



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**POLINIZACIÓN, ABORTO DE ÓVULO Y EMBRIÓN COMO
POSIBLES CAUSAS DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS
SIN SEMILLA EN MANGO (*Mangifera indica* L.)
'ATAULFO'**

TESIS

**Que como requisito parcial para obtener el grado
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

Presenta:

JOSÉ MANUEL CASTILLO CHUC

Bajo la supervisión de: EDILBERTO AVITIA GARCÍA, DR.

Chapingo, Estado de México, diciembre de 2020



APROBADA



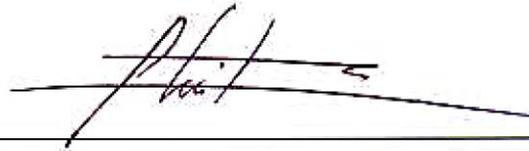
Instituto de Horticultura

POLINIZACIÓN, ABORTO DE ÓVULO Y EMBRIÓN COMO POSIBLES CAUSAS DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS SIN SEMILLA EN MANGO (*Mangifera indica* L.) 'ATAULFO'

Tesis realizada por **JOSÉ MANUEL CASTILLO CHUC** bajo la dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESIDENTE



DR. EDILBERTO AVITIA GARCÍA

CO-DIRECTOR



DRA. MARÍA HILDA PÉREZ BARRAZA

ASESOR



DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
Índice de Figuras	vi
Índice de cuadros.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIA	xi
DATOS BIOGRÁFICOS.....	xii
RESUMEN GENERAL.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN GENERAL	15
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA.....	18
2.1 Producción de mango (nacional e internacional).	18
2.2 Origen, historia y distribución	18
2.3 Taxonomía y descripción botánica.....	19
2.4 Cultivares de mango para México.....	20
2.5 Cultivar Ataulfo. Origen, superficie, producción, exportación, problemática, adaptación.	21
2.6 Expresión sexual en angiospermas	22
2.7 Morfología floral en mango.....	22
2.8 Polinización y fecundación	23
2.9 Uso de feromonas para incrementar la polinización en frutales.....	24
2.10 Embriogénesis	26
2.11 Poliembrionía.....	27
2.10.1 Principales tipos de poliembrionía.....	28
2.10.2 Poliembrionía simple	28
2.10.3 Poliembrionía múltiple	28
2.10.4 Apomixis.....	29
2.10.5 Mecanismos de la apomixis	29
2.10.6 Apomixis esporofítica	30

2.10.7 Apomixis gametofítica	31
2.12 Causas del aborto de óvulos y embriones en angiospermas.....	32
2.13 Aborto de óvulos y embriones en mango ‘Ataulfo’	33
2.14 Literatura Citada	35
CAPÍTULO III. TIPO DE FLORES, ABORTO DE ÓVULO Y EMBRIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS SIN SEMILLA EN MANGO ‘ATAULFO’	43
RESUMEN GENERAL.....	44
ABSTRACT.....	45
3.1 INTRODUCCIÓN.....	46
3.2 Materiales y Métodos.....	48
3.2.1 Localización	48
3.2.2 Material vegetal.....	48
3.2.3 Muestreo de árboles y flores	49
3.2.4 Variables evaluadas.....	49
3.2.5 Análisis de datos	50
3.3 Resultados y Discusión	51
3.3.1 Condiciones climáticas y número de flores por orientación de la inflorescencia	51
3.3.2 Tipo de flores por inflorescencia y relación de flores hermafroditas/masculinas en huertas de mango ‘Ataulfo’	54
3.3.3 Estudio anatómico del aborto de óvulos y embriones	57
3.3.4 Estudio anatómico de la poliembrionía.....	59
3.3.5 Seguimiento del crecimiento de fruto y semilla	63
3.4 Conclusiones.....	65
3.5 Literatura citada	66
CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE LA FEROMONA DE NASONOV SOBRE POLINIZACIÓN Y RENDIMIENTO DE FRUTO EN MANGO (<i>Mangifera indica</i> L.) ‘ATAULFO’.....	70
RESUMEN GENERAL.....	71
ABSTRACT.....	72

4.1 INTRODUCCIÓN.....	73
4.2 Materiales y Métodos.....	75
4.2.1 Localización.....	75
4.2.2 Material Vegetal	75
4.2.3 Tratamiento y diseño experimental.....	75
4.2.4 Variables evaluadas	76
4.2.5 Análisis de datos	76
4.3 Resultados y discusión	77
4.3.1 Amarre inicial de frutos en mango ‘Ataulfo’	77
4.3.2 Tipo de mango en amarre inicial de fruto	77
4.3.3 Número de frutos por orientación de la panícula en amarre inicial de frutos	78
4.3.4 Rendimiento en mango ‘Ataulfo’.....	79
4.3.5 Efecto de la aplicación de feromonas sobre el rendimiento	80
4.3.6 Rendimiento de mangos con semilla y “mango niño”	81
4.3.7 Efecto de la interacción entre feromona y tipo de fruto en árboles de mango ‘Ataulfo’	82
4.4 Conclusiones	85
4.5 Literatura citada	86

Índice de Figuras

Figura 1. Registro de las temperaturas máximas y mínimas diarias de inicio de floración a cosecha durante el año 2020 en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.	52
Figura 2. Número de flores por orientación de la inflorescencia en huertas de alta y baja incidencia de “mango niño” en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.....	53
Figura 3. Cortes longitudinales en embriones normales y abortivos de mango ‘Ataulfo’.	58
Figura 4. Frutos de mango con óvulo abortivo y óvulo normal.	59
Figura 5. Cortes longitudinales de mango ‘Ataulfo’ mostrando varios embriones.	60
Figura 6. Cortes longitudinales de mango ‘Ataulfo’ mostrando embriones en diferentes estadios de desarrollo.	62

