

## Frutos de Mango Partenocárpicos y Estenospermocárpicos: Una Revisión de Posibles Factores Causantes.

## Parthenocarpic and Stenospermocarpic Mango Fruits: A Review of Possible Causative Factors.

Arias Navarro, C.F.<sup>1</sup> , Balois-Morales, R.<sup>1,2</sup> , Jiménez Zurita, J.O.<sup>1,2</sup> ,  
Ochoa Jiménez, V.A.<sup>1,2</sup> , Pérez Ramírez, I.F.<sup>3</sup> , Berumen Varela, G.<sup>1,2</sup> ,  
Bautista Rosales, P.U.<sup>1,2\*</sup> 

<sup>1</sup> Programa de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias. Unidad Académica de Agricultura. Carretera Tepic-Compostela. C.P. 63780. Xalisco, Nayarit, México.

<sup>2</sup> Unidad de Tecnología de Alimentos. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura S/N. C.P. 63000. Tepic, Nayarit, México.

<sup>3</sup> Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. C.U. Cerro de las Campanas S/N. C.P. 76010, Querétaro, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Arias Navarro, C.F., Balois-Morales, R., Jiménez Zurita, J.O., Ochoa Jiménez, V.A., Pérez Ramírez, I.F., Berumen Varela, G., Bautista Rosales, P.U. (2023). Parthenocarpic and Stenospermocarpic Mango Fruits: A Review of Possible Causative Factors. *Revista Bio Ciencias*, 10, e1480. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1480>

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: February 25<sup>th</sup> 2023.

Accepted/Aceptado: June 25<sup>th</sup> 2023.

Available on line/Publicado: July 18<sup>th</sup> 2023.

### RESUMEN

Los frutos de mango (*Mangifera indica* L.) son de importancia comercial por su consumo en fresco y procesado. Cada año se producen más de 54 millones de toneladas, posicionándose dentro de las cinco especies frutales de mayor importancia en el mundo. El principal país productor es India y en quinto lugar México. Sin embargo, diversos cultivares han sido afectados por el desarrollo de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos. Tan sólo en México, el cultivar Ataulfo se considera el más afectado, al existir huertos comerciales con una incidencia superior al 80 %. Se han realizado diversos estudios que intentan mitigar la incidencia de estas fisiopatías o encontrar el factor causante. Destacando la temperatura, déficit nutricional y fitohormonas como posibles factores causantes de la partenocarpia y estenospermocarpia en frutos de mango. Siendo el objetivo de esta revisión identificar los posibles factores causantes de la partenocarpia y estenospermocarpia en frutos de mango y adquirir conocimiento sobre los estudios realizados sobre estas fisiopatías.

**PALABRAS CLAVE:** *Mangifera indica* L., fruto, temperatura, nutrientes, fitohormonas.

### \*Corresponding Author:

Bautista-Rosales, P.U. Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad de Tecnología de Alimentos. Tepic, Nayarit, México.  
Teléfono: (311) 2 11 88 00 ext. 8963. E-mail: [ubautista@uan.edu.mx](mailto:ubautista@uan.edu.mx)

---

## ABSTRACT

---

Mango fruits (*Mangifera indica* L.) are of commercial importance due to their consumption of fresh and processed. Each year, more than 54 million tons are produced, placing this fruit species among the top five most significant ones worldwide. India is the leading producer, and Mexico is in fifth place. However, the onset of parthenocarpic and stenospermocarpic fruits has had an impact on several cultivars. The Ataulfo cultivar is only thought to be the most affected in Mexico, where commercial orchards have more than 80 % incidence. Numerous studies have been conducted to reduce the prevalence of these physiopathies or identify the underlying cause. Phytohormones, low nutrition, and temperature are highlighted as potential causes of parthenocarpy and stenospermocarpy in mango fruits. This review aims to learn more about the studies done on parthenocarpy and stenospermocarpy in mango fruits and pinpoint potential causes of these physiopathies.

---

**KEY WORDS:** *Mangifera indica* L., fruit, temperature, nutrients, phytohormones.

---

## Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es originario de la India, miembro de la familia Anacardiaceae, considerado uno de los cultivos frutícolas más importantes para las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Durán-Zuazo *et al.*, 2018). Anualmente la producción mundial supera los 54 millones de toneladas, dentro de los países con mayor producción se encuentran: India, China, Indonesia, Pakistán, México, Brasil, Malawi, Tailandia, Bangladesh y Vietnam (FAOSTAT, 2020). Existen más de mil cultivares de mango, de las cuales aproximadamente 30 se comercializan a nivel mundial, dividiéndose en dos categorías distintas: mangos monoembriónicos y poliembriónicos (Rocha *et al.*, 2012). En esta diversidad de cultivares, se han presentado problemas de fertilización durante el desarrollo de los frutos, principalmente durante la polinización, ocasionando una alta incidencia de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos, afectando el rendimiento y valor comercial; es decir, en una flor puede ocurrir la polinización, pero sino existe una fertilización efectiva no se logra desarrollar la semilla (partenocarpia); por el contrario, si la fertilización es efectiva, pero se aborta el embrión (estenospermocarpia) no hay un desarrollo completo de la semilla y en ambos casos, el fruto es pequeño (Subbaraya *et al.*, 2020).

Se ha reportado que los factores ambientales son los posibles responsables de la partenocarpia y estenospermocarpia en los frutos de mango, siendo principalmente la temperatura la que afecta la fase de floración, perjudicando la polinización, donde el polen es o no viable, aunque caiga por el tubo polínico (Salazar-García *et al.*, 2016; Pérez-Barraza *et al.*,

2019). Por otro lado, también se ha reportado que la estenospermocarpia se debe a alteraciones fisiológicas relacionadas con la nutrición vegetal (Carvalho *et al.*, 2020) y a las fitohormonas que se biosintetizan durante el desarrollo del embrión (Huang *et al.*, 2010; Gehrke-Vélez *et al.*, 2011). El objetivo de este artículo de revisión es identificar los posibles factores causantes de la partenocarpia y estenospermocarpia en frutos de mango (*Mangifera indica* L.), así como adquirir conocimiento sobre los estudios realizados sobre estas fisiopatías.

## Material y Métodos

Se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de publicaciones científicas (1975 a 2022) en revistas indexadas en las bases de datos Scopus, Redalyc, Scielo, Elsevier, Science Direct, Research Gate, Springer, PubMed, Google scholar, Taylor and Francis Online; las principales palabras claves de búsqueda fueron: partenocarpia, estenospermocarpia, fitohormonas y nutrientes (macro y micronutrientes) en frutos de mango; factores ambientales (temperatura, precipitación pluvial, luz, humedad relativa) relacionados con el cultivo y desarrollo de frutos de mango (*Mangifera indica* L.).

### Estenospermocarpia y partenocarpia

Un fruto de mango partenocarpico es aquel que se desarrolla sin que ocurra la fecundación del o los óvulos; por consiguiente, los frutos carecen de semilla (Pérez-Barraza *et al.*, 2019). Por otro lado, en la estenospermocarpia ocurre una fecundación, pero la semilla no se desarrolla debido al aborto del embrión dando lugar a una semilla atrofiada en el fruto (Hernández-Guerrero *et al.*, 2015). Estudios anteriores mencionan que la posible causa de estas fisiopatías se debe a altas y bajas temperaturas durante la floración, afectando el desarrollo del tubo polínico, viabilidad del polen y fertilización, y durante la etapa de cuajado del fruto (Pérez-Barraza *et al.*, 2007; Salazar-García *et al.*, 2016). Thimmappaiah y Harmail (1983) sugieren que la partenocarpia se origina a bajas temperaturas durante la floración, reduciendo la actividad de los polinizadores causando la autofecundación. Gehrke-Vélez *et al.* (2012) aluden en que la estenospermocarpia probablemente se debe a la autoincompatibilidad retrasada, la cual se presenta como la fertilización del óvulo por el polen procedente del mismo cultivar. Además de la temperatura y la autoincompatibilidad existen otros posibles factores abióticos (luz solar, humedad relativa, precipitación pluvial, nutrición vegetal) y endógenos (fitohormonas y genética) implicados en la partenocarpia y estenospermocarpia en mango.

