

INFLUENCIA DEL GRADO DE MADUREZ EN LA FIRMEZA DEL PLÁTANO HARTÓN (*Musa* AAB Simmonds)

INFLUENCE OF MATURITY ON THE STRENGTH OF FRACTURE "HARTÓN" PLANTAIN (*Musa* AAB Simmonds)

Ramiro Torres¹, Ricardo Andrade², Diego Tirado³, Diofanor Acevedo⁴

¹ Ingeniero Químico, M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Carrera 6 No. 76-103, Km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: rtorres@correo.unicordoba.edu.co; ² Ingeniero Químico, Ph.D. Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería de Alimentos. Carrera 6 No 76-103, Km. 3, vía Cereté, Córdoba-Colombia, e-mail: rdandrade@correo.unicordoba.edu.co; ³ Ingeniero de Alimentos, C. M.Sc. Ingeniería Ambiental. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Campus de Piedra de Bolívar, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: dtiradoa@unicartagena.edu.co; ⁴ Ingeniero de Alimentos, Ph.D. Ingeniería de Alimentos. Universidad de Cartagena, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería de Alimentos. Avenida El Consulado, Calle 30 No, 48-152, Cartagena, Bolívar-Colombia, e-mail: diofanor3000@gmail.com

Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 18(2): 563-567, Julio-Diciembre, 2015

INTRODUCCIÓN

Colombia es un país donde los productos agrícolas son unos de los principales pilares de la economía nacional. La agricultura colombiana está liderada por productos, como el café, las flores, el aceite de palma, el maíz y el plátano (Perfetti *et al.* 2013).

El plátano (*Musa paradisiaca* L.) es uno de los productos agrícolas más indispensables de la dieta alimentaria, especialmente, para la población de escasos recursos de los países tropicales, ya que es uno de los alimentos que más aporta calorías. El cultivo de plátano en Colombia ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica, desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo (Castaño *et al.* 2012; Villaverde *et al.* 2013). Aunque hay muchas variedades, las más cultivadas son: Hartón (*Musa* ABB Simmonds), Morado (*M. paradisiaca*), Cachaco (*M. sapientum*), Topocho o Cuatrofilos (*M. ABB silver bluggoe*), Pelipita (*M. ABB*), Maqueño (*M. balbisiana*), entre otros (Lucas *et al.* 2012).

El comportamiento físico del plátano varía durante la maduración, presentando cambios en el tamaño, la forma, la coloración de la cáscara, la pulpa, la materia seca y la textura (Villaverde *et al.* 2013). En el proceso avanzado de la maduración, cuando se han logrado los máximos cambios de composición, se inicia el proceso de ablandamiento del fruto, debido al incremento de la actividad de la enzima pectina-

sa (Barrera *et al.* 2010; Torres *et al.* 2013). Estas variaciones que se muestran durante la maduración, afectan la calidad organoléptica del plátano, especialmente, en la firmeza (Torres *et al.* 2015), que es un atributo textural de las frutas y de las hortalizas, utilizado para determinar el momento óptimo de la recolección, la calidad durante el almacenamiento, la comercialización en fresco o al procesado inicial de los productos (Negrin *et al.* 2013; Granados *et al.* 2014).

La firmeza, se puede determinar a través de la fuerza máxima de compresión o por el módulo de elasticidad o módulo de Young (Rodríguez *et al.* 2012). Como la mayoría de los alimentos son viscoelásticos y, por lo general, se someten a grandes compresiones, la definición de módulo Young rara vez se aplica a los productos alimenticios, por lo que es más conveniente determinar la fuerza con el módulo de deformabilidad, donde las deformaciones elástica y plástica, en la curva fuerza-deformación, es empleada para calcular la deformación unitaria en la expresión del módulo (Shirvani *et al.* 2014); sin embargo, el concepto del módulo de Young, se utiliza con frecuencia para expresar la relación tensión-deformación del alimento, a compresiones moderadamente bajas y en la zona de la curva de fuerza – compresión, que es razonablemente lineal y se ha identificado como una forma de medir la firmeza en los alimentos (De Laverne *et al.* 2015; Barreiro y Ruiz, 1996). El plátano, desde su cosecha, en los procesos prácticos de manipulación y de transporte, están sometidos a diversas condiciones de fuerzas o cargas aplicadas, las cuales, pueden ocasionar daños mecánicos, que afectan su calidad y precio (Torres *et al.* 2013).

