

No hay cosa más deliciosa y sana que comer en ayunas una manzana

Desde el punto de vista de la producción, las propiedades mecánicas de la manzana (*Malus domestica*) son muy importantes, por lo que durante la cosecha, almacenamiento y transporte se busca disminuir su manipulación mecánica para mantener la calidad del fruto. Desde el punto de vista del consumidor, se busca que el fruto posea buenas propiedades sensoriales tales como el color, sabor, textura y firmeza. Estas propiedades le otorgan un alto valor económico a este fruto, destacando la textura y la firmeza, razón por la que en los últimos años, diversos estudios se han enfocado en la caracterización mecánica de la manzana.

Palabras clave:
Malus domestica,
propiedades mecánicas,
textura

JUAN V. MÉNDEZ-MÉNDEZ¹, EMMANUEL A. FLORES-JOHNSON²,
ISRAEL ARZATE-VÁZQUEZ¹, JOSÉ J. CHANONA-PÉREZ³, MAYRA
B. GÓMEZ-PATIÑO¹ Y BENJAMÍN ARREDONDO-TAMAYO³

¹Instituto Politécnico Nacional, Centro de Nanociencias Micro y Nanotecnologías, Av. Luis Enrique Erro s/n, Nueva Industrial Vallejo, Gustavo A. Madero, 07738, Ciudad de México, CDMX, México.

²CONACYT – Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C. Calle 43 No. 130 x 32 y 34, Colonia Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

³Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Av. Luis Enrique Erro s/n, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Gustavo A. Madero, 07738, Ciudad de México, CDMX, México.

jmendezm@ipn.mx

Introducción: La manzana (*Malus domestica* (Suckow) Borkh., Rosaceae) es un cultivo importante a nivel mundial debido al volumen de su cosecha anual, el cual fue de 129,662,799 toneladas (FAOSTAT 2020) en el año 2019. Las características sensoriales de la manzana como la textura, firmeza, sabor, jugosidad, color, olor, etc., son atributos detectados fácilmente por el consumidor, los cuales son determinantes para la calidad del fruto. Una característica sensorial destacable en la manzana es la textura y los atributos asociados a ella como la firmeza, los cuales cambian durante el proceso de maduración del fruto. En consecuencia, en años recientes algunos investigadores han realizado estudios para tener un mejor entendimiento de las propiedades mecánicas de este fruto con la finalidad de reducir las pérdidas en la cosecha y durante el transporte y por lo tanto mejorar así su conservación y calidad.

Cambios mecánicos durante el proceso de maduración: La manzana es un fruto climatérico, lo que significa que este puede madurar después de haber sido cortado del árbol. Entre las varie-

@CICYoficial    

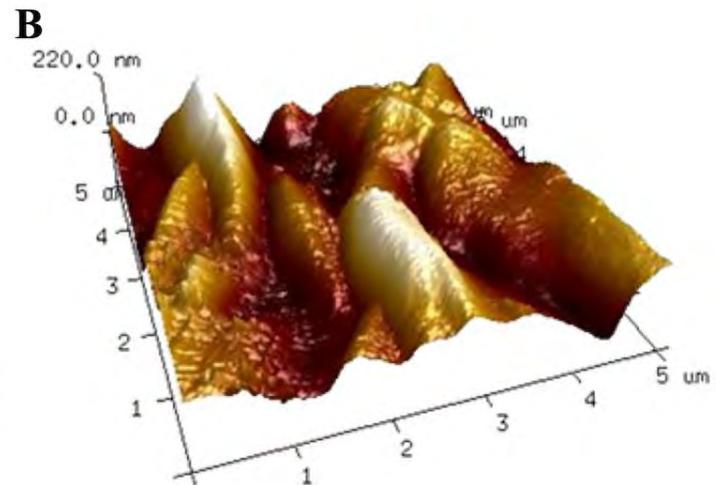
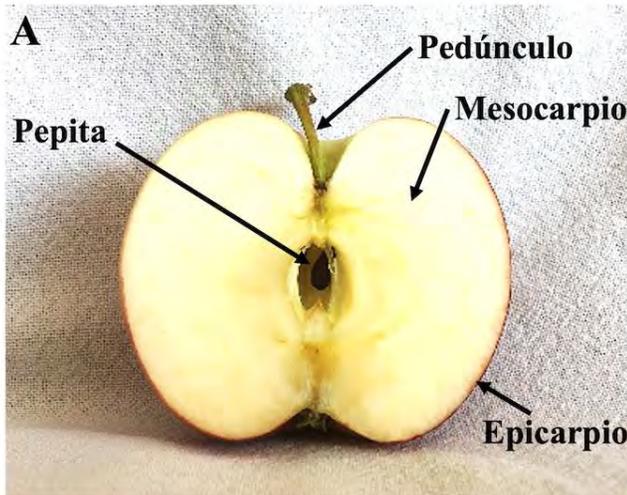