Índice de cuadros

Cuadro 1. Orientación, número de flores, porcentaje y relación de flores Hermafroditas/Masculinas (H/M) en dos huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.....	55
Cuadro 2. Crecimiento de frutos de mango 'Ataulfo' en una huerta de la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.....	63
Cuadro 3. Longitud, diámetro de fruto y número de embriones en semilla de frutos de mango 'Ataulfo' en madurez fisiológica cosechados en una huerta de la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.....	64
Cuadro 4. Análisis de varianza para el amarre inicial de frutos en mango 'Ataulfo'.	77
Cuadro 5. Tipo de mango en amarre inicial de fruto en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.....	78
Cuadro 6. Orientación de la inflorescencia y amarre inicial de fruto en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, Tepic, Nayarit, México.	79
Cuadro 7. Valores de los cuadrados medios de los efectos de los factores estudiados en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.	80
Cuadro 8. Efecto de la aplicación de la feromona de Nasonov en dos huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.	81
Cuadro 9. Efecto de la aplicación de la feromona de Nasonov sobre cinco variables evaluadas en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.	82

Cuadro 10. Interacción del tratamiento de la feromona de Nasonov sobre el tipo de mango en dos huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México. 833

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca de estudios de posgrado, que culminan con la obtención de este grado académico.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y en especial al Instituto de Horticultura por brindar todos los conocimientos y medios necesarios para la formación profesional de todos y cada uno de los estudiantes de posgrado.

A la Dra. María Hilda Pérez Barraza por la codirección de esta Tesis, siempre estaré muy agradecido por sus muy amables e invaluable enseñanzas en campo, a su guía profesional y por las atenciones prestadas durante el trabajo de campo en los huertos de mango en el estado de Nayarit.

Al Dr. Edilberto Avitia García, codirector de esta Tesis, por aceptarme para hacer este trabajo, por sus magnas enseñanzas en el laboratorio, por sus constantes comentarios y sugerencias para la redacción de este trabajo, por sus observaciones y revisiones durante todo este proceso y por sus invaluable enseñanzas en Fruticultura.

A la Dra. Ana María Castillo González, por el asesoramiento oportuno desde el principio de esta Tesis, por sus comentarios, sugerencias y aportaciones, por sus grandes enseñanzas en el salón de clases y por hacer un gran equipo conjunto con el Comité Asesor.

A todos los profesores que me dieron clases en la etapa de posgrado, tanto los de Chapingo, como de otras instituciones. Gracias por compartir sus conocimientos, su amor y pasión por la enseñanza, la ciencia, y el desarrollo del campo mexicano.

Agradecimiento especial al doctor Alfonso Larqué Saavedra, por ser quien me auspició a hacer mis estudios de posgrado, por inspirarme a salir de mi zona de confort y mostrarme que los sueños son posibles de cumplir.

Agradecer a todos mis compañeros de generación, por su compañía y por tener el sueño en común de hacer de este mundo un lugar mejor a través de las ciencias agrícolas.

A mis compañeros Octavio, Lalo y Lucía, por ser con quienes pasé más tiempo durante esta etapa del posgrado, gracias por su amistad, por su compañía y por su humor, en verdad hicieron que esta etapa sea más agradable.

A todos los que de alguna manera me ayudaron durante la realización de este trabajo; a Ángela, la técnica de laboratorio; a Miguel Vega, por la ayuda con los cortes anatómicos; al maestro Jorge Valdez por la toma de fotos para la Tesis y a todo el personal administrativo que contribuyeron a hacer realidad el sueño de estudiar un posgrado.

DEDICATORIA

A mis padres:

Darwin Castillo Tzec y Wilma Chuc Escobedo

Ustedes me han guiado, animado, querido y consolado a lo largo de toda mi vida. Los quiero más de lo que se puede expresar con palabras.

DATOS BIOGRÁFICOS

José Manuel Castillo Chuc nació el 18 de marzo de 1994 en el municipio de Dzán, Yucatán, México. Desde la primaria hasta la preparatoria vivió en su municipio. En el año 2012 migra a la ciudad de Mérida Yucatán para realizar sus estudios de Licenciatura en ingeniería en agronomía, del cual egresa en el 2016.

Desde el año 2016, es voluntario de la Sociedad Científica de Dzán, asociación civil sin fines de lucro, que fomenta la orientación vocacional y el liderazgo en niños de 6 a 12 años en el municipio donde José Manuel nació.

Del 2016 al 2018 recibió la beca de ayudante de investigador, en el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY) y realizó investigación en la especie *Brosimum alicastrum* Sw., bajo el asesoramiento del doctor Alfonso Larqué Saavedra, resultando de esa colaboración, la publicación de un capítulo de libro y un artículo científico.

En el 2018, con el sueño de estudiar un posgrado, José Manuel es auspiciado por el doctor Alfonso Larqué, para continuar con sus estudios de maestría en la Universidad Autónoma Chapingo. Ingresa a la Maestría en Ciencias en Horticultura en enero del año 2019.

