

VARIACIÓN MORFOLÓGICA A NIVEL INTER E INFRAESPECÍFICO EN *Sechium* spp.

MORPHOLOGICAL VARIATION AT INTER AND INFRAESPECIFIC LEVEL IN *Sechium* spp.

Avendaño-Arrazate, C.H.^{1,4}; Cadena-Iñiguez, J.^{2,4}; Cisneros-Solano, V.M.^{3,4}; Ramírez-Rodas, Y.C.⁵; Mejía-Montoya, G.B.⁵

¹Investigador del Campo Experimental Rosario Izapa (CERI)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla chico, Chiapas. CP. 30780. ²Postgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí, Iturbide 73, Salinas de Hidalgo, SLP, 78600, México. ³Centro Regional Universitario Oriente-Universidad Autónoma Chapingo. ⁴Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México, A.C. (GISEM). ⁵Colaboradoras de investigación del CERI-INIFAP.

*Autor de correspondencia: jocadena@gmail.com

RESUMEN

El origen de la variación se aborda desde la perspectiva del proceso de domesticación y la influencia del ambiente, las culturas y los sistemas de producción como entes generadores de variantes en chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw), cuya variación morfológica es dinámica y su proceso de evolución es continua; y se atribuye tanto al consumidor como el cambio climático, la presión generadora de variantes de interés antropocéntrico y adaptación a nuevos ambientes o condiciones. Se realizó una serie de cruzamientos interespecíficos entre los tipos silvestres: *S. edule*, *S. compositum* y *S. chinantense*, registrando que la variación morfológica en chayote es dinámica y su proceso de evolución es continua, prueba de ello es que los silvestres, semidomesticados y domesticados coexisten y se están cruzando de manera natural, promoviendo así nuevas variantes.

Palabras clave: chayote, Mesoamérica, especies, sub especies.

ABSTRACT

The origin of variation is addressed from the perspective of the domestication process and the influence of the environment, cultures and production systems as entities that generate variants in chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw), whose morphological variation is dynamic and evolutionary process is continuous; and this is attributed both to the consumer and to climate change, the pressure that generates variants of anthropocentric interest and adaptation to new environments or conditions. A series of inter-specific crosses were carried out between the wild types: *S. edule*, *S. compositum* and *S. chinantense*, showing that the morphological variation in chayote is dynamic and its evolutionary process is continuous, proof of this is that the wild, semi-domesticated and domesticated variants coexist and are crossbreeding naturally, thus promoting new variants.

Keywords: chayote, Mesoamerica, species, sub-species.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 9, septiembre. 2017, pp: 58-63.

Recibido: febrero, 2016. **Aceptado:** junio, 2017.



INTRODUCCIÓN

El estudio y entendimiento de la variación infraespecífica en *Sechium* ha sido abordado desde diferentes puntos de vista, desde el botánico (Lira-Saade, 1996), pasando por el taxonómico (Lira et al., 1999), morfológico (Cadena et al., 2010), bioquímico (Cadena et al., 2011), citológico (Lira et al., 1999) y molecular (Avendaño et al., 2012; Cadena et al., 2007). Diferentes estudios han contribuido a tratar de explicar la variación registrada en este complejo tanto en México como en Centroamérica y Sudamérica (Maffioli, 1981; Engels, 1983; Newstrom, 1991; Lira-Saade, 1996). Estos estudios han abordado principalmente la variación en fruto (tamaño, forma, color, sabor, presencia o ausencia de espinas), características de hojas y guías, así como, respuesta de la especie a diferentes ambientes con base en aspectos morfo-anatómicos, fisiológico y bioquímicos (Cadena-Iñiguez et al., 2001). En 2102, Avendaño et al. (2012) concluyen que existe una amplia variación dentro del complejo infraespecífico e interespecífico de *Sechium* de México y además, de que su diversidad genética no es aleatoria, ya que se pueden distinguir los grupos varietales con base en el tamaño, color y ausencia o presencia de espina de los frutos, esto con base en marcadores isoenzimáticos. Sin embargo, esta variación no ha sido explotada en su totalidad para el beneficio de las comunidades de México, ya que sólo uno o dos grupos varietales (*virens levis* y *nigrum spinosum*), son utilizados para su comercialización a gran escala; por lo que

actualmente, existe necesidad por parte de los investigadores principalmente de México por conocer el origen de la variación en *Sechium*, ya que esto permitiría desarrollar protocolos y metodologías para, potenciar y aprovechar los usos terapéuticos, medicinales y alimenticios de éste género, que durante cientos de años ha coexistido con comunidades rurales de México.