Por tanto, identificar las magnitudes de esas cargas y esfuerzos resulta determinante, para mejorar las técnicas de empaque, de transporte, de manejo y de control y así conservar su calidad (Barrett *et al.* 2010). Los modelos reológicos pueden dar razón de ese comportamiento mecánico, al someter el producto a fuerzas de fractura, aplicando compresión en dirección transversal y longitudinal. Dicho comportamiento puede estar afectado por una combinación de múltiples factores o características físicas, químicas, térmicas y mecánicas del producto (González *et al.* 2014).

En Colombia existen pocas investigaciones sobre el comportamiento textural de los productos agrícolas, como es el caso del plátano Hartón, que pueden mejorar la calidad de procesamiento del mismo (Ciro Velásquez *et al.* 2007; Barco *et al.* 2009). El objetivo de esta investigación fue estudiar la influencia del grado de madurez en la fuerza de fractura del plátano Hartón (*Musa* AAB Simmonds).

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección de frutas. Se seleccionaron los plátanos variedad Hartón (*Musa* AAB Simmonds) tipo exportación, procedentes de un cultivo de zona rural del Municipio de Montería, Córdoba; se escogieron en los estados de madurez 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, identificados, visualmente, por el color de la cáscara, expresada en los parámetros CIELAB, siguiendo la metodología propuesta por Torres *et al.* (2012), adaptada para el plátano *Musa* AAB Simmonds. Cada estado de madurez, se representó como un patrón o estándar, enumerándolos del 1 al 7.

Determinación de la firmeza. Se realizaron pruebas de compresión uniaxial, longitudinal y transversal, sobre muestras cilíndricas de 2cm de diámetro y 3cm de altura, mediante un plato de compresión de 5cm de diámetro, a las velocidades seleccionadas en el diseño experimental, hasta 70%, respecto a la altura inicial de la muestra, para determinar fuerza máxima de compresión y pruebas de compresión uniaxial y longitudinal, hasta 30%, respecto a la altura inicial de la muestra, para determinar el módulo de deformabilidad, en un Texturómetro Shimadzu EZ Test®, usando el software RheoMeter® versión 2.04. Con la gráfica de fuerza vs desplazamiento, se determinó la fuerza máxima de compresión uniaxial y el módulo de deformabilidad, se calculó como la pendiente en la región lineal de la gráfica la deformación de Hencky, $\varepsilon(t)$ vs esfuerzo real, $\sigma(t)$ dado por:

$$\varepsilon(t) = - \int_{h_0}^h dh \quad (1)$$

$$\sigma(t) = \frac{F(t)}{A_0} \quad (2)$$

Donde h y h_0 son la altura en cualquier tiempo t y la altura inicial de la muestra, respectivamente; $F(t)$ es la fuerza realizada a la muestra en cualquier tiempo t y A_0 es el área inicial de la muestra.