Figura 1A. Sección transversal de manzana Gala, en esta se observan las partes de la manzana (solo se etiquetan algunas de estas).
B. Imagen del microscopio AFM donde se observa la rugosidad de la pared celular de una célula del mesocarpio de la manzana. (Adaptado de Cárdenas-Pérez *et al.* 2016).

dades de la manzana más importantes a nivel mundial se encuentran la Gala, Granny Smith, Golden y Red Delicious. En la Figura 1A se muestra una imagen de la sección transversal de una manzana variedad Gala donde se pueden distinguir algunas de las partes que la componen. Específicamente en México en el año 2019, se produjeron 761,483 toneladas (FAOSTAT 2020). Un punto a destacar de este fruto es que es posible encontrarlo comercialmente todo el año y el tiempo de maduración es de 4 semanas en condiciones ambientales (Cárdenas-Pérez *et al.* 2017). Sin embargo, con la ayuda de algunos métodos como el uso de atmósferas controladas, la manzana puede durar en almacenamiento hasta 6 meses (Fan *et al.* 1999). Debido a su alto consumo y valor económico se han realizado diferentes investigaciones respecto a las características mecánicas de este fruto para mejorar su manejo y reducir las mermas en la cosecha y el transporte, y mejorar su conservación (Cárdenas-Pérez *et al.* 2019).

La textura de un fruto es una propiedad muy importante debido a que determina la aceptación del consumidor. La textura en conjunto con el sabor, color y el aroma son propiedades percibidas por el consumidor y están relacionadas con la calidad del fruto; por ejemplo, si una manzana es muy suave al tacto del consumidor esto le indica que se está llevando a cabo un proceso de descomposición. En caso contrario, si es muy rígida percibe que el fruto aun es inmaduro y no apto para el consumo.

Por lo tanto, el término textura en el campo de los alimentos está relacionado a la sensación que nos genera su estructura o la mezcla de sus componentes y es una característica difícil de cuantificar debido a que engloba múltiples propiedades mecánicas. De manera tradicional la evaluación de la textura de los alimentos se desarrolla mediante pruebas de evaluación sensorial de jueces entrenados, siendo la subjetividad la principal desventaja de este método. Sin embargo, apoyándose de la ciencia de los materiales se han establecidos procedimientos estandarizados que permiten caracterizar de manera cuantitativa la textura de los alimentos y a partir de ellos obtener propiedades mecánicas tales como el módulo elástico y la dureza. Las propiedades mecánicas, las cuales dependen del arreglo estructural y composición de los tejidos celulares, son el factor que más influye en la textura de un alimento.

Para la evaluación de los cambios mecánicos a nivel macroscópico que experimentan los frutos se utiliza un texturómetro. Este instrumento está provisto de palpadores o sondas con diferentes geometrías y tamaños que son usados para aplicar un esfuerzo sobre el fruto y obtener gráficas que describen su comportamiento mecánico. Por ejemplo, Khan y Vincent (1993) determinaron las propiedades mecánicas de la manzana en pruebas de compresión y encontraron que estas varían de acuerdo a la orientación de la muestra tomada. Por lo tanto, una característica destacable que posee la manzana, al igual que muchos otros frutos, es la anisotropía;

