

## Germinación de semillas tropicales *Pouteria campechiana*

---

Karen Maybel Granados-Vega<sup>1</sup>

Silvia Evangelista-Lozano<sup>2,§</sup>

Tomás Rodríguez-García<sup>3</sup>

Sandra Luz Escobar-Arellano<sup>2</sup>

José Fernando Pérez-Barcena<sup>4</sup>

Mario Rodríguez-Monroy<sup>2</sup>

1 Programa de Doctorado en Ciencias en Desarrollo de Productos Bióticos. Instituto Politécnico Nacional en el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (CEPROBI-IPN). Calle CEPROBI Núm. 8 Colonia San Isidro, Yautepec de Zaragoza; Morelos, México, CP. 62730. Tel. 527353942020 Extensión 82528 (kgranadosv1801@alumno.ipn.mx)

2 Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN) (sevangel@ipn.mx Tel. 7773777425\*; sescobar@ipn.mx Tel. 7351796553; mrmonroy@ipn.mx ).

3 Estancia Posdoctoral CONAHCYT en el Instituto Politécnico Nacional (CEPROBI-IPN) (trodriguezg@ipn.mx Tel. 7353507882).

4 Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias de la Salud Unidad Milpa Alta (CICS-MA-IPN). Carretera Xochimilco - Oaxtepec Km 39.5, Milpa Alta, CDMX, CP. 12000 (jperezba@ipn.mx Tel. 5543388745)

Autora para correspondencia: sevangel@ipn.mx.

---

### Resumen

*Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni, comúnmente conocido como canistel, zapote amarillo, es un árbol frutal perenne de la familia Sapotaceae. Esta planta se utiliza en México y Centro América como etnomedicinal, tiene un papel importante en diferentes actividades biológicas, los principales componentes bioquímicos de esta especie son los flavonoides, polifenoles y carotenoides. Esta revisión tuvo como objetivo presentar y analizar la información generada sobre la germinación y desarrollo de la planta de *P. campechiana*, hasta el trasplante a terreno definitivo. Con la intención de resumir el conocimiento de cómo reproducir plantas de *P. campechiana* que permitan favorecer el aprovechamiento de este recurso biótico. Esta revisión dilucida las estrategias para la propagación *ex vitro*, la técnica de escarificación manual, la posición de siembra de la semilla que favorecen el desarrollo de la raíz y plúmula y como la poda de raíz malformada mejora el desarrollo de la planta; así como la optimización de la propagación y como con la poda de raíz de plantas de *P. campechiana* antes del trasplante beneficia la asociación natural con hongos micorrízico arbusculares; todo esto con el objetivo de mejorar la producción de plantas de calidad y la aplicación alimenticia y terapéutica de *P. campechiana*. La información crítica sobre los descubrimientos y estrategias de propagación y su efecto en la producción de este árbol multipropósito, lo que ayudaría en el estudio de las plantas que han sido subutilizadas pero que tienen potencial.

### Palabras clave:

canistel, crecimiento, desarrollo, zapote amarillo.

---

*Pouteria campechiana* (Kunth) Baehni, es una especie de la familia Sapotaceae, originaria de México, con propiedades alimenticias, medicinales, ornamentales y maderables, por su agradable sabor, el fruto es considerado como exótico y es altamente apreciado para su consumo. En Florida, EE.UU. producen los frutos de *P. campechiana* y son comercializados en ferias locales para su consumo en fresco y procesado en helado, licuados y panadería (Lim, 2013).

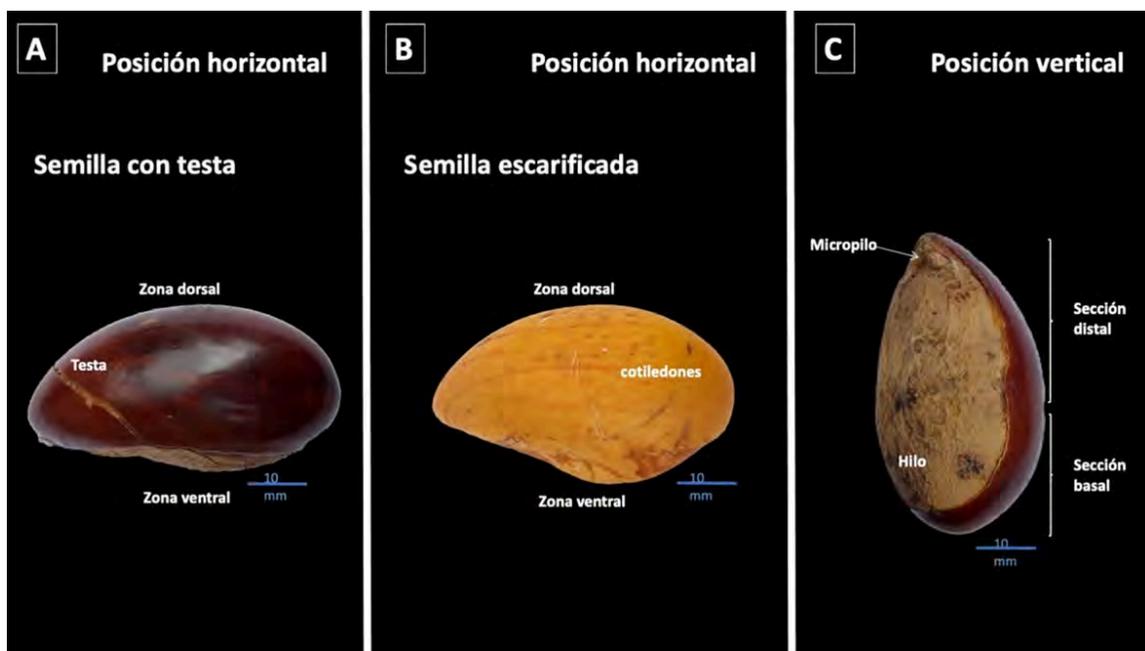
En México, no existen plantaciones comerciales y los árboles de *P. campechiana* son localizados en cultivo de traspatio, los frutos son comercializados en el mercado local (Pérez-Barcena *et al.*, 2021a), los árboles que se encuentran distribuidos en el país provienen de semilla, aunque también es posible su propagación mediante estacas (Chiamolera *et al.*, 2014).

