



## **NOMBRE DEL SIMPOSIO O TALLER** **SIMPOSIO INTERNACIONAL INDUSTRIA Y ENERGÍA**

### **Título**

**Determinación de las propiedades mecánicas del fruto del cocotero**

### *Title*

*Determination of the mechanical properties of the coconut fruit*

**Luis Iván Negrín Hernández<sup>1</sup>, Nelson Cárdenas Olivier<sup>2</sup>, Alan Christie da Silva Dantas<sup>2</sup>, Eduardo Alberto Pérez Ruiz<sup>3</sup>, Bruno Pereira Lima<sup>2</sup>**

1- Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba. [linegrin@uclv.edu.cu](mailto:linegrin@uclv.edu.cu)

2- Universidade Federal do Vale do São Francisco, Brasil

3- Programa de Ingeniería Mecánica, Universidad de Ibagué, Colombia.

[eduardo.perez@unibague.edu.co](mailto:eduardo.perez@unibague.edu.co)

### **Resumen**

En el presente trabajo se verifica la influencia del estado de maduración en las propiedades mecánicas del fruto del cocotero de la variedad enano (*Cocos nucifera L.*). Los cuerpos de prueba utilizados fueron cocos verdes y secos de la variedad enana, variedad más plantada, comercializada y consumida en la región del Valle de San Francisco, Brasil. Se desarrolló un método experimental que permitió evaluar el comportamiento mecánico de esta fruta a través de ensayos de compresión, tracción y penetración. Con los valores de las propiedades mecánicas obtenidas en los ensayos fue hecha una correlación que permite apreciar la influencia de la maduración en el comportamiento mecánico de los cocos. Además de la influencia de los estados de maduración, para los ensayos de compresión fue analizada la variación de las propiedades de acuerdo con la posición en la cual el coco fue sometido al ensayo, variando entre la posición vertical y la horizontal. Los resultados presentan que el coco verde en la posición horizontal tiene la mayor resistencia a la compresión en relación con las otras configuraciones ensayadas. De la misma forma, el fruto verde también tiene una mayor resistencia que el seco en los ensayos de tracción. Sin embargo, en el ensayo de penetración el coco seco presenta mayor resistencia que el verde. Los valores de las propiedades mecánicas obtenidas ofrecen una valiosa información técnica, tanto a



la industria procesadora de cocos como a los fabricantes de equipamiento para la agroindustria.

**Palabras clave:** Coco; Propiedades Mecánicas; Ensayos en Frutas

**Abstract**

In the present work, the influence of the state of maturation on the mechanical properties of the coconut of the dwarf variety (*Cocos nucifera* L) is verified. The test bodies used were green and dried coconuts of the dwarf variety, the variety most planted, marketed and consumed in the San Francisco Valley region, Brazil. An experimental method was developed that allowed to evaluate the mechanical behavior of this fruit through compression, traction and penetration tests. With the values of the mechanical properties obtained in the tests, a correlation was made that allows to appreciate the influence of maturation on the mechanical behavior of the coconuts. In addition to the influence of the ripening states, for the compression tests the variation of the properties was analyzed according to the position in which the coconut was subjected to the test, varying between the vertical and horizontal position. The results show that the green coconut in the horizontal position has the highest resistance to compression in relation to the other configurations tested. In the same way, the green fruit also has a greater resistance than the dry fruit in the tensile tests. However, in the penetration test, the dry coconut has greater resistance than the green one. The values of the mechanical properties obtained offer valuable technical information, both to the coconut processing industry and to manufacturers of equipment for agribusiness.

**Keywords:** Coconut; Mechanical Properties; Tests in Fruits

**1. Introducción**

El cocotero es un árbol típico del clima tropical, reconociéndose su cultivo comercial en cerca de 90 países. En Brasil, el cultivo del coco se desarrolla principalmente a lo largo del litoral, siendo encontradas áreas plantadas desde el Estado de Pará hasta Espírito Santo [1].

En términos de importancia económica y social, el cultivo del coco tiene una posición importante como actividad generadora de empleo y renta, utilizando mano de obra durante todo el año. También permite su combinación con otros cultivos, como, los



cultivos de subsistencia, y hasta con la crianza de animales, contribuyendo así al mantenimiento del hombre de campo [1].

