

ARTÍCULO ORIGINAL

## Comportamiento mecánico de dos variedades de mango (*Mangifera Indica*) bajo compresión axial

## Mechanical behavior of two varieties of mango (*Mangifera Indica*) under axial compression

Luis Ivan Negrín Hernández<sup>1</sup>, Rômulo Barros Barbosa<sup>2</sup>, Alan Christie Da Silva Dantas<sup>2</sup>, Acácio Figueiredo Neto<sup>2</sup> y Nelson Cárdenas Olivier<sup>2</sup>

**RESUMEN.** En este trabajo se caracteriza la respuesta mecánica del mango en función de los problemas encontrados durante las etapas de producción y comercialización. Problemas como daños físicos provocados por la manipulación inadecuada de la fruta, sea en el momento de la cosecha, almacenamiento, procesamiento o transporte. Los problemas señalados son característicos de la falta de información sobre el máximo esfuerzo que el fruto puede soportar sin que el mismo sufra daño interno o rotura externa que comprometa su comercialización. Fueron realizados ensayos de compresión en mangos (*Mangifera Indica*) de las variedades “Keitt” y “Tommy Atkins”, en la posición natural de reposo, lo que posibilitó la determinación del módulo de elasticidad y la fuerza máxima soportada en función de las fases 1, 2 y 3 de maduración. El módulo de elasticidad se reduce con el avance de la fase de maduración, obteniéndose valores para la variedad “Keitt” de 2,065 MPa, 1,734 MPa y 1,381 MPa para las fases de maduración 1, 2 y 3 respectivamente, y para la variedad “Tommy Atkins” de 1,698 MPa, 1,657 MPa y 1,518 para las mismas fases de maduración. Las medidas de las fuerzas máximas, que antecede la rotura de la fruta, soportadas por la variedad “Tommy Atkins” fueron superiores a las soportadas por la “Keitt”. Este hecho está relacionado con la diferente organización estructural de estas dos variedades, en la que la variedad “Tommy Atkins” presenta un porcentaje de fibra superior a la variedad “Keitt”.

**Palabras clave:** compresión en mangos, respuesta mecánica, módulo de elasticidad.

**ABSTRACT.** This work aims at to characterize the mechanical behavior of the mango fruits in function of the problems found during the stages of production and commercialization. Problems like physical damages are caused by the inadequate handing of the fruits during harvest, storage, processing or transport. These problems are caused by information deficit about the mechanical behavior of the fruits and the maximum strength necessary or start internal degradation or external damages, that it harms yours commercialization. Compression tests were carried out in the specimens of the mangos (*Mangifera Indica*) the variety “Keitt” and “Tommy Atkins”, in repose position, to determination of the elasticity modulus and maximum strength up to rupture as a function the maturation phases 1, 2 and 3. The elasticity modulus decreases with advancement of the maturation stage, reaching values for the “Keitt” variety of 2,065 MPa, 1,734 MPa and 1,381 MPa for the maturation stage 1,2 and 3 respectively. The “Tommy Atkins” variety reached an elasticity modulus of 1,698 MPa, 1,657 MPa e 1,518 MPa for the maturation stage 1,2 and 3, respectively. The maximum compressive strength, that causes rupture in the fruits, for the variety “Tommy Atkins” were higher than those for “Keitt”. This fact is associated with the different structural composition of the fruits, because the “Tommy Atkins” variety has a fiber content greater than the “Keitt” variety.

**Keywords:** compressive strength of mango, mechanical behavior, elasticity modulus.

### INTRODUCCIÓN

La producción de los frutos del mango (*Mangifera Indica*) es de gran importancia socioeconómica para Brasil. La región del

Valle de San Francisco es responsable por aproximadamente el 87% de las exportaciones de este fruto para el mercado europeo, según datos del Instituto Brasileiro de Frutas (IBRAF) en 2009.

**Recibido** 28/12/11, aprobado 28/01/13, trabajo 16/13, artículo original.

<sup>1</sup> Dr. Prof. Fac. Ing. Mecánica, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní km 5, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. E-✉: linegrin@uclv.edu.cu

<sup>2</sup> Dr. Prof., Universidade Federal do Vale do Sao Francisco, Juazeiro, Brasil.

Colaborador: Dr. Feliberto Fernández Castañeda, a quien se le agradece su participación en la investigación.

Nota: La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.

La necesidad del desarrollo de técnicas prácticas para la mejora de la producción es de fundamental importancia para la optimización de los procesos productivos así como almacenamiento y transporte, que produzcan el aumento de la calidad del producto y el aumento de precio en el mercado externo (Barreiro *et al.*, 1995; Bargale *et al.*, 1995).