El árbol de *P. campechiana* es perennifolio, alcanza los 25 m de altura con tallo recto y ramificación simpódica (las ramas laterales se desarrollan más que el eje principal), la corteza del tronco es marrón, áspera y con abundante látex de color blanco y gomoso (Azurdia, 2005). Las hojas son elípticas con ápice agudo o redondeado, la nervadura central sobresale y presenta de 9 a 18 pares de nervaduras secundarias.

Los frutos tienen forma piriforme, el largo del fruto oscila entre 6.5 y 7.5 cm, en estado inmaduro la cáscara es verde y la pulpa es dura y gomosa, al madurar, la cáscara se torna de coloración amarilla-naranja, la pulpa presenta una consistencia pastosa y suave, contiene de una a cinco semillas (Pennington, 1990).

Las semillas de *P. campechiana* están protegidas por una gruesa testa de color café oscuro brillante (Figura 1A), que distingue la parte dorsal de la semilla y el hilo rugoso grande en la parte ventral con tonalidad clara (Figura 1C) (Martín y Malo, 1978; Awang-Kanak y Bakar, 2018). Al eliminar la testa se tiene la semilla de color rosado-amarillento (Pérez-Barcena *et al.*, 2021a) (Figura 1B).

**Figura 1. Semilla de *Pouteria campechiana* muestra las áreas y posiciones (Pérez Barcena *et al.*, 2021a). a) posición horizontal de la semilla con testa; b) posición horizontal de la semilla sin testa y c) posición vertical de la semilla con testa.**



## Selección de semillas de *Pouteria campechiana* para propagación

En la selección de semilla de *P. campechiana* con fines de propagación no es necesario separar los frutos de mayor tamaño, ya que las características físicas de las semillas son semejantes; Pérez-Barcena *et al.* (2021a), en un estudio en que separaron frutos de diferentes tamaños, concluyeron que el tamaño de las semillas era semejante, así como el porcentaje de germinación.

## Germinación de las semillas de *P. campechiana*

La germinación de la semilla es el proceso de reactivación del metabolismo del embrión y aparición de las estructuras que definen la germinación, emergencia y desarrollo, comienza con la aparición de la radícula, raíces laterales y plúmulas (brote con hojas vestigiales), seguido del desarrollo de la planta (Nonogaki, 2008).

La semilla de *P. campechiana* es recalcitrante y un alto porcentaje de germinación (95-98%) se obtiene de las semillas sin previo almacenamiento, de la eliminación de la testa (escarificación manual) y de la siembra de esta con la región ventral enterrada 5 cm en el sustrato y la región dorsal, superficial al sustrato, la germinación es semi-hipogea, en algunas especies tropicales con semillas grandes, como *P. campechiana*, la plántula se mantiene unida a la semilla y los cotiledones u hojas embrionarias permanecen unidos entre sí.

Además, la semilla cuando se encuentra unida a la plántula presentan potencial fotosintético (se tornan de color verdoso cuando aparece la plúmula con las hojas vestigiales); la semilla se observa momificada al agotarse las reservas (a más de 120 días después de la germinación) (Pérez-Barcena *et al.*, 2021a). En este proceso de germinación se da un recambio en las macromoléculas de reserva de la semilla, como respuesta al ambiente en donde ocurre la germinación, emergencia y desarrollo de la planta.

El objetivo de esta revisión fue presentar y analizar la información morfológica, datos relacionados con la bioquímica y técnicas generadas sobre la germinación y desarrollo de la planta de *P. campechiana*, hasta el trasplante a terreno definitivo. Con la intención de reproducir plantas de *P. campechiana* y favorecer el aprovechamiento de este recurso biótico. Bautista *et al.* (2022), comentan que es necesaria la investigación en México en semillas, lo que permitirá mayor conocimiento de las áreas de las ciencias de las semillas para la alimentación y mantenimiento del germoplasma de especies mexicanas.

## Macromoléculas involucradas en la germinación de semillas de *P. campechiana*

Las macromoléculas son sustancias biológicas que tienen diversas funciones en las plantas y semillas. En la germinación de semillas, las principales macromoléculas involucradas son los carbohidratos y proteínas de reserva, que se acumulan en los cotiledones y que constituyen la fuente de materia y energía desde la germinación hasta el desarrollo de la plántula, cuando ya se activa su proceso fotosintético (Rajjou *et al.*, 2012).

Los carbohidratos como el almidón y los azúcares que se almacenan en la semilla son fuente de energía para el embrión en crecimiento, estos carbohidratos se descomponen en azúcares simples por la acción de enzimas (Bewley *et al.*, 2013). Ácidos nucleicos: como el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN), están involucrados en la regulación de la expresión de diferentes genes, que conducen a la producción de proteínas y otras moléculas que son precursoras para el crecimiento de los tejidos de la planta.

