

¿Por qué las nueces son tan duras?

Los frutos secos comúnmente conocidos como nueces, son alimentos importantes en la dieta cotidiana debido a su rico sabor y su valioso aporte nutricional. Sin embargo, al querer degustar este tipo de alimentos nos enfrentamos a la problemática de romper la cáscara, la cual se considera un material duro. De lo anterior surge la pregunta: ¿Por qué las cáscaras de nueces son tan duras? En este artículo se discutirán las características (morfológicas, microestructurales y composición) que tienen estos alimentos y que dan como resultado que exhiban un alto grado de rigidez.

Palabras clave:
características físicas,
composición, frutos secos,
microestructura,
propiedades mecánicas.

MELINA SÁNCHEZ-LEONEL^{1,4}, ANA ELISABETH OLIVARES-HERNÁNDEZ¹, ISRAEL ARZATE-VÁZQUEZ^{2,4}, JUAN VICENTE MÉNDEZ-MÉNDEZ² Y JESÚS NICOLÁS-BERMÚDEZ³

¹Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional, Prolongación de Carpio y Plan de Ayala s.n., Santo Tomás, Ciudad de México, 11340, México.

²Centro de Nanociencias y Micro y Nanotecnologías, Instituto Politécnico Nacional, Luis Enrique Erro s.n., Zacatenco, Ciudad de México, 07738, México.

³Universidad Tecnológica Fidel Velázquez, Av. Emiliano Zapata s.n., El Tráfico, Villa Nicolás Romero, Estado de México, 54400, México.

⁴iarzate@ipn.mx; msanchez12300@alumno.ipn.mx

Introducción: Las nueces son consideradas como frutos secos que generalmente tienen una sola semilla y son muy consumidas en nuestra dieta cotidiana como parte de platillos o snacks, debido a su rico sabor e importante aporte nutricional (Cisneros-García *et al.* 2023). Algunos ejemplos de estos frutos son: la nuez pecanera (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch), nuez de castilla (*Juglans regia* L.), avellana (*Corylus avellana* L.), nuez de macadamia (*Macadamia integrifolia* Maiden & Betcher) y pistaches (*Pistacia vera* L.). Para poder consumir este tipo de alimentos es necesario romper su cáscara, la cual es considerada una barrera dura que encierra a la semilla y tiene la función de protegerla contra animales y factores abióticos como la lluvia y el sol (Xiao *et al.* 2020). En este artículo se discutirán algunas características físicas y químicas como la forma y tamaño del fruto, espesor de la cáscara y el arreglo microestructural y composición, las cuales influyen en las propiedades mecánicas que tienen este tipo de alimentos.

Morfología del fruto y espesor de la cáscara: La primera característica física que determina la rigidez de las nueces es su morfología y tamaño. En la Figura 1 se muestran algunas imágenes de diferentes variedades de nueces, donde se puede distinguir que tienen formas esféricas (avellana y nuez de castilla) o elipsoides (nuez pecanera), así como diferentes tamaños. Estos tipos de formas