Dentro de los varios factores que perjudican el aumento de la exportación de mangos está la relacionada con su degradación, que dificulta la competitividad de este producto brasileño en el exterior. Con el fin de resolver este problema, existen algunos tratamientos poscosecha que se recomiendan, como utilizar contenedores apropiados para el almacenamiento y realizar el transporte adecuado (Yam *et al.*, 2011; Choudhry, 2004).

Estos daños son provocados por la manipulación inadecuada, causado por el desconocimiento de las condiciones límites para el fruto, que acelera la maduración y la pérdida de agua en el mango, además de permitir la entrada de microorganismos que provocan la pudrición cuando aparecen cortes o hendiduras en su cáscara. Daños por impacto, vibración o compresión provocan imperfecciones en la cáscara que disminuyen el valor comercial de los frutos (Velásquez *et al.*, 2007). Y esto ocurre comúnmente durante el transporte si las condiciones de las vías de acceso fueran malas cuando los frutos son transportados de forma aleatoria dentro de contenedores.

Considerando que todas las normas referentes a la calidad de los mangos para los mercados internacionales establecen patrones mínimos para el consumo natural, se puede determinar que el conocimiento de las propiedades y del comportamiento mecánico de los frutos puede influir en el éxito del sistema de producción, sea en el momento de la cosecha, procesamiento, almacenamiento y en el transporte del fruto.

Los ensayos mecánicos de los materiales son procedimientos normalizados que comprenden cálculos, ensayos, gráficos y consultas a tablas, todo esto en conformidad a normas técnicas, para someter un objeto a esfuerzos que va a soportar en condiciones reales de uso, llegando a límites extremos de sollicitación (García, 2000). Con la realización de estos ensayos es posible determinar las propiedades mecánicas de los objetos (López *et al.*, 2011; Penteadó *et al.*, 2003).

Kang *et al.* (1995) determinaron el módulo de deformación de granos de trigo utilizando ensayos de compresión entre placas planas y paralelas.

Henry-Zachary *et al.* (2000) utilizaron ensayos de compresión para estudiar el efecto de la variedad, de la velocidad de compresión, de la orientación del producto y del por ciento de humedad sobre el comportamiento mecánico de granos de soya.

Resende *et al.* (2007) analizaron el comportamiento mecánico de granos de frijol sometidos a compresión, variándose el por ciento de agua en los granos.

Con el fin de determinar las propiedades mecánicas de los mangos de las variedades “Tommy Atkins” y Keitt, en este trabajo se realizaron ensayos de compresión, destinados a estipular las condiciones ideales para su manipulación.

Adicionalmente fueron evaluadas las propiedades viscoelásticas de los frutos, utilizando un modelo matemático compatible con la deformación.

## MÉTODOS

Para realizar los ensayos de compresión fue utilizada una prensa mecánica universal Modelo WAW Class 1” (Time Group Inc) (Figura 1), que tiene capacidad de 100 toneladas, velocidad variable y está unida a una computadora que recibe los valores de fuerzas y deformaciones mediante el software “Winwaw, V 1.0”. Esta máquina está ubicada en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidade Federal do Vale do Sao Francisco (UNIVASF).

Los frutos sometidos al ensayo de compresión fueron colocados entre dos placas planas, como se muestra en la Figura 1, en la cual se observa también la máquina utilizada en el ensayo.



FIGURA 1. Vista del equipamiento utilizado en el ensayo de compresión.

Para el análisis de los resultados se utilizó el software Origin 7.0 (OriginLab Corporation) por ser una herramienta eficiente en análisis estadístico.

Para la realización del ensayo se fijó una velocidad de 5 mm/min. Esta velocidad es comúnmente utilizada en ensayos de compresión de productos agrícolas, como en Couto *et al* (2002).

Los frutos utilizados fueron suministrados por la empresa Timbaúba Agrícola, localizada en la zona rural de Petrolina-Pernambuco. La muestra contenía frutos de las variedades mencionadas, ambas en las fases 1, 2 y 3 de maduración.

En la Figura 2, se observan las diferentes coloraciones de la pulpa del mango debida a la variación de la maduración, notándose un aumento del área amarillenta en la pulpa directamente proporcional al avance de la fase de maduración.

A pesar de que la Figura 2. solamente presenta la imagen del corte longitudinal de la variedad “Tommy Atkins” se sabe que este análisis de coloración es equivalente para otras variedades, incluyéndose la Keitt.