### Partenocarpia y estenospermocarpia a nivel mundial

La partenocarpia y la estenospermocarpia se han presentado en diversos cultivares alrededor del mundo, afectando la forma, peso y tamaño del fruto; esto debido a que su tasa de crecimiento es más lenta en comparación con los frutos normales, ocasionando bajos rendimientos y grandes pérdidas económicas en las zonas productoras de mango (Litz, 1997; He *et al.*, 2012). En Tailandia los cultivares Nam Dok Mai (poliembriónico), Kensington (poliembriónico) e Irwin (monoembriónico) presentan frutos estenospermocárpicos llamados “protuberancias” (nubbins),

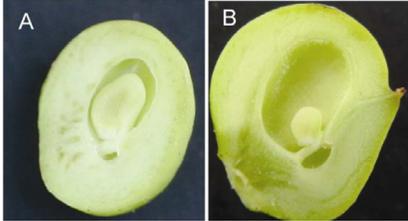
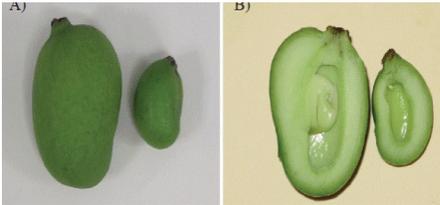
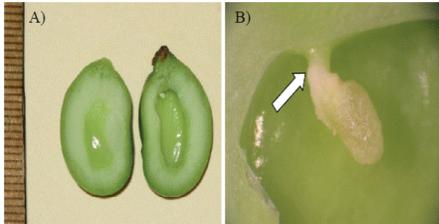
los cuales se desarrollan a partir de bajas temperaturas nocturnas durante el cuajado y el desarrollo temprano del embrión (Sukhvibul *et al.*, 2005). Los cultivares Ewais (poliembriónico), Hindi Khassa (poliembriónico), Hindi Bisinnara (poliembriónico) y Bullocks Heart (monoembriónico) en Egipto, desarrollan frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos conocidos como “fass”, los cuales se desarrollan de manera natural relacionándolos con cambios de temperatura y con la concentración de hormonas endógenas (Shaban, 2005; Shaban & Ibrahim, 2009). En el Valle de San Francisco, Brasil, el cultivar Palmer (poliembriónico) presenta partenocarpia, cuyos frutos son conocidos como “manguita o castaño” y su desarrollo lo relacionan con un déficit nutricional y con la temperatura (Carvalho *et al.*, 2020).

### **Partenocarpia y estenospermocarpia en México**

En México, existen reportes de partenocarpia en mango ‘Haden’ (monoembriónico) desde hace 40 años, los cuales describen como frutos carentes de semilla (Lakshminarayana & Hernández-Aguilar, 1975). Sin embargo, los estudios en partenocarpia y estenospermocarpia actualmente se enfocan a mango ‘Ataulfo’ (poliembriónico). Probablemente al ser un cultivar endémico y de mayor importancia económica y social por su expansión en el mercado nacional e internacional (Leyva-Mayo *et al.*, 2016). Pérez-Barraza *et al.* (2007) reportaron que en mango ‘Ataulfo’ se forman frutos hasta tres veces menores que un fruto normal, con pico pronunciado, hendidura en la parte distal y sin valor comercial de origen partenocarpico, llamados mangos “niños” (Tabla 1). Por otra parte, Hernández-Guerrero *et al.* (2015) mencionan que los mangos niños en ‘Ataulfo’ son estenospermocárpicos, presentando una semilla parcialmente formada, debido al aborto del embrión después de la fertilización. Salazar-García *et al.* (2016) aluden que el mango niño es de origen estenospermocarpico y los producidos por partenocarpia, simplemente son llamados frutos partenocárpicos y que ambas fisiopatías se pueden llevar a cabo en el mismo cultivar (Tabla 1). La norma oficial mexicana NOM-188-SCFI-2012, establece las especificaciones que debe cumplir el fruto de mango ‘Ataulfo’ que se produce dentro de la zona delimitada por la denominación de origen, clasificando al fruto de mango ‘Ataulfo’ como mango niño, por su peso y tamaño ( $\leq 118$  g y un calibre menor a 38) sin importar si es partenocarpico o estenospermocarpico.

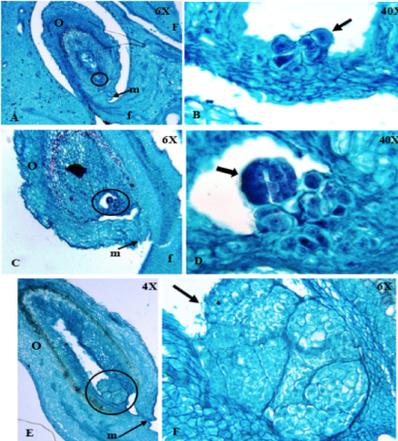
La partenocarpia y estenospermocarpia puede afectar tanto cultivares monoembriónicos como poliembriónicos alrededor del mundo. Sin embargo, las características físicas que describen algunos estudios no son suficientes para determinar si un fruto es partenocarpico o estenospermocarpico, para corroborar que un fruto es originado por partenocarpia o estenospermocarpia es necesario realizar cortes longitudinales o transversales, para observar macro y microscópicamente la presencia de semilla atrofiada/aborto de embrión (estenospermocarpia) o la ausencia de ella (partenocarpia), como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Frutos de mango partenocárpico y estenospermocárpico.**

Cultivar	Descripción	País	Fuente
Jinhuang	 <p>Fruto de mango con semilla normal (A) y embrión abortivo (B) en la etapa de madurez fisiológica.</p>	China	He <i>et al.</i> 2012
Ataulfo	 <p>Apariencia externa de frutos normal y partenocárpico de mango 'Ataulfo'(A). Fruto normal con presencia de embriones (izquierda) y partenocárpico, mostrando ausencia de embriones (B).</p>	México	Salazar-García <i>et al.</i> 2016
Ataulfo	 <p>Fruto partenocárpico con ausencia de embriones (A). Fruto partenocárpico con saco embrionario sin desarrollar por falta de fertilización del óvulo; y (B). La flecha señala el funículo, que sustenta el saco embrionario.</p>	México	Salazar-García <i>et al.</i> 2016

## Continuación

**Tabla 1. Frutos de mango partenocárpico y estenospermocárpico.**

Cultivar	Descripción	País	Fuente
Ataulfo	 <p>Frutos de mango 'Ataulfo'. a) frutos partenocárpico de mango cv. 'Ataulfo'; b) fracciones de los frutos: 1 endocarpio (hueso); 2 exocarpio (piel); 3 mesocarpio (pulpa); c) frutos partenocárpico de mango en madurez fisiológica; d) endocarpio sin semillas.</p>	México	Maldonado-Astudillo <i>et al.</i> 2019
Ataulfo	 <p>Aborto de embrión observado, en tres etapas de desarrollo de frutos partenocárpico. A= etapa de cuajado (frutos entre 3 y 5 mm de longitud), el círculo indica la presencia del embrión abortado (6X); B= embrión abortado observado en mayor escala (40X). C= amarre (frutos entre 1 y 2 cm), el círculo indica la presencia del embrión en estado globular abortado (6X); D= embrión globular abortado (40X). E= frutos en desarrollo (entre 4 y 5 cm), el círculo indica la presencia de numerosos embriones abortados (4X) y F= mismos embriones a mayor escala (6X), corroborando que 'Ataulfo' es un tipo de fruto poliembriónico. O= óvulo anátropo; m= micrópilo; f= funículo.</p>	México	Pérez-Barraza <i>et al.</i> 2019

## Factores ambientales

### Temperatura

Se ha reportado que las temperaturas bajas, específicamente menores a 10 °C durante la noche podrían ser las causantes de la partenocarpia y estenospermocarpia al afectar la reproducción sexual del mango, esto porque la viabilidad del polen disminuye afectando la polinización y la fertilización durante la antesis, ocasionando frutos de tamaño pequeño (Singh, 2005; Huang *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2019). En este sentido, Sukhvibul *et al.* (2000) evaluaron la germinación del polen en forma *in vitro* de tres cultivares de mango, 'Nam Dok Mai' (poliembriónico), 'Kensington' (poliembriónico) e 'Irwin' (monoembriónico), para demostrar el daño causado por la temperatura, cuyo resultado fue un bajo porcentaje de germinación a 10 °C (53.9 %) y 30 °C (68.2 %), mientras que a 15 y 25 °C la germinación fue de 76.2 y 77.4 %, respectivamente. También, a 10 °C el desarrollo del tubo polínico se perjudicó al no alcanzar a llegar al óvulo, pero sí a los 20 y 25 °C. Estos mismos investigadores reportaron que a temperaturas diurnas de 20 °C y nocturnas de 10 °C durante tres días después de haber ocurrido la polinización, incrementa significativamente la presencia de frutos estenospermocárpicos, siendo el cultivar 'Nam Dok Mai' con mayor incidencia (38.3 %), seguido de 'Kensington' (21.4 %) e 'Irwin' (6.8 %).

Así mismo, Sukhvibul *et al.* (2005) reportaron que a las mismas temperaturas (20/10 °C día/noche) el cultivar 'Nam Dok Mai' presentó mayor cantidad de frutos sin semilla (21 %), seguido de 'Kensington' (11 %) e 'Irwin' (3 %). Siendo en ambos estudios los frutos poliembriónicos los que presentaron mayor porcentaje de estenospermocarpia y partenocarpia. Por su parte, Huang *et al.* (2010) demostraron que cuando los árboles de mango 'Tainong 1' (poliembriónico) se exponen a temperaturas < 20 °C, la viabilidad del polen es baja y el crecimiento del tubo polínico es lento, ocasionando una baja fertilización durante la polinización de las flores y afectando el cuajado de fruto. También, Simões *et al.* (2022) reportan una alta incidencia de frutos partenocárpicos en los primeros flujos de floración (diciembre 2018-mayo 2019) en mango 'Palmer' (Brasil) cuando las temperaturas son de 20 a 35 °C.