Brasil posee cerca de 280 mil hectáreas cultivadas con el cocotero, con una producción equivalente a dos billones de frutos por año. Habiendo un incremento en el área de cosecha desde 1990, lo que se verifica con un aumento vertiginoso de la producción a partir del final de la década de los 90 [2].

Un hecho muy importante a tener en cuenta, es que a pesar de que el Nordeste tiene una mayor participación en la producción de coco en el país, el rendimiento en términos de productividad es menor que en otras regiones debido al nivel tecnológico utilizado, de las variedades de coco y de su utilización [2].

Para el mejoramiento de la tecnología que se utiliza en los procesos de recolección, limpieza, almacenamiento, procesamiento y transportación, es fundamental conocer las propiedades mecánicas de los frutos, y para el conocimiento de las mismas es indispensable la realización de ensayos mecánicos y el procesamiento estadístico de los resultados [3, 4].

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 [5].

En la bibliografía especializada existen muchos trabajos en los que se realizan ensayos mecánicos a frutos y otros productos agrícolas con el objetivo de determinar sus propiedades mecánicas, entre los que se encuentran:

Zhiguo et al. [6], hacen una revisión de los modelos mecánicos asociados a la compresión e impacto de los frutos frescos en los procesos de poscosecha.

Negrín et al [3], realizan el ensayo de compresión a dos variedades de mango y determinan algunas de sus propiedades mecánicas en los diferentes estados de maduración.

Alvis et al. [7], en su trabajo estudiaron el comportamiento mecánico de dos variedades de batatas en los ensayos de penetración, compresión y flexión.

Shuntaro et al. [8], hicieron un estudio sobre la relación entre la composición química, la densidad y las propiedades mecánicas de la membrana cuticular del Diospyros kaki Thumb.



Weizu Wang et al. [9], realizan ensayos de impacto en frutos de litchi y determinan en número de impactos y la velocidad de los mismos que producen los mayores daños en estas frutas.

En el caso del coco, existen varios trabajos sobre propiedades y utilización de algunas de las partes del fruto, como las fibras [10, 11, 12] o partículas [13] agregados a otros productos para obtener materiales compuestos. Inclusive se determinan propiedades físicas y químicas de su agua [14, 15]. Sin embargo solo se encontró un trabajo donde se estudia la fruta del cocotero, en el mismo Folian [16], realiza un estudio sobre la fruta del cocotero, se determinan varias propiedades físicas como la longitud, esfericidad, volumen, área de la superficie, densidad, coeficiente de fricción con diferentes materiales y realizan el ensayo de compresión en diferentes posiciones, pero faltan algunas propiedades relacionadas con los ensayos de tracción y la penetración que son muy importantes en la mecanización de la producción de este fruto.

En el presente trabajo se determinan algunas de las propiedades mecánicas del coco variedad enano en diferentes estados de maduración (verdes y secos), a partir de los ensayos de compresión, tracción y penetración.

## **2. Materiales y métodos**

Los cocos para los ensayos se obtuvieron en el mercado productor en la ciudad de Juazeiro en el estado de Bahia, se escogieron 25 muestras de cocos verdes y 25 de cocos secos. En esta selección se tuvo en cuenta que las dimensiones y geometría de los especímenes fueran lo más uniforme posible.

Para la realización de los tres ensayos se utilizó una Máquina Universal de Ensayos con accionamiento electromecánico modelo DL 10.000 (EMIC), que se encuentra equipada con el software TESC.

En el ensayo de compresión se evaluó el estado de maduración de los cocos, es decir verdes y secos, pero también se tuvo en cuenta la posición en que se realizaba, horizontal o vertical, como se muestra en la figura 1. Los ensayos se realizaron a una velocidad de descenso de 15 mm/min y a temperatura ambiente.



Fig.1. Ensayos de compresión; (a) ensayo horizontal; (b) ensayo vertical.

Para la realización del ensayo de tracción se utilizó la misma máquina universal, pero en este caso se emplea un dispositivo creado para ese fin. En el mismo se coloca el fruto en la posición horizontal y se sujeta por la mitad inferior, se le realiza una ranura en la parte frontal (zona por donde se une el fruto a la planta) colocándose en la misma un cable que en la parte superior se une a la máquina por una celda de carga. Se le aplica fuerza a una velocidad de 15 mm/min hasta que se rompe el coco, como se muestra en la figura 2.