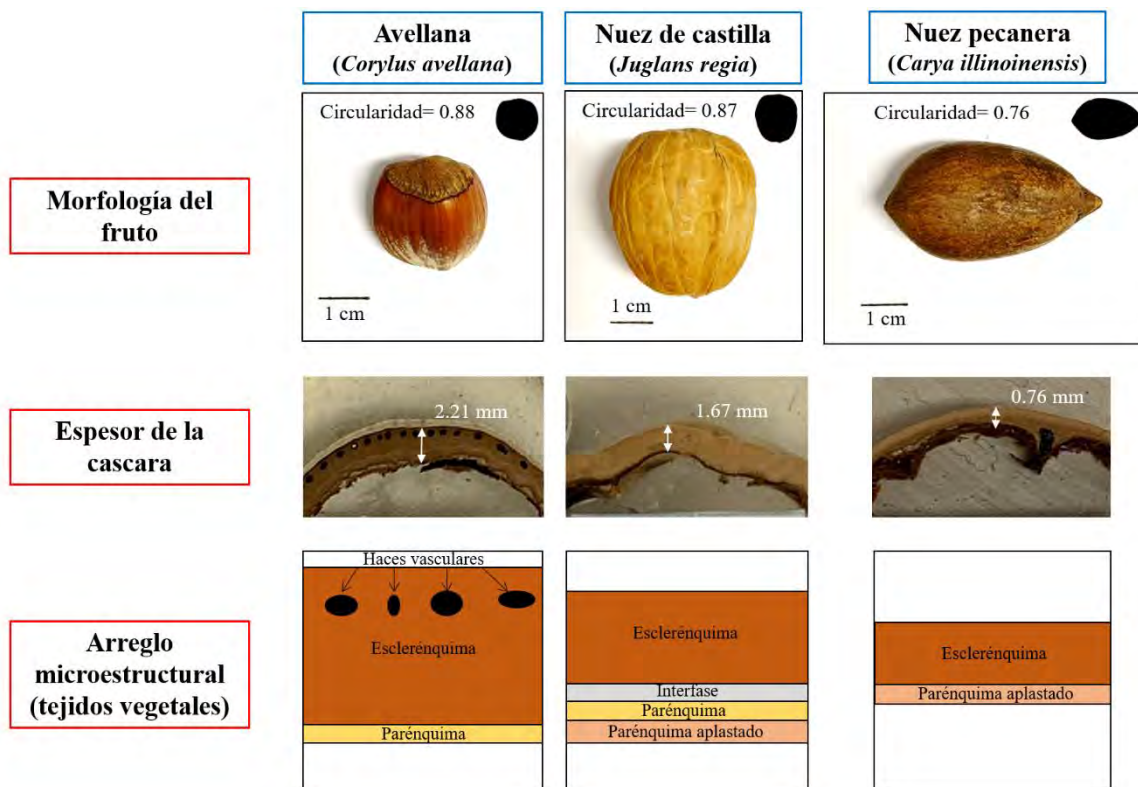


Figura 1. Diagrama de características físicas (morfología del fruto, espesor de la cáscara y microestructura) de algunas variedades de nueces que influyen en las propiedades mecánicas (preparación de las muestras, captura de imágenes y ensamble de figuras por I. Arzate-Vázquez).

geométricas son muy eficientes desde el punto de vista mecánico, debido a que distribuyen los esfuerzos de compresión aplicados sobre ellas de manera uniforme, lo que contribuye a tener una mayor resistencia mecánica y evita que se fracturen. La morfología esférica es la forma geométrica que mejor distribuye los esfuerzos de compresión y por lo tanto la más resistente. La morfología de las nueces, así como sus dimensiones, pueden ser caracterizadas cuantitativamente usando técnicas de análisis de imágenes, donde a partir de una imagen se determinan parámetros morfológicos como la circularidad. La circularidad es un parámetro de forma, que está relacionado con la similitud de una figura a un círculo perfecto, por lo que tiene valores de 0 a 1, donde el valor de uno representa un círculo perfecto (Arzate-Vázquez *et al.* 2019). Como se puede ver en la Figura 1, la avellana y la nuez de castilla tienen valores de circularidad altos en comparación con la nuez pecanera, lo que significa que la nuez pecanera tendrá una menor resistencia mecánica debido a su forma alargada. Este tipo de parámetros son muy útiles para caracterizar la geometría de las nueces y

podrían ser relacionados con algunas propiedades o pruebas mecánicas. Asimismo, otra característica física que influye en la dureza de las nueces es el espesor de la cáscara. De manera general, se considera que los espesores de las cáscaras de las nueces son delgados en comparación con otros alimentos, sin embargo, existen diferencias entre variedades. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestran algunas imágenes de sección transversal de cáscaras de nueces, donde se observa que la cáscara de nuez pecanera es mucho más delgada en comparación con las cáscaras de avellana y nuez de castilla. Esta diferencia en el espesor influye en la facilidad para poder romper la cáscara, por lo tanto, de las tres variedades la más fácil de romper es la nuez pecanera y debido a esta característica, en México es conocida como nuez “cáscara de papel”. Por otra parte, la relación entre el espesor de la cáscara y el tamaño del fruto (espesor de cascara/radio del fruto), también determina su resistencia mecánica (Huss *et al.* 2020). De manera general, todas las nueces tienen valores menores a 1 para esta relación de variables físicas, debido a que sus cáscaras son delgadas en comparación con su

