

04-001

MORPHOMETRIC, NUTRITIONAL AND HEALTH STANDARDS FOR THE INTERNATIONAL STANDARDIZATION AND METROLOGY OF SECHIMUM EDULE FRUITS

Cadena Iñiguez, Jorge (1); Arévalo Galarza, Ma. De Lourdes (1); Cadena Zamudio, Daniel Alejandro (2); Cadena Zamudio, Jorge David (3); Aguirre Medina, Juan Francisco (4)
(1) Colegio de Postgraduados, (2) instituto de Ecología A.C., Red de Biología Evolutiva, (3) instituto de Ecología A.C., Red de Estudios Moleculares Avanzados, (4) Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Chiapas

The chayote [(*Sechium edule* (Jacq.) Sw.)], is for Mexico, Central America, the Caribbean, India, China, Japan, and recently for Europe an exportable vegetable. The fruit in horticultural maturity is the main consumption interest. The species presents variation in shape, size, fruit color and maturity indexes. Their level of trade has increased, and the current International Standard does not include ten varieties. In order to design the normalization and metrology standards for CODEX STAN 216-1999, and "NOM-FF-47-1982, morphometric, nutritional, health, color, shape, size, weight, firmness, spines, germination, physical defects, TSS, ascorbic acid, proximal analysis and taste. The agroclimatic origin of the fruits was the same with representative statistical samples. The obtained values showed quantitative differences that distinguish and facilitate updating the Normalization Maximum, average and minimum values of shapes, dimension, type (A, B, C, D), gauges, category (Extra, I, II, III) gauge were standardized -weight (G, M, P, MP), color (L, Chroma, Hue), mineral contribution with and without epidermis, minimum required biochemistry, flavor (neutral, sweet, bitter) germination, harvest index and type of defects. It is possible to update the standardization and discipline in international markets the quality of chayote fruits of varieties not included.

Keywords: International standardization; Chayote fruits; NOM-FF-47-1982; export; extraction

ESTÁNDARES MORFOMÉTRICOS, NUTRICIONALES Y SANITARIOS PARA LA NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA INTERNACIONAL DE FRUTOS DE SECHIMUM EDULE

El chayote [(*Sechium edule* (Jacq.) Sw.)], es para México, Centro América, el Caribe, India, China, Japón, y recientemente para Europa una hortaliza exportable. El fruto en madurez hortícola es el interés principal de consumo. La especie presenta variación en forma, tamaño, color de frutos e índices de madurez. Su nivel de comercio ha incrementado, y la Norma internacional actual no incluye diez variedades. Con el fin de diseñar los estándares de normalización y metrología para la CODEX STAN 216-1999, y "NOM-FF-47-1982, se evaluaron caracteres morfométricos, nutricionales, sanitarios, color, forma, tamaño, peso, firmeza, espinas, germinación, defectos físicos, SST, ácido ascórbico, análisis proximal y sabor. La procedencia agroclimática de frutos fue igual con muestras estadísticas representativas. Los valores obtenidos mostraron diferencias cuantitativas que distinguen y facilitan actualizar la Normalización Se estandarizaron valores máximos, medios y mínimos de formas, dimensión, tipo (A, B, C, D), calibres, categoría (Extra, I, II, III) calibre-peso (G, M, P, MP), color (L, Chroma, Hue), aporte mineral con y sin epidermis, bioquímica mínima requerida, sabor (neutro, dulce, amargo) germinación, índice de cosecha y tipo de defectos. Es posible actualizar la normalización para estandarizar y disciplinar en mercados internacionales la calidad de frutos de chayote de variedades no incluidas.

Palabras clave: Normalización internacional; frutos chayote; NOM-FF-47-1982; exportación; extracción

Correspondencia: Jorge Cadena Iñiguez. Correo: jocadena@gmail.com

Agradecimientos: Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C.



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

El chayote [(*Sechium edule* (Jacq.) Sw.)], es para México, Centro América, el Caribe, países de Asia, y algunos sitios de mediterráneo, una hortaliza con valores nutrimentales y nutraceuticos (Iñiguez-Luna *et al.*, 2021, Riviello-Flores *et al.*, 2018) con demanda creciente. México es centro de origen y domesticación y actualmente es primer productor y exportador mundial (Barrera-Guzmán *et al.*, 2021, Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2010). Además de la raíz, hojas y puntas tiernas de guías, el fruto en madurez hortícola o fisiológicamente maduro es el órgano principal de consumo. Esta especie presenta una amplia variación en la forma y color de frutos, muchos de los cuales se conocen únicamente en mercados locales. Actualmente, la comercialización a gran escala de chayote en los países exportadores (México, Costa Rica, República Dominicana) recae en la variedad *S. edule var. virens levis* (verde liso sin espinas) (Cadena-Iñiguez y Arévalo-Galarza, 2011). A este respecto, depender de una sola variedad de chayote plantea ciertos riesgos asociados, por ejemplo, los cambios impredecibles en las tendencias de consumo, fragilidad fitosanitaria por uniformidad genética de grandes áreas de cultivo, hasta promover involuntariamente la erosión genética por desplazamiento de las variedades de chayote de menor preferencia comercial (Brenes-Hine, 2002, Ortega-Paczka *et al.*, 1998; Ortega-Paczka, 1999).

Por ello, se ha propuesto realizar la estandarización de características morfométricas, nutrimentales y de calidad para nueve variedades de chayote con el fin de establecer su normalización mínima necesaria que coadyuve a la actualización de la Codex-Stan-2016-1999 y la NMX-FF-047-1996, tomando como referencia la normalización de la variedad comercial en que se basan dichas normas.

La normalización se define como el proceso de formular y aplicar reglas con el propósito de realizar ordenadamente una actividad específica para un beneficio, que lleve a la obtención de una economía de conjunto, considerando características funcionales y requisitos de seguridad. La normalización se basa en los resultados consolidados de la ciencia, técnica y experiencia, mientras que la metrología, se define como una disciplina cuya característica principal es la orientación y flexibilidad para el proceso normativo que pueda adaptarse a las necesidades del momento y no constituir una traba en el futuro. Por ello, el objetivo fundamental de la normalización es elaborar normas que permitan controlar y obtener un mayor rendimiento de los materiales y de los métodos de producción, contribuyendo así a un mejor nivel de vida, cumpliendo con los criterios de simplificación, unificación y especificación (Escobar-Ojeda, 2010).







2. Objetivos





Con el fin de diseñar los estándares de normalización y metrología para actualizar la Codex Stan 216-1999, y NMX-FF-047-1996, se evaluaron caracteres morfométricos, nutricionales, sanitarios, color, forma, tamaño, peso, firmeza, espinas, germinación, defectos físicos, SST, ácido ascórbico, análisis proximal y sabor de nueve variedades de chayote (*S. edule*) tomando como referencia a la variedad en que se basan la normalización actual.

3. Metodología

Se usaron frutos de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.), de nueve variedades procedentes del banco nacional de germoplasma de *Sechium* P. Br. (Tabla 1). Los frutos fueron cosechados en madurez hortícola (Watada *et al.*, 1984), lo cual de acuerdo con Aung *et al.* (1996) es de 18 ±2 días después de anthesis para la variedad de referencia *S. edule var. virens levis*. Para hacer el corte adecuado se determinó el índice de cosecha para las demás variedades en campo a partir de anthesis (Tabla 1).