Las proteínas: son importantes para el crecimiento y desarrollo de la plántula, en la germinación se activan enzimas llamadas proteasas, que transforman las proteínas almacenadas en los diferentes aminoácidos que las componen, los aminoácidos pueden ser utilizados para la síntesis de nuevas proteínas y enzimas requeridas para el crecimiento de la planta (Kumar *et al.*, 2021).

Los lípidos: como aceites y grasas, también son macromoléculas que se almacenan en la semilla y sirven como fuente de energía en el transcurso del proceso germinativo (Nonogaki, 2008). En general, las reacciones catabólicas y anabólicas de las macromoléculas almacenadas en la semilla son decisivas para el crecimiento de la plántula y desarrollo exitoso del árbol.

## Carbohidratos

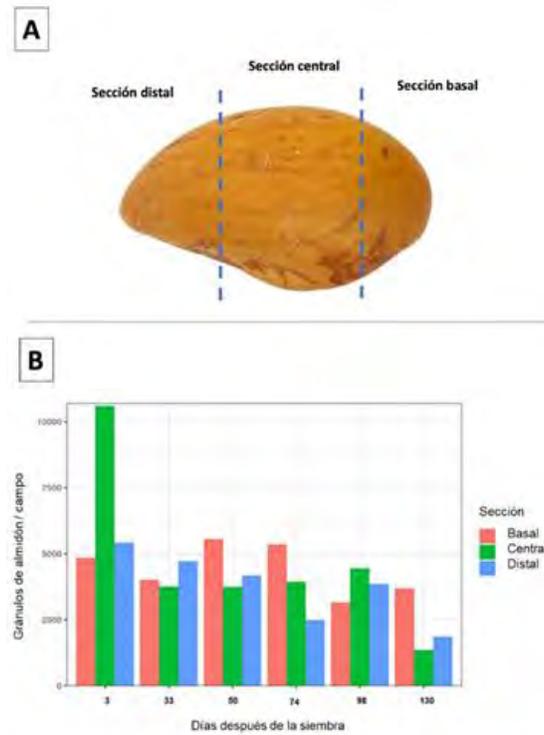
Los carbohidratos en la semilla se encuentran como almidón principalmente, este polisacárido de reserva abunda en el endospermo de la semilla y a medida que avanza el proceso de germinación es catabolizado para generar la energía necesaria en las reacciones anabólicas que se necesitan en la síntesis de nuevas macromoléculas indispensables para el crecimiento de los tejidos jóvenes de la planta. El almidón es un polisacárido compuesto por dos tipos de polímeros, amilosa y amilopectina, este compuesto está presente en todas las plantas y es la principal energía de reserva en ellas (Agama-Acevedo *et al.*, 2013).

Durante el proceso de germinación, al entrar en contacto con el agua se activa el metabolismo. Las semillas de *P. campechiana* son ricas en almidón, tanto que se propone aprovecharlo en la alimentación, el almidón aislado de las semillas de frutas inmaduras presenta largas cadenas de amilopectina que le confieren una estructura helicoidal térmicamente estable (alto porcentaje de cristalinidad y grado de polimerización), que le otorga la característica de almidón resistente, después de la cocción muestra un aumento en el contenido de almidón de digestión lenta (Agama-Acevedo *et al.*, 2023).

Investigaciones como las de Granados-Vega *et al.* (2022) reportaron por medio de técnicas histológicas, microscópicas e imagenología, cómo se presenta el aprovechamiento de los gránulos de almidón durante el proceso de germinación de la semilla de *P. campechiana* (Figura 2), los gránulos de almidón se encuentran almacenado en mayor cantidad en la zona central de la semilla y en menor proporción en la zona basal y distal (Figura 2A). Durante el proceso de germinación, se consumen mayoritariamente los gránulos de almidón de la zona central y basal (Figura 2A-B).



Figura 2. A) semilla de *Pouteria campechiana* sin testa, señalización de la región basal, central y distal y B) distribución de los gránulos de almidón de la semilla de *P. campechiana* en las diferentes secciones de la semilla durante su proceso de germinación.



## Lípidos

Los lípidos se encuentran en menor o mayor proporción según el tipo de semilla, en *P. campechiana* el contenido de lípidos en la semilla es de 1.7% (Evangelista-Lozano *et al.*, 2021). A diferencia de *Pouteria sapota* (mamey) que contiene 44.41% de lípidos entre los cuales están el ácido oleico, esteárico, palmítico y linoleico (Solís-Fuentes *et al.*, 2015).

La hidrólisis de los lípidos está a cargo de las enzimas lipasas, estas enzimas hidrolíticas están asociadas con la catálisis lipídica durante la germinación de las semillas y a su vez están directamente relacionadas con diversos procesos hidrolíticos, los lípidos que están de reserva se hidrolizan a medida que avanza el proceso de germinación. Regularmente los lípidos de reserva se encuentran contenidos como triacilgliceroles (TAG), los cuales son catalizados por estas enzimas para liberar ácidos grasos libres, glicerol, tocoferoles, triglicéridos y fosfolípidos (Kumar *et al.*, 2021).