RESUMEN GENERAL

POLINIZACIÓN, ABORTO DE ÓVULO Y EMBRIÓN COMO POSIBLES CAUSAS DE LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS SIN SEMILLA EN MANGO (*Mangifera indica* L.) 'ATAULFO'

En México se cultivan alrededor de 200 mil ha de mango y uno de los principales estados productores es Nayarit, con 27 mil ha, sobresaliendo el cultivo de mango 'Ataulfo' con 12,500 ha; sin embargo, una de las principales causas de la disminución en el rendimiento de este cultivar es la presencia de frutos sin semilla, conocidos como "mango niño". El objetivo de esta investigación fue determinar los factores que conducen a la falta de semilla en mango 'Ataulfo', para ello se contabilizó el número y tipo de flores, relacionándolo con las temperaturas registradas; también se hicieron muestreos de flores y frutos para observar la situación del óvulo y embriones. En la segunda parte de la investigación se evaluó el efecto de la feromona de Nasonov de las abejas obreras sobre el amarre inicial y rendimiento del fruto. El estudio se realizó de enero de 2019 a mayo de 2020 en huertas ubicadas en Las Palmas, San Blas, Nayarit, México. Los resultados mostraron que el número de flores varía de acuerdo con la posición de la inflorescencia dentro del árbol. En promedio se presentaron más flores hermafroditas que masculinas y la proporción entre ellas fue de 63.32 y 36.68 %, respectivamente. Se observaron óvulos y embriones abortados, relacionados a eventos de bajas temperaturas ($\leq 15^{\circ}\text{C}$). Por otro lado, la huerta tratada con la feromona de Nasonov mostró ser estadísticamente superior respecto a la huerta sin feromona ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas. El peso promedio del fruto con semilla fue de 304.20 a 436.30 g entre la huerta sin feromona a la huerta con feromona, respectivamente. Se concluye que el aborto de óvulo y embrión se atribuye a las bajas temperaturas registradas y que el uso de la feromona aumenta el rendimiento en mango 'Ataulfo'.

Palabras clave: *Mangifera indica* L., "mango niño", tipo de flores, feromona, polinización, rendimiento.

Tesis de Maestría, Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: José Manuel Castillo Chuc
Director: Dr. Edilberto Avitia García

ABSTRACT

POLLINATION, OVULE AND EMBRYO ABORTION AS POSSIBLE CAUSES OF THE SEEDLESS FRUIT PRODUCTION IN 'ATAULFO' (*Mangifera indica* L.) MANGO

Mexico grows around 200 thousand ha of mango. Nayarit is one of the main mango state producers with 27,000 ha, and mango crop 'Ataulfo' stands out the cultivation with 12,500 ha. However, one of the main causes in the yield decrease of this cultivar is the presence of seedless fruits, known as nubbin or "mango niño". The aim of this research was to establish the factors that lead to the seedless fruit in 'Ataulfo' mango. The number and type of flowers were counted and related to the recorded temperatures, also flowers and fruits samples were made to observe the ovule and embryo conditions. In the second part of the study, the effect of the Nasonov pheromone from the worker bee on initial fruit set, pollination and yield was evaluated. The studies were carried out from January 2019 to May 2020 in orchards located in Las Palmas, San Blas, Nayarit, Mexico. The results showed that the number of flowers varies according to the side of the inflorescence within the tree. On average, there were more hermaphrodite flowers than male ones and the ratio between them was 63.32 and 36.68 %, respectively. It was observed ovule and embryo aborted, related to low temperatures ($\leq 15^{\circ}\text{C}$). On the other hand, the orchard treated with the Nasonov pheromone revealed statistically significant differences regarding the no pheromone orchard ($P \leq 0.05$) for all the variables evaluated. The average fruit weight increased from 303.20 to 436.30 g between the orchard with and without pheromone. We conclude that the ovule and embryo abortion is attributed to the low temperatures registered and that the use of pheromone increased the mango crop 'Ataulfo' yield.

Key words: *Mangifera indica* L., "mango niño", type of flowers, pheromone, pollination, yield.

Thesis, Master of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo
Author: José Manuel Castillo Chuc
Advisor: Dr. Edilberto Avitia García

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN GENERAL

Dentro de los frutales tropicales el cultivo de mango (*Mangifera indica* L.) es uno de los más importantes en el ámbito mundial, nacional y estatal. Se produce en 23 estados del país, siendo los principales productores Sinaloa, Chiapas y Nayarit. Al presentar Nayarit mayores rendimientos por hectárea, tiene una mayor importancia con respecto a otros estados productores como Chiapas, Sinaloa y Michoacán (Pérez-Barraza, 2015).

En el estado de Nayarit más del 50% de la superficie cultivada con mango corresponde a 'Ataulfo', un cultivar muy aceptado en el mercado de exportación por su prolongada vida de anaquel; sin embargo, una de las principales complicaciones con este cultivar es la presencia de "mango niño" término que se ha utilizado para referirse a la producción de frutos sin semilla. La presencia de éstos ha ido aumentando en los últimos años, llegando a alcanzar hasta un 90% de la producción. La ausencia de semilla en los frutos afecta considerablemente el tamaño de los mismos, llegando a ser hasta tres veces menor que en los frutos con semilla, lo que ocasiona fuertes pérdidas en la producción (Pérez-Barraza et al., 2007).

En Nayarit se desarrolló un modelo matemático basado en condiciones meteorológicas, que relaciona el desarrollo de la inflorescencia con la producción de frutos sin semilla; sin embargo, la región productora en Nayarit es peculiar en condiciones ambientales, las que contrastan con otras regiones del país, lo cual hace conveniente realizar las validaciones respectivas de este modelo. Paralelamente, uno de los aspectos más estudiados en el estado ha sido el uso de reguladores de crecimiento para incrementar el amarre y el tamaño de los frutos sin semilla, obteniendo resultados positivos (Pérez-Barraza et al., 2009). No obstante, aunque se ha logrado incrementar el crecimiento de los mangos sin semilla a través de la aplicación de reguladores del crecimiento, es indispensable conocer la causa, los factores que lo provocan y la etapa del desarrollo en que sucede.

Este trabajo se aborda en dos etapas. En la primera, se hizo un conteo del número y el tipo de flores por inflorescencia en diferentes orientaciones de los árboles de mango, y su relación con las temperaturas registradas durante la etapa de floración y amarre de fruto, de igual manera se hizo un estudio anatómico de la situación de los óvulos y embriones y su relación con las temperaturas registradas y la producción de “mango niño”. En la segunda etapa del trabajo, en huertas de la misma localidad, se aplicó la feromona de Nasonov de la abeja obrera (*Apis mellifera*) (*Hymenoptera: Apidae*), con el objetivo de evaluar el efecto que tiene sobre el amarre inicial de fruto, el rendimiento y la incidencia de “mango niño”.