Tabla 1. Descripción botánica de frutos de nueve nuevas variedades de *S. edule* y la variedad de referencia *S. edule* var. *virans levis*.

| variedad | Descripción botánica |
|---|--|
|  | <i>S. edule</i> var. <i>albus minor</i> : Fruto semiesférico blanco crema, muy pequeño de 3.2 a 4.1 cm de longitud, 3.0 a 3.3 cm de ancho, 2.7 a 3.2 cm de grosor, glabro sin presencia de costillas y hendidura basal. Pedúnculo verde claro y pubescente. Mesocarpio color crema y sabor neutro con fibra muy adherida. |
|  | <i>S. edule</i> var. <i>albus dulcis</i> : Fruto pequeño piriforme medio alargado de 8.0 a 15.3 cm de longitud, 4.8 a 8.8 cm de ancho y de 3.8 a 7.3 cm de grosor; color amarillo crema, glabro, con cinco costillas no muy marcadas y hendidura basal no muy profunda. Pedúnculo glabro verde claro con estriado longitudinal verde amarillo. Mesocarpio de color blanco crema, sabor ligeramente dulce (7.2 °Bx) con presencia de fibra medianamente adherida al mesocarpio. |
|  | <i>S. edule</i> var. <i>albus levis</i> : Fruto pequeño obovoide de 6.1 a 16.6 cm de longitud, 5.3 a 10.4 cm ancho, 4.6 a 8.7 cm de grosor, color amarillo crema, glabro con presencia de costillas no muy marcadas y hendidura basal muy notoria. Pedúnculo con baja pubescencia, color verde claro con estriado longitudinal verde amarillo. Mesocarpio de color blanco a crema con sabor "neutro" o simple y presencia de fibra adherida al mesocarpio. |
|  | <i>S. edule</i> var. <i>nigrum levis</i> : fruto de 7.1 a 9.7 cm, promedio de 12.06 cm de longitud, ancho ecuatorial de 4.6 a 7.8 cm, y promedio de 6.43, fondo de 4.2 a 7.0 cm y promedio de 5.76 cm; forma piriforme de color verde claro a verde oscuro (Pantone 575c, 575c y 576c), con mayor predominancia a piriforme medio alargado sin costillas, presenta hendidura basal no muy marcada, pedúnculo medianamente pubescente de color verde oscuro, mesocarpio de color verde claro con sabor neutro. Semilla muy adherida al mesocarpio con presencia de estropajo. |
|  | <i>S. edule</i> var. <i>nigrum minor</i> : fruto de 4.5 a 13.2 cm con promedio de 7.42 cm de longitud, ancho ecuatorial de 3.1 a 6.9 cm y promedio de 5.16 cm, fondo de 2.8 a 6.2 cm y promedio de 4.64 cm, las formas pueden ser obovado, piriforme y piriforme alargado de color verde claro aunque se pueden encontrar de color verde oscuro (Pantone 374,c, 574c y 586c), totalmente glabros, no presenta costillas ni hendidura basal, pubescencia muy baja en el pedúnculo color verde claro, mesocarpio verde claro con sabor ligeramente dulce y estropajo medianamente adherido al mesocarpio. |
|  | <i>S. edule</i> var. <i>nigrum conus</i> : fruto de 5.4 a 7.1 cm y promedio de 6.23 cm de longitud, ancho ecuatorial de 3.3 a 5.0 cm y promedio de 4.36 cm, fondo de 3.0 a 4.6 cm y promedio de 3.92 cm; forma cónica, verde claro a verde oscuro (Pantone 371c y 574c), sin presencia de costillas, no presenta hendidura basal, pedúnculo con baja pubescencia, verde oscuro, mesocarpio verde oscuro con sabor ligeramente dulce. La semilla muy adherida al mesocarpio con presencia de estropajo, no presenta ornamentación en la semilla, es de color crema y sabor salado |

| | |
|---|---|
|  | <p><i>S. edule var. nigrum spinosum</i>: Fruto de color verde claro a verde oscuro, grande, piriforme de 5.8 a 17.1 cm de longitud, 5.0 a 12.2 cm de ancho, 3.6 a 9.7 cm de grosor, densamente espinoso (media a alta), cinco costillas no muy marcadas, hendidura basal muy marcada, pubescencia muy baja en pedúnculo, mesocarpio verde claro a verde oscuro, sabor neutro a ligeramente dulce (6.43 °Bx) y fibra muy adherida.</p> |
|  | <p><i>S. edule var. nigrum xalapensis</i>: Fruto grande, verde claro a verde oscuro, piriforme alargado de 15.5 a 26.6 cm, ancho de 4.4 a 18 cm y 4.0 a 10.7 cm de grosor, glabro (sin espinas), cinco costillas no muy marcadas, hendidura basal muy marcada, pedúnculo con pubescencia medianamente baja color verde oscuro, sabor ligeramente dulce y muy poca fibra adherida al mesocarpio.</p> |
|  | <p><i>S. edule var. nigrum maxima</i>: Fruto muy grande largado de 12.1 a 33.7 cm de longitud, 8.1 a 11.3 cm de ancho y 6.3 a 8.8 cm de grosor. Color verde claro, glabro, con cinco costillas muy marcadas y hendidura basal muy notoria a profunda. La pubescencia es baja en el pedúnculo muy corto de color verde claro, mesocarpio de color verde muy claro con sabor neutro con mucha fibra medianamente adherida al mesocarpio.</p> |
|  | <p><i>S. edule var. virens levis</i>: Fruto mediano a grande, piriforme de 9.3 a 18.3 cm de longitud, 6.0 a 11.40 cm de ancho y 5.40 a 9.60 cm de grosor. Color verde claro (pantone 373c), cinco costillas muy poco marcadas y hendidura basal no muy profunda. Pedúnculo largo con pubescencia muy baja de color verde claro. Mesocarpio color verde claro con sabor ligeramente dulce y fibra medianamente adherida.</p> |

3.1. Variables

Fueron seleccionadas de acuerdo con el concepto de calidad, que, para chayote fresco, acondicionado y embalado indica, la Norma Oficial Mexicana NMX-FF-047-SCFI-2003 y la Codex-Stan-83-993 (Anónimo, 2003). Se consideraron las principales disposiciones de la norma tales como, la forma, tamaño, espinas, peso, firmeza, color, germinación, defectos de apariencia, sabor, olor, condensación y sanidad.

3.2. Forma, tamaño y presencia de espinas

Se determinó como alargada, redonda, piriforme y abovada. La dimensión se obtuvo midiendo el largo, ancho y base (fondo) de cada fruto en cm (Maffioli, 1981). La longitud total fue tomada desde la parte basal hasta la apical. Para el ancho se consideró el área ecuatorial del fruto y para el fondo, la parte basal midiendo con un vernier en sentido perpendicular al ancho

ecuatorial. La presencia de espinas se consideró siempre que la distribución fuese en todo el fruto sin importar la densidad por cm².

3.3. Peso y firmeza

Los frutos fueron pesados después de cosechados en una balanza electrónica (ALSEP-EY200A). La firmeza fue determinada como la penetración de un puntal cónico de 0.7 cm de diámetro con un texturómetro Chatillon (Modelo FDV-30/30 lb x 0.01 lb). La penetración del puntal se realizó aplicando una fuerza constante. La prueba fue realizada en dos puntos equidistantes en la región ecuatorial.