Para la determinación de la máxima fuerza soportada por estos frutos sin que haya daño físico, en este trabajo se realizó el ensayo de compresión en condiciones lo más próxima posible a las reales. Esta posición es la de reposo natural (Figura 3), considerando que es en esta condición que el fruto presenta mayor estabilidad, además de que constantemente son colocados de esta forma en los contenedores para el almacenamiento y transporte.

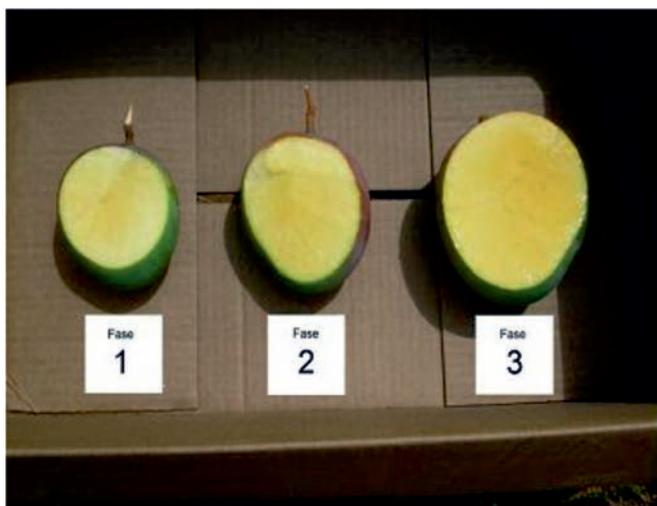


FIGURA 2. Coloración de la pulpa del mango “Tommy Atkins” en las fases 1, 2 y 3 de maduración.



FIGURA 3. Imagen de un mango a ser ensayado en el estado de reposo natural.

Se utilizaron 8 mangos para cada fase de maduración de cada variedad estudiada, totalizando un total de 48 muestras. Las dimensiones de los frutos se midieron con un pie de rey digital “Kingtoolas” con capacidad de 300 mm de lectura y 0,01 mm de resolución (Tablas 1 y 2).

Los módulos de elasticidad se determinaron experimentalmente a partir del análisis de las curvas tensión-deformación.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados de las mediciones realizadas a las dos variedades de mango en las tres fases de maduración. Se controlan las tres dimensiones, largo, altura y ancho.

TABLA 1. Media de las dimensiones de los mangos “Keitt” en función de la maduración

Fase de Maduración	Largo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)
1	104,14	85,63	74,85
2	122,24	95,91	84,58
3	120,47	100,50	89,47

TABLA 2. Media de las dimensiones de los mangos “Tommy Atkins” en función de la maduración

Fase de Maduración	Largo (mm)	Altura (mm)	Ancho (mm)
1	114,01	92,22	84,58
2	107,50	94,62	86,13
3	105,19	92,30	83,92

Las figuras que se presentan a seguir muestran la curva fuerza aplicada versus deformación, en dos de los ocho frutos ensayados, para cada una de las fases de maduración analizada, siendo la Figura 4 (a, b y c) referente a la variedad “Keitt” y la Figura 5 (a, b y c) referente a los mangos “Tommy Atkins”.

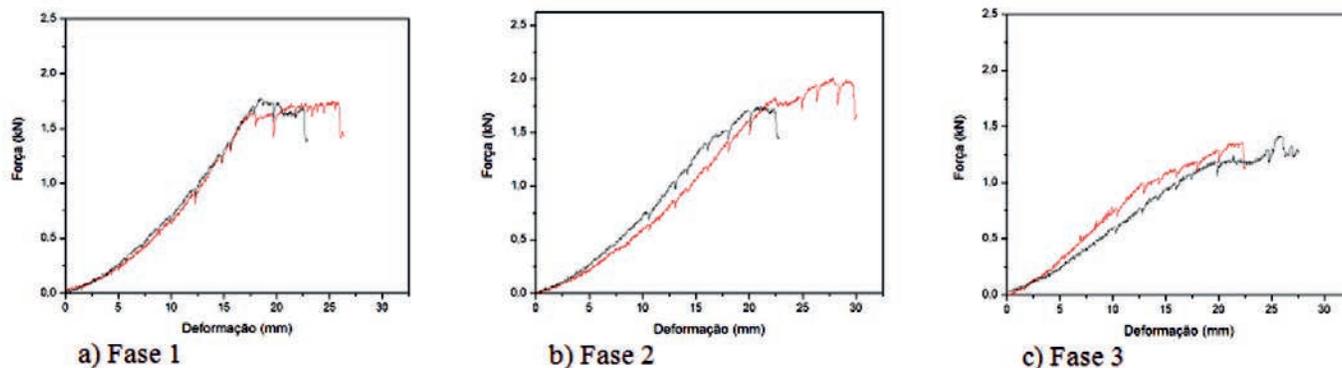


FIGURA 4. Curva Fuerza x Deformación. Mangos de la variedad “Keitt” en las diferentes fases de maduración.

