

El fruto es una baya indehisciente, de forma casi esférica, de 5 a 8 cm de diámetro, de color amarillo y vetado de blanco cuando madura; el pericarpio es duro y quebradizo, en su interior se encuentra la pulpa mucilaginoso grisácea y agrídulce que envuelve la semilla la cual es acorazonada y angosta (Jaramillo y Molina, 1984).

Según Saldarriaga (1998) la granadilla se ubica taxonómicamente así:

Reino: Plantae.
Subreino: Angiospermophyta.
Clase: Dicotiledónea.
Subclase: Archichamydae.
Orden: Aprietales.
Familia: Pasiflora.
Género: *Pasiflora*.
Especie: *ligularis* Juss.

De acuerdo con Garcés y Saldarriaga (1992) la granadilla se consume principalmente como fruta fresca y con ella se pueden preparar refrescos, mermeladas, jaleas y helados de agradable sabor y aroma.

Desde el punto de vista del mercado la granadilla tiene fortalezas competitivas con relación a otras frutas; es catalogada como

fruta tropical, conocida y difundida en los mercados nacionales e internacionales, con alta demanda en las estaciones de invierno y primavera, se consume fresca y por su belleza es utilizada en el comercio de la ornamentación en fechas y eventos especiales ligada a las flores (Jaramillo y Molina, 1984).

La norma técnica colombiana NTC 4101 citada por El Centro Nacional de Investigación en Café CENICAFÉ (1996) clasifica la granadilla independiente del calibre del color en tres categorías: extra, categoría I y categoría II, en cada una de las cuales los frutos deben estar enteros, tener forma esférica característica, estar libres de ataques de insectos y enfermedades, estar libres de humedad externa anormal, tener aspecto fresco y consistencia firme y exentas de materiales extraños; deben presentar pedúnculo mantener la capa de cera natural que recubre la fruta y no presentar deformaciones (hundimientos y agrietamientos).

Las enfermedades de poscosecha que ocasionan pérdida de la apariencia externa de la fruta son básicamente producidas por dos tipos de hongos muy similares en su manifestación: *Gloesporium gloesporioides* y *Colletotrichum gloesporioides*. Ambos inician el ataque en el campo, siendo más común *Colletotrichum gloesporioides* conocido como roña. El *Gloesporium gloesporioides* produce la enfermedad conocida como mancha parda o antracnosis. En este caso, a diferencia de la roña, no ocurre el ablandamiento de la cáscara de la fruta. Solo aparece cuando las condiciones de humedad y temperatura son altas o cuando las condiciones de almacenamiento y transporte son críticas y han producido daños mecánicos en el fruto (Saldarriaga, 1998).

Los métodos de empaque para el mercado interno Colombiano, se hacen generalmente en cajas de cartón por su bajo costo, facilidad de manejo y menor costo de transporte. Sin embargo, para su almacenamiento deben evitarse las torres superiores a cinco cajas de cartón, para disminuir el riesgo de daños por aplastamiento a las frutas (Nieto y Rivera, 2001).

Además de las cajas de cartón como método de empaque se puede utilizar una canastilla plástica de fondo liso. Las medidas externas son de 600 mm x 400 mm x 250 mm ó 500 mm x 300 mm x 300 mm, de tal forma que puedan conformarse dos o tres capas de producto dependiendo del calibre de la fruta, las cuales deben estar separadas por alvéolos (Saldarriaga, 1998).

Para el mercado de exportación el producto se puede presentar en envases rígidos de cartón corrugado, madera o combinación de ellos. Las dimensiones externas en la base de los empaques deben ser de 400 mm x 300 mm ó 500 mm x 300 mm (Saldarriaga, 1998).

Aspectos generales del tomate de árbol.

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea* Sendt) es originario de Filipinas y América Latina. A nivel comercial se produce en Filipinas, Nueva Zelanda, Kenia, Brasil, India Ecuador, Perú y Colombia. Es una baya de diferentes formas; son redondas aplanadas y ovaladas. La corteza o epicarpio liso es de color rojo o amarillo; la pulpa o mesocarpio es jugoso, ligeramente ácido, de color naranja, amarillo y rojo según la variedad (Gutiérrez y López, 1999).