3.4. Color

Se obtuvieron dos lecturas del ancho ecuatorial del fruto con un colorímetro Hunter-Lab/ D25-PC2 en el sistema CIE: L* a* b* que miden luminosidad, espectro verde-rojo y azul-amarillo respectivamente. Los valores se transformaron a L, Chroma, y ángulo Hue. El color fue reportado como ángulo Hue (°) con un valor de 90° representando al amarillo total y 180° al verde total, calculados a partir de $L=L$; $\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$; $H^\circ = \text{arc tangente}(b/a)$ (McGuire, 1992, Cadena-Iñiguez *et al.*, 2006).

3.5. Germinación y defectos de apariencia

Los frutos se mantuvieron después de cosechados en condiciones de laboratorio (24 °C ±2 y 80% de humedad relativa). Se evaluó el porcentaje de germinación, a partir de que el fruto presentó abierta la hendidura basal.

3.6. Olor, sabor y sanidad

Se consideró únicamente si los frutos despidieron mal olor por descomposición, tales como, la fermentación después de 15 d de haberse cosechado. Mientras que, para determinar el sabor, se registró el contenido de sólidos totales, acidez titulable, ácido ascórbico y contenido de cucurbitacinas totales. La sanidad externa e interna fue considerada a los 15 d de cosechados.

3.7. Variables bioquímicas y nutrimentales

Contenido de sólidos solubles totales (SST): Fueron medidos con un refractómetro digital marca Atago-100. Los frutos fueron cortados en dos partes de la región ecuatorial. La profundidad de corte fue a ± 2.5 cm considerando exocarpio y mesocarpio.

Acidez titulable: Se pesaron 10 g de pulpa del fruto y se licuaron en 100 mL de agua destilada y se colaron. Del extracto licuado se tomó una alícuota de 10 mL de la solución y tituló con hidróxido de sodio 0.01 N utilizando como indicador dos gotas de fenolftaleína en solución alcohólica al 1% (AOAC, 1990).

Ácido ascórbico: Se determinó con 2, 6 diclorofenol indofenol (AOAC, 1990), en 25 frutos de cada variedad con tres repeticiones. Se tomaron 5 g de pulpa (exocarpio y mesocarpio), se homogeneizaron con 50 mL de ácido oxálico (0.5 %). Se tomó una alícuota de 5 mL, y se tituló con solución de Tillman hasta que el color rosa permaneció estable por un minuto.

Extracción de cucurbitacinas (sabor): La extracción se realizó con base a Che *et al.* (1985), Afifi *et al.* (1999) y Cadena-Iñiguez *et al.* (2011). Se cortaron trozos pequeños de 1.0 kg de frutos frescos para cada variedad sin quitar espinas, epidermis ni semilla. Se transportaron en etanol al 95% del sitio de colecta y se dejaron reposar por 72 h, posteriormente se licuaron y colaron, exprimiendo con tela de algodón para formar el extracto alcohólico. De éste, se obtuvo un extracto etéreo por desecación del etanol en rotavapor (BUCHI B-480) a 45 °C. El precipitado obtenido fue separado con éter etílico en un embudo de separación pasando cuatro veces cada muestra en un volumen de 250 mL, para eliminar el agua restante. Para el fraccionamiento, se desecó nuevamente el éter etílico en el rotavapor y el precipitado de cada variedad se hizo pasar por una columna de sílica gel (Merck 60 partículas 0.063-0.2 mm), humedeciendo la columna previamente con 200 mL de éter de petróleo. Las fracciones se obtuvieron por el arrastre de una primera mezcla de par de disolventes a base de éter de petróleo-cloroformo en gradiente 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 hasta 0:100. El

precipitado restante de cada paso producto de la primera mezcla, fueron fraccionados con una segunda, a base de cloroformo-metanol en gradiente 90:10, 80:20 y 70:30 como relación máxima. Las fracciones recolectadas se lavaron con la mezcla éter-metanol (99:1) para cristalización. Para la identificación por HPLC, se pesaron 2 mg de las fracciones tres y cinco del extracto en diclorometano y de estándares de cucurbitacinas I, B, E y D en tubos Eppendorf de 2 mL, se adicionó 1 mL de acetato de etilo- hexano (9:1), se agitó vigorosamente en el vortex, se filtraron a través de acrodiscos de Nylon de 25 mm y un poro de 0.45 µm. La columna utilizada fue Symmetry Shield RP18 (4.4 X 250 mm), 5 µm, la fase móvil fue de H₂O, Metanol y acetonitrilo en proporciones (50:30:20), a una velocidad de flujo de 1 mL min⁻¹, y presión de 179 bares a 25 °C de temperatura, se inyectó 20 µL de cada muestra. Las lecturas se hicieron a 235 nm

Análisis nutrimental: Se tomaron los frutos con y sin epidermis, se trituraron y pesaron. El material se secó a 70 °C durante 48 h en estufa con circulación forzada de aire (NOVATECH™) posteriormente se molió (molino con cuchillas de acero inoxidable-CAT-THOMAS: 38C L10), y se tamizó en malla 20. Se midió el contenido de macro y micronutrientes frutos con epidermis y si ella. El nitrógeno se determinó mediante el método de Microkjeldahl (Bremner 1965). El P se midió por colorimetría del complejo fosfo-vanado-molibdato, de acuerdo con el método descrito por la AOAC (1980), con las lecturas respectivas a 470 nm en un espectrofotómetro Milton Roy® modelo Spectronic 20 (USA). Los elementos K, Ca, Mg, B, Cu, Fe. Mn y Zn se analizaron mediante espectrofotómetro de absorción atómica (AES-ICP) marca Varian® modelo 725-ES (Mulgrave, Australia).

3.8. Análisis estadístico

Se usó un análisis de varianza de dos vías entre los nutrimentos (P, K, Zn, Ca, y Mg) (variables dependientes) en las variedades de chayote (niveles) con epidermis y sin epidermis (dos factores). Se usó la prueba de Sidak de comparaciones múltiples por parejas para identificar diferencias significativas por cada factor (Sheskin, 2003). Los cálculos de análisis de varianza se realizaron con el programa Prism 8.2.1 (2020).