2.2 Hipótesis

El número y tipo de flores, el aborto de óvulo y embrión y su relación con temperatura, son posibles factores que llevan a la presencia de frutos sin semilla en mango 'Ataulfo'.

2.3 Objetivo general

Identificar los factores que conducen a la presencia de frutos sin semilla en mango 'Ataulfo'.

2.4 Objetivos particulares

Conocer el número de flores hermafroditas y masculinas y su relación con el clima y la falta de semilla en mango 'Ataulfo'.

Conocer si la presencia de frutos sin semilla en mango 'Ataulfo' se debe a factores climáticos y/o falta de polinización.

Determinar si la falta de semilla en frutos de mango 'Ataulfo' se debe a problemas de aborto de óvulo o aborto de embrión.

Evaluar la feromona de Nasonov como un indicador de la eficiencia de la polinización y de la presencia de frutos sin semilla en mango 'Ataulfo'.

CAPÍTULO II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Producción de mango (nacional e internacional).

El mango (*Mangifera indica* L.) es conocido como el “Rey de las Frutas” debido a su gran demanda y se encuentra entre los cinco frutales más importantes en el mundo (junto con las bananas, cítricos, vid y manzana), alcanzando una producción de cerca de 60 millones de toneladas. Actualmente la India ocupa el primer lugar en la producción de mango, aportando cerca del 34% de la producción, y junto a países asiáticos como China, Tailandia e Indonesia, acaparan más del 70% de la producción mundial (FAOSTAT, 2020).

En México se cultiva una superficie de más de 200 mil hectáreas de mango con una producción de 1.86 millones de toneladas y con un valor de la producción de \$8,453 millones de pesos. Dentro de los principales estados productores de mango para exportación se encuentran Sinaloa, Michoacán, Nayarit, Chiapas, Oaxaca, Jalisco, Guerrero y Colima. Actualmente la exportación de este fruto se basa principalmente en los cultivares Tommy Atkins, Ataulfo, Haden, Kent y Keitt (CONASPROMANGO, 2012). En Nayarit, la superficie establecida supera las 27 mil hectáreas, con una producción mayor a las 322 mil toneladas (SIAP, 2020).

2.2 Origen, historia y distribución

El mango ha sido cultivado desde hace alrededor de 4,000 años en el subcontinente de la India (Mukherjee, 1949; Warschefsky y Wettberg, 2019). Vavilov (1987) indicó que el centro de origen del mango es la región Indo-Birmana; sin embargo, otros autores mencionan que el centro de origen del género *Mangifera* es probablemente la región del sudeste asiático, pero el origen del mango cultivado es la región de Birmania. Actualmente es ampliamente aceptado que el centro de origen del mango es la región noreste de la India, y desde ahí se ha extendido de manera natural a lo largo de millones de años a las áreas vecinas del sureste asiático y hacia las regiones actuales de Malasia y Sumatra (Mukherjee, 1972; Mehrotra et al., 1998; Singh et al., 2016).

La distribución del mango por el hombre fuera de su centro de origen se remonta hasta los siglos IV y V, cuando los monjes budistas llevaron esta especie durante sus viajes hacia el sureste asiático. Pasaron varios siglos para que el mango iniciara su viaje hacia el este, y se dio cuando los comerciantes persas llevaron el árbol al este de África en los siglos IX o X (Mukherjee, 1949). Luego, en el siglo XVI a medida que el comercio mundial continuó creciendo, los portugueses reintrodujeron el mango a África Oriental desde su territorio en Goa. Fueron los portugueses quienes continuaron con el rango de expansión del mango, transportándolo a África occidental y luego a Brasil alrededor del año 1700. Desde Brasil, el mango se extendió por toda la región del Caribe, llegando a Barbados en 1742 y a Jamaica en 1782. En México la introducción del mango tuvo una historia única, pues llegó desde el Caribe y, además, al ser una colonia española, la introducción de mango se dio directamente desde las islas Filipinas, que también estaba bajo el dominio español en ese momento. Finalmente, a principios de 1800 el mango se introdujo a Florida desde Cuba y en la década de 1900 el mango fue parte de intensos programas de mejoramiento en Florida, que produjeron muchos de los cultivares comerciales de mayor importancia en la actualidad, como 'Haden', 'Keitt' 'Tommy Atkins' y 'Kent'; es por eso que Florida es considerado como un centro secundario de domesticación para el mango (Mukherjee, 1949; Knight et al., 2009; Knight y Scnell, 1994).

2.3 Taxonomía y descripción botánica

El mango pertenece al orden Sapindales, familia Anacardiaceae y clase Magnoliopsida. Actualmente se tiene registro de 72 especies del género *Mangifera*, la mayoría de ellos sobreviviendo en los bosques tropicales de Malasia e Indonesia (Singh et al., 2016). El árbol del mango es de porte alto, entre 9 y 35 m de altura, con hojas perennes, una copa simétrica y redondeada que va desde baja y densa hasta vertical y abierta. Las hojas están dispuestas de manera alternada, de forma lanceolada, entre 15 y 40 cm de longitud y de textura coriácea; cuando son jóvenes pueden ser de color rosado, ámbar o verde pálido, que se vuelven de color verde oscuro cuando ya están en la madurez. El mango

presenta una inflorescencia que es una panícula de múltiples ramificaciones que nacen en los brotes terminales, miden de 6.4 a 40.6 cm y pueden tener de 400 a 4,000 flores. Las flores son pequeñas, de color blanco-rosado, con la mayoría de flores estaminadas y el resto son flores perfectas. La polinización la llevan a cabo varios insectos, entre los que principalmente se encuentran trips, moscas y abejas. El fruto de mango se clasifica como una drupa que contiene una sola semilla grande, leñosa, aplanada y con forma de riñón, rodeada de un mesocarpio pulposo, varía en forma (casi redonda, ovalada, ovoide-oblonga), tamaño y color dependiendo de la variedad. La epidermis es lisa y coriácea y el color del fruto puede ser verdoso, amarillo-verdoso, amarillo, rojo, naranja o morado y puede llegar a pesar desde unos pocos gramos hasta más de 2.5 kg (Crane y Campbell, 1994; Bompard, 2009; Kostermans, 2012).