El tomate de árbol, también conocido con el nombre de tamarillo, es originario de los Andes colombianos, ecuatorianos y pe-

ruanos. Es una fruta altamente nutritiva y con bajos niveles de calorías. Sus cualidades curativas sobre el sistema inmunológico la hacen una fruta muy apetecida en los mercados internacionales. Nueva Zelanda también produce tomate de árbol, aunque desarrolló una variedad comercial llamada negra obtenida como una variación entre los tipos amarillo y rojo oscuro. El resultado es una fruta de tamaño grande y de color rojo intenso, considerada de mejor calidad. En Colombia se comercializa en cajas que contienen entre 18 y 24 frutas con un peso entre 3 y 5 kg y ocasionalmente se exporta a España en cajas de 27 frutas y al Reino Unido en cajas de 30 frutas. Para el mercado externo el producto puede presentarse en empaques rígidos de cartón corrugado, de madera o la combinación de ambos que incluya separadores o una capa amortiguadora en la base.

El tomate de árbol debe ser acondicionado para su comercialización teniendo en consideración las exigencias de cada mercado y los requisitos para conservar su calidad. Para esto deben realizarse labores de selección, clasificación y empaque (Gutiérrez y López, 1999).

El empaque es importante en la poscosecha de tomate de árbol, ya que este influye en la conservación de la calidad, la protección y presentación del producto. Los que técnicamente protegen más al tomate de árbol son la canastilla plástica y el cartón corrugado (Gutiérrez y López, 1999).

Conceptos básicos de reología y fractura.

Los materiales biológicos pueden considerarse materiales de ingeniería cuyas propiedades mecánicas están relacionadas con su comportamiento bajo la acción de fuerzas aplicadas (Mohsenin, 1986).

El comportamiento mecánico de los materiales biológicos no es perfectamente elástico ni perfectamente plástico. Ellos exhiben un comportamiento simultáneo, son agrupados bajo la definición de materiales viscoelásticos y su comportamiento es representado por modelos reológicos (Mohsenin, 1986 y Stroshine, 1999).

De acuerdo con Mohsenin (1986) y Stroshine (1999) el conocimiento de las características mecánicas de frutas y productos vegetales, que son materiales viscoelásticos, es una información básica necesaria para el desarrollo de procesos mecanizados de cosecha, transporte, manejo, requerimientos de empaque, almacenamiento, procesos de transformación y control de daño mecánico.

La fractura de un material sólido puede considerarse como una propiedad mecánica del material donde ocurre una separación en dos o más partes bajo la acción de un determinado esfuerzo (Smith, 1996 y Dowling, 1998).

De acuerdo con Stroshine (1999) la fractura puede ser descrita de manera macroscópica como la formación de grietas o ranuras en el producto, sin embargo, existen otros tipos de fallas en las cuales las células pueden ser fracturadas como ocurre en frutas y vegetales cuando existe un daño por abrasión, el cual de acuerdo con Mohsenin (1986), es un daño mecánico ocasionado por una fuerza externa que puede ocasionar cambios de sabor, alteración química del color sin romper la superficie del producto.

Según Bourne (2002) existen varios modos de fractura: fractura simple, frágil y dúctil,

donde cada modo de fractura está caracterizado por tres pasos: inicialización de la grieta, propagación de la grieta y falla final.

La fractura frágil es aquella en la cual hay una pequeña o no existe deformación plástica antes de la fractura y es caracterizada por una baja absorción de energía prior a la fractura, mientras que la falla dúctil existe una substancial deformación plástica con alta absorción de energía antes de la ruptura (Bourne, 2002 y Craig, 1999).

Muchos de los objetivos que se pretenden con una evaluación textural son basadas en la interpretación de las relaciones de fuerza-deformación, cuya relación puede ser definida experimentalmente a través de una prueba de compresión uniaxial (Calzada y Peleg, 1978).

De acuerdo con Pollak y Peleg (1980), la fractura mecánica ha sido reconocida como una de las principales características texturales de los alimentos, ya que tiene notable 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.

El comportamiento reológico de un material como sus características organolépticas son gobernadas por la estructura física y la composición bioquímica las cuales definen sus propiedades texturales. Además, las propiedades reológicas de numerosos alimentos sólidos han sido evaluadas usualmente por pruebas de relajación, creep, compresión y extensión (Peleg, 1976).

La fractura ocasionada por compresión unidireccional es un proceso continuo que comprende dos etapas: una fractura interna en la que el producto permanece intacto y la segunda etapa es la fractura neta donde existe una desintegración física del producto (Pollak y Peleg, 1980).

Los materiales biológicos incluyendo los alimentos son altamente caracterizados por su anisotropía, lo que significa que el material exhibe diferentes propiedades en diferentes direcciones (Mohsenin, 1986).