## Movilización de reservas

Las semillas de *P. campechiana* almacenan sustancias de reserva, principalmente en el endospermo (Evangelista-Lozano *et al.*, 2021). Durante el proceso germinativo de *P. campechiana* el almidón es la principal reserva de energía y se encuentra contenida en la parte central y distal de la semilla, a medida que avanza el proceso de germinación se degrada al movilizar las reservas hacia la parte basal de la semilla, en donde se encuentra el embrión a la espera de energía para iniciar el proceso de alargamiento, la emergencia de la radícula y plúmula (Figura 3), una semilla de *P. campechiana* se convierte en una planta en un promedio de 52 días después de su establecimiento (Pérez-Barcena *et al.*, 2021a).

Figura 3. Planta de *P. campechiana* en desarrollo.



## Imbibición de agua

La imbibición es la primera fase donde se desencadena la germinación, que da lugar al crecimiento del eje embrionario y aparición de la radícula (Azcón-Bieto y Talón, 2008), con la activación de la síntesis de proteínas y reanudación de la actividad respiratoria (Bewley *et al.*, 2013).

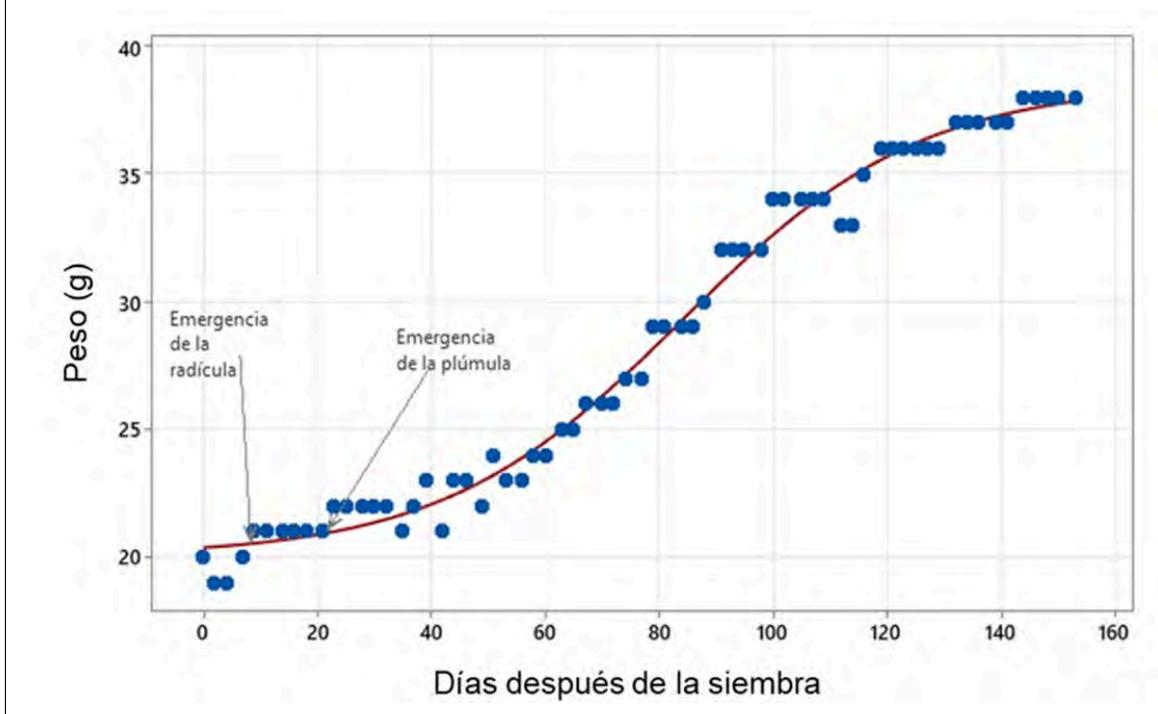
La reproducción sexual de las plantas involucra mecanismos metabólicos y moleculares, que se resumen en: 1) imbibición de agua por la semilla; 2) activación del metabolismo, proceso de respiración, síntesis de proteínas y movilización de sustancias de reserva y 3) elongación del embrión y ruptura de la testa a través de la cual emerge la radícula (Suárez y Melgarejo, 2010).

Los tejidos de reserva (endospermo) de semillas tropicales recalcitrantes, embeben agua hasta completar la hidratación (Moreno *et al.*, 2006). Para el caso de *P. campechiana* se reporta que las semillas escarificadas muestran mayor velocidad de germinación (2.05 semillas por día), esto debido a que, al no presentar testa, embeben agua con mayor eficiencia e inician el proceso de germinación, las semillas con testa mostraron una velocidad de germinación de 0.22 semillas por día (Pérez-Barcena *et al.*, 2021a).

Estos resultados coinciden con los reportados por Granados-Vega *et al.* (2021) quienes observaron en semillas de *P. campechiana*, que la capacidad de germinación de semillas escarificadas fue de 95% en 10 días después de la siembra; además, a los 90 días después de la siembra generaron plantas de 19.4 cm de altura, un tallo de 0.4 cm de diámetro y un promedio de siete hojas, listas para ser trasplantadas en campo o en un contenedor de mayor tamaño; también presentan una curva en la que se observan las tres fases; fase 1, la imbibición; la fase 2 lag (actividad metabólica) y la fase 3 en la que se presenta el alargamiento de la raíz y la parte aérea (Figura 4).



Figura 4. Curva de crecimiento y desarrollo de *P. campechiana*. Desde la germinación hasta plantas completamente desarrolladas (Granados-Vega *et al.* 2021).



En la germinación de semillas de *P. campechiana* influye la posición de siembra, debido a que el embrión está localizado en la región basal de la semilla (parte ancha de la semilla), existe un alto porcentaje de germinación en semillas sembradas a los tres días después de la cosecha en posición horizontal (escarificadas) en comparación con las sembradas verticalmente (Pérez-Barcena *et al.*, 2021b).