4. Resultados

4.1. Forma, tamaño y espinas

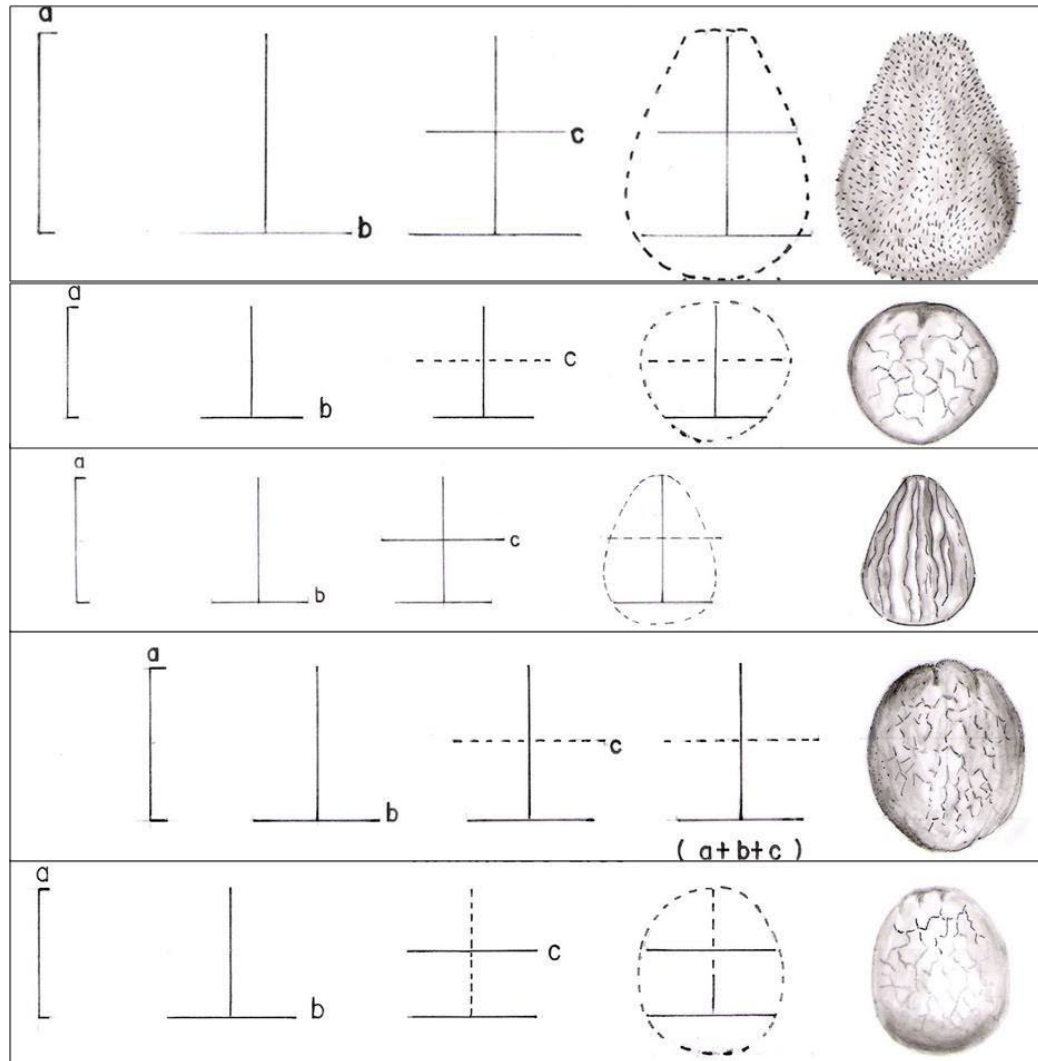
La forma típica de los frutos fue determinada botánicamente como alargada, piriforme, redonda, aovada y cónica (Maffioli, 1981, Cadena-Iñiguez, 2005). Para precisar la forma de cada variedad, se calcularon índices aritméticos longitud/ancho basal (L/AB), longitud/ancho ecuatorial (L/AE) y área ecuatorial/área basal (AE/AB) (Tabla 1, Figura 1), y las diferencias que pueden existir están relacionadas al color y presencia de espinas.

Tabla 1. Índices aritméticos para la forma del fruto de nueve variedades de *Sechium edule* (Jacq.) Swartz. Valores del promedio de n=125 frutos ± error estándar.

| Índice | <i>albus minor</i> | <i>albus dulcis</i> | <i>albus levis</i> | <i>nigrum levis</i> | <i>nigrum minor</i> | <i>nigrum conus</i> | <i>nigrum spinosum</i> | <i>nigrum xalapensis</i> | <i>nigrum maxima</i> | <i>virens levis</i> |
|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------------------------|--------------------------|----------------------|---------------------|
| L/AB ¹ | 0.97 | 1.4 | 1.07 | 1.44 | 1.5 | 1.94 | 1.69 | 2.62 | 1.99 | 1.94 |
| L/AE ² | 1.13 | 1.4 | 1.06 | 1.33 | 1.5 | 1.66 | 1.17 | 1.90 | 1.70 | 1.66 |
| AE/AB ³ | 0.86 | 1.1 | 1.06 | 1.09 | 1.2 | 1.39 | 1.45 | 1.36 | 1.41 | 1.39 |

¹longitud/ancho basal, ²Longitud/ancho ecuatorial, ³ancho ecuatorial/ancho basal.

Figura 1. Características morfométricas de frutos de variedades de *Sechium edule* (Jacq.) Sw., aplicando los índices aritméticos longitud/ancho basal (L/AB), longitud/ancho ecuatorial (L/AE) y área ecuatorial/área basal (AE/AB). Valores del promedio de n=125 frutos para cada variedad.



La Tabla 2. Indica el rango máximo, medio y mínimo de los frutos de chayote (cm), así como la forma y presencia de espinas en la epidermis. Lo anterior es importante si se considera el diseño de maquinaria que realice el manejo postcosecha, empaque y embalaje.

Tabla 2. Rango máximo, medio y mínimo de los frutos de chayote (cm), así como forma y presencia de espinas en la epidermis.

| Variedad | Rango | Largo (cm) | Ancho (cm) | Fondo (cm) | Forma | Espinas |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|---------|
| <i>albus minor</i> | Máximo media Mínimo | 3.5 3.0 ±0.02 2.3 | 3.5 2.7 ±0.01 2.2 | 3.6 3.1 ±0.01 2.5 | redonda | No |
| <i>albus dulcis</i> | Máximo media Mínimo | 9.5 8.2 ±0.12 7.0 | 6.5 5.8 ±0.08 5.0 | 4.5 3.6±0.07 3.8 | piriforme | No |
| <i>albus levis</i> | Máximo media Mínimo | 7.0 6.9±0.05 5.0 | 6.5 5.6±0.07 4.0 | 6.5 5.5±0.05 4.5 | aovada | No |
| <i>nigrum levis</i> | Máximo media Mínimo | 7.0 5.7 ±0.08 4.0 | 6.0 4.5 ±0.05 3.0 | 5.0 4.2 ±0.02 3.5 | aovada | No |

| | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------|----|
| <i>nigrum minor</i> | Máximo media Mínimo | 3.5 2.7 ±0.01 2.2 | 3.4 2.6 ±0.01 2.1 | 3.5 3.0 ±0.01 2.4 | redonda | No |
| <i>nigrum conus</i> | Máximo media Mínimo | 12.0 7.8 ±0.7 6.0 | 6.5 5.5 ±0.19 5.0 | 4.0 3.5 ±0.12 3.0 | cónica | No |
| <i>nigrum spinosum</i> | Máximo media Mínimo | 15.5 10.5 ±0.4 8.5 | 9.8 9.0 ±0.13 7.5 | 7.0 6.2 ±0.08 5.5 | piriforme | Si |
| <i>nigrum xalapensis</i> | Máximo media Mínimo | 17.5 15.0 ±0.22 12.0 | 10.0 8.2 ±0.16 6.2 | 8.3 5.85 ±0.1 5.0 | piriforme | No |
| <i>nigrum maxima</i> | Máximo media Mínimo | 22.0 20.1 ±0.22 16.00 | 6.2 4.6 ±0.02 3.1 | 5.2 4.2 ±0.02 3.7 | alargada | No |
| <i>virens levis</i> | Máximo media Mínimo | 15.1 13.5 ±0.39 8.0 | 12.5 8.5 ±0.2 5.6 | 5.7 5.5 ±0.04 4.9 | piriforme | No |

4.2. Peso, firmeza y color

La normalización vigente para el chayote verde liso (*vires levis*) establece categorías de acuerdo con su apariencia y manejo, y registra las categorías Extra, I, II y III (Anónimo, 2003). Por ello, se debe integrar una clasificación por calibres para las demás variedades relacionando la dimensión general del fruto y peso (Tabla 3).