En todos los casos puede ser observado un aumento del ángulo de la curva con el aumento de la deformación que está relacionado con la forma irregular del mango. Debido a su forma elipsoidal ocurre un aumento del área a medida que la fruta se deforma, provocando para la misma tensión un aumento de la carga. Después de aproximadamente 10 mm de deformación este ángulo se mantiene constante hasta aproximadamente los 20 mm de deformación donde ocurre la rotura de la cáscara y por consiguiente una caída en el ángulo de la curva.

Los mangos de la variedad “Tommy Atkins” presentan un comportamiento similar a los de la variedad “Keitt”, manteniéndose la inclinación constante de la curva hasta una deformación aproximada de 22,5 mm. Después de este valor ocurre un decrecimiento del ángulo de la curva debido a la rotura de la cáscara del fruto.

Las muestras de la variedad “Tommy Atkins” presentan mayor resistencia que los de la variedad “Keitt”, comparándose mangos con el mismo grado de maduración. El efecto de la

perdida de resistencia debido al avance de la maduración es menor para los mangos de la variedad “Tommy Atkins”, lo que puede estar relacionado con la mayor concentración de fibra de esta variedad que es de alrededor del 2%, mientras que en el “Keitt” es mucho menor (Limonta et al, 2004).

Después de una deformación de aproximadamente 20 mm para los mangos “Keitt” y 22,5 mm para los mangos “Tommy Atkins” fueron observadas roturas del epicarpo de los frutos. Esta rotura ocurrió en el eje transversal del fruto prácticamente en todas las muestras ensayadas, como puede ser visto en la Figura 6.

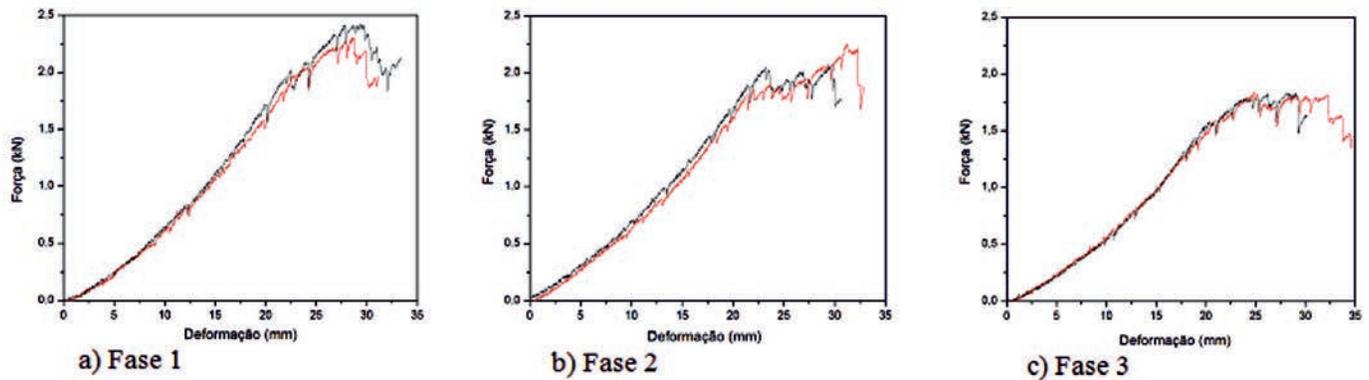


FIGURA 5. Curva Fuerza x Deformación. Mangos de la variedad “Tommy Atkins” en las diferentes fases de maduración.



FIGURA 6. Rotura de los mangos con carga uniaxial en el ensayo de compresión.

Los módulos de elasticidad medios determinados a partir de los ensayos de compresión en los mangos de las variedades analizadas son mostrados en la Tabla 3.

**TABLA 3. Módulo de elasticidad de los mangos “Keitt” y “Tommy Atkins”**

Fase de Maduración	Mango Keitt	Mango Tommy Atkins
1	2,065 MPa ± 0,14	1,698 MPa ± 0,07
2	1,734 MPa ± 0,18	1,657 MPa ± 0,16
3	1,381 MPa ± 0,52	1,518 MPa ± 0,17

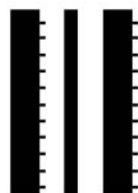
Es claramente visible una reducción del módulo de elasticidad con el avance de la maduración de los frutos, y nuevamente puede ser observado que esta disminución es menos intensa para los mangos de la variedad Tommy Atkins”.