### Inducción a la germinación en *P. campechiana*

En este sentido Amoakoh *et al.* (2017) reportan que la latencia de la semilla y la baja germinación de *P. campechiana* son los principales problemas en la propagación, el mayor porcentaje de germinación lo obtuvieron en semillas medianamente escarificadas (67%), que en las totalmente escarificadas (63%), y en las no escarificadas 57%, esta investigación no menciona que tipo de fruto utilizaron para extraer las semillas, ni a los cuantos días de la cosecha realizaron la siembra, Andrade *et al.* (2002) estudiaron el efecto de la temperatura en el porcentaje de germinación en semillas de *P. campechiana*, y la mayor germinación (89%) la obtuvieron a 30 °C.

La posición de siembra en la germinación es importante por el lugar en el que se encuentra el embrión, esto facilita la emergencia y desarrollo de la raíz y plúmula así lo reporta para *Pouteria sapota* (Duarte y Suchini, 2001). Además, Pérez-Barcena *et al.*, (2021a) también informaron sobre altos porcentajes de germinación en semillas de *P. campechiana*. Estos mismos autores señalan la importancia de considerar los días posteriores a la cosecha para obtener semillas de calidad, la madurez de los frutos, la escarificación total y la posición de siembra.

### Poda de raíces en *P. campechiana*

El sistema radical se considera un órgano vegetal y tiene comunicación con las partes aéreas de la planta por medio del tallo, es un sistema de transporte de sustancias como: fotoasimilados, fitohormonas, agua, iones y moléculas de señalización que permiten el mantenimiento y desarrollo

de la planta; por lo tanto, la integridad del sistema radical tiene repercusiones sobre el vigor de las plantas y debe mantenerse en óptimas condiciones (Bengough *et al.*, 2011).

El desarrollo de la raíz está determinado por factores bióticos, interacciones entre la raíz y otros organismos, ya sea antagónicos, como los herbívoros o con mutualistas, como en el caso de los hongos micorrízicos arbusculares y factores abióticos, que incluyen la composición del suelo; tales como disponibilidad de agua, porosidad, grado de compactación, su composición específica de arcilla, limo, arena; pH y presencia o ausencia de minerales (Tuzzin *et al.*, 2018).

El crecimiento de las raíces también está expuesto a fuerzas de fricción y presiones de impedancia a medida que atraviesa los horizontes del suelo, los poros, otros organismos y las barreras físicas (Yan *et al.*, 2017). Las barreras físicas cambian la morfología de la raíz debido a la impedancia mecánica. Se define como la resistencia física que ejerce el suelo a la expansión o dispersión de raíces (Kerk y Sussex, 2012).

El efecto de la impedancia mecánica provoca deformaciones en las raíces, estos pueden incluir: enrollamiento (segmentos de la raíz que se envuelven alrededor de un tallo u otros segmentos de la raíz), rizado (plegamiento de la raíz, lo que resulta en la formación de ángulos fuertes) y conglomeración (debido a la compactación de los segmentos de la raíz) (Yan *et al.*, 2017), lo que conlleva a un empeoramiento de las deformaciones de las plantas debido a una mayor compactación que disminuye la capacidad de absorción, arquitectura y sistema radicular; por lo que las plantas mueren pronto al ser trasplantadas en campo (Gilman *et al.*, 2010).

Para el control de las malformaciones se recurre a la poda de la raíz, que es una práctica agrícola que mejora el desarrollo y desempeño de las plantas, por la promoción de desarrollo de raíces laterales (Arnold, 2015). Galvis-Muñoz *et al.* (2019), en *P. campechiana* muestran el efecto de la poda mecánica de segmentos de raíz malformados sobre el crecimiento, desarrollo y arquitectura radical en plantas listas para ir a campo (6 meses después de la siembra), a los 80 días después del trasplante en un suelo franco arenoso, con pH de 5.7, los resultados fueron: un mayor número de hojas, la arquitectura de la raíz organizada, la longitud de las ramificaciones y cobertura de pelos radicales con respecto al testigo; por lo que la poda de raíces malformadas antes del trasplante a campo en *P. campechiana* es una excelente práctica.