El color de la epidermis del fruto de chayote indica el color comercial, el cual se basa en los valores de °Hue. De esta forma, el carácter cualitativo de la pigmentación adquiere valores entre dos extremos (cuantitativo) facilitando su medición. La Tabla 3 indica los valores máximo, medio y mínimo de frutos de chayote para las variables peso, firmeza, y color de la epidermis. Los valores entre 160-200 °Hue, o mayores, indican el rango de color verde oscuro a muy oscuro, y los valores de 120 a 130 al verde claro, mientras que valores ≤90 °Hue al amarillo a casi blanco.

La categoría y calibre de los frutos son valores indicativos importantes en la comercialización y determinan su valor en los mercados. La Tabla 4 muestra los resultados de la combinación de las variables peso, longitud y ancho ecuatorial para determinar los calibres, mientras que el tipo y categoría se determinan por la ganancia de peso del fruto al avanzar en su índice de madurez hortícola (punto adecuado de comercio) y madurez fisiológica (cese de crecimiento).

La madurez hortícola se alcanza a diferente número de días (Figura 2, 3), y se relaciona con la tasa absoluta de crecimiento (TAC). Conforme avanza la madurez fisiológica, el fruto aumenta de peso y con ello el calibre, tipo y categoría, hasta que cesa la expansión y volumen (TAC) generando estrías en la epidermis (madurez fisiológica). Posteriormente, los frutos registran la germinación de la semilla que por su naturaleza endocárpica germina dentro del fruto sin registrar pudrición lo cual se denomina viviparismo y es un defecto comercial.

Tabla 3. Valores máximo, medio y mínimo de frutos de chayote para las variables peso, firmeza, y color de la epidermis

L = luminosidad, Chroma = color, °Hue = rango de 0-360° calculados a partir de $L=L$; $Chroma = (a^2 +$

| Variedad | Valor | Peso (g) | Firmeza (Nw) | Color | | |
|--------------------------|-------|-------------|--------------|-------|--------|--------|
| | | | | L | Chroma | ° Hue |
| <i>albus minor</i> | Máx. | 15.4 | 30.53 | | | |
| | Med | 11.0 ±0.3 | 25. ± 1.29 | 67.9 | 17.3 | 68.37 |
| | Mín | 7.5 | 18.79 | | | |
| <i>albus dulcis</i> | Máx. | 85.3 | 34.71 | | | |
| | Med | 79.9 ±1.27 | 31.45 ± 1.57 | 66 | 17.94 | 67.74 |
| | Mín | 76.2 | 24.71 | | | |
| <i>albus levis</i> | Máx. | 92.5 | 30.53 | | | |
| | Med | 77.6 ±4.16 | 24.01 ±1.04 | 67 | 17.97 | 50.81 |
| | Mín | 64.4 | 18.08 | | | |
| <i>nigrum levis</i> | Máx. | 98.8 | 25.1 | | | |
| | Med | 61.8 ±3.18 | 22.25 ±1.1 | 27.1 | 13.95 | 167.22 |
| | Mín | 45.8 | 15.75 | | | |
| <i>nigrum minor</i> | Máx. | 15.4 | 31.04 | | | |
| | Med | 10.0 ±0.2 | 26. ± 1.2 | 26.2 | 12.91 | 165.42 |
| | Mín | 7.4 | 20.02 | | | |
| <i>nigrum conus</i> | Máx. | 128 | 26.81 | | | |
| | Med | 95.0 ±4.1 | 22.88 ± 1.46 | 33.2 | 12.89 | 209.23 |
| | Mín | 50.5 | 27.45 | | | |
| <i>nigrum spinosum</i> | Máx. | 388 | 23.98 | | | |
| | Med | 329.4 ±15.3 | 20.76 ±0.81 | 32.1 | 12.24 | 201.15 |
| | Mín | 294 | 16.35 | | | |
| <i>nigrum xalapensis</i> | Máx. | 336 | 29.71 | | | |
| | Med | 265.5 ±19.3 | 25.19 ±0.63 | 32.1 | 18.43 | 222.9 |
| | Mín | 228 | 23.0 | | | |
| <i>nigrum maxima</i> | Máx. | 353 | 19.0 | | | |
| | Med | 339.1 ±0.5 | 16.86 ±0.64 | 67.2 | 37.3 | 131.4 |
| | Mín | 328 | 15.22 | | | |
| <i>virens levis</i> | Máx. | 388 | 19.0 | | | |
| | Med | 337.5 ±0.6 | 16.86 ±0.64 | 57.3 | 31.7 | 126.6 |
| | Mín | 294 | 15.22 | | | |

$b^2)^{1/2}$; $H^\circ = \text{arc tangente } (b/a)$

Tabla 4. Valores que determinan el Tipo, Categoría y Calibre de frutos de chayote (*S. edule*) basados en la Codex Stan 216-1999 y NMX-FF-047-1996

| Variedad | Tipo | Categoría | Peso (g) | Longitud (cm) | Ancho (cm) | Calibre | | | |
|---------------------|------|-----------|----------|---------------|------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | MP ¹ | P ² | M ³ | G ⁴ |
| <i>albus minor</i> | A | Extra | 10-15 | 2.5-3.0 | 2.5-3.0 | x | | | |
| | B | I | 16-20 | 3.1-3.5 | 3.1-3.5 | x | O | | |
| | C | II | 21-25 | >3.5 | >3.5 | | | x | |
| | D | III | >25 | | | | | | x |
| <i>albus dulcis</i> | A | Extra | 70-75 | 7.0-8.0 | 5.0-5.5 | O | x | | |
| | B | I | 76-85 | 8.0-8.5 | 5.6-6.0 | | x | | |
| | C | II | 86-95 | 8.6-9.0 | 6.1-6.5 | | | x | O |
| | D | III | >95 | >9.0 | >6.5 | | | x | |
| <i>albus levis</i> | A | Extra | 75-85 | 5.0-5.5 | 4.0-5.0 | O | | x | |
| | B | I | 86-95 | 5.6-6.0 | 5.1-5.5 | | O | x | |
| | C | II | 96-110 | 6.1-6.5 | 5.6-6.0 | | | | |
| | D | III | >110 | ≥7.0 | ≥6.5 | | | | x |
| <i>nigrum levis</i> | A | Extra | 75-85 | 4.0-5.0 | 3.0-4.5 | O | O | x | |
| | B | I | 86-95 | 5.1-5.5 | 4.1-4.5 | | | x | |
| | C | II | 96-110 | 5.6-6.0 | 4.6-5.0 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|-------|---------|---------|----------------|---|---|---|---|
| | D | III | >110 | ≥7.0 | >5.5 | | | | x |
| <i>nigrum minor</i> | A | Extra | 10-15 | 2.5-3.0 | 2.5-3.0 | x | | | |
| | B | I | 16-20 | 3.1-3.5 | 3.1-3.5 | x | O | | |
| | C | II | 21-25 | >3.5 | >3.5 | | | x | |
| | D | III | >25 | | | | | | x |
| <i>nigrum conus</i> | A | Extra | 80-90 | 6.0-7.0 | 5.0-5.5 | O | x | | |
| | B | I | 91-110 | 7.1-7.5 | 5.6-6.0 | | x | | |
| | C | II | 111-120 | 7.6-8.0 | 6.1-6.5 | | | x | O |
| | D | III | >120 | ≥8.5 | ≥7.0 | | | x | |
| <i>nigrum spinosum</i> | A | Extra | 200-300 | 12-14 | 7.5-8.0 | O | O | x | |
| | B | I | 301-400 | 15-16 | 8.1-9.0 | | | x | |
| | C | II | 401-500 | >16 | 9.1-9.5 | | | | x |
| | D | III | > 500 | idem | ≥9.6 | | | | x |
| <i>nigrum xalapensis</i> | A | Extra | 200-300 | 12-14 | 6.0-6.5 | O | O | x | |
| | B | I | 301-400 | 15-17 | 6.6-7.5 | | | x | |
| | C | II | 401-500 | >17 | 7.6-8.0 | | | | x |
| | D | III | > 500 | idem | 8.1-9.0 ≥10 | | | | x |
| <i>nigrum maxima</i> | A | Extra | 200-300 | 16-20 | 3.0-3.5 | O | O | O | |
| | B | I | 301-400 | 21-25 | 3.6-4.0 | | | | |
| | C | II | 401-500 | >25 | 4.1-5.0 | | | | x |
| | D | III | > 500 | | ≥6.0 | | | | x |
| <i>virens levis</i> | A | Extra | 200-300 | 12-14 | 8-10 | O | O | x | |
| | B | I | 301-400 | 15-16 | 10-12 | | | x | |
| | C | II | 401-500 | >16 | 12-15 | | | | x |
| | D | III | > 500 | idem | >15 | | | | x |