## CONCLUSIONES

- Las medias de las fuerzas máximas, que antecede la rotura de la fruta, soportadas por la variedad “Tommy Atkins” fueron superiores a las soportadas por la “Keitt”. En la fase 1 fue superior en un 20%, en la fase 2 superior en un 15% y en la fase 3 superior en un 25%.
- Los mangos presentan una desviación patrón alta en los resultados de los ensayos por ser un producto agrícola en el que pueden existir variaciones en la estructura entre una muestra y otra de la misma variedad.
- Comparando los módulos de elasticidad obtenidos para los mangos “Tommy Atkins” y “Keitt” puede ser observado que el valor para la primera variedad presenta un decrecimiento, en función del avance de la maduración, menos acentuado que la segunda, posiblemente ocasionado por la estructura de la pulpa, pues la “Keitt” posee un por ciento de fibra menor que la “Tommy Atkins”.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BARGALE-PRAVEEN, C., J. IRUDAYARAJ & B. MARQUIST: "Studies on rheological behaviour of canola and wheat", Silsoe, *Journal Agricultural of Engineering Research*, 61(2): 267-274, 1995.
2. BARREIRO, P.; M. ALTISENT y V. STEINMETZ: "Modelos de predicción de daños en fruta y sistemática para la evaluación de equipos hortofrutícolas". *Revista Fruticultura Profesional* 73 Septiembre-Octubre, 1995.
3. CHOUDHURY, M. M. e S. COSTA: *Perdas na cadeia de comercialização da manga*, 44pp., Embrapa Semi-Árido, Petrolina, PE, Brasil, 2004.
4. VELÁSQUEZ, C., J. HÉCTOR, G. BUITRAGO, O. HIDEKII; A. PÉREZ y A. SEBASTIÁN: "Estudio preliminar de la resistencia mecánica a la fractura y fuerza de firmeza para fruta de uchuva (*Physalis Peruviana L.*)", Medellín, *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 60(1): 2007.
5. COUTO, S. M.; BATISTA, C. da S.; PEIXOTO, A. B.; DEVILLA, I. A.: "Comportamento de frutos de café: módulo de deformidade", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande-PB, DEAg/UFCG, 6(2): 285-294, 2002.
6. GARCIA RAMOS, F. J. "Desarrollo de dispositivos mecánicos para minimizar daños y medir la firmeza en líneas de manipulación de frutas". **Tesis (en opción al grado científico de Doctor)**. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid, 2000.
7. HENRY-ZACHARY, A.; B. & H. SUZHANG: "Resistance of soya beans to compression", *Journal Agricultural of Engineering Research*, 76:175-181, 2000.
8. KANG, Y. S.; SPILLMAN, C. K.; STEELE, J. L. & CHUNG, D. S.: "Mechanical properties of wheat", *Transactions of the ASAE*. St Joseph, 38(2): 573-578, 1995.
9. LIMONTA C. R.; ROSSETTO C. J.; BASSI D. M.; MORGANO M. A.; VIDIGAL J. e BORTOLETTO N.: "Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo instituto agrônômico de Campinas comparadas a outras de importância comercial". *Revista Brasileira de Fruticultura*. 26(2): Agosto 2004.
10. LÓPEZ, B. V.; C.A. VILLASEÑOR y A. PÉREZ "Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3): 73-80, 2011.
11. PENTEADO, B. M.; GASPAS, C. A.; TORRECILHA, C.; POLITO, C. Di; MINEI, C. Y.; FERREIRA, J.; GORDO, N.; NOVAES, R. C. R.; SILVA, R. M. e FRANCO, S. N.: *Telecurso 2000: Curso profissionalizante: Mecânica: Ensaios de matérias. 1*. 208pp., Ed.: Fundação Roberto Marinho, Rio de Janeiro, Brasil, 2003.
12. RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M. e FIGUEIREDO NETO, A. "Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão", *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11(4): 404-409, 2007.
13. YAM, T. J.A.; C.A. VILLASEÑOR; E. ROMANTCHIK; M. SOTO y M.A. PEÑA "Comportamiento de los frutos de guayaba (*psidium guajava L.*) sometidos a impacto", *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(1): 57-61, 2011.



# GIAF