Diseño experimental. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, bajo un arreglo factorial 2x3x7 con los factores: dirección de la carga, en los niveles longitudinal y transversal; velocidades de compresión, en los niveles 0,1, 0,3 y 0,4cm/s y estado de madurez, en los niveles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7; dos repeticiones por tratamiento, para un total de 126 unidades experimentales. Se realizó una prueba de análisis de varianza ANOVA, a un nivel de significancia del 5%, correspondiente al diseño planteado, para validar el ajuste del modelo y verificar la significancia de los tratamientos sobre las variables de respuesta fuerza máxima de compresión uniaxial y módulo de deformabilidad. Posteriormente, se realizó la prueba de comparación de medias de tratamientos de Tukey. El análisis estadístico y procesamiento de los datos, se realizó en el software estadístico Statgraphics Centurion XV versión de prueba.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Anova muestra que existen diferencias significativas del estado de madurez sobre la fuerza máxima de compresión, medida de forma longitudinal y transversal. En la tabla 1, se evidencia que, para el plátano variedad Harton, la fuerza máxima de compresión uniaxial disminuye significativamente, con una significancia del 5%, a medida que aumenta el estado de madurez del 1 al 2; sin embargo, entre los estados de madurez 2 a 3, 3 a 4 y 4 a 5 no se presentaron diferencias significativas y solo vuelve a presentarse un descenso significativo de la fuerza de compresión, entre los estados 5 al 7. Lo anterior permite tener un referente para procesamiento y también para su almacenamiento y transporte, teniendo en cuenta la relación proporcional entre la cáscara y la pulpa (Ciro Velásquez *et al.* 2005), pues las pruebas no se realizaron con cáscara. Así, a menor fuerza de compresión soportada por el plátano, mayores van a ser los daños mecánicos que afectan su calidad y su precio.

La disminución de la firmeza del plátano Hartón (representada por fuerza máxima de compresión), a medida que aumenta su estado de madurez, se debe a que, durante el proceso de maduración, 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 (Torres *et al.* 2012). Además, durante la maduración, la velocidad de degradación de las sustancias pécticas está relacionada con el ablandamiento de la fruta (Linares *et al.* 2013).

En la tabla 1, se evidencia que la firmeza también se presentan diferencias significativas en el sentido de la carga, por lo que se puede afirmar que el plátano Hartón se comporta como un alimento anisotrópico, en todos sus estados de madurez, es decir, que la estructura de los tejidos no es homogénea, concordando con estudios en plátano (*Musa AAB Simmonds*) (Ciro Velásquez *et al.* 2008). Igualmente, la velocidad de compresión, no incidió sobre la determinación de la firmeza, a un nivel de significancia del 5%.

En la tabla 2, se observa que el módulo de deformabilidad longitudinal a la compresión disminuye, significativamente, a un nivel de significancia del 5%, entre el estado de madurez 1 al 3 y del 5 al 7; sin embargo, entre los estados de madurez 3

al 5 no se presentaron diferencias significativas. Esto permite diferenciar la firmeza de la fruta atribuible a la pérdida de rigidez del fruto, que ocurre en su proceso de maduración, mostrando una mayor diferencia de ésta entre los estados de madurez inicial y final y, manteniéndose, entre los estados de madurez intermedios, del 3 al 5. Este comportamiento, se puede explicar porque la maduración ha sido asociada con tres procesos (Barco *et al.* 2009): en el primero, se presenta la degradación del almidón para formar azúcar, lo cual, ocurre entre los estados de madurez 1 a 2; en el segundo proceso, se detecta la degradación de las paredes celulares o reducción en la cohesión de la lamella media, debido a la solubilización de las sustancias pécticas, lo que se da en los estados de madurez 3 al 5; esto explica, por qué estos estados de madurez no afectan significativamente la elasticidad

Tabla 1. Fuerza máxima de compresión uniaxial del plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*).

Estado de Madurez	Fuerza máxima (N)	
	Longitudinal	Transversal
1	455,43±3,03 ^{a**}	350,45±5,21 ^a
2	416,97±7,04 ^{b**}	312,23±6,47 ^b
3	396,41±7,41 ^{bc**}	292,50±6,41 ^{bc}
4	372,65±8,51 ^{cd**}	267,68±9,96 ^{cd}
5	359,49±11,97 ^{d**}	254,13±11,24 ^d
6	142,41±32,22 ^{e**}	82,56±27,20 ^e
7	91,72±28,78 ^{f**}	44,22±17,73 ^f

*Letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos estados de madurez. Letras diferentes indican diferencias significativas (nivel significancia 5%). Los ** indican diferencia significativa entre tratamientos longitudinal y trasversal.

Tabla 2. Módulo de deformabilidad longitudinal (KPa) del plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*).