2.4 Cultivares de mango para México

De acuerdo a Mukherjee y Litz (2009), la distribución de mango fuera de su centro de origen se debió principalmente a tres eventos históricos: i) el movimiento de las variedades monoembriónicas indias a lo largo de las rutas de comercio de los portugueses hacia África y Sudamérica; ii) La dispersión de variedades poliembriónicas a través del oceánico pacífico y Sudamérica por los españoles y; iii) la caracterización de variedades mejoradas de mango iniciado en Florida.

En México los principales cultivares de mango son: 'Ataulfo', 'Haden', 'Keitt', 'Kent', 'Manila', 'Tommy Atkins', 'Oro', 'Criollo', 'Petacón', 'Diplomático' y 'Obo'. Por superficie sembrada, el cultivar Ataulfo es el de mayor importancia a nivel nacional (SIAP, 2020).

2.5 Cultivar Ataulfo. Origen, superficie, producción, exportación, problemática, adaptación.

El origen del mango 'Ataulfo' se remonta a la región del Soconusco de Chiapas, México, donde en los años 50's del siglo pasado se encontraron varios árboles de este cultivar en un predio urbano en Tapachula, Chiapas. Si bien no se tienen datos de sus progenitores, se cree que se originó por una mutación o por una hibridación de manera natural (Infante et al., 2011).

Las características deseables que mostró este cultivar hizo que se promovieran las primeras plantaciones comerciales en Chiapas hacia 1965; de tal manera que, a principios de 1970, el mango 'Ataulfo' comenzó a cultivarse más allá de las fronteras de Chiapas debido a la demanda y buen precio, y desde entonces se ha expandido hasta Oaxaca, Michoacán, Guerrero, Nayarit, Sinaloa, Jalisco, Veracruz y Campeche (Gehrke-Vélez et al., 2011).

La superficie sembrada de mango en el país es de 202,631 ha, de los cuales el cultivar Ataulfo ocupa 63,000 ha (31% de la superficie total). La producción de este cultivar para el año 2018 ascendía a 605,963 ton y el valor de la producción fue de 3.27 mil millones de pesos. Por su parte, el mango de exportación alcanzó 422 mil toneladas, siendo los Estados Unidos el principal país al que se exportó. En el estado de Nayarit, al año 2020, la superficie sembrada de mango 'Ataulfo' fue de 12,593 ha, con un rendimiento promedio de 9.67 ton ha⁻¹, una producción de 133,655 toneladas y un valor de la producción de 516 millones 400 mil pesos. (SIAP, 2020).

Sin embargo, a pesar de que el mango 'Ataulfo' rendía hasta 15 ton ha⁻¹ en los 80's, una de las problemáticas que se fue presentando desde aquellos años, fue la incidencia de "mango niño", que son frutos pequeños de semilla atrofiada, con una hendidura en la parte distal y que carece de valor comercial, causando una disminución de hasta el 90% de la producción en estados como Nayarit y Chiapas (Pérez-Barraza et al., 2007; Gehrke-Vélez, 2008; Infante et al., 2011; Pérez-Quintanilla et al., 1998).

2.6 Expresión sexual en angiospermas

La reproducción sexual en las plantas angiospermas es un proceso que implica divisiones meióticas de células masculinas y femeninas para formar gametos haploides (n) y la recombinación de cromosomas y restauración del número diploide a través de la fusión de los gametos. En las angiospermas esto involucra la polinización, en la cual el polen o el gametofito masculino aterriza en la superficie femenina receptiva, usualmente el estigma. Finalmente, tiene lugar un proceso llamado doble fecundación, en el cual uno de los espermias masculinos se fusiona con la ovocélula para formar el cigoto y el otro esperma se fusiona con los dos gametos femeninos para formar el nuclear primario del endospermo (Trigiano et al., 2008).

2.7 Morfología floral en mango

La inflorescencia en mango es básicamente terminal, aunque las panículas axilares y múltiples también pueden presentarse con frecuencia. El número total de flores en una panícula puede variar de 400 a 6,000 dependiendo de la variedad. El amarre inicial del fruto depende del porcentaje de flores perfectas, pero el amarre final no depende de estas (Iyer et al., 1989).

La inflorescencia es rígida y erecta, de más de 30 cm de longitud y es ampliamente ramificada; muy densamente poblada de pequeñas flores de 5 a 10 mm de diámetro. Las flores son masculinas o hermafroditas y se encuentran dentro de la misma panícula, en las flores masculinas los pistilos abortan. La proporción de flores masculinas y femeninas está fuertemente influenciada por factores culturales y ambientales. Las flores tienen cuatro o cinco sépalos y pétalos que son de forma ovada a lanceolada y ligeramente pubescentes. El disco floral tiene de cuatro a cinco lóbulos, succulentos y largos, ubicados sobre la base de los pétalos. Hay cinco estambres largos y engrosados, de los cuales uno o dos son fértiles; los estambres remanentes son estaminodios estériles que están superadas por una glándula pequeña. Además, dos o tres filamentos pequeños surgen de los lóbulos de los nectarios. El óvulo es anátropo (Mukherjee y Litz, 2009).