Origen de la variación morfológica en *Sechium* spp.

En los seres vivos existen factores que inducen variación con el fin de que la especie sobreviva a los cambios de su entorno, estos factores son, selección, mutación, migración y deriva genética; además de éstos, en *Sechium* el dinamismo de la ruta evolutiva se ha desarrollado mediante el proceso mismo de la domesticación (Cadena et al., 2007), el ambiente donde se desarrollan, procesos culturales y los sistemas de producción que le ha permitido al hombre aprovechar a esta especie a gran escala (Figura 1).

La selección como factor de variación en *Sechium*

La selección natural ha jugado un papel muy importante para la aparición de variantes, que se han adaptado a los diferentes ambientes de México. Siendo el chayote una planta sensible al fotoperíodo; la temperatura, la precipitación, humedad relativa y altitud han determinado que ciertas variantes de chayote predominen en regiones cálidas, semitempladas y templadas (Cadena-Iñiguez et al., 2007). Por otra parte, la presión de selección que el hombre ha ejercido, ha sido muy importante para la aparición de variantes, reflejado en la cantidad y densidad de espinas en el fruto; de colores claros presentes en el trópico húmedo a colores oscuros en las zonas templadas. Además, de la presión de selección a caracteres de interés antropocéntrico, tales como cantidad de estropajo, el sabor amargo a dulce, neutro y la forma y tamaño del fruto (Cadena-Iñiguez et al., 2011). Sin lugar a dudas, la preferencia del consumidor en el mercado también ha ejercido un papel importante en la aparición de variantes y desplazamiento de otras; de verde oscuro a verde claro, con espinas o sin espinas.

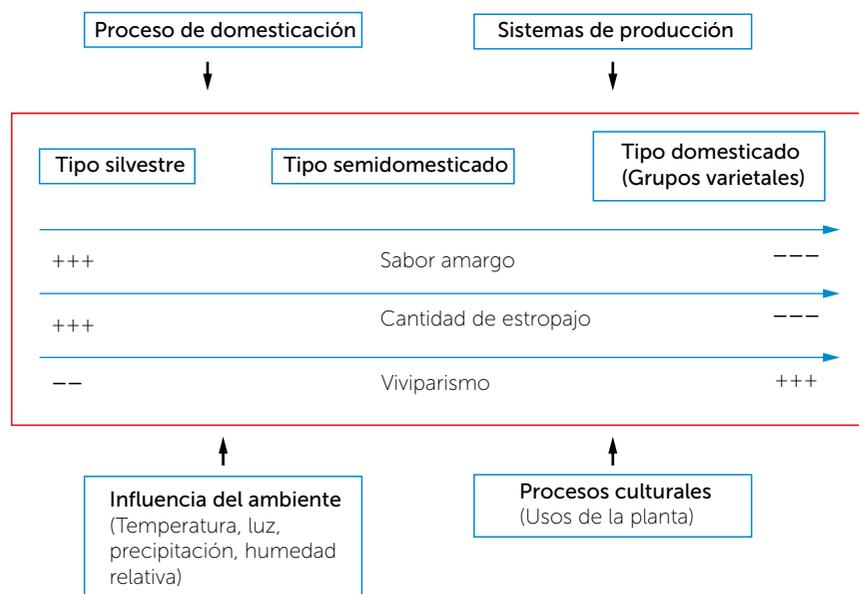


Figura 1. Posible origen de la variación morfológica a nivel infraespecífico en *Sechium* spp. (Adaptado de Cadena-Iñiguez, 2005).

silvestre (Figura 2 y 3) que se caracteriza por un sabor amargo muy pronunciado, alto contenido de estropajo, sin viviparismo (germinación de la semilla dentro del fruto y adherido a la planta (Figura 4), y la raíz de gran tamaño como fuente de reserva (geófita) y estrategia de sobrevivencia como planta semiperenne. Los tipos semidomesticados se caracterizan principalmente por presentar frutos de pequeños a medianos, con menor nivel de viviparismo y presencia de estropajo (Figura 4). Finalmente, los tipos domesticados a través de los grupos varietales que se han formado, se caracterizan por presentar frutos sin estropajo, sabor neutro a dulce y frutos de grandes a muy grandes. También, se observa una tendencia a la cantidad y densidad de espinas (Figura 5) (Avendaño *et al.*, 2010; Cadena-iñiguez *et al.*, 2010).