¹ MP = muy pequeño, ² P= pequeño, ³ M = mediano, ⁴ G = grande

4.3. Variables bioquímicas y nutrimentales

La Tabla 5 muestra los valores del contenido promedio de las variables bioquímicas, resaltando que el grupo de metabolitos que determinan el sabor amargo son las cucurbitacinas (triterpenos tetracíclicos), y para tener el comparativo, se incluyó el contenido de los frutos de la especie *S. edule* (silvestre). Sobresale que los frutos verdes y amarillos registran diez y cien veces menos cucurbitacinas respectivamente que el silvestre. Lo anterior define que los frutos amarillos son ligeramente dulces (tienen también más SST), los frutos verdes son de sabor neutro y el ancestro silvestre es muy amargo. Los valores de acidez titulable y ácido ascórbico son característicos para un fruto no carotenogénico, y son base normativa de estándares nutrimentales para consumo humano. Respecto al valor nutrimental, la Figura 4 A, B, muestran los valores para los principales minerales contenidos en los frutos de chayote con la epidermis y sin ella. El consumo del chayote es como verdura, y generalmente se elimina la epidermis (cáscara); sin embargo, la Figura 4, indica que los valores nutrimentales sobresalen si ésta permanece, pues los valores son mayores.

Tabla 5. Variables bioquímicas de frutos de chayote (*Sechium edule*).

| Variedad | Cucurbitacinas (g 100 g ⁻¹) | SST (°Brix) | Acidez titulable (%) | Ácido ascórbico (mg 100 g ⁻¹) |
|--------------------------|---|-------------|----------------------|---|
| <i>albus minor</i> | 0.0039 | 7.66 ±0.7 | 0.035 ±0.8 | 7.82 ±0.42 |
| <i>albus dulcis</i> | 0.0027 | 7.21 ±0.9 | 0.029 ±0.11 | 7.42 ±1.27 |
| <i>albus levis</i> | 0.0088 | 8.08 ±0.6 | 0.028 ±0.5 | 7.75 ±0.22 |
| <i>nigrum levis</i> | 0.0660 | 5.47 ±0.2 | 0.045 ±0.57 | 6.65 ±0.18 |
| <i>nigrum minor</i> | 0.0590 | 5.82 ±0.2 | 0.059 ±0.31 | 6.08 ±0.11 |
| <i>nigrum conus</i> | 0.0594 | 5.92 ±0.3 | 0.055 ±0.32 | 5.98 ±0.14 |
| <i>nigrum spinosum</i> | 0.0190 | 6.43 ±0.3 | 0.038 ±0.1 | 4.95 ±0.49 |
| <i>nigrum xalapensis</i> | 0.0195 | 4.93 ±0.2 | 0.032 ±0.1 | 6.53 ±0.53 |

| | | | | |
|--------------------------------|--------|------------|-------------|------------|
| <i>nigrum maxima</i> | 0.0139 | 5.01 ±0.3 | 0.043 ±0.2 | 6.99 ±0.21 |
| <i>virens levis</i> | 0.0116 | 5.14 ±0.2 | 0.040 ±0.19 | 6.76 ±0.16 |
| <i>Sechium edule silvestre</i> | 0.1456 | 10.92 ±0.3 | 0.059 ±0.42 | 3.99 ±0.16 |

Sólidos solubles totales: promedio de n=196 ± error estándar; Acidez titulable: promedio de n=382 ± error estándar; Ácido ascórbico: promedio de n=380 ± error estándar

Figura 2. Número de días después de antesis para alcanzar la madurez hortícola de ocho variedades de *Sechium edule*. Gráficos con letra A, indican días después de antesis hasta madurez hortícola. Gráficos con letra B, indican tasa absoluta de crecimiento en días.