tamaño. Sin embargo, existen diferencias de valores de dicha relación entre variedades de nueces. Para el caso de nueces que tengan valores bajos de esta relación, exhibirán menor rigidez estructural, como por ejemplo la nuez pecanera (espesor delgado y tamaño grande). Por el contrario, nueces que tengan valores más altos de dicha relación tendrán mayor rigidez, como por ejemplo la nuez de macadamia (espesor grueso/tamaño pequeño). En conclusión, las nueces que tengan espesores de cáscara gruesos, tamaños pequeños y formas esféricas, tendrán un mayor grado de rigidez y por consecuencia poseen una ventaja basada en estas características morfológicas.

Microestructura: Otra característica que influye en la dureza de las nueces, corresponde al arreglo microestructural de las cáscaras, el cual está asociado a las características estructurales de los tejidos y células vegetales que los integran. En este sentido, la mayoría de las nueces están compuestas a nivel micro de diferentes tejidos vegetales con características específicas. En la Figura 1 se muestra que las cáscaras de avellana y nuez pecanera, están constituidas de dos tejidos principales (esclerénquima y parénquima), mientras que la nuez de castilla presenta cuatro tejidos vegetales (esclerénquima, interfase, parénquima y parénquima aplastado). Estas diferencias en los tejidos que componen a las cáscaras, influyen en sus propiedades mecánicas a nivel macro y micro. En la mayoría de las cáscaras de nueces, el esclerénquima es el tejido que se encuentra en mayor proporción en comparación con otros tejidos vegetales y por consecuencia, este tejido gobierna las propiedades mecánicas de este tipo de cubiertas. El esclerénquima es un tejido con alto grado de rigidez que se encuentra en múltiples partes de plantas y tiene la función de dar sostén a otros tejidos. Las características funcionales (propiedades mecánicas) del esclerénquima, dependen de los elementos estructurales (células vegetales) que lo conforman y de su configuración. Varios estudios han evidenciado que básicamente existen dos tipos de células vegetales que componen al esclerénquima de diferentes cáscaras de nueces: esclereidas (también llamadas células piedra) y esclereidas poli-lobuladas en forma de rompecabezas (puzzle sclereids como se denominan en inglés) (Huss *et al.* 2020; Nicolás-Bermúdez *et al.* 2022). El esclerénquima de la cáscara de avellana

consiste básicamente de esclereidas, las cuales tienen formas isodiamétricas (Figura 2A), mientras que, el esclerénquima de la cáscara de nuez de pistache, está constituido por esclereidas poli-lobuladas en forma de rompecabezas (Figura 2B). La configuración o disposición en la que se encuentran este tipo de células, influye también en las propiedades micro-mecánicas, por ejemplo, en tejidos formados por esclereidas con formas esféricas, la propagación de una grieta ocurre de manera fácil, mientras que en tejidos formados por esclereidas poli-lobuladas, tienen la capacidad de detener la propagación de una grieta por el entrecruzamiento de sus células que actúan como piezas de rompecabezas, de ahí su nombre (Huss *et al.* 2020; Xiao *et al.* 2020). Los tejidos que presentan esclereidas poli-lobuladas exhiben propiedades mecánicas superiores, como una mayor resistencia a la compresión. Por otro lado, también existen otros elementos estructurales localizados en el esclerénquima de las cáscaras de las nueces, por ejemplo: haces vasculares (avellana) y cristales de oxalato de calcio (nuez pecanera). En la Figura 2C se muestra una imagen de un cristal de oxalato de calcio localizado en el esclerénquima de la cáscara de nuez pecanera. Algunos estudios han reportado que este tipo de cristales poseen propiedades mecánicas superiores a las esclereidas y por consecuencia, incrementan la rigidez del tejido por lo que cumplen una función mecánica (Nicolás-Bermúdez *et al.* 2018; Arzate-Vázquez *et al.* 2022).