La mutación y migración como factores de variación en *Sechium*, han permitido la aparición de variantes adaptadas a nuevos ambientes. *S. edule* es originario del bosque mesófilo de montaña o neblina, sin embargo, lo han desplazado a regiones extremadamente cálidas, tales como Actopan, Veracruz, y Santa María del Río, San Luis Potosí. Este desplazamiento y grado de adaptación se debe principalmente a su plasticidad, que le permite desarrollarse y mantenerse en dichos ambientes "extremos", sin embargo, han provocado cambios drásticos en su morfología, tal es el caso del "chayote blanco" en Actopan, Veracruz, que se debe a un desorden eco fisiológico, ya que al sembrarlo nuevamente en condiciones favorables para la es-

pecie el color del fruto es normal. En otros ambientes, como los climas fríos o templados (valles altos), el chayote ha desarrollado formas, densidad y tamaño de espinas, además de colores oscuros en fruto y raíces grandes como fuente de reserva.

Las culturas de México como factores de variación en *Sechium*

Las diferentes culturas de México han jugado un papel determinante en la aparición de variantes en *Sechium*. Al respecto Juárez *et al.* (2014), encontraron que los campesinos y vendedoras Zapotecas de Valles Centrales de Oaxaca, México, han desarrollado criterios para seleccionar plantas de

chayote en base a sus características morfológicas (Figura 5). En la selección de la semilla consideran el tamaño, color, textura, consistencia y cantidad de estropajo. Estos son adquiridos en el mercado local o en huertos vecinos de la misma región. Los frutos se clasifican por su tamaño, en "pequeños" cuando miden en promedio de 12.0 cm de longitud y poseen una guía de aproximadamente 20 cm de largo; estos se siembran cubriendo todo el fruto en el suelo, mientras que los "grandes", miden en promedio 16.9 cm, en cuyo caso se elimina el

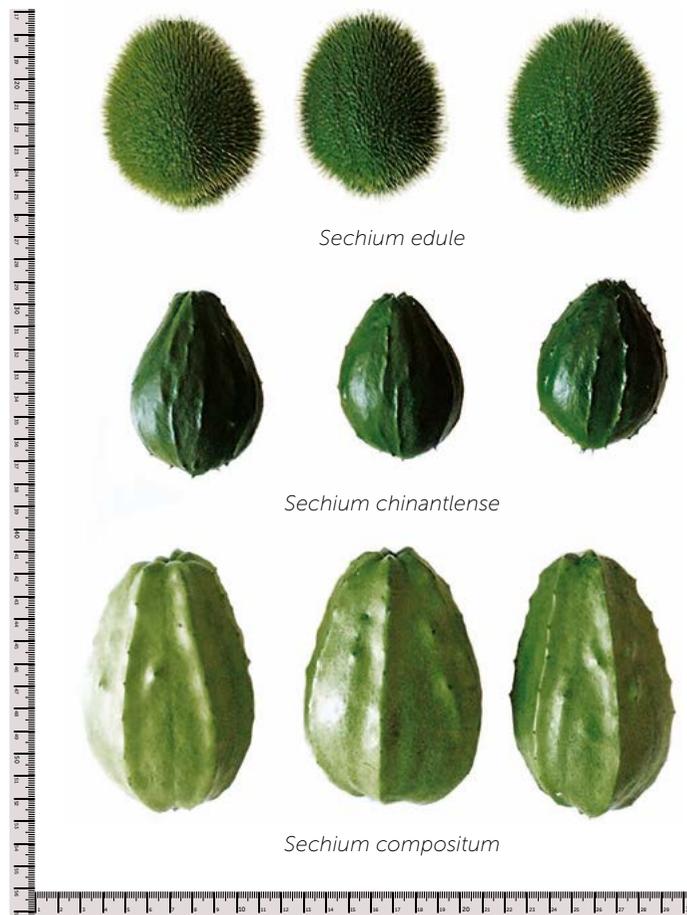


Figura 2. Frutos de chayote silvestre (*S. edule*, *S. chinantlense*, *S. compositum*) de México.