2.8 Polinización y fecundación

En el mango, los eventos de floración y polinización son importantes para que ocurra el desarrollo del fruto (Ramírez y Davenport, 2010). Se sabe que la polinización tiene un efecto que controla el amarre de fruto (Jutamanee et al., 2002); de tal manera que la polinización en mango es un proceso complejo fisiológico en donde el polen entra en contacto con la superficie del estigma y baja a través del estilo, en donde en una serie de pasos llevan a cabo la fusión de la célula generativa con la ovocélula (Ramírez y Davenport, 2016). El polen permanece viable con temperaturas cálidas; sin embargo, se ha reportado que temperaturas frías o muy calurosas pueden afectar negativamente el desarrollo del polen y crecimiento del tubo polínico (Pérez-Barraza et al., 2019).

La polinización en mango inicia durante el contacto del polen con la superficie estigmática del pistilo de la flor hermafrodita, el estilo tiene una pequeña ranura que funciona como una superficie receptiva para los granos de polen (Ramírez y Davenport, 2016; Ding y Darduri, 2013). La adhesión de los granos de polen varía entre cultivares, entre 13 y 20 granos en la superficie del estigma (Dutta et al., 2013). La receptividad del estigma por su parte inicia alrededor de 18 horas antes de anthesis y continúa hasta 72 horas después de ésta, con una máxima receptividad durante las primeras 6 horas desde la anthesis (Pimentel et al., 1984).

Después de que el polen se ha depositado sobre el estigma, el siguiente paso en el proceso de polinización es la germinación del tubo polínico. Una vez que ha ocurrido la germinación, los dos núcleos generativos y el núcleo vegetativo contenidos en el grano de polen se desplazan a través del estilo hasta el micrópilo (Ramírez y Davenport, 2016). La germinación del grano de polen varía dependiendo de la temperatura ambiental. Por ejemplo, para mango 'Ataulfo' se ha reportado que tiene una tasa máxima de germinación y crecimiento de 1.5 a 12 horas después de la adhesión del polen y alcanza el saco embrionario en promedio de 48 a 56 h después de la adhesión (Gehrke-Vélez et al., 2011; 2012). Ya en el interior del óvulo, el tubo polínico se desplaza hacia el saco embrionario y libera las células espermáticas. El saco embrionario está compuesto de siete

células: la ovocélula, un par de sinérgidas, tres antípodas y una célula central con dos núcleos polares. El núcleo espermático se fusiona con el aparato huevo en el proceso de fecundación, alrededor de 72 horas después de la polinización en la variedad Tainong 1 (Huang et al., 2010). En el proceso de fecundación, una de las células espermáticas atraviesa una sinérgida para fecundar a la ovocélula que dará lugar al cigoto ($2n$). La otra célula espermática se une con la célula central que contiene los dos núcleos polares y que dará lugar al endospermo ($3n$). A partir de aquí, se produce una serie de divisiones celulares en el interior del saco embrionario y destaca la división de células del cigoto y el núcleo primario del endospermo que darán paso posteriormente al embrión y al endospermo, respectivamente (Drews y Yadegari, 2002; Ingram, 2010).

2.9 Uso de feromonas para incrementar la polinización en frutales

La polinización en mango ocurre de manera natural gracias a los insectos de los órdenes Díptera, Coleóptera, Lepidóptera e Himenóptera (Valmayor, 1962; Nayak et al., 2020). Se han hecho diversos estudios alrededor del mundo en los que se reportan que los insectos visitantes son polinizadores importantes en el cultivo de mango (Ramírez y Davenport, 2016). Entre los polinizadores del mango se incluye a la abeja melífera, la cual se ha demostrado que incrementa el rendimiento a través de la producción de un mayor número de frutos y semillas más grandes (Sasaki et al., 1998). En otro estudio realizado en el Valle del Submédio, en San Francisco, Brasil, se llegó a la conclusión de que las abejas melíferas son consideradas las principales polinizadoras de mango en esa región (Siqueira et al., 2008).

Por otra parte, para que la polinización sea más efectiva en los frutales, es necesario atraer a las abejas a los cultivos de interés y que no se vayan hacia otros tipos de flores que puedan resultar más atractivas. Una manera de lograr esto podría ser incrementado la eficiencia de la polinización dentro del cultivo de interés, atrayendo a las abejas y que, además, permanezcan más tiempo en el huerto a través del uso de atrayentes (Williamson et al., 2018).

El término feromona fue propuesto por Karlson y Butenandt (1959) para describir a todos los compuestos químicos que posibilitan a los animales miembros de la misma especie comunicarse entre sí. En este trabajo se limita solamente a la feromona Nasonov de la abeja melífera. El término feromona tiene su origen en la raíz griega “pherein” (llevar), y “horman” (excitar, estimular). Estos mismos autores mencionan que estas sustancias se deben secretar externamente y, además, debe causar una reacción específica en un individuo de la misma especie.

Actualmente se conocen diversas feromonas que los insectos utilizan para fines específicos como las feromonas sexuales, de alarma, de agregación, alimentación, entre otras. En esta revisión únicamente interesa la feromona de Nasonov, que las abejas melíferas utilizan para “marcar” lugares importantes para ellas, como la entrada a su colmena o alguna fuente importante de alimento para forrajear. Más información sobre feromonas se puede encontrar en trabajos hechos por diversos autores (Regnier y Law, 1968; Shorey, 1973; Ali y Morgan, 1990; Slessor et al., 2005).

Como las abejas son importantes para la polinización, se ha hecho el uso de feromonas sintéticas de la glándula de Nasonov para atraerlas a los cultivos que requieran polinización. La glándula de Nasonov de la abeja melífera se encuentra oculta en el séptimo tergito abdominal dorsal que, al exponerse, libera una feromona volátil que atrae a otras abejas obreras. Estos insectos liberan esta feromona para marcar la entrada de su colmena, cuando forrajean en un campo de flores, cuando encuentran una fuente de agua o cuando encuentran una fuente de alimentos artificiales, como un plato con agua azucarada. Los componentes de esta secreción consisten en siete terpenoides, de los cuales los tres más importantes, por atraer a las abejas, son el ácido geránico, geraniol, y (E)-citral (Pickett, Williams et al., 1980).