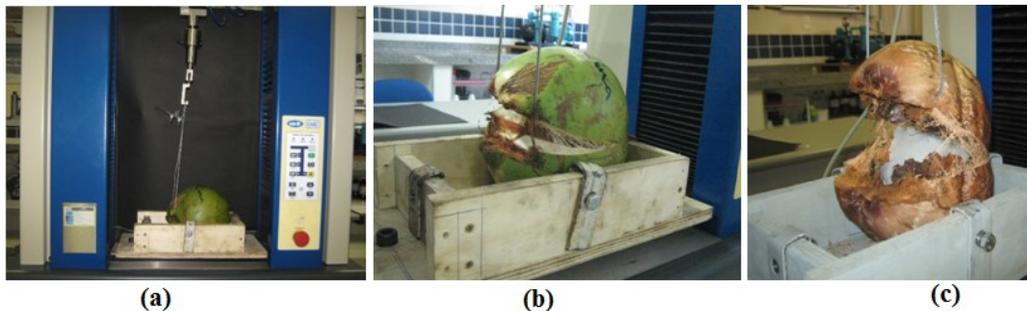


Fig.2. Ensayo de flexión; (a) Montaje del ensayo; (b) Fruto verde después del ensayo; (c) Fruto seco después del ensayo.

Para el ensayo de penetración se utilizó un penetrador cilíndrico con la punta cónica fabricado de acero inoxidable. La velocidad del ensayo también fue de 15 mm/min, y se aplicó fuerza hasta que rompió el endocarpo, como se muestra en la figura 3.



Fig.3. Ensayo de penetración; (a) Coco seco; (b) Coco verde.

### 3. Resultados y discusión

En todos los ensayos se realizó la adquisición de los datos con el software TESC vinculado a la máquina universal. Los datos fundamentales fueron los valores de fuerzas (N) y la deformación (mm), los que fueron procesados y presentados en forma de gráficos.

En la figura 4 se muestran los gráficos de fuerza-deformación del coco verde en las posiciones horizontal y vertical.

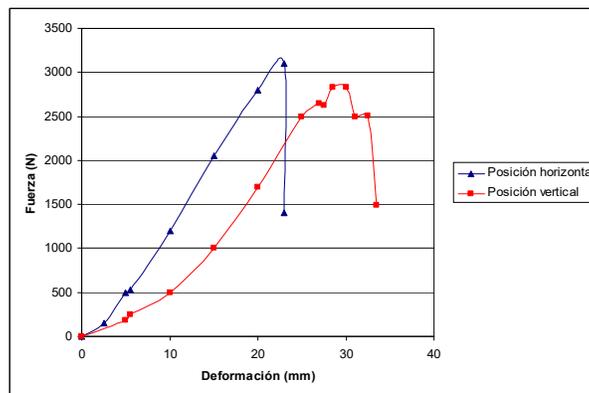


Fig.4. Gráficos de Fuerza vs. Deformación del coco verde.

Como se aprecia en estos gráficos el coco verde tiene una mayor resistencia en la posición horizontal, soportando una fuerza promedio de 3187,65 N, mientras que en la posición vertical soportó una fuerza promedio de 2886,43 N. Sin embargo en la posición vertical soporta una mayor deformación antes de que ocurra la rotura, siendo su valor promedio de 33,52 mm, y en la horizontal sufrió una deformación promedio de 22,54 mm.

En el caso de los cocos secos el comportamiento es a la inversa, como se puede ver en la figura 5.

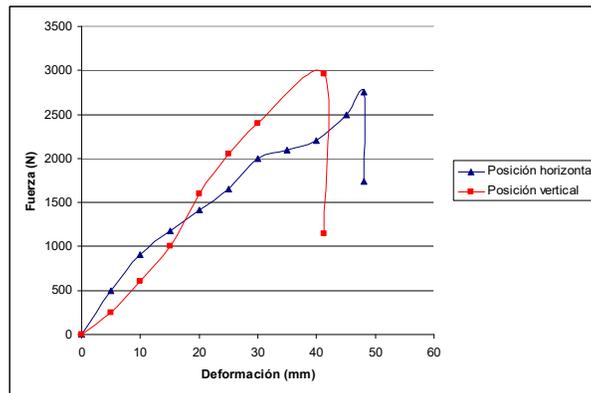


Fig.5. Gráficos de Fuerza vs. Deformación del coco seco.