Estado Madurez	Módulo de deformabilidad longitudinal (KPa)
1	819,35±56,27 ^a
2	645,83±31,32 ^b
3	542,33±25,36 ^c
4	505,45±49,98 ^c
5	486,93±27,25 ^c
6	340,33±35,65 ^d
7	133,82±28,77 ^e

*Letras minúsculas indican diferencias entre tratamientos. Letras diferentes indican diferencias significativas (nivel significancia 5%).

de la fruta y, el tercero, es el movimiento de agua desde la cáscara a la pulpa, debido al proceso de ósmosis, lo que se da en los estados 6 al 7, afectando, significativamente, la elasticidad de la fruta. Resultados similares se han reportado en banano (*Musa sapientum*), por Barco *et al.* (2009); en bayas de arándanos, por Zapata *et al.* (2010); en lulo, por Ospina *et al.* (2007) y en manzana, por Yurtlu *et al.* (2005).

Conflictos de intereses: El manuscrito fue preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- BARCO, P.L.; BURBANO, A.C.; MEDINA, M.; MOSQUERA, S.A.; VILLADA, H.S. 2009. Efecto de recubrimiento natural y cera comercial sobre la maduración del banano (*Musa sapientum*). Rev. Biotecn. Sector Agropec. Agroindustr. (Colombia). 7(2):70-76.
- BARRERA, J.; ARRAZOLA, G.; CAYÓN, D. 2010. Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en dos sistemas de producción. Acta Agr. (Colombia). 59(1):20-29.
- BARREIRO, J.; RUIZ-ALTISENT, M. 1996. Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales. Fruti. Prof. 77:48-51.
- BARRETT, D.; BEAULIEU, J.; SHEWFELT, R. 2010. Color, Flavor, Texture, and Nutritional Quality of Fresh-Cut Fruits and Vegetables: Desirable Levels, Instrumental and Sensory Measurement, and the Effects of Processing. Critical Rev. Food Sci. Nutrition. (UK). 50:369-389.
- CASTAÑO, A.M.; ARISTIZABAL, M.; GONZÁLEZ, H. 2012. Requerimientos hídricos del plátano Domínico-Hartón (*Musa AAB Simmonds*) en la región Santagüeda (Palestina, Caldas). Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. (Colombia). 15(2):331-338.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; MONROY LAITON, F.A.; CORTÉS MARÍN, E.A. 2008. Estudio preliminar del comportamiento reológico bajo compresión unidireccional de la pulpa de plátano (*Musa AAB Simmonds*). Dyna. 75(155):155-161.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; LARGO ÁVILA, S.; CASAFÚS PIEDRAHITA, H.S. 2007. Caracterización reológica de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Parte I: Respuesta a la compresión unidireccional. Dyna. (Colombia). 74(151):25-36.
- CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; MONTOYA LÓPEZ, M.L.; MILLÁN CARDONA, L.d.J. 2005. Caracterización de propiedades mecánicas del banano (Cavendish Variety). Rev. Fac. Nal. Agr. 58(2):2975-2988.
- DE LAVERGNE, M.D.; VAN DELFT, M.; VAN DE VELDE, F.; VAN BOEKEL, M.A.; STIEGER, M. 2015. Dynamic texture perception and oral processing of semi-solid food gels: Part 1: Comparison between QDA, progressive profiling and TDS. Food Hydrocoll. (Netherlands). 43(1):207-217.
- GONZÁLEZ, D.I.; ORDOÑEZ, L.E.; VANEGAS, P.; VASQUEZ, H.D. 2014. Cambios en las propiedades fisicoquímicas de frutos de lulo (*Solanum quitoense* Lam.) cosechados en tres grados de madurez. Acta Agr. 63(1):11-17.
- GRANADOS, C.; ACEVEDO, D.; CABEZA, A.; LOZANO, A. 2014. Análisis de perfil de textura en plátanos Peli-pita, Hartón y Topocho. Inf. Tecnol. (Chile). 25(5):35-40.
- LINARES, J.A.; CASTILLO, B.; LONDONO, M.T. 2013. Characterization of the mechanical properties of the sweet passion fruit (*Passiflora ligularis* Juss.). Acta Agr. 31(2):208-214.
- LUCAS, J.C.; QUINTERO, V.D.; LEAL, J.F.V.; MOSQUERA, J.D. 2012. Evaluación de los parámetros de calidad de chips en relación con diferentes variedades de plátano (*Musa paradisiaca* L.). Rev. Lasallista Invest. (Colombia). 9(2):65-74.
- NEGRIN, H.L.I.; BARROS, R.; DA SILVA, A.C.; NETO, A.F.; CARDENAS, N. 2013. Comportamiento mecánico de dos variedades de mango (*Mangifera Indica*) bajo compresión axial. Rev. Cienc. Técn. Agropec. (Cuba). 22(2):11-15.
- OSPINA MONSALVE, D.M.; CIRO VELÁSQUEZ, H.J.; ARISTIZÁBAL TORRES, I.D. 2007. Determinación de la fuerza de la fractura superficial y fuerza de firmeza en frutas de lulo (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*). Rev. Fac. Nal Agron. (Colombia). 60(2):4163-4178.
- PERFETTI, J.J.; HERNÁNDEZ, A.; LEIBOVICH, J.; BALCÁZAR, Á. 2013. Políticas para el Desarrollo de la