Diversos estudios en México han coincidido que los cambios extremos de temperatura posiblemente ocasionen la formación de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos en mango 'Ataulfo'. Pérez-Barraza *et al.* (2019) realizaron una investigación en mango 'Ataulfo' (Nayarit) sobre el efecto de la temperatura en el desarrollo floral y su impacto en la formación de frutos partenocárpicos, evaluando dos flujos de floración: diciembre 2017 a enero 2018 (1er flujo) se evaluó desde inicio de floración a plena floración y de plena floración ha cuajado de frutos (71 días). Durante la fase de inicio y plena floración, las temperaturas fueron de 13.3 y 18.6 °C (mínimas) y 28 y 31.5 °C (máximas), de plena floración ha cuajado de frutos las temperaturas mínimas fueron de 9.5 y 18 °C, mientras que las máximas estuvieron entre 24 y 38 °C. El segundo flujo comprendió 75 días (enero a febrero del 2018), registrando temperaturas mínimas durante el inicio a plena floración de 11 a 18 °C y máximas de 24 a 38 °C; mientras que de plena floración ha cuajado de frutos las temperaturas mínimas fluctuaron entre los 8 y 15 °C, así como máximas entre 31 y 40 °C. Los resultados obtenidos en los frutos del primer flujo presentaron una incidencia de

semilla del 86 % (partenocarpia del 14 %), mientras que en el segundo flujo la incidencia de frutos partenocárpicos fue del 75 %. Por lo que, la presencia de frutos partenocárpicos es favorecida cuando los árboles de mango se exponen a temperaturas  $\leq 15$  y  $\geq 35$  °C durante plena floración hasta el amarre del fruto (Tabla 1).

Dicha investigación coincide con lo publicado por Salazar-García *et al.* (2016), quienes mencionan que en mango 'Ataulfo' (Nayarit) temperaturas  $\leq 13$ ,  $\leq 14$  y  $\leq 15$  °C durante los estadios de floración, son las responsables del índice de frutos partenocárpicos. Por su parte, Escalera-Mota *et al.* (2022) reportan que temperaturas bajas (16.2-17.9 °C/ periodo 2017 y 2018) ocasionan mayor retención de frutos partenocárpicos en panículas de mango 'Ataulfo' (Guerrero) esto debido a la inhibición del proceso de polinización.

Los estudios antes mencionados concuerdan en que la temperatura podría ser un factor determinante en la cantidad de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos que se desarrollan en mango, siendo la etapa de floración y cuajado del fruto las etapas afectadas por las bajas y altas temperaturas.

### **Humedad relativa**

La humedad relativa ha sido poco estudiada en relación con la partenocarpia y estenospermocarpia en mango, se sabe que su efecto sobre el cultivo de mango influye directamente en la regulación de la tasa de transpiración y balance hídrico, e indirectamente en la etapa de crecimiento, floración y fructificación (Gamboa-Porras & Mora-Montero, 2010). Cuando la humedad relativa es baja provoca que el flujo de agua aumente en los órganos estructurales de la planta, ocasionando una alta transpiración y, por lo tanto, una apertura estomática. Mientras que, una humedad relativa alta repercute en la etapa de floración, disminuyendo el número de flores y afectando la polinización, al dañar principalmente la viabilidad del polen; ya sea deshidratándolo (humedad relativa  $\leq 50$  %) o compactándolo (humedad relativa  $\geq 85$  %) siendo no efectiva la polinización y por consiguiente la fertilización del óvulo (Kumar *et al.* 2014; Pérez *et al.*, 2019). Existen reportes que, en mangos de Palestina, la formación de frutos sin semillas se debe a altas temperatura (44 °C) y baja humedad relativa (15 %) (Lakshminarayana & Hernández-Aguilar, 1975).

### **Precipitación pluvial**

En las zonas tropicales y subtropicales la distribución anual de lluvia es un factor importante para el desarrollo del cultivo de mango; tanto la temperatura como la precipitación pluvial son fundamentales para su fenología y determinantes para su producción (Gamboa-Porras & Marín-Méndez, 2012). Este cultivo requiere una distribución anual de lluvia de 700 a 2500 mm, pero lo óptimo es entre 1000 y 1500 mm de precipitación alternando con una temporada seca (4 a 6 meses), la cual debe coincidir con la etapa de floración, cuajado y crecimiento inicial del fruto (Gamboa-Porras & Mora-Montero, 2010). Un estudio en cultivar Palmer (Brasil) durante dos ciclos de producción, reportó que un nivel de precipitación pluvial de 220.28 mm durante el primer ciclo provocó una alta incidencia de frutos partenocárpicos en comparación con los del segundo ciclo (60.45 mm); además, los frutos del primer ciclo presentaron mayor peso, sin llegar al estándar

para su comercialización (Simões *et al.*, 2022). De acuerdo con estos resultados la precipitación pluvial podría ser un factor para el desarrollo de la partenocarpia y el aumento de peso en los frutos.

## Luminosidad

El cultivo de mango requiere buena luminosidad para su crecimiento, desarrollo reproductivo y rendimiento; además, no responde a las diferencias en la longitud del día (fotoperiodo) en cuanto a la diferenciación floral (Gamboa-Porras & Mora-Montero, 2010). La luz es importante para las plantas, como inductor de señalización ambiental, como fuente de energía para la fotosíntesis, en la morfogénesis y como estímulo para el crecimiento y diferenciación; al igual que en los procesos de inducción floral, formación de órganos, relación fuente-demanda y rendimiento (Lee *et al.*, 2017; Blanco-Valdes, 2019). La disminución de la intensidad lumínica afecta la inducción del botón floral, su diferenciación, cuajado, tamaño, color y calidad del fruto y, en menor grado, el crecimiento (Dussi, 2007). La formación, desarrollo y calidad del fruto está determinada en gran parte por la luz, se ha reportado que una gran cantidad de radiación solar induce cambios en la distribución de los carbohidratos en el fruto (Fischer *et al.*, 2012). La calidad de la luz afecta la tasa fotosintética, la eficiencia para asimilar CO<sub>2</sub> y la máxima actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEPC) (Blanco-Valdés, 2019). La PEPC cumple una función anaplerótica en las plantas, regula el pH celular, interviene en la absorción y transporte de cationes, movimiento estomático y en la interacción del tubo polínico y estilo. Además, interviene en la maduración y germinación de la semilla, así como en la maduración de los frutos (Echevarría & Vidal, 2003). Por ello, este factor ambiental podría influir en la incidencia de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos al afectar principalmente la interacción tubo polínico y estilo (enzima PEPC) y distribución de los carbohidratos, los cuales son esenciales para los frutos en crecimiento.

En general, las condiciones ambientales en que se desarrolla el cultivo de mango son determinantes para una alta o baja producción de frutos. Los factores ambientales como la temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial y luminosidad influyen durante el periodo reproductivo, afectando la etapa de floración, viabilidad del polen, desarrollo del tubo polínico, polinización y fertilización, lo que podría ocasionar la incidencia de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos.

## Nutrición

Los nutrientes son de suma importancia para los cultivos frutícolas, ya que funcionan como señales que transmiten información para modular los programas endógenos durante crecimiento y desarrollo de frutos (Vega *et al.*, 2019). En el caso de las plantas perennes como los frutales, éstas requieren de los macronutrientes en mayor cantidad que los micronutrientes; sin embargo, el cultivo de mango requiere de ambos nutrientes en cantidades altas, de este modo un manejo adecuado de los nutrientes incrementa la producción y evita desordenes fisiológicos (Oldoni *et al.*, 2018; Simões *et al.*, 2022). Un déficit nutrimental en mango es asociado con una germinación deficiente del polen (de We *et al.*, 1989); por otro lado, Singh (2005) menciona que el aborto del embrión en mango no se correlaciona con el déficit nutricional. Algunos nutrientes necesarios para el cultivo de mango y que podrían estar influyendo en la formación de frutos partenocárpicos y estenospermocárpicos se describen a continuación.

## Nitrógeno

El nitrógeno (N) es un nutriente esencial para los cultivos frutícolas, debido a que controla aspectos de crecimiento y desarrollo, como germinación, enraizamiento, ramificación y tiempo de floración de las semillas (Fredes *et al.*, 2019). Se ha reportado que una deficiencia de N en los cultivos frutícolas induce el aborto del polen, por otra parte, un suministro adecuado de N mejora la longevidad del óvulo, favoreciendo el amarre de los frutos (Díaz, 2002; Hernández-Maruri *et al.*, 2015). En mango, el N afecta diversos parámetros de productividad como el crecimiento vegetativo, alternancia de producción, fotosíntesis, calidad de brotes y panículas, aborto de embrión (es), calidad del fruto y enfermedades por fitopatógenos (Silbert *et al.*, 2022). De acuerdo con lo antes mencionado, el N podría estar relacionado con la estenospermocarpia, porque interviene en el aborto embrionario.

En Israel, Silbert *et al.* (2022) evaluaron el efecto de las concentraciones de N sobre la absorción y distribución de nutrientes en frutos de mango 'Keitt' (poliembrionario), comprobando que los requerimientos de N son relativamente bajos en mango comparándolo con otros árboles frutales. También reportan que los frutos son los principales sumideros de N, por lo que ocurre un aumento significativo en la absorción y utilización de reservas de N para satisfacer la demanda de este macronutriente. Lo anterior coincide con Stassen & Jasen Van Vuuren (1997), quienes reportaron que la producción de frutos está relacionada con la absorción de N, alcanzando su punto máximo durante el periodo reproductivo.