Los frutos secos presentaron una mayor resistencia y una menor deformación en la posición vertical, soportando una fuerza promedio de 2977,15 N y deformándose un promedio de 40,69 mm. Mientras que en la posición horizontal la fuerza promedio máxima que soportaron fue de 2708,21 N y sufrieron una deformación promedio de 48,07 mm.

Al realizar el ensayo de tracción se tomaron como datos las fuerzas que se aplicaban y al mismo tiempo se midieron las deformaciones sufridas por la fruta, representándose sus valores en la figura 6.

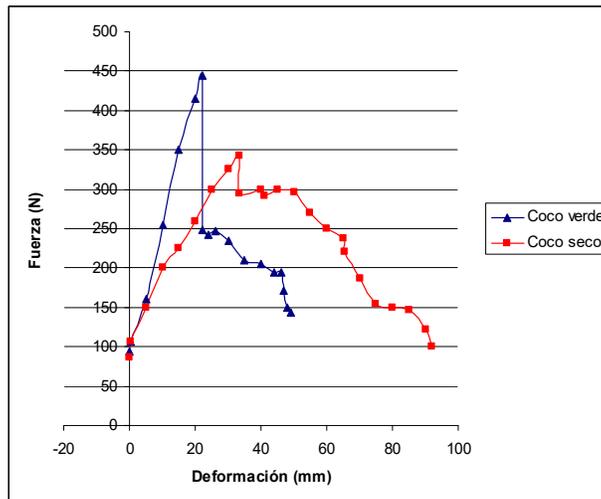


Fig.6. Gráfico de Fuerza vs. Deformaciones en el ensayo de tracción.

Como se aprecia el coco verde tiene una mayor resistencia, siendo la fuerza promedio necesaria para su rotura de 449,03 N, mientras que en ese momento la deformación promedio fue de 21,34 mm. En el caso del coco seco la fuerza promedio en el momento de la rotura fue de 341,67 N, mientras que la deformación promedio fue de 31,57 mm.



Los resultados del ensayo de penetración con punta cónica se presentan en la figura 7.

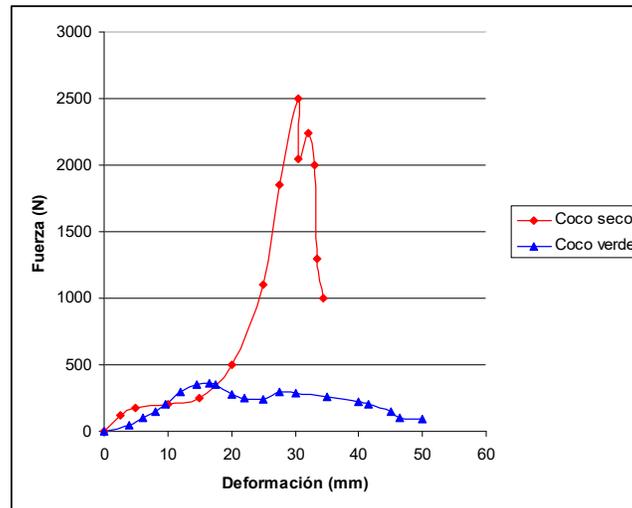


Fig. Gráfico de Fuerza vs. Deformaciones en el ensayo de penetración.

Al comparar las curvas de los ensayos de penetración de los cocos secos y verdes se observa una mayor resistencia a la penetración de los cocos secos, teniendo su valor promedio máximo de 2498,06 N en el momento en que rompe el endocarpo, mientras que en coco verde es de 384,36 N. Esto es consecuencia de que las fibras del fruto seco son más duras y se deforman menos que las del verde, proporcionándole una mayor rigidez.