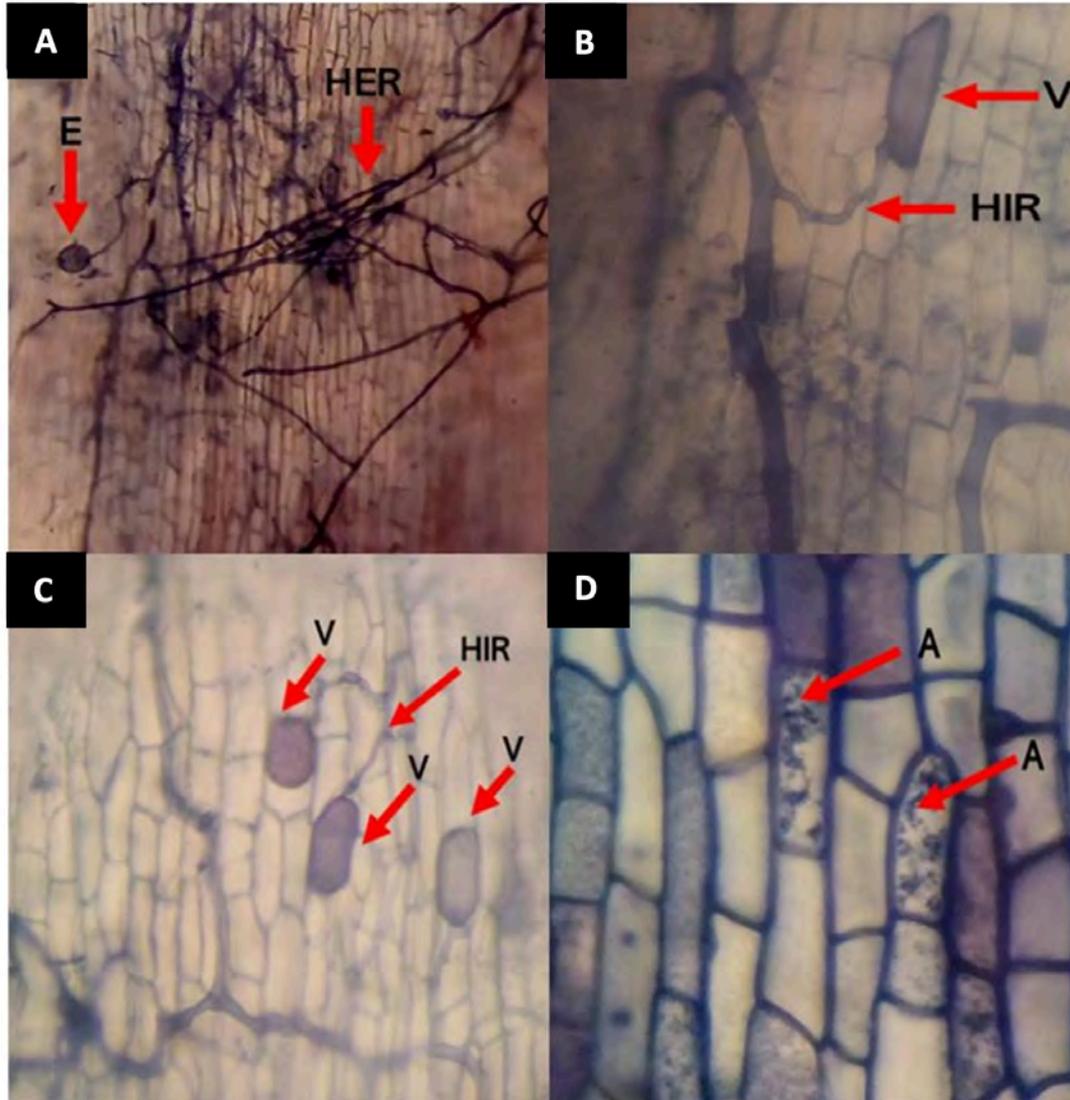
## Hongos micorrízico arbusculares en plantas de *P. campechiana*

Las raíces de plantas superiores presentan asociación con hongos micorrízicos arbusculares (Rodrigues y Rodrigues, 2014), ésta es prácticamente obligada debido a la necesidad del hongo para completar su ciclo de vida y están registradas el 80% de las plantas terrestres con una o varias especies de hongos micorrízico arbusculares (Souza, 2015). Hallazgos de Pham (2008) reportan que las plantas de la familia Sapotaceae no forman micorrizas; autores como Carmona *et al.* (2013) reportan que existe asociación de plantas silvestres de *Bumelia retusa* L. (familia Sapotaceae) con hongos micorrízicos arbusculares, Padilla *et al.* (2006) también lo reportan para *P. lucuma* (sinonimia de *P. campechiana*).

Trabajos como los de Galvis-Muñoz *et al.* (2019) realizó un estudio en plantas de *P. campechiana* de seis meses con poda de raíz malformada y evaluadas a los 80 días después del trasplante en campo y reportó que los pequeños árboles con poda de raíz presentaron mayor asociación natural con hongos micorrízico arbusculares, manifestaron diferencia estadística significativa desde los 50 días después del trasplante en cuanto al porcentaje de frecuencia e intensidad de colonización (Figura 5).



Figura 5. Estructuras micorrícicas en raíces de *P. campechiana*. A= E espora, HER tubo germinal conectado a la red de hifas extra radicales; B= V vesícula, HIR red de hifas intra radicales; C= V grupo de vesículas interconectadas, HIR red de hifas intra radicales; D= A arbusculas en el interior de las células del córtex. (arbolitos con poda de raíces antes del trasplante a campo y colectadas 80 días después de plantadas) (Galvis-Muñoz *et al.*, 2019).



## Conclusiones

Esta revisión del proceso de germinación y desarrollo de *P. campechiana* pone de manifiesto la variación en la presencia de macromoléculas en las semillas de las Sapotáceas durante el proceso de germinación. Durante la imbibición de las semillas se manifiestan las fases que dan lugar a una curva de crecimiento y desarrollo. La posición de siembra de la semilla favorece el desarrollo de la raíz y plúmula de la planta de *P. campechiana*. La poda de raíz malformada es favorable para el desarrollo de la planta de *P. campechiana*. La poda de raíces de las plantas de *P. campechiana* antes del trasplante favorece la asociación natural con hongos micorrízicos arbusculares.