## Boro

El boro (B) este nutriente es considerado como un factor clave para una adecuada formación de frutos, puesto que facilita el transporte de azúcares a través de las membranas (complejo borato-azúcar); además, interviene en la producción de semillas, por lo que una deficiencia perjudicaría la producción de flores funcionales y por ende no producir semillas (Dechen & Nachtigall, 2006; Gupta, 2007). En posfecundación, la deficiencia de B afecta en el deterioro de la embriogénesis, lo que resulta en el aborto de la semilla o la formación de embriones incompletos o dañados y frutos malformados (Dell & Huang, 1997). En este sentido, la deficiencia de B podría estar relacionada con el desarrollo de frutos partenocárpicos o estenospermocárpicos. Lee *et al.* (2009) reportaron que una concentración de 200 mg L<sup>-1</sup> de ácido bórico aumenta el peso de la antera y el pole, beneficiando la producción y germinación del pole, así como el crecimiento del tubo polínico; mientras que a concentraciones de 300 mg L<sup>-1</sup> el tubo polínico en inhibido.

Hernández-Maruri *et al.* (2015) realizaron un estudio con árboles de mango 'Ataulfo', aplicando 25, 50 y 100 g de B con el objetivo de disminuir la formación de frutos sin semillas y mejorar el estado nutricional de los árboles. Ellos concluyeron que dosis de 50 g de B fue más eficiente al disminuir en un 45 % la producción de mango sin semilla. Estos mismos investigadores realizaron un análisis nutrimental a frutos con y sin semilla posterior a la aplicación de B, para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la concentración nutrimental, encontrando que los frutos con semilla presentaron mayor concentración de N, fósforo (P) y magnesio (Mg), mientras que los frutos sin semillas fueron superiores en la concentración de calcio (Ca), aunque ambos tipos de frutos tuvieron misma concentración de potasio (K) y B.

## Calcio

El calcio (Ca) forma parte estructural de la planta, participa en la división y extensión celular; así como, modulador de acción fitohormonal y de señalización; así como, estabilizador de la pared celular y membrana plasmática, contribuyendo al equilibrio iónico de la célula (Marschner, 1986; Gulbagca *et al.*, 2020). También, el Ca controla los desórdenes fisiológicos, al disminuir la respiración y producción de etileno en la lámina media de las paredes celulares e influye en la formación, desarrollo y calidad de los frutos (Taiz *et al.*, 2017; Dong *et al.*, 2018). En Brasil, Simões *et al.* (2022) realizaron aplicaciones de Ca por fertirrigación, usando alga de lithothamnium (24 % Ca, 1.5 % Mg, 10 % sustancias húmicas, 5 % tensoactivo, 15 % agua, con densidad de 1.7 e índice de salinidad de 0.83 %) en mango 'Palmer', esto durante dos ciclos de producción (30, 60, 90 y 120 días después de la floración). Con la finalidad de cuantificar el número total de frutos por árbol y rendimiento total, tanto de frutos sin partenocarpia y con partenocarpia. El resultado fue que de 10 L (0 a 30 días después de la floración) incrementa la producción de frutos sin partenocarpia hasta en un 23.95 %. Por otro lado, Muengkaew *et al.* (2017) aplicaron dosis de Ca-B (3.0 y 0.3 % mL/L, respectivamente) en mango 'Mahachanok' (monoembrionario), favoreciendo el estímulo de la germinación del polen y crecimiento del tubo polínico, la longitud de las inflorescencias, las inflorescencias hermafroditas y mejoró el cuajado de frutos, logrando una mayor productividad. Ambos estudios, indican que el calcio es esencial para mejorar la productividad de frutos de mango, es decir, que cuando el árbol se mantiene en condiciones óptimas de calcio favorece la formación de frutos normales. El calcio es requerido por los frutos para su elongación y división celular (Merwad *et al.*, 2016), por el contrario, un déficit de calcio incrementa la formación de frutos partenocárpicos (sin semilla) al perjudicar el periodo reproductivo (germinación del polen, crecimiento del tubo polínico, disminución de inflorescencias).

## Potasio

El potasio (K) es considerado esencial para el cultivo de mango, debido a su rol en los procesos bioquímicos (síntesis de proteínas, carbohidratos y activación enzimática) y fisiológicos (fotosíntesis, regulación estomática de la transpiración, translocación), los cuales son importantes para el crecimiento, rendimiento, calidad del fruto (tamaño, color, mayor contenido de sólidos solubles totales, ácido ascórbico y vida útil), mantenimiento de la turgencia y tolerancia al estrés (Baiea *et al.*, 2015). Una deficiencia de K afecta los procesos metabólicos, principalmente la tasa de fotosíntesis, translocación y sistemas enzimáticos (Taha *et al.*, 2014). En árboles de mango 'Zebda' (poliembriónico) (El-Sadat, Egipto) se llevó a cabo una investigación por Taha *et al.* (2014), evaluando diferentes dosis de fertilizantes de K sobre el rendimiento y calidad del fruto, aplicando carbonato de potasio (850 y 1275 g/árbol), citrato de potasio (1263 y 1895 g/árbol) y fosfato monopotásico (1333 y 2000 g/árbol) en el área foliar. Como resultado, el citrato de potasio (1895 g/árbol) y carbonato de potasio (850 g/árbol) incrementaron rendimiento y calidad del fruto. También, en Egipto, Baiea *et al.* (2015) realizaron aplicaciones de citrato de potasio, nitrato de potasio, fosfato monopotásico y dipotásico en concentraciones de 1 y 2 % (vía foliar) a mango 'Hindi' (poliembriónico), con la finalidad de evaluar el efecto sobre el crecimiento, rendimiento y calidad de frutos aplicando cuatro tratamientos durante la floración, cuajado, el crecimiento del

fruto y antes de la cosecha. Donde el fosfato monopotásico y dipotásico al 2 %, aplicado durante las cuatro etapas, mejoran la retención, rendimiento y calidad del fruto. Aunque, estos estudios no están relacionados directamente con la partenocarpia y estenospermocarpia, podemos incidir que una adecuada concentración de potasio en mango favorece la formación de frutos de mango sin partenocarpia y estenospermocarpia, es decir, llegan al tamaño y peso estándar de los respectivos cultivares evaluados, al reflejarse en un mayor rendimiento. Por el contrario, si existiera una deficiencia de potasio en el cultivo, probablemente se vería reflejado en el desarrollo de frutos sin semilla o aborto embrionario.

## Fósforo

El fósforo (P) es requerido por las plantas para un crecimiento y desarrollo normal, una deficiencia de este nutriente afecta la división celular, así como el metabolismo de carbohidratos, contenido de proteínas solubles y acumulación de materia seca (Lambers & Plaxton, 2015; Irfan *et al.*, 2019). Los suelos tropicales suelen ser bajos en P, por lo que se recomienda fertilizar los árboles de mango con P para obtener un alto rendimiento; sin embargo, en este tipo de cultivos es complicado establecer una estrategia de fertilización adecuada, debido a que el cultivo de mango es alternado por un periodo de alto rendimiento, seguido de uno de bajo rendimiento (Prado, 2010). Por lo tanto, se recomienda la aplicación de P durante el periodo de pre y posfloración, con el fin de mejorar la inducción floral, diferenciación, brote y aparición de panículas (Maklad, 2020). Un estudio realizado en Bangladés por Nasreen *et al.* (2014) aplicaron cinco distintos tratamientos de N, P, K y azufre (S) en árboles de mango 'Bari Aam-1' (poliembriónico) durante tres años (2010-2011, 2011-2012 y 2012-2013), obteniendo que el tratamiento  $N_{960}P_{200}K_{300}S_{110}$  g/árbol + una dosis de estiércol de vaca (20 kg/árbol) aumento el rendimiento de los frutos hasta de un 86 % (2010-2011), 64 % (2011-2012) y 73 % (2012-2013) sobre el control. Un estudio más reciente en mango 'Dusehri' (poliembriónico/ Pakistán), determinó que la aplicación de N-P-K (1000, 750 y 750 g, respectivamente) durante la temporada de crecimiento (febrero-agosto) mejoró la fructificación (tamaño máximo de brotes de crecimiento, aumento de panículas/árbol, flores/árbol, retención de frutos y frutos/árbol), rendimiento, características fisicoquímicas (solidos solubles totales, vitamina C y azúcares totales) y calidad del fruto (Azam *et al.*, 2022).

Por otro lado, Salazar-García *et al.* (2016) evaluaron la influencia de la fertilización del suelo sobre la producción de frutos partenocárpico en mango 'Ataulfo' (Nayarit, México). Ellos aplicaron tres niveles de fertilizantes (periodo 2010 a 2013), dosis normal, dosis alta y sin fertilización (testigo); las dosis normales y altas en fase de cuajado del fruto, favorecieron el incremento de frutos partenocárpico (79.5 y 81.5 %, respectivamente) en comparación a los frutos con semilla (20.5 y 18.5 %), sin embargo, el testigo fue superior con un 83.5 % de frutos partenocárpico. Del total de frutos que llegaron a madurez fisiológica, el porcentaje de frutos partenocárpico en dosis normal fue de 50.2 %, en dosis alta de 50.1 %, mientras que de frutos normales fue de 49.8 y 49.6 %, respectivamente, el testigo obtuvo un 53.1 % de frutos partenocárpico. Estos investigadores concluyen que los tratamientos de fertilización no modificaron la proporción de mango partenocárpico que alcanzó la madurez fisiológica, debido a la ausencia de efecto de los tratamientos de fertilización balanceada (requerimientos del huerto) atribuyendo que en la zona de estudio la presencia del fruto partenocárpico es de origen climático

(temperaturas  $\leq 13$  °C,  $\leq 14$  °C,  $\leq 15$  °C en prefloración). En todas las investigaciones anteriores, el P es aplicado de forma combinada con otros nutrientes, ya que, de forma individual su efecto en el cultivo de mango es más lento (Prado, 2010).