Figura 3. Variación morfológica en frutos de chayote silvestre de *S. compositum*.



Figura 4. Viviparismo en los tipos de chayote silvestre, semidomesticado y domesticado de México.



Figura 5. Variación morfológica a nivel infraespecífico de chayotes semidomesticado y domesticado.

mesocarpio para extraer la semilla también llamada "pepita". Estos autores también reportan amplia variabilidad morfológica en Valles Centrales de Oaxaca, y consideran que se puede deber a diferencias edáficas y climáticas de la región, así como a los movimientos y criterios de selección de semilla que practican los productores, además de entrecruzamientos al ser una especie alógama. Las culturas mesoamericanas sin lugar a dudas han jugado y siguen jugando un papel muy importante en la aparición de nuevas variantes, debido al desplazamiento y selección de variantes de acuerdo a su uso (Cadena *et al.*, 2010).

Sistemas de cultivo, como generadores de variantes en *Sechium*

Los diferentes sistemas de manejo de chayote en México; también han ejercido un impacto en la generación de nuevas variantes, ya que las preferencias del consumidor y del mercado han preferido ciertos tipos (*virens levis*) y desplazamiento de otras (*nigrum levis*) (Cadena *et al.*, 2007). El chayote al ser una planta de polinización cruzada de manera natural se generan nuevas formas (Figura 6 y 7) y en los sistemas de manejo, a través de la selección continua por parte de los campesinos, productores e investigadores mediante sistemas formales o informales de mejoramiento genético, se han seleccionado variantes que se distinguen por su alto rendimiento, forma y sabor.

Al respecto, Avendaño *et al.* (2014), encontraron que la percepción del consumidor respecto al chayote ha cambiado afectando los patrones de consumo. Esta situación ha impactado con la diversidad de formas, colores y sabores presentes en los tipos de chayote que se consumen en México y en el extranjero. Actualmente, las de mayor demanda son el chayote verde liso (*virens levis*) para exportación y en segundo lugar el verde espinoso (*nigrum spinosum*) cuya distribución y consumo se localiza en valles altos de México.

Como resultado del proceso de



Figura 6. Formación de híbridos a partir de tipos silvestres de *Sechium* (*S. chinantense* x *S. edule*).