Abbot y Lu (1996) y Khan y Vincent (1993) analizaron el efecto de la dirección de carga en manzanas frescas y papas frescas respectivamente. De acuerdo a los resultados, los autores concluyeron que la manzana es un material anisotrópico mientras que la papa posee un comportamiento isotrópico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agrícolas (Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos) de la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, a una temperatura ambiental promedio de 22 °C y humedad relativa de 65%.

Métodos.

Pruebas de fractura. Ochenta frutas de granadilla y 80 de tomate de árbol fueron seleccionadas en los grados de madurez 4 y 5 según la tabla de color de la Norma Técnica Colombiana. Usando un analizador de textura (TA.XT2i, Stable Micro Systems, London, U.K), las frutas fueron sometidas a pruebas de compresión unidireccional según dos sentidos de carga (longitudinal y transversal) y cuatro velocidades de deformación (1, 3, 6 y 9 mm/s).

La dirección longitudinal fue tomada de polo a polo mientras que la dirección transversal fue considerada a lo largo del ecuador.

La información obtenida fue procesada en una computadora usando el software Texture Expert Exceed versión 2.64. Para cada velocidad y en cada sentido de carga se hicieron diez repeticiones. La fuerza de fractura se determinó a partir de la información gráfica entre esta variable y el tiempo.

Análisis estadístico. Para cada fruta se realizó un arreglo factorial 4x2 (cuatro velocidades, dos sentidos de carga y diez repeticiones) para un total de 80 unidades experimentales y 8 tratamientos. Los resultados de la fuerza de fractura fueron sometidos a un análisis de varianza y los valores promedio de los tratamientos se compararon utilizando una prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5%. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS, versión 8.0 (SAS Institute, Inc., Cary, N.C.).

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Fuerzas de fractura.

En la Tabla 1 se registran los valores promedios de las fuerzas de fractura en sentido de carga longitudinal y transversal según la velocidad de compresión. El análisis estadístico mostró que la fuerza de fractura superficial tanto para granadilla como tomate de árbol no dependió de la velocidad de carga ($P = 0,508$). Sin embargo, la fuerza de fractura para tomate de árbol dependió de la dirección de carga tomando un valor promedio en sentido longitudinal de 144,697 N (14,765 kgf) y en la dirección transversal de 185,827 N

(18,962 kgf) siendo estos valores estadísticamente diferentes al 5%. Situación contraria ocurrió para la granadilla donde los análisis estadísticos mostraron

que la fuerza de fractura además de ser independiente de la velocidad de carga no dependió de su dirección tomado un valor promedio de 93,3 N (9,52 kgf).

Tabla 1. Fuerzas de fractura en dirección longitudinal y transversal para frutos de granadilla y tomates de árbol.

Velocidad (mm/s)	Fuerza de Fractura Superficial			
	Granadilla		Tomate de árbol	
	Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
1,0	92,90 N (9,48 kgf) ^a	94,75 N (9,65 kgf) ^a	138,08 N (14,09 kgf) ^b	167,38 N (17,08 kgf)
3,0	87,62 N (8,94 kgf) ^a	93,39 N (9,52 kgf) ^a	146,118 N (14,91kgf) ^b	182,67 N (18,64 kgf) ^c
6,0	85,55 N (8,73 kgf) ^a	101,53 N (10,36 kgf) ^a	136,52 N (13,93kgf) ^b	205,60 N (20,98 kgf)
9,0	81,24 N (8,29 kgf) ^a	103,78 N (10,59 kgf) ^a	158,17 N (16,14kgf) ^b	187,67 N (19,15 kgf)

N -- Newton.
Promedios con la misma letra son estadísticamente iguales al 5%.

Los valores de la Tabla 1 indican que la fruta de granadilla sería más susceptible a un posible daño mecánico ocasionado por fuerzas de aplastamiento o compresión con respecto al tomate de árbol. En promedio, el tomate de árbol presentó una resistencia mecánica a la fractura superior al 50% comparado con la granadilla mostrando su mayor resistencia en sentido transversal.

El coeficiente de variación para la fuerza de fractura en promedio fue mayor del 20%, valor típico encontrado en la determinación de las propiedades mecánicas de alimentos biológicos, que puede ser ocasionado por la heterogeneidad estructural global del material representada por diferentes grados de madurez, épocas de cosecha, tipo de variedad y sistemas de manejo poscosecha.