Las investigaciones relacionadas con la nutrición vegetal, en su mayoría están enfocadas al cultivo, y no tanto a los frutos, por lo que es importante tomar en cuenta a la nutrición como un posible factor precursor de la partenocarpia y estenospermocarpia, dado que un déficit nutricional en las plantas conlleva a un bajo desarrollo de frutos, al afectar principalmente la etapa reproductiva (dañando el crecimiento del tubo polínico, disminuyendo las inflorescencias hermafroditas y germinación del polen).

## **Fitohormonas**

El crecimiento y desarrollo de semillas y frutos, son procesos conectados y sincronizados regulados principalmente por señales ambientales y señales internas como las fitohormonas, las cuales son pequeñas moléculas orgánicas naturales, no nutrientes, producidas internamente por las plantas; además, presentan una distribución localizada y acción específica, ejerciendo diversas funciones como: promover, inhibir o modificar los procesos morfológicos y fisiológicos a concentraciones relativamente bajas ( $10^{-5}$ -  $10^{-4}$  M), el efecto se produce a nivel celular, cambiando patrones de crecimiento vegetal y permitiendo su control (Pandolfini, 2009; Alcántara-Cortes *et al.*, 2019; Xin *et al.*, 2020). Diversas investigaciones asocian a las fitohormonas con la partenocarpia, debido a que existe una mayor concentración de estas en los ovarios que generan frutos partenocárpico; siendo las giberelinas (GAs), auxinas (AUXs) y citoquininas (CKs) las más asociadas (Subbaraya *et al.*, 2020; Sharif *et al.*, 2022). Por otro lado, Daulesberg *et al.* (2011) mencionan que otras fitohormonas como el etileno y el ácido abscísico (ABA) contribuyen al desarrollo inicial del fruto. Durante la polinización y fertilización las fitohormonas desempeñan un papel crucial que conduce a la fructificación, dando paso a la etapa de cuajado, la cual puede llevarse a cabo por la presencia de AUXs y GAs en ausencia de fertilización (frutos partenocárpico) (An *et al.*, 2019; Su *et al.*, 2021). Dauelsberg *et al.* (2011) reportaron que el etileno y ácido abscísico (ABA) contribuyen al desarrollo inicial del fruto. Cuando las fitohormonas son aplicadas de forma exógena se denominan reguladores de crecimiento o reguladores vegetales (Su *et al.*, 2021). Estos compuestos son sintetizados químicamente u obtenidos a partir de otros organismos y, en general, más potentes que los análogos naturales, son ampliamente aplicados en la agricultura para mejorar la producción, crecimiento y controlar la floración de las plantas (Pichardo-González *et al.*, 2018; Alcántara-Cortes *et al.*, 2019).

## **Giberelinas**

Las giberelinas (GAs) desempeñan un papel importante como reguladores endógenos, están presentes en todas las etapas fenológicas (germinación, crecimiento y desarrollo) en organismos vegetales superiores e influyen en la retención y retraso de senescencia de frutos, así como en ruptura de latencia de las semillas y también en respuestas inmunitarias (Singh *et al.*, 2018; Osuna-Enciso *et al.*, 2019). Amador-Alfárez *et al.* (2013) describen que las GAs presentan una función clave en el control de la germinación de las semillas, por esta razón, son aplicadas para promover o inducir la germinación de semillas y crecimiento del embrión. Por su parte, Dauelsberg

*et al.* (2011) reportaron que las GAs y AUXs coordinan la división y expansión celular, procesos que dan paso al crecimiento del fruto. La polinización y fecundación originan una acumulación de GAs, esta fitohormona también aumenta en los tejidos de ovario y pericarpio en respuesta a las AUXs (Serrani *et al.*, 2007). En diversos frutos partenocárpicos, se lleva a cabo la expansión ovárica en ausencia de la fecundación, se ha relacionado con un aumento en la concentración de GAs durante la antesis (Dauelsberg *et al.*, 2011). Dentro de las investigaciones realizadas en mango se encuentra la de Pérez-Barraza *et al.* (2009), al evaluar el efecto de diferentes mezclas de reguladores de crecimiento sobre el incremento del amarre, frutos cosechados y tamaño de frutos partenocárpicos de 'Ataulfo' en Nayarit, México. En este estudio aplicaron cuatro tratamientos durante dos años (2007 y 2008) en dos huertos con alta incidencia de frutos partenocárpicos (80 %), el primer tratamiento consistió en aplicar solamente AG<sub>3</sub> (50 mg·litro<sup>-1</sup>), el segundo forclorfenuron (Agromil Plus<sup>®</sup>, 2 mL·litro<sup>-1</sup>); el tercero comprendió la mezcla de Agromil Plus<sup>®</sup> (2 mL·litro<sup>-1</sup>) + AG<sub>3</sub> (50 mg·litro<sup>-1</sup>) y el último tratamiento compuesto por AG<sub>3</sub> (50 mg·litro<sup>-1</sup>) + Thidiazuron (TDZ, 5 mg·litro<sup>-1</sup>), más un testigo (sin aplicación). Durante el 2008 el AG<sub>3</sub> se aplicó en dosis de 100 mg·litro<sup>-1</sup>. En ambos huertos los reguladores de crecimiento (AG<sub>3</sub>, Agromil Plus<sup>®</sup> y TDZ) favorecieron el amarre y frutos que llegaron a la cosecha, sin embargo, el mejor tratamiento fue AG<sub>3</sub> + TDZ (50 y 5 mg·litro<sup>-1</sup>, respectivamente). En el Huerto 2, el número de frutos que lograron el amarre y llegaron a la cosecha (mayor tamaño y peso) fue mayor a los frutos del Huerto 1. Asimismo, concluyen que la incidencia de frutos partenocárpicos se puede deber a una concentración escasa de GAs, lo que ocasiona el aborto del embrión y por consiguiente afecta el amarre de frutos.

## Citoquininas

Las citoquininas (CKs) fueron descubiertas como agentes promotores de división celular en cultivos de tejidos al interactuar con las AUXs (Hönig *et al.*, 2018). Estas fitohormonas se producen en toda la planta, incluido los tejidos aéreos y cumplen con diversas funciones como regular la división celular, función de los meristemos, desarrollo de cloroplasto, senescencia y relación fuente-sumidero; además, están involucradas en el amarre y crecimiento de los frutos de mango mediante el movimiento de metabolitos a los sitios de aplicación (Shigenaga & Argueso, 2016; Kulkarni *et al.*, 2017). De acuerdo a investigaciones de Cui *et al.* (2013) y Su *et al.* (2021) sugieren que la biosíntesis de CKs y los genes de transducción de señales podrían estar involucrados en el desarrollo de frutos partenocárpicos. Esto al verse observado en los ovarios de tomate, los niveles de expresión de los genes de biosíntesis de CKs (SIPT1, SIPT2, SICYP735A1, SICYP735A2 y SILOG2) los cuales aumentaron después de la antesis. Mientras que en pepino la expresión de CYP735A indujo la formación de frutos partenocárpicos en una línea de pepino no partenocárpica.

## Auxinas

Las AUXs son fitohormonas involucradas en distintos procesos a nivel vegetal, desempeñando un papel bastante periférico en la defensa de las plantas; generalmente intervienen en el crecimiento, promueven la división y elongación celular, y diferenciación celular (Amador-Alfárez *et al.*, 2013; Garay-Arroyo *et al.*, 2014). La AUX más conocida existe en forma de ácido indol-3-acético (IAA) (Su *et al.*, 2021). La síntesis de AUXs se lleva a cabo principalmente en meristemos apicales, hojas juveniles y frutos en desarrollo, en estos, el contenido en IAA tiende a aumentar después de la

polinización (Ludwig-Müller & Cohen, 2002). Existen investigaciones donde se aplican AUXs en diversos cultivos frutales para incrementar el amarre, aunque se consideran menos efectivas que las GAs. También, diversos investigadores han demostrado que existen diversos genes relacionados con AUXs los cuales regulan la partenocarpia en diversos cultivos como pepino (Yin *et al.*, 2006; Su *et al.*, 2021), berenjena (Donzella *et al.*, 2000) y tomate (Pandolfini *et al.*, 2002). En el caso de mango, este tipo de estudios aún no se han reportado. Actualmente, el fruto tomado como modelo para frutos carnosos es el tomate (*Solanum lycopersicum*), en el que las investigaciones en fitohormonas, genes y partenocarpia están avanzadas. Shaban & Ibrahim (2009) realizaron un estudio para comparar la concentración de fitohormonas en frutos normales y partenocárpicos de mango 'Ewais', 'Hindi Bisinnara', Hindi Khassa' y 'Bullocks Heart' (Egipto), obteniendo que los frutos con semilla de los cuatro cultivares presentaron una mayor concentración de GAs y CKs y menor concentración de AUXs y ABA en comparación con los partenocárpicos.