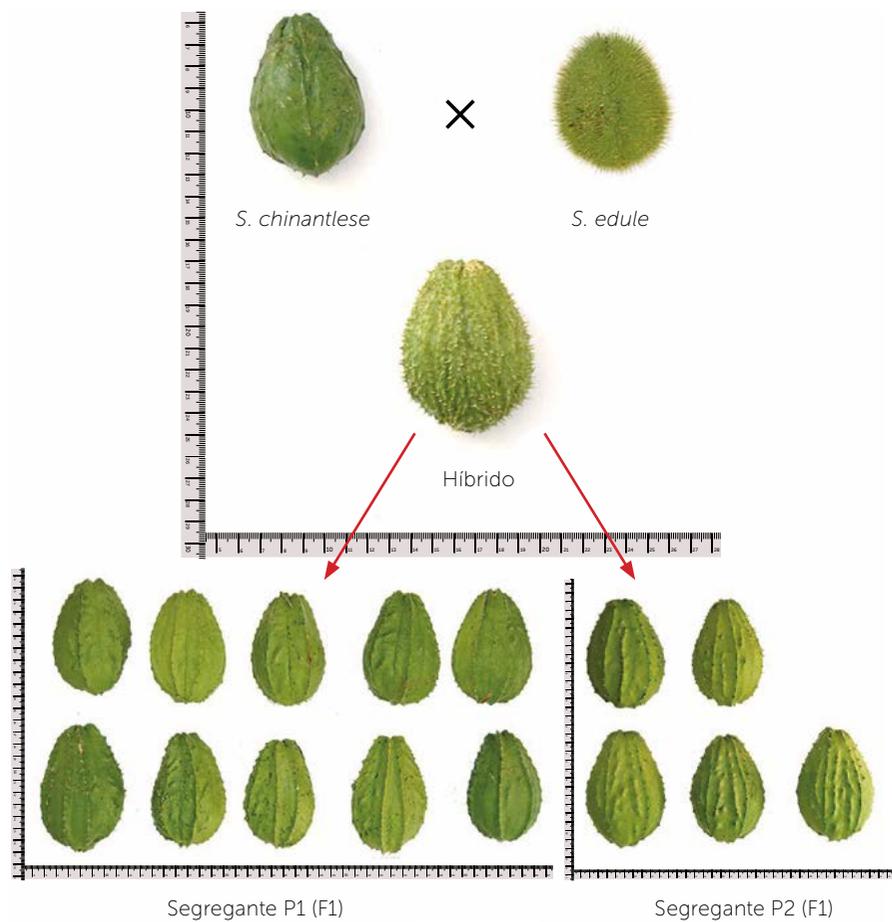


Figura 7. Formación de híbridos a partir de tipos silvestres de *Sechium* (*S. chinantlese* × *S. edule*) y sus segregantes.

cruzamiento controlado en el complejo interespecífico de *Sechium*, se han obtenido nuevas variantes biológicas, que en la mayoría de los casos la progenie supera a los progenitores, sobre todo en tamaño y peso del fruto (Cuadro 1), esto se debe a que al ser consideradas especies diferentes (*S. edule* y *S. chinantlese*) la distancia genética es amplia y como resultado del cruzamiento se tiene una heterosis alta. Este comportamiento ha sido reportado en muchas especies (Cheres et al., 2000; Monforte et al., 2005). Los frutos del segregante P2 superó en cuatro veces a ambos progenitores res-

pecto al peso del fruto y en longitud lo duplicó (Cuadro 1), y en cuanto a la forma y presencia de espinas en algunos frutos del segregante P1 (Figura 7) se parecen morfológicamente a *S. compositum* (Figura 2), este comportamiento de los segregantes de P1 y P2 (Figura 7) sugiere que la variación infraespecífica en *Sechium* pueda provenir de una sola especie (*S. edule*) y que las otras consideradas como especies (*S. chinantlese* y *S. compositum*) se traten de subespecies y que el proceso de domesticación en el complejo infraespecífico de *Sechium* aún no concluye.

CONCLUSIONES

La variación morfológica en *Sechium* es dinámica y su proceso de evolución es continua, prueba de ello es que los tipos silvestres, semidomesticados y domesticados coexisten y se están cruzando de manera natural, promoviendo así nuevas variantes que tanto el consumidor como el ambiente, son fuerzas generadoras de nuevas

variantes de interés antropocéntrico.

LITERATURA CITADA

Avenidaño-Arrazate C.H., Cadena-Iñiguez J., Arévalo-Galarza M.L.C., Cisneros-Solano V.M., Morales-Flores F., Ruiz-Posadas L.M. 2014. Mejoramiento genético participativo en chayote. *Revista Agroproductividad* 7(6):30-39.

Avenidaño-Arrazate C.H., Cadena-Iñiguez J., Arévalo-Galarza L., Cisneros-Solano V.M., Aguirre-Medina J.F., Moreno-Pérez E., Cortés-Cruz M., Castillo-Martínez C.R., Ramírez-Vallejo P. 2012. Variación genética en el complejo infraespecífico de chayote evaluada mediante sistemas isoenzimáticos. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília. 47(2):244-252.

Cuadro 1. Comportamiento de progenitores y su progenie en *Sechium* spp., 2015-2017.

	PF	LF	AF	GF	Año
Progenitor Se	63.14 ± 12.38	6.14 ± 0.42	5.12 ± 0.41	4.58 ± 0.35	2015
Progenitor Sch	54.52 ± 9.52	6.67 ± 0.40	4.68 ± 0.28	3.30 ± 0.31	2015
Híbrido	77.98 ± 16.95	7.12 ± 0.47	5.42 ± 0.39	4.06 ± 0.37	2016
Segregante P1 (F1)	131.69 ± 26.09	9.37 ± 0.46	6.38 ± 0.42	4.76 ± 0.29	2017
Segregante P2 (F1)	247.59 ± 51.75	11.35 ± 1.16	7.35 ± 0.59	5.45 ± 0.43	2017

Se=*Sechium edule*, Sch=*Sechium chinantlese*, PF=Peso del fruto (g), LF=Longitud del fruto (cm), AF=Ancho del fruto (cm), GF=Grosor del fruto (cm), ± desviación estándar.