#### 4. Conclusiones

- Los cocos verdes sometidos a compresión en la posición horizontal presentaron una resistencia 17,7 % mayor que los cocos secos en la misma posición. Mientras que los cocos secos como promedio se deformaron un 53,11 % más que los cocos verdes al someterse a compresión en posición horizontal.
- En el caso del ensayo de compresión en posición vertical los dos tipos de coco soportan prácticamente lo mismo, el valor promedio de la fuerza soportada por los cocos secos fue solamente un 3 % superior a la soportada por los verdes. Sin embargo los cocos secos sufrieron una deformación promedio superior en un 21,4 %.
- En los ensayos de tracción el coco verde tiene una resistencia promedio 23,9 % superior a los cocos secos. Sin embargo en el momento de la rotura los cocos



secos presentaron un estiramiento promedio superior en un 32,4 % a los cocos verdes.

- Al realizar los ensayos de penetración utilizando una punta cónica se constató que la fuerza promedio soportada en el momento de la rotura del endocarpo por los cocos secos es un 84,6 % mayor que la soportada por los cocos verdes.

## 5. Referencias bibliográficas

- 1- Fontenele, R. E. Cultura do coco no brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. XLIII Congresso da SOBER. Riberião Preto, Brasil. 2005.
- 2-- Martins, C. R; Jesus Júnior, L. A. Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional - Panorama 2010. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju. 2011. ISSN 1678-1953
- 3- Negrín Hernández, L. I. et al. Comportamiento mecánico de dos variedades de mango bajo compresión axial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 22, No. 2. 2013 ISSN: 1010-2760
- 4- López, B. V. Villaseñor, C. A. y Pérez, A. Propiedades mecánicas y respuesta fisiológica de frutos de chicozapote bajo compresión axial. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. Vol. 20, No. 3. 2011 ISSN: 1010-2760
- 5- García 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.
- 6- Zhiguo L., Fengli M., Andrews J. Mechanical Models of Compression and Impact on Fresh Fuits. Comprehensive Reviws in Food Science and Food Safety. Vol. 16. 2017. DOI: 10.1111/1541-4337.12296
- 7- Alvis A., Jiménez J., Arrazola G. Caracterización de las Propiedades Mecánicas de dos Variedades de Batata (*Ipomoea batatas Lam*). Información Tecnológica. Vol. 26, No. 4. 2015. ISSN: 0718-0764
- 8- Shuntaro Tsubaki et al. Mechanical proprieties of fruit-cuticulas membranas isolated from 27 cultivars of Diospyros kaki Thunb. Food Chemistry. Vol. 132. 2012. ISSN: 0308-8146
- 9- Weizu Wang et al. Mechanical damage caused by fruit-to-fruit impact of litchis. IFAC PapersOnLine. Vol 51. No 17. 2018. ISSN: 2405-8963
- 10- Leguísamo J. Characterization of a compound material of coconut fiber and epoxy resin matrix. Journal of Science and Research. Vol. 3, No. 4. 2018. ISSN: 2528-8083
- 11- Altaf Hussain S. Et al. Mechanical Propierties of Green Coconut Fiber Reinforced HDPE Polymer Composite. International Journal of Engineering Science and Technology. Vol. 3, No. 11. 2011. ISSN: 0975-5462



**Título Convención 2021**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
Determinación de las propiedades mecánicas del fruto del cocotero

- 12- Sapuan S., Harimi M., Maleque M. Mechanical Propierties of Epoxy-Coconut Shell Filler Particle Composites. *Arabian Journal for Science and Engineering*. Vol. 28, No. 2B. 2003. ISSN: 2191-4281
- 13- Durowaye S. Et al. Mechanical Propierties of Particulate Coconut Shell and Palm Fruit Polyester Composites. *International Journal of Materials Engineering*. Vol. 4, No. 4. 2014. ISSN: 2166-5400
- 14- Prades A. Et al. Coconut water uses, composition and properties: a review. *Fruits*. Vol. 67. 2012. ISSN: 0248-1294
- 15- Yong J., Ge L., fei Y., Ngin S. The Chemical Composition and Biological Propierties of Coconut Water. *Molecules*. Vol. 14. 2009. ISSN: 1429-3049
- 16- Folain A. Propierties (Cocos nucifera L.) Relevant to its Dehusking. *Journal of Agricultural Science and Technology A* 1. 2011. pgs 1089-1094. ISSN: 1939-1250