## Bibliografía

- 1 Agama-Acevedo, E.; Bello-Pérez, L. A.; Pacheco-Vargas, G.; Núñez-Santiago, M. C.; Evangelista-Lozano, S. and Gutiérrez, T. J. 2023. Starches Isolated from the pulp and seeds of unripe *Pouteria campechiana* Fruits as potential health-promoting food additives. *Starch/Staerke*. 75(1-2):1-9. <https://doi.org/10.1002/star.202200089>.
- 2 Agama-Acevedo, E.; Juárez-García, E.; Evangelista-Lozano, S.; Rosales-Reynoso, O. L. y Bello-Pérez, L. A. 2013. Características del almidón de maíz y relación con las enzimas de su biosíntesis. *Revista Agrociencia*. 47(1):1-12.
- 3 Amoakoh, O. A.; Nortey, D. D. N.; Sagoe, F.; Amoako, P. K. and Jallah, C. K. 2017. Effects of pre-sowing treatments on the germination and early growth performance of *Pouteria campechiana*. *Forest Science and Technology*. 13(2):83-86. <https://doi.org/10.1080/21580103.2017.1315961>.
- 4 Andrade, R. A.; Geraldo, M. A. B. and Sarzi, I. 2002. Effect of temperature on percentage of germination of canistel seeds (*Pouteria campechiana*). *Revista Brasileira de Fruticultura*. 24(3):622-623. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300010>.
- 5 Arnold, M. A. 2015. Mechanical correction and chemical avoidance of circling roots differentially affect post-transplant root regeneration and field establishment of container-grown shumard oak. *Journal of the American Society for Horticultural Science (JASHS)*. 121(2):258-263. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.2.258>.
- 6 Awang-Kanak, F. y Bakar, M. F. A. 2018. *Canistel-Pouteria campechiana* (Kunth.) Baehni. Ed. Exotic Fruits. London, United Kingdom. Academic Press. 107-111 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00015-0>.
- 7 Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2 Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. SAU. Madrid, España. 551-552 pp.
- 8 Azurdia, C. 2005. Tres especies de zapote en américa tropical: *Pouteria campechiana* (Canistel), *P. sapota* (Zapote Mamey) y *P. viridis* (Zapote Verde). United kingdom, southampton. International Centre for Under Utilized Crops. ISBN: 085432836X. 41p.
- 9 Bautista-Ramírez, E.; Rubio-Camacho, E.; Sangerman-Jarquín, D. M. y González-Santos, R. 2022. ¿Qué publican las revistas mexicanas en tecnología de semillas? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(8):1457-1467. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i8.3352>.
- 10 Bengough, G. A.; McKenzie, B. M.; Hallett, P. D. and Valentine, T. A. 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*. 62(1):59-68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>.
- 11 Bewley, J. D.; Bradford, K. J.; Hilhorst, H. W. M. and Nonogaki, H. 2013. Dormancy and the control of germination. En *Seeds*. New York, USA. Springer. 247-297 pp. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4693-4-6>.
- 12 Carmona, E. A.; Guadarrama, P.; Ramos-Zapata, J.; Castillo-Argüero, S. y Montaña, N. M. 2013. Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a la vegetación costera en Chuburná, Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.1655>. 431-443 pp.
- 13 Chiamolera, F. M.; Silva, A. C. C.; Sabião, R. R.; Cunha, T. P. L. y Martins, A. B. G. 2014. Clonagem de canistel por estaquia. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 36(3):649-654. <https://doi.org/10.1590/0100-2945-312/13>.
- 14 Duarte, O. y Suchini, V. E. R. 2001. Mejora de la germinación y conformación de plántulas de sapote *Pouteria sapota* Jacq. (Moore & Stearn). *Proceedings of the Inter American Society for Tropical Horticulture*. 45(3):22-26.
- 15 Evangelista-Lozano, S.; Robles-Jimares, H. R.; Pérez-Barcena, J. F.; Agama-Acevedo, E.; Briones-Martínez, R. and Cruz-Castillo, J. G. 2021. Fruit characterization of *Pouteria*