Trabajos hechos con la aplicación de geraniol y citral demostraron un aumento en la presencia de insectos polinizadores en cebolla (*Allium cepa*) y en alfalfa

(*Medicago sativa*) (Woyke, 1980; Gordon, 1970) y aumentaron el rendimiento en manzano (*malus domestica*) (Ohe y Praagh, 1983).

En otros estudios hechos en cítricos por Malerbo et al. (2004), encontraron que las abejas se sienten más atraídas en los huertos tratados con los principales compuestos de la feromona de Nasonov; sin embargo, mencionan que el efecto de este producto dura aproximadamente cuatro horas y que incluso los resultados de las aplicaciones variaron a través de los años, debido posiblemente a las diferentes condiciones climáticas presentadas. En otro trabajo más reciente, Williamson et al. (2018) reportan que el uso de la feromona de Nasonov comercial, no aumentó el rendimiento ni la cantidad de insectos polinizadores en manzano (*Malus pumila* Mill.), arándano (*Vaccinium* sp. L.) y cerezo (*Prunus cerasus* L.).

2.10 Embriogénesis

El paso siguiente después de la fecundación es el desarrollo embrionario y en plantas con semilla tiene dos fases: el desarrollo embrionario o morfogénesis, y la maduración (Dodeman et al., 1997; Braybrook y Harada, 2008). En la morfogénesis se desarrolla la estructura vegetal: polaridad raíz-tallo, ápices radical y caulinar, vascularización, órganos y tejidos. En la fase de maduración se detiene la morfogénesis y aumenta el crecimiento celular, se acumulan compuestos de reserva, algunas especies adquieren la tolerancia a la deshidratación, se inhibe la germinación precoz y finalmente, en algunas especies aparece la latencia vinculada a la desecación de la semilla.

Durante el desarrollo del embrión se definen algunos patrones típicos y se han clasificado en varios estados o etapas que son: globular, corazón, torpedo y cotiledonar (Souter y Lindsey, 2000). En estudios hechos con la planta modelo *Arabidopsis thaliana*, se observa el embrión en estado globular como esférico y unido a través del suspensor a los tejidos maternos. Cuando aparecen los cotiledones, el embrión tiene forma de corazón y luego la expansión longitudinal de los cotiledones y del hipocótilo genera la forma de torpedo. La transición al

estado cotiledonar coincide con la iniciación del ápice radical, que es seguida por la aparición del primordio apical. Aquí se establece el patrón de crecimiento característico de la planta y se forman los tejidos responsables del desarrollo posterior, con lo cual termina la morfogénesis. Los estadios: globular, corazón, torpedo y cotiledonar, son los utilizados normalmente para describir la embriogénesis en angiospermas (Mordhorst et al., 1998; Braybrook y Harada, 2008).

2.11 Poliembrionía

Como ya se ha mencionado, las angiospermas muestran el fenómeno único de la doble fecundación. La ovocélula, después de la fecundación, desarrolla en un embrión, que es alimentado en las etapas jóvenes por el suspensor y en etapas tardías por el endospermo (tejido que se origina después de la fecundación de los núcleos polares). Aparte de la ovocélula, existen otros componentes celulares del saco embrionario que, con o sin fecundación, producen embriones; además, la actividad de una o más células del óvulo fuera del saco embrionario también conduce al desarrollo de embriones accesorios. Estos embriones son asexuales, por lo tanto, además del embrión cigótico, pueden desarrollarse embriones asexuales en la misma semilla. A tal condición se le conoce como “poliembrionía” (Lakshmanan y Ambegaokar, 1984).

La ocurrencia de este fenómeno fue reportada por Leeuwenhoek en 1719 en semillas de naranja; sin embargo, fue Strasburger (1878) quien demostró por primera vez la naturaleza de la poliembrionía en los géneros *Citrus*, *Coelobogyne*, *Funkia* y *Nothoscordum*.

El término poliembrionía ha sido definido de varias maneras por diversos autores a lo largo del tiempo: “La formación de embriones múltiples en una semilla” (Schnarf, 1929); “La producción de dos o más embriones dentro de un óvulo” (Webber, 1940); “La aparición de más de un embrión en una semilla” (Maheshwari, 1950); y por último tenemos “... en todos los casos en los que hay claros indicios de la ocurrencia potencial o real de dos o más proembriones o

embriones en una sola semilla, independientemente de la cuestión de si finalmente pueden dar lugar a plántulas viables” (Bouman y Boesewinkel, 1969).

2.10.1 Principales tipos de poliembrionía

De acuerdo con las diferentes clasificaciones de la poliembrionía, se observa que los criterios principales para la clasificación incluyen el origen de las células iniciales, tipo de formación de los embriones y sus características genéticas. Basado en estos criterios, la poliembrionía se divide en dos tipos principales: simple y múltiple, dependiendo de la presencia de uno o más sacos embrionarios dentro del mismo óvulo, y por su naturaleza la poliembrionía puede ser sexual o asexual [apomixis] (Lakshmanan y Ambegaokar, 1984).

2.10.2 Poliembrionía simple

Por su naturaleza, la poliembrionía puede ser sexual o asexual, dependiendo si los embriones se desarrollan a partir de la presencia o ausencia de la fecundación. Ejemplos de poliembrionía sexual son los embriones que se originan a partir de la ovocélula. Los embriones asexuales se desarrollan dentro del saco embrionario sin que ocurra la fecundación. Si los embriones se desarrollan a partir de las células del tejido nucelar e integumentario, sin la interpolación de la fase gametofítica, se dice que la poliembrionía es “adventicia” o “esporofítica”.