En las Figuras 1 y 2 se muestran curvas típicas de fractura superficial para la granadilla y tomate de árbol respectivamente,

a una velocidad de compresión de 1 mm/s en sentido transversal. Las Figuras 5 y 6 muestran la respuesta de la granadilla y tomate de árbol para una compresión mecánica en sentido longitudinal a una velocidad de compresión de 3 mm/s.

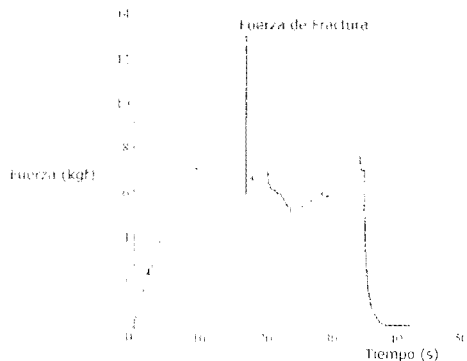


Figura 1. Curva de fractura de frutos de granadilla en dirección transversal (Velocidad de carga = 1,0 mm/s).

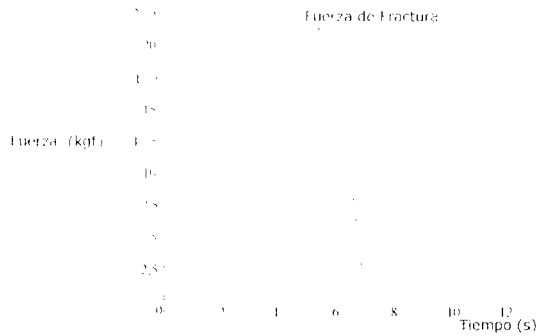


Figura 2. Curva de fractura para frutos de tomate de árbol en dirección transversal (Velocidad de carga = 1,0 mm/s).

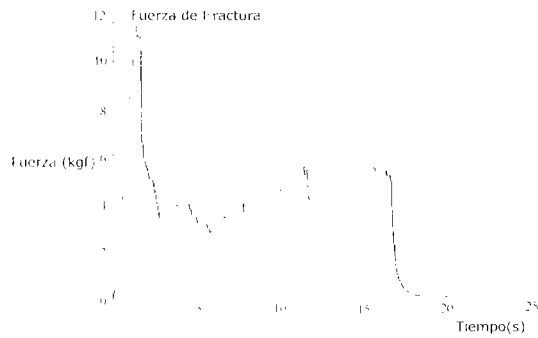


Figura 3. Curva de fractura para frutos de granadilla en dirección longitudinal (Velocidad de carga = 3,0 mm/s).

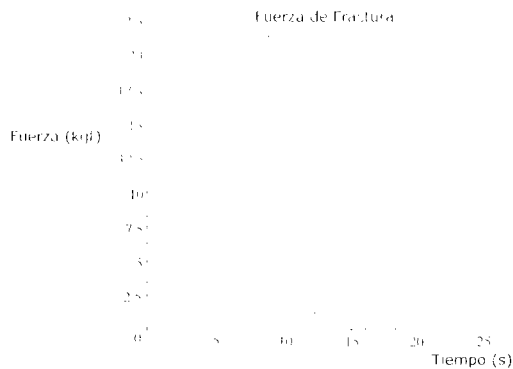


Figura 4. Curva de fractura para frutos de tomate de árbol en dirección longitudinal (Velocidad de carga = 3,0 mm/s).

Un comportamiento similar ocurrió para velocidades de deformación de 6 y 9 mm/s, indicando que aunque la velocidad no tiene efecto estadístico sobre la fuerza de fractura superficial tanto para la granadilla como para el tomate de árbol, el tiempo de fractura es menor a medida que se incrementa la velocidad de deformación por compresión.

Un análisis de estas curvas muestra que la fractura superficial de la granadilla (Figuras 3 y 5) no se da en forma continua e instantánea sino que hay presencia de varios puntos de fractura (estructura quebradiza) indicando que la velocidad de propagación de las grietas superficiales se interrumpe en su recorrido a través de la superficie de la cáscara de la granadilla. Contrario a lo que ocurre en algunos materiales de ingeniería no biológicos tales como los aceros en los cuales existe un punto de fractura macroscópica o falla bien definido.