- campechiana* ([Kunth] Baehni) in three different stages of maturity. *Fruits*. 76(3):116-122. <https://doi.org/10.17660/TH2021/76.3.2>.
- 16 Galvis-Muñoz, S. B.; González-Chávez, M. C. A.; Rodríguez-Monroy, M.; Rodríguez-López, A. y Evangelista-Lozano, S. 2019. Evaluación de hongos micorrizicos arbusculares posterior a la poda mecánica de raíz en zapote amarillo (*Pouteria campechiana*). 147-152 pp.
  - 17 Gilman, E. F.; Harchick, C. and Paz, M. 2010. Effect of container type on root form and growth of red maple. *journal of environmental horticulture*. 28(1):1-7. <https://hort.ifas.ufl.edu/woody/documents/articles/GilmanHarchickPazJEH2010.pdf>.
  - 18 Granados-Vega, K. M.; Evangelista-Lozano, S.; Camacho-Díaz, B. H. and Rodríguez-García T. 2022. Reserve polysaccharides in *Pouteria campechiana* seed during germination with light microscopy techniques. *Proceedings of Mexican Journal of Biotechnology*. 7(4):269. ISSN:2448-6590.
  - 19 Granados-Vega, K. M.; Evangelista-Lozano, S.; Rodríguez-Monroy, M.; Sepúlveda-Jiménez, G. y Pérez-Barcena, J. F. 2021. Germinación de semillas de canistel. *In: memorias del XIX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*. 126 p. <https://smbb.mx/revista-biotecnologia-ano-2021-vol-25-no-4-memorias-xix-congreso-nacional/>.
  - 20 Kerk, N. M. and Sussex, I. M. 2012. Roots and root systems, american cancer society, chichester. *Roots and Root Systems*. 448(3):5787-5808. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0002058.pub2>.
  - 21 Kumar, R. R.; Bhargava, D. V.; Pandit, K; Goswami, S.; Mukesh Shankar, S.; Singh, S. P.; Rai, G. K.; Tara Satyavathi, C. and Praveen, S. 2021. Lipase the fascinating dynamics of enzyme in seed storage and germination a real challenge to pearl millet. *Food Chemistry*. 361:130031. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130031>.
  - 22 Lim, T. K. 2013. *Pouteria campechiana*. *In: edible medicinal and non-medicinal plants*. london, united kingdom: springer science & business media. 133-137 pp. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5628-1-23>; ISBN: 978-94-024-0090-8.
  - 23 Martín, F. W. and Malo, S. E.1978. Part 5. The canistel and its relatives. *Cultivation of neglected tropical fruits with promise*. New Orleans, USA: office of the regional administrator for federal research (southern region): science and education administration department of agriculture. 1-12 pp. <https://evols.library.manoa.hawaii.edu/bitstream/10524/49150/1/canistel.pdf>.
  - 24 Moreno, F. G.; Plaza, P. G. y Magnitskiy, S. V. 2006. Efecto de la testa sobre la germinación de semillas de caucho (*Hevea brasiliensis* Muell.). *Agronomía Colombiana*. 24(2):290-295.
  - 25 Nonogaki, H. 2008. Seed germination and reserve mobilization. *In: Encyclopedia of Life Sciences (ELS)*. John Wiley & Sons. Ltd. Chichester. 1-9 pp. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0002047.pub2>.
  - 26 Padilla, I. M. G.; Carmona, E.; Westendorp, N. and Encina, C. L. 2006. Micropropagation and effects of mycorrhiza and soil bacteria on acclimatization and development of lucumo (*Pouteria lucuma* R. and Pav.) var. La Molina. *In vitro cellular & Developmental Biology Plant*. 42(2):193-196. <https://doi.org/10.1079/IVP2006749>.
  - 27 Pennington, T. D. 1990. *Flora neotrópica: sapotaceae*. The New York Botanical Garden. New York. ISBN 978-0893273446. 295 p.
  - 28 Pérez-Barcena, J. F.; Cruz-Castillo, J. G.; Jesús-Sánchez, A.; Jiménez-Aparicio, A. R. and Evangelista-Lozano, S. 2021a. Germination and developmental conditions of *Pouteria campechiana* (Sapotaceae) plants. *Botanical Sciences*. 99(2):377-387. <https://doi.org/10.17129/botsci.2796>.
  - 29 Pérez-Barcena, J. F.; León-Romero, Y.; Castillo, J. G. C.; Solorza-Feria, J.; Tapia-Maruri, D. and Evangelista-Lozano, S. 2021b. Partial characterization of the physical, chemical,

- and morphological properties of the seed of *Pouteria campechiana* (Sapotaceae). Fruits. 76(4):201-210. <https://doi.org/10.17660/th2021/76.4.5>.
- 30 Pham, G. H. 2008. Interaction of piriformospora indica with diverse microorganisms and Plants. In: Varma, A., Abbott, L., Werner, D., Hampp, R. (eds). Plant Surface Microbiology. Springer, Berlin, Heidelberg. 237-265 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74051-3-15>.
  - 31 Rajjou, L.; Duval, M.; Gallardo, K.; Catusse, J.; Bally, J.; Job, C. and Job D. 2012. Seed germination and vigor. Annu Rev Plant Biol. 63(1):507-33. Doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105550.
  - 32 Rodrigues, K. M. and Rodrigues, B. F. 2014. Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and plant health. SIES college, Sion, Mumbai. In: Gosavi, M. Ed. Fungi in biotechnology. SIES College, Sion, Mumbai. 8-24 pp.
  - 33 Solís-Fuentes, J. A.; Ayala-Tirado, R. C.; Fernández-Suárez, A. D. y Durán-Bazúa, M. C. 2015. Mamey sapote seed oil (*Pouteria sapota*). Potential, composition, fractionation and thermal behavior. Grasas y Aceites. 66(1):e056. <https://doi.org/10.3989/gya.0691141>.
  - 34 Souza, T. 2015. Handbook of arbuscular mycorrhizal fungi. J Lipid Res (38). Cham. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24850-9>. 43-63 pp.
  - 35 Suárez, D. y Melgarejo, L. M. 2010. Biología y germinación de semillas. In: Melgarejo, L. M. Ed. Experimentos en fisiología vegetal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 13-24 pp.
  - 36 Tuzzin, M. M.; Bengough, A. G.; Debiasi, H.; Franchini, J. C.; Levien, R.; Schnepf, A. and Leitner, D. 2018. Mechanistic framework to link root growth models with weather and soil physical properties, including example applications to soybean growth in Brazil. Plant and Soil. 428(1-2):67-92. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3656-z>.
  - 37 Yan, J.; Wang, B. and Zhou, Y. 2017. A root penetration model of *Arabidopsis thaliana* in phytigel medium with different strengths. Journal of Plant Research. 130(5):941-950. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0926-4>.



## Germinación de semillas tropicales *Pouteria campechiana*

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 November 2024
Date accepted: 01 February 2025
Publication date: 21 March 2025
Publication date: Jan-Feb 2025
Volume: 16
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3496
DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3496

### Categories

Subject: Ensayo

### Palabras clave:

#### Palabras clave:

canistel  
crecimiento  
desarrollo  
zapote amarillo

### Counts

Figures: 5

Tables: 0

Equations: 0

References: 37

Pages: 0