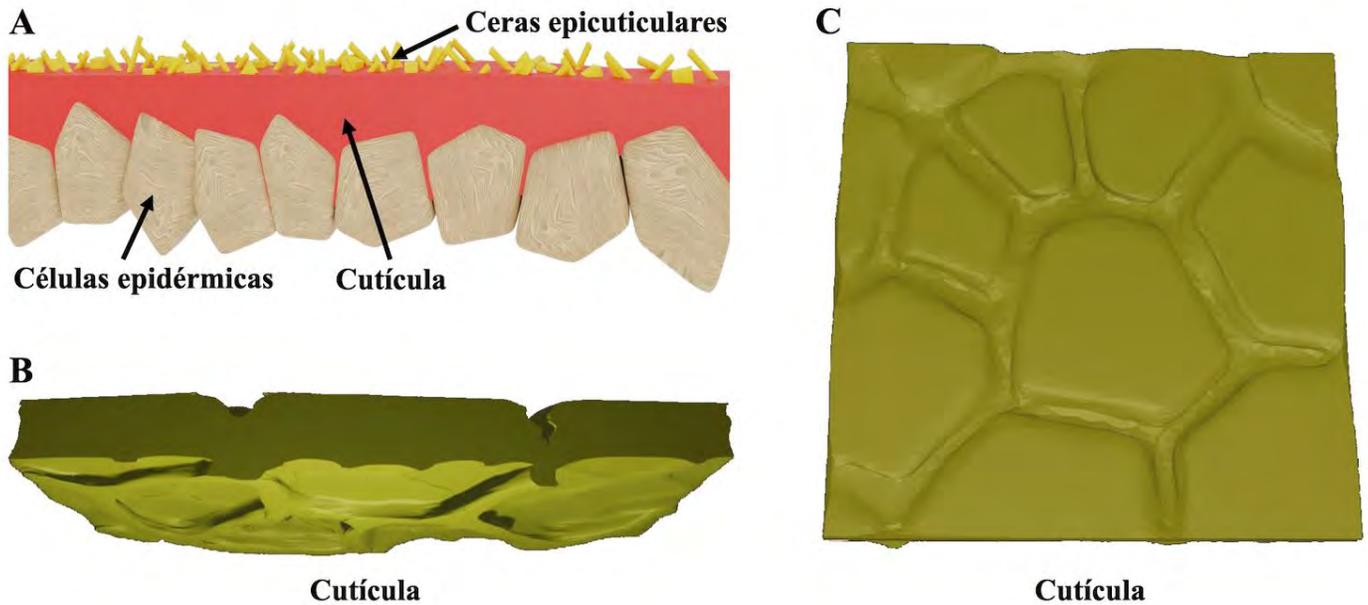


Figura 2A. Sección transversal del epicarpio donde se puede observar que la cutícula se encuentra cubierta en la parte exterior por ceras epicuticulares, y por dentro se encuentra en contacto con las células epidérmicas. **B-C.** Reconstrucción de la cutícula con un software de diseño, basada en observaciones experimentales microscópicas, donde se pueden observar las huellas que dejan las células epidérmicas al ser removidas. (Imágenes: Juan V. Méndez-Méndez).

esto significa que sus propiedades varían en función de la dirección en que son evaluados. En otro estudio, Cornault *et al.* (2018) realizaron pruebas de compresión sobre trozos cilíndricos de tejido parénquimal de manzanas Granny Smith y a partir de estas pruebas determinaron el módulo de Young; este es un parámetro que nos indica que tan rígido es un material. Por otra parte, se sabe que, durante el proceso de maduración de las manzanas, se llevan a cabo una serie de cambios que modifican la estructura y composición de los tejidos, como por ejemplo, la degradación de la lamela media y tejido fibroso, y la pérdida de turgencia de las células (Varela *et al.* 2007). Durante el proceso de maduración, la manzana sufre algunos cambios mecánicos principalmente en el mesocarpio (Figura 1A), el cual es el tejido más abundante, debido a que ocurren procesos químicos de degradación en los polisacáridos de almidones y no almidones ocasionando cambios estructurales en las paredes celulares. También se sabe que los cambios en la rigidez de este fruto en su maduración, se deben a los cambios en la solubilización y la degradación de las pectinas y hemicelulosa (Cárdenas-Pérez *et al.* 2017).

Caracterización micro y nanomecánica de la manzana: Diversos estudios de caracterización micro y nanomecánica en diferentes tejidos de frutas,

se han llevado a cabo utilizando el microscopio de fuerza atómica (AFM por sus siglas en inglés). Este instrumento tiene una alta resolución espacial por lo que es posible caracterizar estructural y mecánicamente diferentes elementos estructurales de los alimentos como tejidos, células e incluso la pared celular. Las características mecánicas se determinan por medio de una indentación, la cual se define como la penetración en el tejido del fruto con una punta afilada, con un diámetro en el rango de los nanómetros, al aplicar una fuerza sobre ésta. Es común encontrar variabilidad en los resultados obtenidos en pruebas de nanoindentación porque a ese nivel de escala es posible que exista una gran diferencia entre cada zona evaluada. La variabilidad de las mediciones en materiales biológicos se debe a la anisotropía del material, así como también a su composición y contenido de humedad. Otro factor que también contribuye a la variabilidad de los resultados es la rugosidad de la superficie de los materiales. Para disminuir el efecto de la rugosidad sobre las mediciones con el AFM, se usan puntas con diámetros del orden micrométrico, pero se corre el riesgo de no obtener imágenes topográficas de buena calidad. En un estudio llevado a cabo por Cárdenas-Pérez *et al.* (2016), se realizaron mediciones utilizando este instrumento sobre células aisladas y

tejido parénquima de la manzana. Las mediciones realizadas en células aisladas simulan el proceso de maduración, es decir, la degradación de la lamela media, pectinas y los polisacáridos. La Figura 1B muestra una imagen del microscopio AFM donde se puede observar la rugosidad de la pared celular en una célula del mesocarpio de la manzana.