## Etileno

El etileno ha sido ampliamente estudiado como la fitohormona promotora de la maduración y abscisión de los frutos, sin embargo, esta fitohormona también induce la floración en mango e interactúa con otras fitohormonas para intervenir en la expansión celular e estimular la germinación (Depaepe & Van Der Straete, 2017); además, existen reportes que indican que el etileno aumenta en las flores durante la polinización y disminuye cuando se completa la producción de frutos, lo que podría indicar su papel activo en la regulación del cuajado de los frutos (An *et al.*, 2019). Estudios en frutos de mango relacionando el etileno con la partenocarpia o la estenospermocarpia no han sido reportados. Por otra parte, existen estudios en tomate (*Solanum lycopersicum*) que revelan alteraciones en genes relacionados con el etileno y su intervención en la transición de flor a fruto (Pascual *et al.*, 2009). Asimismo, Carbonell-Bejarano *et al.* (2011) demostraron que el etileno se relaciona con la partenocarpia en frutos de *Arabidopsis* durante el cuajado independientemente de la polinización, debido a que esta fitohormona se involucra en la vida útil del óvulo y en la determinación del destino pistilo-fruto. También, Martínez *et al.* (2014) demostraron la relación del etileno con la partenocarpia, esto al obtener baja producción de etileno durante los primeros días posteriores a la antesis, al evaluar accesiones seleccionadas de calabacín (*Cucubita pepo* spp.) identificadas como fuertemente partenocárpicas. Ellos sugieren que la producción de etileno en ovarios y frutos tres días posteriores a la antesis puede utilizarse como un marcador para identificar y seleccionar la partenocarpia en frutos de calabacín.

## Ácido abscísico

El ácido abscísico (ABA) es una fitohormona isoprenoide que se considera moduladora del estrés en las plantas, además, regula el crecimiento, desarrollo, respuestas al estrés como mediador de señalización, latencia de semillas, cierre de estomas, abscisión de hojas, senescencia, maduración del fruto y puede presentar diafonía positiva o negativa con otras fitohormonas (GA, CK, AUX, etileno, entre otras) (Parwez *et al.*, 2022). Shaban & Ibrahim (2009) reportaron que los frutos partenocárpicos de mango 'Ewais', 'Hindi Bisinnara', 'Hindi Khassa' y 'Bullocks Heart', obtuvieron una mayor concentración de AUX y ABA en comparación con los frutos con semilla. Lo cual podría significar que los frutos partenocárpicos se encuentran bajo estrés debido a la ausencia de semilla, viéndose reflejado en una mayor concentración de ABA.

## Factores genéticos

En mango, los estudios genéticos (molecular) son limitados. He *et al.* (2012) llevaron a cabo un estudio molecular entre semillas normales y embriones abortados de frutos del cultivar Jinhuang (poliembrionario/China), el cual sufre graves daños por aborto embrionario (Tabla 1). Encontrando una diferencia en la expresión del gen MaMADS entre semillas normales y embriones abortados, siendo el gen más expresivo en los embriones normales. Lo que sugiere que el gen MaMADS puede actuar de forma positivamente dominante en el desarrollo del embrión y vías reguladores para llegar a formar un fruto normal. Este estudio dio la pauta para seguir investigando sobre el gen MaMADS y su relación con el aborto embrionario en los diferentes cultivares de mango. En Egipto, Abdel-Sattar *et al.* (2017) se basaron en el estudio de He *et al.* (2012) para obtener los genes implicados en el aborto embrionario del cultivar Ewais durante las temporadas 2015 y 2016, utilizando la técnica qPCR en tiempo real para detectar el ARNm de cuatro genes diferentes, encontrando que los cuatro genes (MaAGA, MaAP2, MaERF y MaMADS) se expresaron mayormente en embriones normales en comparación con embriones abortados de 'Ewais'. De acuerdo a ambos estudios, las MaMADS están estrechamente relacionadas con el aborto embrionario.

## Conclusión

La temperatura es uno de los factores ambientales que influye en el desarrollo de los frutos de mango, siendo un causante de la partenocarpia y estenospermocarpia de cultivares monoembrionarios y poliembrionarios. Las temperaturas afectan directamente en la etapa de floración (tubo polínico no se desarrolla completamente) y en la fase de antesis (el polen no llega hasta el óvulo) lo que origina se desarrollen frutos partenocárpico; por otro lado, aunque ocurra una polinización efectiva, puede ocurrir el aborto del embrión lo que da origen a los frutos estenospermocárpico (ocurre principalmente en la etapa del cuajado).

Las fitohormonas también contribuyen al desarrollo de los frutos, principalmente las giberelinas, citoquininas y auxinas, éstas favorecen la división y elongación. Las giberelinas actúan en ausencia de una polinización o fertilización efectiva de los frutos de mango, observando frutos partenocárpico y estenospermocárpico

La nutrición (macro y microelementos) de las plantas es de suma importancia, ya que una deficiencia de N, P, K, Ca y B afecta el desarrollo y crecimiento del tubo polínico de las flores.

## Recomendaciones

En relación con partenocarpia y estenospermocarpia en frutos de mango (*Mangifera indica* L.), aún falta mucho por hacer, se recomienda realizar investigaciones no solo en aspectos fisiológicos y anatómicos, también profundizar en la parte bioquímica, aplicación de las ciencias ómicas (genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica) y biología molecular.

## Contribución de los autores

Arias-Navarro: Conceptualización del trabajo, Metodología, Investigación, Redacción-Borrador Original. Bautista-Rosales: Conceptualización, Redacción-Revisión y Edición, Visualización. Balois-Morales: Conceptualización, Redacción-Revisión y Edición, Visualización. Jiménez-Zurita: Conceptualización y Revisión. Ochoa-Jiménez: Revisión y edición. Pérez-Ramírez: Visualización. Berumen-Varela: Revisión y Edición.

Todos los autores de este manuscrito han leído y aceptado la versión publicada del mismo.

## Agradecimientos

Se agradece al Programa de Doctorado del Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada (764352).

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

- Abdel-Sattar, M., Ibrahim, A.M., Ashmawy, N.A., & Shams, E. (2017). A study on normal and nubbin productivity of some mango trees in relation to quantification of expressed gene levels. *Journal Plant Production, Mansoura Univ.*, 8(8), 805-811. <https://doi.org/10.21608/JPP.2017.40872>
- Alcántara-Cortés, J.S., Acero-Godoy, J., Alcántara-Cortés, J.D., & Sánchez-Mora, R.M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal. *NOVA*, 17 (32), 109-129.
- Amador-Alfárez, K.A., Díaz-González, J., Loza-Cornejo, S., & Bivián-Castro, E.Y. (2013). Efecto de diferentes reguladores de crecimiento vegetal sobre la germinación de semillas y desarrollo de plántulas de dos especies de *Ferocatus* (Cactaceae). *Polibotánica*, 35, 109-131.
- An, J., Althiab Almasaud, R., Bouzayen, M., Zouine, M., & Chervin, C. (2019). Review: Auxin and ethylene regulation of fruit set. *Plant Science*, 292, 110381. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.110381>
- Azam, M., Qadri, R., Aslam, A., Khan, A.S., Anwar, R., Ghani, M.A., Ejaz, S., Hussain, Z., Iqbal, M.A., & Chen, J. (2022). Effects of different combinations of N, P and K at different time Interval on vegetative, reproductive, yield and quality traits of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dusehri. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e235612. <https://doi.org/10.1590/1519->

[6984.235612](#)

- Baiea, M.H.M., El-Sharony, T.F., Eman, A.A., & Abd El-Moneim, E.A.A. (2015). Effect of different forms of potassium on growth, yield and fruit quality of mango cv. Hindi. *International Journal of Chem Tech Research*, 8(4), 1582-1587.
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre plantas arvenses-cultivo. *Cultivos Tropicales*, 40(4), e09.
- Carbonell-Bejerano, P., Urbez, C., Granell, A., Carbonell, J., & Perez-Amador, M.A. (2011). Ethylene is involved in pistil fate by modulating the onset of ovule senescence and the GA-mediated fruit set in Arabidopsis. *BMC Plant Biology*, 11, 84. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-11-84>
- Carvalho, C.I.F.S., Lima, A.M., Lobo, J.T., Mudo, L.E.D., & Santos, A.S. (2020). Estenoespermocarpia em frutos de mangueira e a relação com a nutrição de boro. *Meio Ambiente (Brasil)*, 2(3), 58-67.
- Cui, L. (2013). The Study on Molecular Mechanism of Cucumber Parthenocarpy Based on Transcriptome [Ph. D. Dissertation]. Nanjing Agricultural University, Nanjing, pp. 43-44.
- Dauelsberg, P., Matus, J.T., Poupin, M.J., Leiva-Ampuero, A., Godoy, F., Vega, A., & Arce-Johnson, P. (2011). Effect of pollination and fertilization on the expression of genes related to floral transition, hormone synthesis and berry development in grape vine. *Journal of Plant Physiology*, 168 (14), 1667-1674. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.03.006>
- De Wet, E., Robbertse, P.J., & Groeneveld, H.T. (1989). The influence of temperature and boron on pollen germination in *Mangifera indica* L. *South African Journal Plant Soil*, 6(4), 228-234. <https://doi.org/10.1080/02571862.1989.10634518>
- Dechen, A.R., & Nachtigal, G.R. (2006). Micronutrientes. Fernandes, M. S. (Ed.) Nutrição Mineral de Plantas. Sociedade Brasileira de Ciência. 13, 327-354.
- Dell, B., & Huang, L. (1997). Physiological response of plants to low boron. *Plant Soil*, 193: 103-120. <https://doi.org/10.1023/A:1004264009230>
- Depaepe, T., & Van Der Straeten, D. (2017). Ethylene. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. Segunda edición, 1, 403-410.
- Díaz, M.D.H. (2002). Fisiología de árboles frutales. AGT Editor, S.A. México. pp. 390.
- Dong, J., Gruda, N., Lam, S.K., Li, X., & Duan, Z. (2018). Effects of elevated CO<sub>2</sub> on nutritional quality of vegetables: a review. *Frontiers in Plant Science*, 9, 924. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00924>
- Donzella, G., Spena, A., & Rotino, G.L. (2000). Transgenic parthenocarpic eggplants: superior germplasm for increased winter production. *Molecular Breeding*, 6, 79-86. <https://doi.org/10.1023/A:1009613529099>
- Durán-Zuazo, V.H., Rodríguez-Pleguezuelo, C.R., Gálvez-Ruiz, B., Gutiérrez-Gordillo, S., & García-Tejero, I.F. (2018). Water use and fruit yield of mango (*Mangifera indica* L.) grown in a subtropical Mediterranean climate. *International Journal of Fruit Science*, 19(2), 136-150. <https://doi.org/10.1080/15538362.2018.1493960>
- Dussi, M.C. (2007). Intercepción y distribución lumínica en agroecosistemas frutícolas. Árboles frutales: ecofisiología, cultivo y aprovechamiento. Editorial Sozzi, G.O. Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires. pp. 200-241.
- Echevarría, C., & Vidal, J. (2003). The unique phosphoenolpyruvate carboxylase kinase. *Plant Physiology and Biochemistry*, 41(6-7). 541- 547. <https://doi.org/10.1016/S0981->