- Avendaño-Arrazate C.H., Cadena-Iñiguez J., Arévalo-Galarza M.L., Campos-Rojas E., Cisneros-Solano V.M., Aguirre-Medina J.F. 2010. Las variedades del chayote mexicano, recurso ancestral con potencial de comercialización. Grupo Interdisciplinario de Investigación en *Sechium edule* en México. México. 88 p.
- Cadena-Iñiguez J., Avendaño-Arrazate C.H., Aguirre-Medina J.F., Arévalo-Galarza M.L.C., Cisneros-Solano V.M., Campos-Rojas E. 2010. El chayote *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Importante recurso fitogenético mesoamericano. *Agroproductividad* 3(2):26-34.
- Cadena-Iñiguez J., Arévalo-Galarza M.L.C., Avendaño-Arrazate C.H., Ruíz-Posadas L.M., Soto-Hernández M., Santiago-Osorio E., Acosta-Ramos M., Aguirre-Medina J.F., Cisneros-Solano V., Ochoa-Martínez D.L. 2007. Production, genetics and postharvest management and pharmacological characteristics of *Sechium edule* (Jacq.) Sw. (Review). *Fresh Produce Journal* (Global Science Books) 1(1):41-53.
- Cadena-Iñiguez J., Soto-Hernández M., Arévalo-Galarza M.L., Avendaño-Arrazate C.H., Aguirre-Medina J.F., Ruíz-Posadas L.M. 2011. Caracterización bioquímica de variedades domesticadas de chayote *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Comparadas con parientes silvestres. *Revista Chapingo Serie Horticultura XVII* (2): 45-55.
- Cadena-Iñiguez J., Soto-Hernández M., Torres-Salas A., Aguiñiga-Sánchez I., Ruíz-Posada L., Rivera-Martínez A.R., Avendaño-Arrazate C.H., Santiago-Osorio E. 2013. The antiproliferative effect of chayote varieties (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) on tumour cell lines. *Journal of Medicinal Plants Research* 7(8): 455-460.
- Cadena-Iñiguez J., Avendaño-Arrazate C.H., Ruíz-Posadas L.M., Soto-Hernández M., Zavaleta-Mancera H.A., Aguirre-Medina J.F., Luna-Cavazos M., Arévalo-Galarza L. 2008. The inphraespecific variation of *Sechium edule* (Jacq.) Sw., in the Veracruz State, Mexico. *Genetics Resources and Crop Evolutions*. 55:163-170.
- Cheres M.T., Miller J.F., Crane J.M., Knapp S.J., 2000. Genetic distance as a predictor of heterosis and hybrid performance within and between heterotic groups in sunflower. *Theor Appl Genet* 100: 889–894.
- Cruz-León A, Querol-Lipovich D. 1985. Catálogo de recursos genéticos de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en el Centro Regional Universitario Oriente de la Universidad Autónoma Chapingo. UACH, Chapingo, pp. 5-25.
- Engels J.M.M.1983. Variation in *Sechium edule* in Central America. *Journal of the American Society of Horticultural Science* 108: 706-710.
- Juárez H.L.F., Campos A.G.V., Avendaño A.C.H., Enríquez del V.J.R., Villegas A.Y. 2014. Conocimiento y comercialización de chayote (*Sechium edule* (Jacq.) Sw.) en los mercados de Valles Centrales de Oaxaca, México. *Rev. Bras. de Agroecología*. 9(3): 90-103
- Lira R., Castrejón J., Zamudio S., Rojas Z.C. 1999. Propuesta de ubicación taxonómica para los chayotes silvestres *Sechium edule*, cucurbitaceae de México. *Acta Botánica Mexicana* 49:47-61.
- Lira-Saade R.1996. Chayote. *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 57 p.
- Maffioli A. 1981. Recursos genéticos de *Sechium edule* (Jacq.) Sw. (Cucurbitaceae). CATIE, Unidad de Recursos Genéticos, Turrialba, Costa Rica, 151 p.
- Morforte A.J., Iban E., Silvia A. 2005. Inheritance mode of fruit traits in melon: Heterosis for fruit shape and its correlation with genetic distance. *Euphytica* 144: 31. doi:10.1007/s10681-005-0201-y.
- Newstrom L.E. 1991. Evidence for the origin of chayote *Sechium edule* (Cucurbitaceae). *Economic Botany* 45: 410-428.