Composición: La composición química de las cáscaras es otro factor importante que influye en las propiedades mecánicas. El esclerénquima de las cáscaras de nueces está compuesto básicamente de celulosa y hemicelulosa organizados en forma de microfibrillas y de lignina (Nicolás-Bermúdez *et al.* 2022). La lignina es un biopolímero que proporciona fuerza y resistencia a las células actuando como soporte entre las microfibrillas de celulosa (Xiao *et al.* 2021). La lignina se encuentra presente de manera abundante en el esclerénquima y se puede visualizar fácilmente mediante microscopía confocal de barrido laser, debido a su capacidad de autofluorescencia (ver Figura 3). Asimismo, la forma helicoidal y las diferentes orientaciones de las microfibrillas de celulosa, son dos características que gobiernan las propiedades nanomecánicas a nivel celular (Xiao *et al.* 2021). Por otra parte, el tejido de parénquima loca-

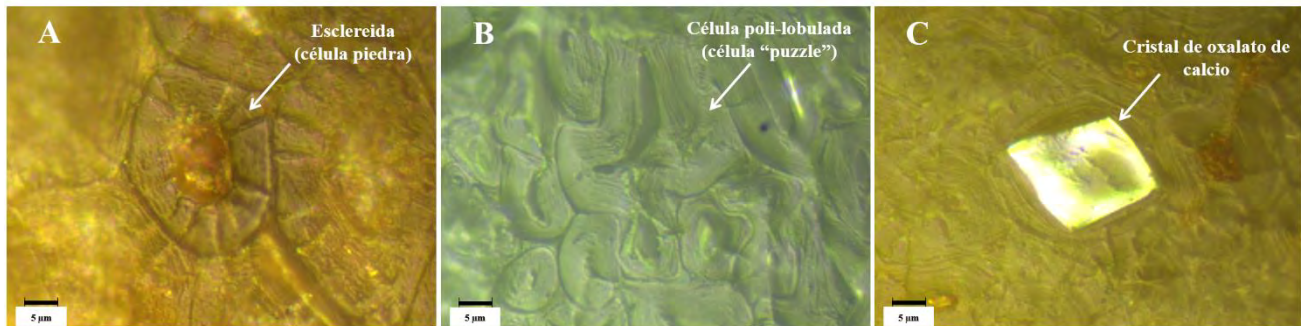


Figura 2. Galería de imágenes de microscopía óptica mostrando los elementos estructurales que componen al tejido de esclerénquima de algunas variedades de nueces: **A)** avellana, **B)** pistache y **C)** nuez pecanera (preparación de las muestras, fotografías y ensamble por M. Sánchez-Leonel).