[9428\(03\)00068-8](https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081018)

- Escalera-Mota, A.A., Noriega-Cantú, D.H., González-Mateos, R., Pérez-Barraza, Ma. H., Álvarez-Bravo, A., Maldonado-Astudillo, Y.I., & Jiménez-Hernández, J. (2022). Mango partenocárpico y su relación con la temperatura. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 8 (1), e0081018. <https://doi.org/10.30973/aap/2022.8.0081018>
- FAOSTAT. (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/statistics/es>
- Fischer, G., F. Ramírez, F., & Almanza-Merchán, P.J. (2012). Inducción floral, floración y desarrollo del fruto. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá. pp. 120-140.
- Fredes, I., Moreno, S., Díaz, F.P., & Gutiérrez, R.A. (2019). Nitrate signaling and the control of Arabidopsis growth and development. *Current Opinion in Plant Biology*, 47, 112-118. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.10.004>
- Gamboa-Porras, J.R., & Mora-Montero, J. (2010). Guía para el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) en Costa Rica. INTA, San José, C.R. pp. 12-13.
- Gamboa-Porras, J.R., & Marín-Méndez, W. (2012). Fenología, producción y contenido de almidón en árboles de mango en Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 23(1), 81-91.
- Garay-Arroyo, A., de la Paz Sánchez, M., García-Ponce, B., Álvarez-Buylla, E.R., & Gutiérrez, C. (2014). La homeostasis de las auxinas y su importancia en el desarrollo de *Arabidopsis Thaliana*. *REB Revista de Educación Bioquímica*, 33(1), 13-22.
- Gehrke-Vélez, M.R., Castillo-Vera, A., Ruiz-Bello, C., & Moreno-Martínez, J.L. (2011). Viabilidad y germinación del polen en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataúlfo. *Interciencia*, 36(5), 378-385.
- Gehrke-Vélez, M., Castillo-Vera, A., Ruiz-Bello, C., Moreno-Martínez, J.L., & Moreno-Basurto, G. (2012). Delayed self-incompatibility causes morphological alterations and crop reduction in 'Ataúlfo' mango (*Mangifera indica* L.). *New Zealand Journal of Crop Horticultural Science*, 40(4), 1-13. <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.632423>
- Gulbagca, F., Burhan, H., Elmusa, F., & Sen, F. (2020). Calcium nutrition in fruit crops: Agronomic and physiological implications. *Fruit Crops*, 173-190. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818732-6.00014-9>
- Gupta, U.C. (2007). Boron. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, USA. pp. 241-277.
- He, J.H., Ma, F.W., Chen, Y.Y., & Shu, H.R. (2012). Differentially expressed genes implicated in embryo abortion of mango identified by suppression subtractive hybridization. *Genetics and Molecular Research*, 11(4), 3966-3974. <http://dx.doi.org/10.4238/2012.November.14.4>
- Hernández-Guerrero, S.E., Balois-Morales, R., & Bello-Lara, J.E. (2015). Estenospermocarpia en mango 'Ataúlfo': Nayarit y Chiapas. *Acta Agrícola y Pecuaria*. 1(3), 86-92.
- Hernández-Maruri, J.A., Castillo-González, A.M., Pérez-Barraza, M.H., Avitia-García, E., Trejo-Téllez, L.I., Osuna-García, J.A., & García-Mateos, R. (2015). Fertilización con boro y su relación con la producción de frutos sin semilla en mango 'Ataúlfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1757-1768.
- Hönig, M., Plíhalová, L., Husičková, A., Nisler, J., & Doležal, K. (2018). Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 9(12), 4045. <https://doi.org/10.3390/ijms19124045>

- Huang, J.H., Mab, W.H., Liang, G.L., Zhang, L.Y., Wang, W. X., Cai, Z.J., & Wen, S.X. (2010). Effects of low temperatures on sexual reproduction of 'Tainong 1' mango (*Mangifera indica* L.). *Scientia Horticulturae*, 126(1), 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.017>
- Irfan, M., Abbas, M., Shah, J.A., Depar, N., Memon, M.Y., & Sial, N.A. (2019). Interactive effect of phosphorus and boron on plant growth, Nutrient accumulation and grain yield of wheat grown on calcareous soil. *Eurasian Journal of Soil Science*, 8(1), 17-26. <https://doi.org/10.18393/ejss.484654>
- Kulkarni, S.S., Patil, S.S., & Magar, S.D. (2017). Effect of plant growth regulators on yield and quality of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Kesha. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6(5), 2309-2313.
- Kumar R., Khurana, A., & Sharma, A.K. (2014). Role of plant hormones and their interplay in development and ripening of fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany*, 65(16), 4561-4575. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru277>
- Lambers, H., & Plaxton, W.C. (2015). Phosphorus: Back to the roots. In: Annual Plant Reviews, Volume 48: Phosphorus Metabolism in Plants. Wiley-Blackwell. Oxford, UK. pp. 3-22. <https://doi.org/10.1002/9781118958841.ch1>
- Lakshminarayana, S., & Hernández-Aguilar, P. (1975). Effect of orchard heating in reducing parthenocarpic fruits in 'Haden' mango. United States of America. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 88, 502- 505.
- Lee, S.H., Kin, W., & Han, T. (2009). Effects of post-harvest foliar boron and calcium applications on subsequent season's pollen germination and pollen tube growth of pear (*Pyrus pyrifolia*). *Scientia Horticulturae*, 122, 77-82. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.04.006>
- Lee, H.J., Park, Y.J., Ha, J.H., Baldwin, I.T., & Park, C.M. (2017) Multiple routes of light signaling during root photomorphogenesis. *Trends Plant Science*, 22, 803-812. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.06.009>
- Leyva-Mayo, A., Noriega-Cantú, D.H., Pérez-Barraza, M.H., González-Mateos, R., & Hernández-Pereyda, J. (2016). Distribución geográfica de frutos partenocárpicos en mango cv. Ataulfo en la Costa de Guerrero. Foro de Estudios sobre Guerrero, 2-3, 1-5.
- Litz, R.E. (1997). The mango botany, production and uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Ludwig-Müller, J., & Cohen, J.D. (2002). Identification and quantification of three active auxins in different tissues of *Tropaeolum majus*. *Physiologia Plantarum*, 115 (2), 320-329. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150220.x>
- Maklad, T.N. (2020). Effect of different phosphorus sources and urea on flowering, foliage chemical composition, fruit yield and quality of mango "Langra" cultivar. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 9(4). <https://doi.org/10.36632/mejar/2020.9.4.82>
- Maldonado-Astudillo, Y.I., Cantú-Guzmán, A., Salazar, R., & Jiménez-Hernández, J. (2019). Análisis de perfil de textura de frutos partenocárpicos de mango cv. 'Ataulfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1175-1181.
- Marschner, H. (1986). Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, Londres. pp. 7-73, 285-299.
- Martínez, C., Manzano, S., Megías, Z., Garrido, D., Picó, B., & Jamilena, M. (2014). Sources of parthenocarpy for Zucchini breeding: relationship with ethylene production and sensitivity. *Euphytica*, 200, 349-362. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1155-8>
- Merwad, M.A., Eisa, R.A., & Saleh, M.M.S. (2016). The beneficial effect of NAA, Zn, Ca, and