Caracterización del epicarpio (cáscara): La apariencia es un atributo importante de las manzanas; sensorialmente hablando, el consumidor puede evaluar la calidad del fruto, observando la existencia de golpes, las heridas y la coloración en general (Khanal y Knoche 2014). El epicarpio (la cáscara) está constituido por la cutícula, las ceras epicuticulares, cutina, pectina y las células epidérmicas (Figura 2A). La cutícula es el recubrimiento externo que envuelve completamente a la manzana y funciona como protección externa contra el ataque de patógenos e insectos (Domínguez *et al.* 2011). También está involucrada en el control de la humedad e intercambio de gases con el medio y protección contra los rayos UV, por lo que podemos decir que la cutícula es un empaque inteligente el cual responde al cambio de las condiciones climáticas. Desde el punto de vista mecánico, la cutícula también sirve de protección mecánica del fruto al momento de la cosecha y el transporte. Se sabe que, para otros tipos de cutícula similares, que el comportamiento de este tejido es viscoelástico y para pequeñas deformaciones es elástico. Estas propiedades son conferidas principalmente por la presencia de la fracción de los polisacáridos, flavonoides y ceras, etc. (Khanal y Knoche 2014). Varios estudios indican que las propiedades mecánicas de la cutícula dependen de la temperatura y la humedad. Las Figuras 2B y 2C muestran una reconstrucción de la cutícula con un software de diseño, basada en observaciones experimentales microscópicas, donde se pueden observar las huellas que dejan las células epidérmicas en la cutícula al ser estas removidas por medio de procesos físico-químicos (Arrieta-Baez *et al.* 2020). Esto muestra que las diferentes capas de la cutícula están bien unidas entre sí, lo que genera sus propiedades mecánicas.

En conclusión, las investigaciones enfocadas en las propiedades mecánicas de la manzana, permiten conocer los parámetros que pueden ser optimizados para mejorar su calidad. Además, estas investigaciones arrojan resultados sobre los cambios mecáni-

cos que experimentan las manzanas durante el proceso de maduración, lo que permite contar con información relevante para determinar el momento adecuado de la cosecha y reducir las pérdidas económicas. Finalmente, algunos investigadores han correlacionado los cambios mecánicos de esta fruta con la coloración, lo que permite mejorar los procesos de selección y aseguramiento de la calidad de este fruto.

Referencias

- Arrieta-Baez D., Perea Flores M.J., Méndez-Méndez J.V., Mendoza León H.F. y Gómez-Patiño M.B. 2020. Structural studies of the cutin from two apple varieties: Golden Delicious and Red Delicious (*Malus domestica*). *Molecules* 25: 5955.
- Cárdenas-Pérez S., Chanona-Pérez J.J., Méndez-Méndez J.V., Calderón-Domínguez G., López-Santiago R. y Arzate-Vázquez I. 2016. Nanoindentation study on apple tissue and isolated cells by atomic force microscopy, image and fractal analysis. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 34: 234–242.
- Cárdenas-Pérez S., Chanona-Pérez J., Méndez-Méndez J.V., Calderón-Domínguez G., López-Santiago R., Perea-Flores M.J. y Arzate-Vázquez I. 2017. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. *Biosystems Engineering* 159: 46–58.
- Cárdenas-Pérez S., Chanona-Pérez J.J., Méndez-Méndez J.V., Arzate-Vázquez I., Hernández-Varela J.D. y Güemes Vera N. 2019. Recent advances in atomic force microscopy for assessing the nanomechanical properties of food materials. *Trends in Food Science & Technology* 87: 59–72.
- Cornuault V., Pose S. y Knox J.P. 2018. Extraction, texture analysis and polysaccharide epitope mapping data of sequential extracts of strawberry, apple, tomato and aubergine fruit parenchyma. *Data in Brief* 17: 314–320.
- Domínguez E., Heredia-Guerrero J.A. y Heredia A. 2011. The biophysical design of plant cuticles: An overview. *New Phytologist* 189: 938–949.

- Fan X., Blankenship S.M. y Mattheis J.P. 1999.** 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 690–695.
- FAOSTAT 2020.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> (consultado: 21 febrero 2021).
- Khan A.A. y Vincent J.F. 1993.** Compressive stiffness and fracture properties of apple and po-

tato parenchyma. *Journal of Texture Studies* 24: 423–435.

- Khanal B.P. y Knoche M. 2014.** Mechanical properties of apple skin are determined by epidermis and hypodermis. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 139: 139–147.
- Varela P., Salvador A. y Fiszman S. 2007.** Changes in apple tissue with storage time: Rheological, textural and microstructural analyses. *Journal in food engineering* 78(2): 622–629.

Desde el Herbario CICY, 13: 110–114 (3-junio-2021), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Germán Carnevali Fernández-Concha y José Luis Tapia Muñoz. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 3 de junio de 2021. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.