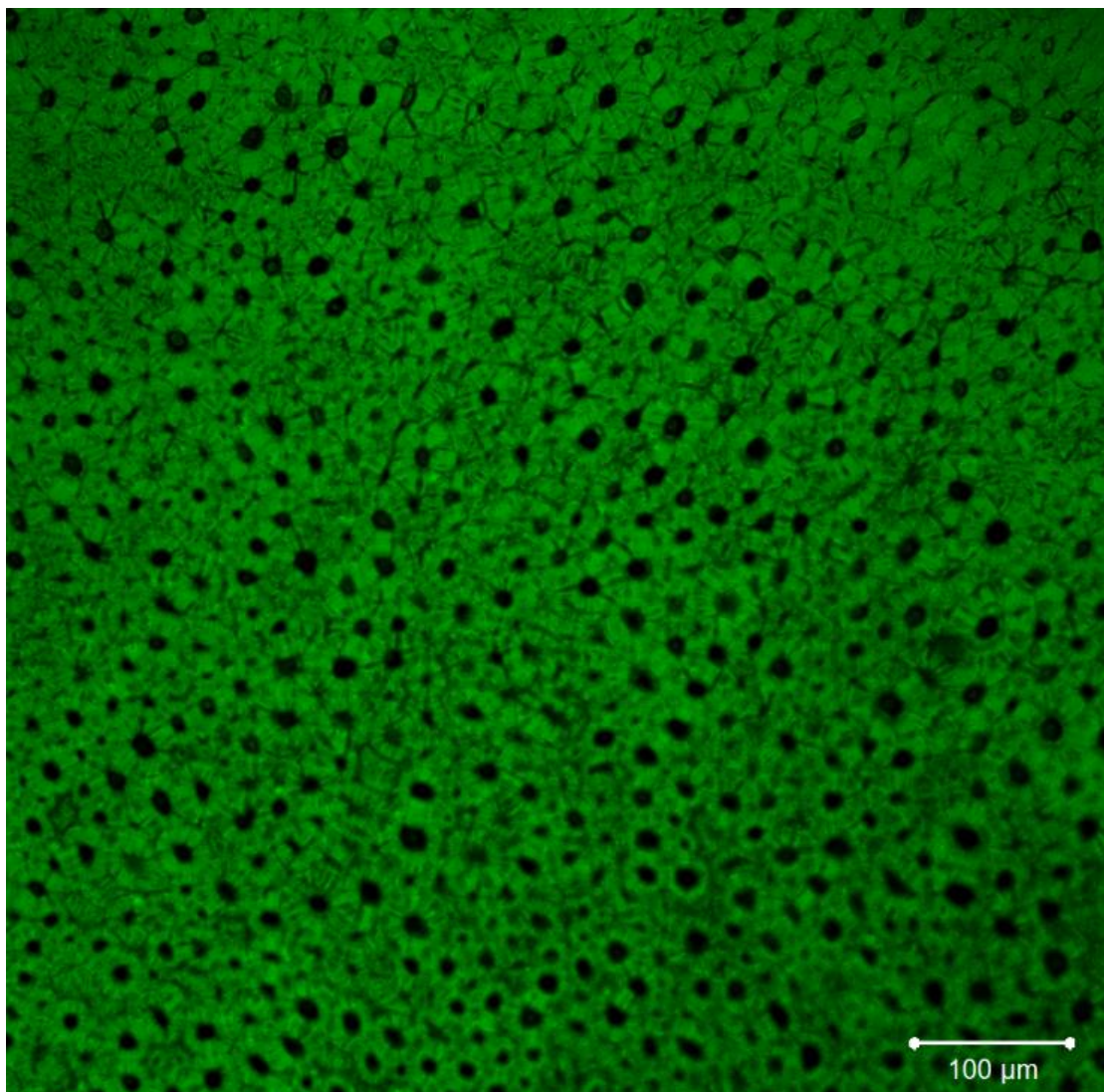


Figura 3. Imagen de microscopía confocal de barrido laser del tejido de esclerénquima de cáscara de avellana, donde se muestran esclereidas (células piedra) que autofluorescen debido al alto contenido de lignina (preparación de la muestra e imagen por J. Vicente Méndez-Méndez).

lizado en las cáscaras de nueces está constituido principalmente de celulosa. Otro componente que influye en las propiedades mecánicas de los materiales biológicos es el contenido de agua, sin embargo, para el caso de las nueces, las cáscaras poseen un bajo contenido de humedad, lo que contribuye a una mayor dureza. Otros compuestos químicos presentes en las cáscaras de nueces incluyen a compuestos fenólicos, flavonoides, taninos y ácidos alcanoicos (Queirós *et al.* 2020), sin embargo, estos no tienen un efecto significativo en las propiedades mecánicas del material.

Conclusiones: Todas las características físicas y químicas mencionadas anteriormente, juegan un papel importante en el grado de rigidez de las nueces. La morfología, el tamaño y el espesor de la cáscara, son características físicas a escala macro que se convierten en una ventaja para este tipo de materiales biológicos. Además, otras características como el arreglo microestructural y la composición, actúan de manera sinérgica convirtiendo a las cáscaras en un empaque casi perfecto, que tienen la función de proteger la semilla. Varios estudios han llevado a cabo diferentes tipos de ensayos mecánicos, mostrando las buenas propiedades y excelente comportamiento mecánico que poseen las cáscaras de nueces (Nicolás-Bermúdez *et al.* 2018; Huss *et al.* 2020; Arzate-Vázquez *et al.* 2022). Por lo tanto, las cáscaras de nueces son estructuras apropiadas para soportar esfuerzos de compresión, así como resistir picaduras de animales e impactos. Incluso, algunas cáscaras como por ejemplo la de pistache, tienen un comportamiento de material frágil asociado a su alto grado de dureza (Huss *et al.* 2020). El conocimiento de las características físico-químicas antes mencionadas, es útil para dilucidar el por qué las nueces poseen un alto grado de rigidez, así como también, puede ser utilizado para el diseño de nuevos materiales funcionales que exhiban propiedades mecánicas superiores.