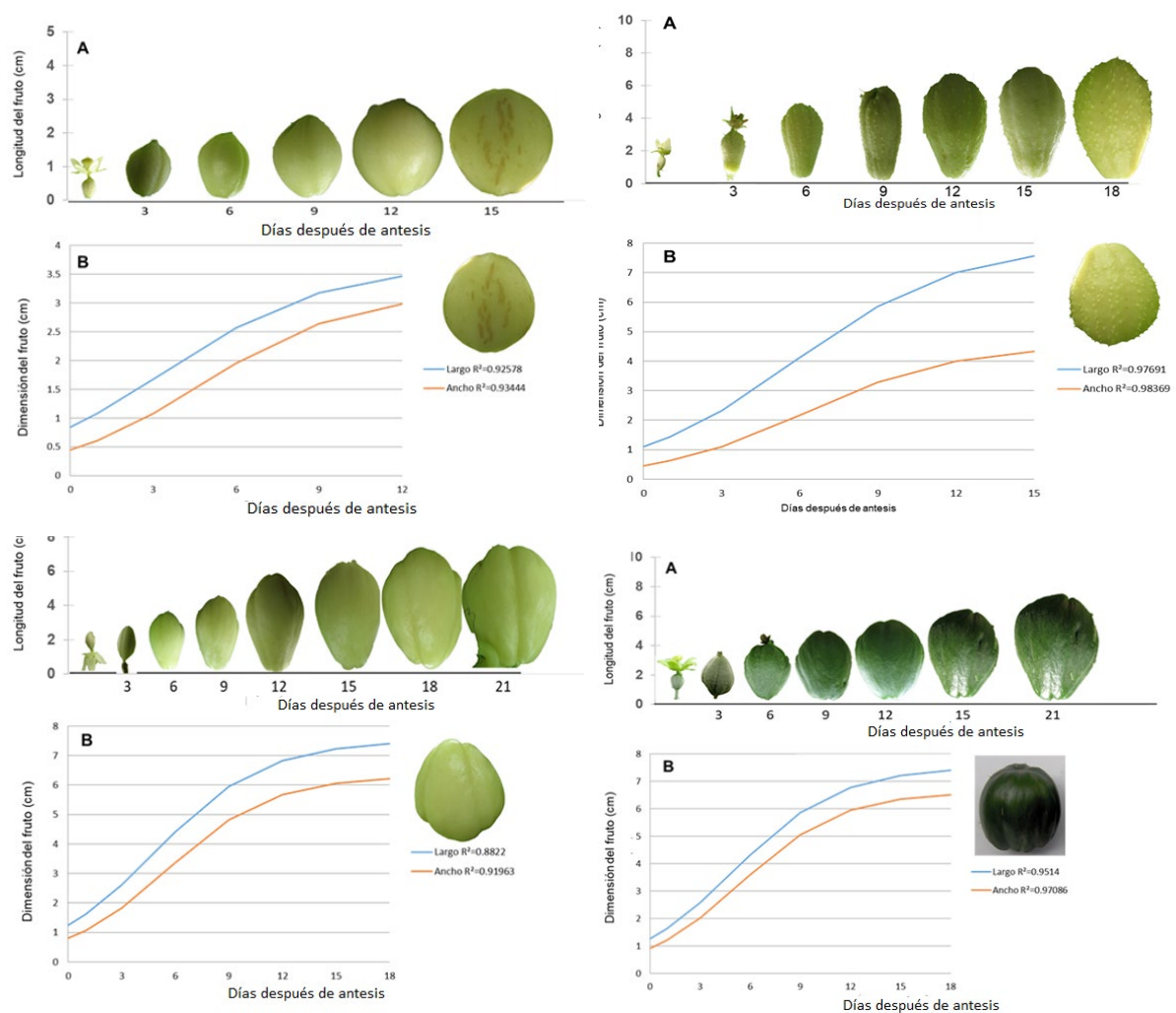


Figura 3. Número de días después de antesis para alcanzar la madurez hortícola de ocho variedades de *Sechium edule*. Gráficos con letra A, indican días después de antesis hasta madurez hortícola. Gráficos con letra B, indican tasa absoluta de crecimiento en días. Las variedades *nigrum xalapensis* y *n. máxima* registran tasas de crecimiento y días después de antesis como la var. *nigrum spinosum*.

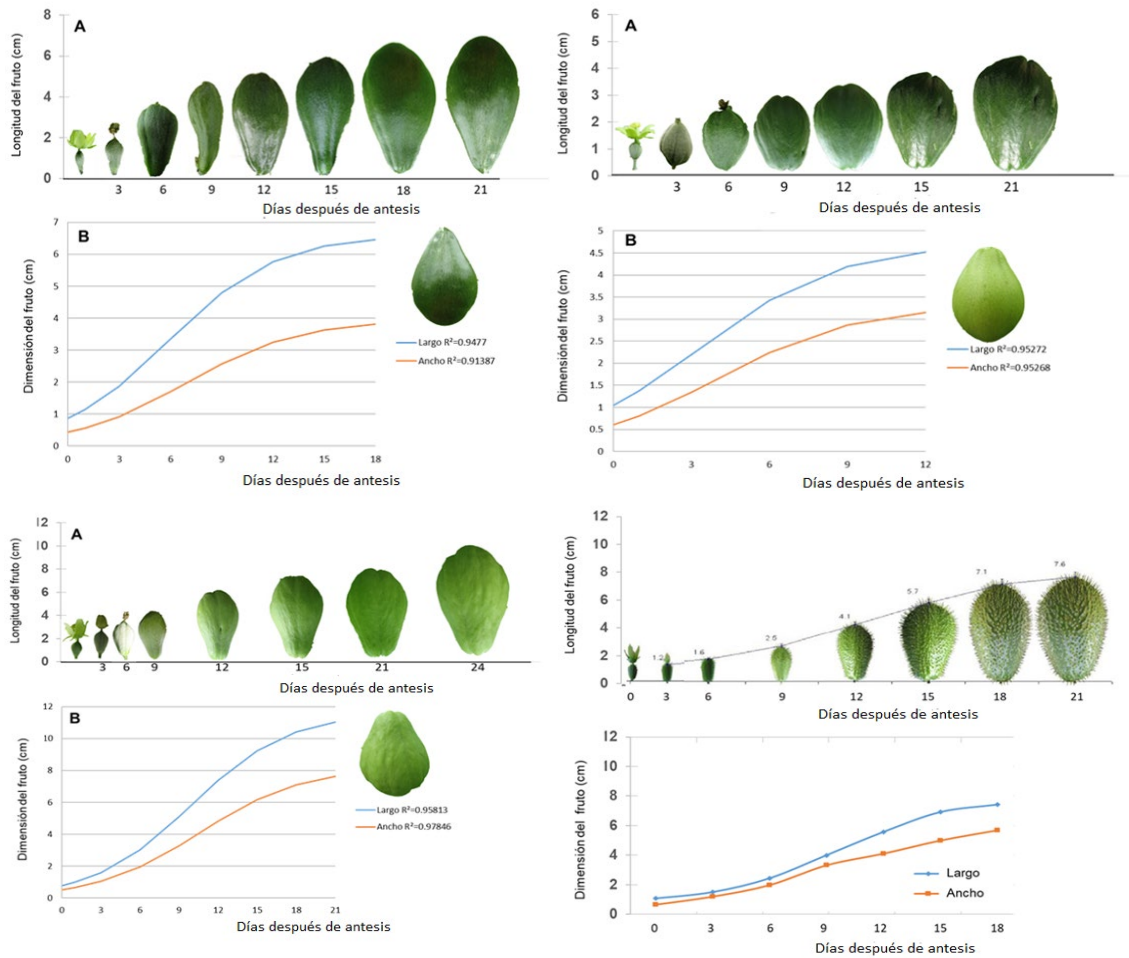
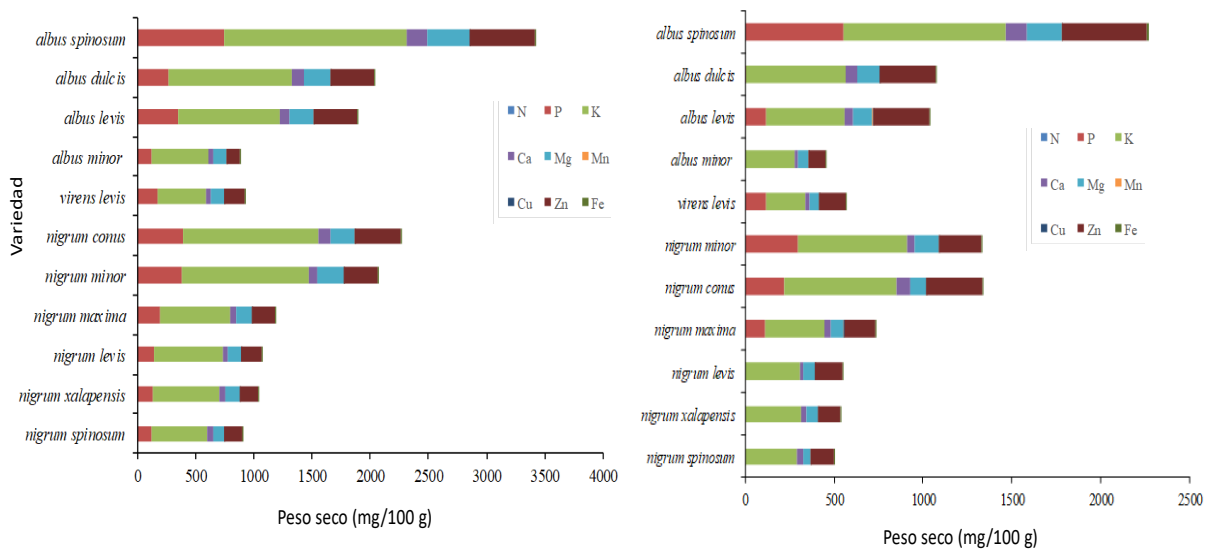