- Agricultura en Colombia. 1ª Edición. Ed. La imprenta. (Colombia). 248p.
17. RODRÍGUEZ, A.; MOUNSON, L.L.; HERNÁNDEZ, A. 2012. Determinación de la firmeza de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en diferentes estados de maduración. *Rev. Ing. Agr. (Cuba)*. 2(1):42-46.
18. SHIRVANI, M.; GHANBARIAN, D.; GHASEMI-VARNAMKHAHI, M. 2014. Measurement and evaluation of the apparent modulus of elasticity of apple based on Hooke's, Hertz's and Boussinesq's theories. *Measurement. (UK)*. 54(1):133-139.
19. TORRES, R.; MONTES, E.; PÉREZ, J.; OMAR, A.; ANDRADE, R.D. 2013. Relación del color y del estado de madurez con las propiedades fisicoquímicas de frutas tropicales. *Inform. Tecnol.* 24(3):51-53.
20. TORRES, R.; MONTES, E.J.; PÉREZ, O.A.; ANDRADE, R.D. 2012. Influencia del estado de madurez sobre las propiedades viscoelásticas de frutas tropicales (mango, papaya y plátano). *Inform. Tecnol.* 23(5):115-124.
21. TORRES, R.; MONTES, E.J.; PÉREZ, O.A.; ANDRADE, R.D. 2015. Influencia del color y estados de madurez sobre la textura de frutas tropicales (Mango, Papaya y Plátano). *Inform. Tecnol.* 26(3):47-52.
22. VILLAVARDE, J.; OLIVEIRA, L.; VILELA, C.; DOMINGUES, R.; FREITAS, N.; CORDEIRO, N.; SILVESTRE, A. 2013. High valuable compounds from the unripe peel of several *Musa* species cultivated in Madeira Island (Portugal). *Industr. Crops Prod. (Netherlands)*. 42(1):507-512.
23. YÜRTLÜ, Y.; ERDOĞAN, D. 2005. Effect of storage time on some mechanical properties and bruise susceptibility of pears and apples. *Turkey J. Agric. Forest. (Turquía)*. 29(1):469-482.
24. ZAPATA, L.M.; MALLERET, A.D.; QUINTEROS, C.F.; LESA, C.E.; VUARANT, C.O.; RIVADENEIRA, M.F.; GERARD, J.A. 2010. Estudio sobre cambios de la firmeza de bayas de arándanos durante su maduración. *Cienc., Doc. Tecn. (Uruguay)*. (41):159-171.

Recibido: Abril 14 de 2015

Aceptado: Noviembre 17 de 2015

Cómo citar:

Torres, R.; Andrade, R.; Tirado, D.; Acevedo, D. 2015. Influencia del grado de madurez en la firmeza del plátano hartón (*Musa* AAB Simmonds). *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 18(2): 563-567.