Referencias

- Arzate-Vázquez I., Méndez-Méndez J.V., Flores-Johnson E.A., Nicolás-Bermúdez J., Chanona-Pérez J.J., Santiago-Cortés E. 2019. Study of the porosity of calcified chicken eggshell using atomic force microscopy and image processing. *Micron* 118: 50-57.
<https://doi.org/10.1016/j.micron.2018.12.008>.
- Arzate-Vázquez I., Méndez-Méndez J., Nicolás-Bermúdez J., Chanona-Pérez J.J., Domínguez-Fernández R., Vélez-Rivera N. 2022. Effect of calcium oxalate crystals on the micromechanical properties of sclerenchyma tissue from the pecan nutshell (*Carya illinoensis*). *Plant Physiology and Biochemistry* 170: 249-254.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.011>.
- Cisneros-García I., Dorantes-Álvarez L., Parada-Arias E., Alamilla-Beltrán L., Ortiz-Moreno A., Necoechea-Mondragón H., Gutiérrez-López G.F. 2023. Recommended food supplies under conditions of natural and provoked catastrophes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 83: 103218.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103218>.
- Huss J.C., Antreich S.J., Bachmayr J., Xiao N., Eder M., Konnerth J., Gierlinger N. 2020. Topological interlocking and geometric stiffening as complementary strategies for strong plant shells. *Advanced Materials* 32(48): 2004519.
<https://doi.org/10.1002/adma.202004519>.
- Nicolás-Bermúdez J., Arzate-Vázquez I., Chanona-Pérez J.J., Méndez-Méndez J.V., Rodríguez-Castro G.A., Martínez-Gutiérrez H.N. 2018. Morphological and micromechanical characterization of calcium oxalate (CaOx) crystals embedded in the pecan nutshell (*Carya illinoensis*). *Plant Physiology and Biochemistry* 132: 566-570.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.008>.
- Nicolás-Bermúdez J., Arzate-Vázquez I., Chanona-Pérez J.J., Méndez-Méndez J.V., Perea-Flores M.J., Rodríguez-Castro G.A., Domínguez-Fernández R.N. 2022. Characterization of the hierarchical architecture and micromechanical properties of walnut shell (*Juglans regia* L.). *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials* 130: 105190.
<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105190>.
- Queirós C.S.G.P., Cardoso S., Lourenço A., Ferreira J., Miranda I., Lourenço M.J.V., Pereira H. 2020. Characterization of walnut, almond and pine shells regarding chemical composition and extract composition. *Biomass Conversion and Biorefinery* 10: 175-188.
<https://doi.org/10.1007/s13399-019-00424-2>.
- Xiao N., Bock P., Antreich S.J., Staedler Y.M., Schönenberger J., Gierlinger N. 2020. From the

soft to the hard: changes in microchemistry during cell wall maturation of walnut shells. *Frontiers in Plant Science* 11: 466.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00466>.

Xiao N., Felhofer M., Antreich S.J., Huss J.C.,

Mayer K., Singh A., Bock P., Gierlinger N. 2021. Twist and lock: nutshell structures for high strength and energy absorption. *Royal Society Open Science* 8(8): 210399.

<https://doi.org/10.1098/rsos.210399>.

Desde el Herbario CICY, 15: 184-189 (21-septiembre-2023), 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. 232, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Ivón M. Ramírez Morillo, Diego Angulo y Néstor E. Raigoza Flores. 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: 21 de septiembre de 2023. 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.