- B on fruiting, yield and fruit quality of Alphonso mango trees. *Internacional Journal ChemTech Research*, 9(3), 147–157. ISSN: 0974-4290
- Muengkaew, R., Chaiprasart, P., & Wongsawad, P. (2017). Calcium-Boron addition promotes Pollen germination and fruit set of mango. *Internacional Journal of Fruit Science*, 17(2), 147-158. <https://doi.org/10.1080/15538362.2016.1259085>
- Nasreen, S., Kamal, A.M., Siddiky, M.A., Rannu, R.P., & Islam, M.S. (2014). Effect of nitrogen, phosphorus, potassium and sulphur on the yield of mango. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 39(4), 631-640. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i4.22542>
- Norma Oficial Mexicana (NOM-188-SCFI-2012), Mango Ataulfo del Soconusco, Chiapas (*Mangifera caesia* Jack ex Wall)-Especificaciones y métodos de prueba. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5280541&fecha=29/11/2012](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280541&fecha=29/11/2012)
- Oldoni, F.C.A., Lima, A.M.N., Cavalcante, I.H.L., Sousa, K.S.M., Carneiro, M.A., & Carvalho, I.R.B. (2018). Boron fertilizing management on fruit production and quality of mango cv. Palmer in semiarid. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(3), 1-8. <https://doi.org/10.1590/0100-29452018622>
- Osuna-Enciso, T., Chavarín-Navarro, Z.M., Carrillo-Fasio, J.A., Valdez-Torres, J.B., Basilio-Heredia, J., Báez-Sañudo, M.A., Hernández-Verdugo, S., & Osuna-Rodríguez, J.M. (2019). Efecto de aspersiones de biorreguladores en precosecha sobre el crecimiento y maduración de mango Keitt. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 259-268. <https://doi.org/10.35196/rfm.2019.3.259-268>
- Pandolfini, T., Rotino, G.L., Camerini, S., Defez, R., & Spena, A. (2002). Optimisation of transgene action at the post-transcriptional level: high quality parthenocarpic fruits in industrial tomatoes. *BMC Biotechnology*, 2,1. <https://doi.org/10.1186/1472-6750-2-1>
- Pandolfini, T. (2009). Seedless fruit production by hormonal regulation of fruit set. *Nutrients*, 1(2), 168-177. <https://doi.org/10.3390/nu1020168>
- Parwez, R., Aftab, T., Singh Gill, S., & Naeem, M. (2022). Abscisic acid signaling and crosstalk with phytohormones in regulation of environmental stress responses. *Environmental and Experimental Botany*, 199, 104885. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104885>
- Pascual, L., Blanca, J.M., Cañizares, J., & Nuez, F. (2009). Transcriptomic analysis of tomato carpel development reveals alterations in ethylene and gibberellin synthesis during pat3/pat4 parthenocarpic fruit set. *BMC Plant Biology*, 9, 67. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-9-67>
- Pérez-Barraza, M.H., Vázquez-Valdivia, V., & Osuna-García, J.A. (2007). Incidencia de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' en huertos comerciales de Nayarit. México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2),149-156.
- Pérez-Barraza, M.H., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J.A., & Urías-López, M.A. (2009). Incremento del amarre y tamaño de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' con reguladores de crecimiento. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 183-188.
- Pérez-Barraza, M.H., Álvarez-Bravo, A., Avitia-García, E., Pérez-Luna, A.I., & Santos-Cárdenas, M.V. (2019). Temperatura y desarrollo en la formación de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 199-209. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2021>
- Pérez. V., Herrero, M., & Hormaza, J.I. (2019). Pollen performance in mango (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae): Andromonoecy and Effect of temperatura. *Scientia Horticulturae*, 253,

- 439-446. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.070>
- Pichardo-González, J.M., Guevara-Olvera, L., Couch-Uicab, Y.L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Medina, H.R., González-Chavira, M.M., & Acosta-García, G. (2018). Efecto de las giberelinas en el rendimiento de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(5), 925-934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1502>
- Prado, R.M. (2010). Phosphorus effects in the nutrition and growth of developing mango plants. *Journal of Plant Nutrition*, 33(14), 2041-2049. <https://doi.org/10.1080/01904167.2010.519079>
- Rocha, F.H., Infante, F., Quilantán, J., Goldarazena, A., & Funderburk, J.E. (2012). 'Ataulfo' mango flowers contain a diversity of thrips (Thysanoptera). *Florida Entomologist*, 95(1), 171-178. <https://doi.org/10.1653/024.095.0126>
- Salazar-García, S., Álvarez-Bravo, A., Ibarra-Estrada, M.E., González-Valdivia, J., & Medina-Torres, R. (2016). Presencia de fruto partenocárpico en mango 'Ataulfo' y su relación con la temperatura ambiental y tratamientos de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13, 2615-2626.
- Serrani J.C., Sanjuan, R., Ruiz-Rivero, O., Fos, M., & García-Martínez, J.L. (2007). Gibberellin regulation of fruit-set and growth in tomato. *Plant Physiology*, 145, 246-57. <https://doi.org/10.1104/pp.107.098335>
- Shaban, A.E.A. (2005). Effect of gibberellic acid spraying on inducing nubbin fruit of some mango cultivars. I: Fruit physical and chemical traits. *Egyptian Journal of Applied Science*, 20(5B), 761-776.
- Shaban, A.E.A., & Ibrahim, A.S.A. (2009). Comparative study on normal and nubbin fruits of some mango cultivars. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3(3), 2166-2175.
- Sharif, R., Chen, X., & Qi, X. (2022). Hormonal interactions underlying parthenocarpic fruit formation in horticultural crops. *Horticulture Research*, 9(2), uhab024. <https://doi.org/10.1093/hr/uhab024>
- Shigenaga, A.M., & Argueso, C.I. (2016). No hormone to rule them all: Interactions of plant hormones during the responses of plants to pathogens. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 56, 174-189. <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2016.06.005>
- Silbert, A., Goldberg, T., Shapira, O., & Hochberg, U. (2022). Nitrogen uptake and macronutrients distribution in mango (*Mangifera indica* L. cv Keitt) trees. *Plant Physiology and Biochemistry*, 181, 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.036>
- Simões, W.L., da Silva, J.S., do C. Mouco, M.A., de Oliveira, C.P.M., Silva, D.J., & de Oliveira, F.F. (2022). Marine calcium application on 'Palmer' mango production. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering*, 26(8), 618-623. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n8p618-623>
- Singh, Z. (2005). Embryo abortion in relation to fruit size, quality, and concentrations of nutrients in skin and Pulp on mango. *Journal of Plant Nutrition*, 28, 1723-1737. <https://doi.org/10.1080/01904160500250771>
- Singh, S., Thakur, A., & Singh, S.K. (2018). Effect of foliar Application of gibberellic acid on growth and development of mango (*Mangifera indica*). *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR)*, 5(4), 161-166.
- Stassen, P.J.C., & Janse Van Vuuren, B.P.H. (1997). Storage, redistribution and utilization of starch in young bearing "Sensation" mango trees. *Acta Horticulturae*, 455(1), 151-159.

- <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.455.21>
- Su, L., Rahat, S., Ren, N., Kajima, M., Takebayashi, Y., Sakakibara, H., Wang, M., Chen, X., & Qi, X. (2021). Cytokinin and auxin modulate cucumber parthenocarp fruit development. *Scientia Horticulturae*, 282, 110026. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110026>
- Subbaraya, U., Rajendran, S., Simeon, S., Suthanthiram, B., & Somasundram, S.M. (2020). Unraveling the regulatory network of transcription factors in parthenocarp. *Scientia Horticulturae*, 261: 108920. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108920>
- Sukhvibul, N., Hetherington, S.E., Whiley, A.W., Smith, M.K., & Vithanage, S. (2000). Effect of temperature on pollen germination, pollen tube growth and seed development in mango (*Mangifera indica* L.). *Acta Horticulturae*, 509, 609-616. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2000.509.69>
- Sukhvibul, N., Whiley, A.W., & Smith, M.K. (2005). Effect of temperature on seed and fruit development in three mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*, 105(4), 467-474. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.02.007>
- Taha, R.A., Hassan, H.S.A., & Shaaban, E.A. (2014). Effect of different potassium fertilizer forms on yield, fruit quality and leaf mineral content of Zebda mango trees. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 21(3), 518-524. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.21.03.21483>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I.M., & Murphy, A. (2017). Fisiología y desarrollo vegetal. Editorial Porto Alegre: ArtMed, pp. 858.
- Thimmappaiah, R., & Harmail, S. (1983). Natural parthenocarp in Dashehari cv. of mango. *Indian Journal of Horticulture*, 40(3/4), 195-198.
- Vega, A. O'Brien, J.A., & Gutiérrez, R.A. (2019). Nitrate and hormonal signaling crosstalk for plant Growth and development. *Plant Biology*, 52, 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.10.001>
- Xin, P., Guo, Q., Li, B., Cheng, S., Yan, J., & Chu, J. (2020). A tailored high-efficiency simple pretreatment method for simultaneous quantification of 10 classes of known endogenous phytohormones. *Plant Communications*, 1(3). <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2020.100047>
- Yin, Z.M., Malinowski, R., Ziolkowska, A., Sommer, H., Plcader, W., & Malepszy, S. (2006). The *DefH9-iaaM*-containing construct efficiently induces parthenocarp in cucumber. *Cell and Molecular Biology Letters*, 11(2), 279-290. <https://doi.org/10.2478/s11658-006-0024-4>