Figura 4. A: Contenido de minerales en frutos de chayote y variedades. A: con epidermis. B: sin epidermis. Hay diferencias estadísticas entre variedades ($F= 24.68, P<0.0006$) y los dos niveles (sin epidermis y con epidermis) para fósforo ($F= 4.514, P<0.01$), Potasio ($F= 57.61, P<0.0001$), zinc ($F= 39.91, P<0.0001$), calcio ($F= 36.22, P=0.0001$), magnesio ($F= 36.22, P=0.0001$). La var. *albus spinosum* se ha incluido únicamente a manera de referente



Los nutrientes que no se observan se debe a que sus valores van de 0 a 5 (N, Mn, Fe y Cu). Se distinguen claramente los nutrientes como P, K, Ca, Mg, y Zn. Los valores anteriores son base para establecer los registros mínimos deseables para los frutos de las variedades. El

chayote se ha incluido en dietas hospitalarias (GISeM, 2011; Mon-Yuan *et al.*, 2015), y por ello se deben conocer otras alternativas a la variedad comercial, que enriquezcan el valor nutricional de las dietas. Los valores registrados en la Figura 4, muestran que la var. comercial *virens levis* es de los frutos con menor contenido de minerales, sobresaliendo *nigrum minor* y *nigrum conus*. La misma Figura muestra a la var. *albus spinosum* (no incluida en este estudio) como la de mayor valor mineral, considerada únicamente como referente.

Los defectos de apariencia fueron registrados como malformaciones visibles, atípicas a la forma dominante de la variedad, tales como, surcos y depresiones pronunciadas, ápice angulado, textura con estrías (lenticélas), epidermis estallada, blanqueado (decoloración) general de la epidermis o en áreas delimitadas (Figura 5).

Figura 5. Defectos de apariencia y sanidad en frutos de chayote causados por organismos plaga y manejo agronómico deficiente en campo, que afectan la calidad de los frutos.



Las normas deben comprender tres aspectos fundamentales: **Simplificación** que constituye un estudio serio y preciso que consiste en una ordenación racional y sistemática para eliminar todo lo que es fruto de la improvisación, capricho o ignorancia. La **Unificación**, que define las tolerancias de fabricación-producción con base en las características dimensionales, y finalmente, la **Especificación**, que define la calidad por métodos reproducibles y comprobables. En el presente estudio se han abordado las condiciones anteriores para dar paso al proceso de actualización de las normas vigentes para frutos de nueve variedades de chayote (*S. edule*) de comercio local.

Aunado a lo anterior, la normalización debe basarse en la Investigación bibliográfica e industrial, elaboración de un anteproyecto de norma basándose en los datos obtenidos. Debe confrontar el anteproyecto con la opinión de los sectores comprador, productor y de interés general; hasta llegar a un acuerdo, buscar su promulgación como Norma, y finalmente confrontarlo con la práctica.

5. Conclusiones

Se establecen por primera vez los estándares morfométricos, categorías, tipo, calibres, peso, firmeza, color, sabor, valores bioquímicos y nutrimentales para nueve variedades de chayote cuyo comercio es local. Las variables de normalización del Codex-Stan-2016-1999 y la NMX-FF-047-1996 para la var. *virens levis* de referencia internacional, facilitó la adaptación de los valores obtenidos y determinar los estándares de las nuevas variedades y promover su comercio nacional e internacional. Con los resultados obtenidos, se puede actualizar la norma mexicana y la norma internacional para frutos comerciales de chayote (*S. edule*) comestibles.

6. Referencias

AOAC. (1990). Association of Official Analytical Chemist. Official methods of analysis of AOAC international. Fruits and Fruit Products pp. 829-830

- Anónimo. (2003). Diario Oficial de la Federación; declaratoria de vigencias de las normas mexicanas. Primera sección, mayo 22.
- Aung-LH., Harris-CM., RIJ-RE., & Brown-JW. (1996). Postharvest storage temperature and film wrap effects on quality of chayote, *Sechium edule* SW. *Journal Horticultural Science* 71(2): 297-304
- Barrera-Guzmán, L.A., Cadena-Iñiguez, J., Legaria-Solano, J.P., & Sahagún-Castellanos, J. (2021). Phylogenetics of the genus *Sechium* P. Brown: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, Volume 19, Issue 1, e07R01. <https://doi.org/10.5424/sjar/2021191-17036>
- BreneS-Hine, A. (2002). Proyecto: Conservación de germoplasma de chayote [*Sechium edule* (Jacq.) Swartz] y tacaco [*Sechium tacaco* (Pittier) C. Jeffrey] como una base de apoyo para el mejoramiento genético y la producción de semillas. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica. 18 p.
- Cadena, I. J., Ruiz, P. L. M., Trejo, L. C., Sánchez, G. P., & Aguirre, M. J. F. (2001). Intercambio de gases y relaciones hídricas del chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw. *Revista Chapingo* Vol VII. (1) 21-35
- Cadena-Iñiguez, J., & Arévalo-Galarza, M.L.C. (2011). Las variedades de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) y su comercio mundial. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 98 p.
- Escobar-Ojeda, I. (2010). Apuntes de la asignatura de: metrología y normalización. Tecnológico De Estudios Superiores Del Oriente Del Estado De México. 105 p.
- GISeM. (2011). Rescatando y Aprovechando los Recursos Fitogenéticos de Mesoamérica. Volumen 3: Chayote: Manejo Postcosecha Edición original publicada por: Colegio de Postgraduados y Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. ISBN 978-607-715-022-0
- Iñiguez-Luna, M.I., Cadena-Iñiguez, J., Soto-Hernández, R.M., Morales-Flores, F.J., Cortes-Cruz, M., & Watanabe, K.N. (2021) Natural Bioactive Compounds of *Sechium* spp. for Therapeutic and Nutraceutical Supplements. *Front. Plant Sci.* 12:772389.doi: 10.3389/fpls.2021.772389
- Mon-Yuan, Y., Kuei-Chuan, C., Yi-Ju, Lee, Xiao-Zong, C., Cheng-Hsun, W., & Chau-Jong W. (2015). *Sechium edule* Shoot Extracts and Active Components Improve Obesity and a Fatty Liver That Involved Reducing Hepatic Lipogenesis and Adipogenesis in High-Fat-Diet-Fed Rats. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63 (18), 4587-4596 DOI: 10.1021/acs.jafc.5b00346
- Ortega-Paczka, R., Martínez-Alfaro, M. A., & Rincón-Enriquez, G. (1998). Principales cultivos de México y sus regiones mundiales de mayor diversidad. XVII Congreso de Fitogenética. Memoria Sociedad Mexicana de Fitogenética. Acapulco, México. p. 321
- Ortega-Paczka, R. (1999). Genetic erosion in Mexico. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Centros Regionales, México. 16 p.
- Riviello-Flores, M.D.L., Arévalo-Galarza, M.L.C., Cadena-Iñiguez, J., Soto-Hernández, M., Ruiz-Posadas, L.D.M., & Gómez-Merino, F.C. (2018). Nutraceutical characteristics of the extracts and juice of chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) fruits. *Beverages* 4: 1-11. <https://doi.org/10.3390/beverages4020037>
- Watada, A. E., Herner, R. C., Kader, A. A., Romani, R. J., & Staby, G. L. (1984). Terminology for the description of developmental stages of horticultural crops *HortScience*, 19, pp. 20-21