Para el tomate de árbol las Figuras 2 y 4, indican que el tipo de falla presente en este material es de tipo frágil, en el cual el punto de biocedencia coincide con el punto de colapso estructural generalizado del elemento, no presentando alta deformación plástica. Comparando la respuesta mecánica de las frutas, se puede notar que el tomate de árbol tiene un solo punto de fractura bien definido situación; contraria ocurre en granadilla. También se observa que el tomate de árbol en comparación con la granadilla presenta un comportamiento más inelástico y viscoso, situación visualizada por la presencia de la concavidad hacia arriba de la curva. Posiblemente esta diferencia en el comportamiento reológico sea propiciado por la composición estructural del elemento, donde para

el tomate de árbol existe mas presencia de material viscoso representado por la alta presencia de agua mientras que la granadilla su cáscara es altamente leñosa y lignificada.

CONCLUSIONES

Para frutos de granadilla y tomate de árbol grado de madurez 4 y 5 según índice de color, la fuerza de fractura a compresión es independiente de la velocidad de deformación.

El fruto del tomate de árbol presentó mayor resistencia mecánica a la compresión comparado con la fruta de granadilla.

A diferencia de los materiales de ingeniería no biológicos, el proceso de la velocidad de propagación de la fractura superficial en granadillas no se da en forma continua.

El fruto del tomate de árbol exhibe un comportamiento de fractura frágil.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios a nivel micro estructural de la pared celular de frutos de granadilla y tomate de árbol, con el fin de determinar su relación con el comportamiento mecánico a nivel macro.

Desarrollar nuevos ensayos con diferentes grados de madurez con el objetivo encontrar la posible dependencia de la fuerza de fractura con el grado de madurez de la fruta.

Implementar modelos de simulación que permitan predecir la respuesta mecánica del fruto en función de algunas propiedades físicas mecánicas y biológicas del producto.

BIBLIOGRAFÍA

- ABBOTT, J.A. and LU, R. Anisotropic mechanical properties of apples. *En*: Transaction of the ASAE. Vol 39 (1996); p. 1451-1459.
- BOURNE, Malcolm. Food texture and viscosity. 2ed. New York: Academic, 2002. 427 p.
- CALZADA, J.F. and PELEG, M. Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *En*: Journal of Food Science, Vol. 43 (1978); p. 1087-1092.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma técnica Colombiana (NTC) 4101. Bogotá: Icontec, 1996.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma técnica Colombiana (NTC) 4105. Bogotá: Icontec, 1996.
- CRAIG, Roy R. Mechanics of materials. 2ed. New York: John Wiley, 1999. p. 41-43
- DOWLING, Norman E. Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue. 2ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. p.1-20
- GARCÉS, Iván y SALDARRIAGA, Roberto. El cultivo de la granadilla. Cooperativa Integral de Urao (Colombia), 1992. p. 9-11, 23,31
- GUTIÉRREZ VÁSQUEZ, Albeiro y LÓPEZ MILLÁN, Magda, 1999. Manejo post-cosecha y comercialización de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*). Armenia: Fudesco. Capítulo 1, p. 8, 10, 13; capítulo 2, p. 11-13.
- JARAMILLO, Oscar y MOJICA, Fernando. El cultivo de la granadilla. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 1984. p. 13-16, 73-76.
- KHAN, A.A. and VINCENT, J.F.V. Compressive stiffness and fracture properties of apple y potato. *En*: Journal of Texture Studies. Vol. 24 (1993); p. 423-435
- MOHSENIN, Nury N. Physical properties of plant and animal materials: structure, physical, characteristics and mechanical properties. New York: Gordon and Breach Science, 1986. 664 p.
- NIETO, Ana y RIVERA, Bernardo. Asociación café-granadilla: una práctica sobresaliente. Manizales: Universidad de Caldas, 2001. p. 28-31.
- PELEG, M. Considerations of a general rheological model for the mechanical behavior of viscoelastic solid food materials. *En*: Journal of Texture Studies, Vol.7 (1976); p. 243-255.
- POLLAK, N. and PELEG, M. Early indications of failure in large compressive deformation of solid foods. *En*: Journal of Food Science. Vol. 45 (1980), p. 825-830-835.
- SALDARRIAGA, Roberto. Manejo postcosecha de granadilla (*Passiflora ligularis* iuss). Bogotá: SENA, 1998. 1 Cd-rom. (Paquetes de Capacitación; no.7).
- SMITH, William F. Principles of material science and engineering. 3ed. United States: Mc-GrawHill, 1996. p. 303-310
- STROSHINE, Richard. Physical properties of agricultural materials and food products. West Lafayette: Department of Agricultural and Biological Engineering, 1999. p. 113-152