La falla de la meiosis en la célula madre de la megaspóra o el desarrollo de un saco embrionario en un tejido esporofítico (nucelar o integumentario), resulta en un gametofito diploide asexual; luego la ovocélula y sinérgidas pueden producir embriones diploides. Los embriones haploides se desarrollan por partenogénesis a partir de la ovocélula.

2.10.3 Poliembrionía múltiple

En la poliembrionía múltiple, los embriones accesorios son producidos a partir de dos o más sacos embrionarios dentro del mismo óvulo. Aquí el desarrollo del embrión en cada saco embrionario coincide con el descrito para la poliembrionía

simple; en ese sentido, se pueden desarrollar múltiples gametofitos en un óvulo si, durante la ontogenia, dos o más óvulos (un saco embrionario en cada óvulo), debido a la demanda espacial y antes o después de la diferenciación de los integumentos, se fusionan y funcionan como un óvulo simple; la fusión o división de dos o más nucelas con integumentos comunes, y un saco embrionario por cada nucela, llevan a la formación de múltiples sacos embrionarios. La fecundación de una ovocélula en un saco embrionario induce el desarrollo partenogenético de la ovocélula en otro saco embrionario.

En múltiples sacos embrionarios dentro de un óvulo en donde la ovocélula (diploide) del saco embrionario no reducido puede desarrollar partenogenéticamente, la ovocélula (haploide) del saco embrionario reducido puede desarrollar después de la fertilización formando un “gemelo” diploide-diploide.

2.10.4 Apomixis

La apomixis se registra actualmente en alrededor de 400 familias de angiospermas (Carman, 1997). Este término fue propuesto por Winkler (1908), que lo definió como “la sustitución de la reproducción sexual por otro proceso asexual”. Este término tenía un uso muy amplio e incluía diferentes tipos de reproducción asexual (reproducción vegetativa). Actualmente el término apomixis tiene varias definiciones como “la formación de semillas sin la fecundación de un óvulo por una célula espermática” (Asker y Jerling, 1992); “la producción de embriones en ausencia de fusión sexual entre gametos” (Sánchez et al., 2006); y “la formación asexual de una semilla a partir de los tejidos maternos del óvulo, en ausencia de meiosis y fecundación, que lleva al desarrollo del embrión” (Bicknell y Koltunov, 2004). El término apomixis se acepta también como un sinónimo del término agamosperma.

2.10.5 Mecanismos de la apomixis

Los mecanismos conocidos de apomixis están subdivididos en dos agrupaciones primarias (apomixis gametofítica y esporofítica), basado en el tejido involucrado

en la formación del embrión clonal. En el caso de apomixis tipo gametofítica, está subdividida a su vez, basados en el tipo de célula que da origen al saco embrionario en *Aposporia* y *Diplosporia*. Desde el punto de vista hortícola, la apomixis esporofítica es más importante, ya que predomina en diversas especies frutícolas correspondientes a los géneros *Citrus* (diversas especies), *Fortunella* (naranjilla), *Poncirus* (naranja trifoliado), *Mangifera* (mango), *Garcinia* (mangostán), *Ribes* (groselleros), *Malpighia* (acerola) y *Eugenia* o *Syzygium* (pitanga, pomarrosa, etc.) (Naumova, 1993; Crane, 2001).

2.10.6 Apomixis esporofítica

En la apomixis esporofítica o embrionía adventicia, la formación de embriones somáticos surge a partir de tejidos ovulares externos al saco embrionario, como la nucela (embrionía nucelar) o los tegumentos (embrionía tegumentaria). La poliembrionía consiste en la formación y desarrollo de más de un embrión dentro de la semilla, siendo la típica la embrionía adventicia. Los embriones adventicios se originan a partir de células iniciales o embriocitos; los cuales se caracterizan por ser células relativamente grandes, con un núcleo grande de forma irregular que presenta una envoltura nuclear con poros grandes y numerosos, la pared celular es gruesa, el citoplasma es denso y contiene abundantes mitocondrias y plastidios con gránulos de almidón. Los embriones nucelares generalmente migran hacia el saco embrionario; de tal manera que dentro de éste se ubican un embrión cigótico y uno o más embriones asexuales. No obstante, en ciertas especies como *Citrus* y *Mangifera* puede degenerar el embrión cigótico y continúan el desarrollo únicamente los embriones adventicios (Naumova, 1993; Naumova y Vielle-Calzada, 2001). Frecuentemente la polinización y fecundación son necesarias, ya que la primera puede actuar como un estímulo para la formación de los embriones asexuales y la fecundación de la célula central es necesaria para el desarrollo del endospermo que nutre a todos los embriones, independientemente de su origen. Sin embargo, es importante aclarar que en algunas especies puede ocurrir un desarrollo autónomo del endospermo (Richards, 1986; Crane, 2001; Grossniklaus, 2001; Bicknell y Catanach, 2015).

En *Citrus* y en muchos otros géneros que muestran embrionía adventicia, al parecer ésta sólo ocurre en presencia de la reproducción sexual normal. La polinización es seguida por la doble fecundación de un saco embrionario reducido e inician su desarrollo el embrión y el endospermo. El estímulo del embrión sexual en desarrollo resulta en el crecimiento posterior de embriones asexuales en la nucela, y la polinización por sí misma también parece actuar como un estímulo (Richards, 1986).

Por último, en mango y cítricos la embrionía adventicia interfiere con la producción de híbridos. En los cítricos, algunos cultivares producen casi exclusivamente plantas nucelares, lo cual indica que el embrión sexual, si es que se formó, estuvo obstaculizado o fue demasiado débil para sobrevivir. Dichos cultivares originarán progenies iguales a sus progenitores, lo cual podría tener algunas ventajas para la obtención de portainjertos, pero desventajas para un mejorador (Cameron y Soost, 1987).

2.10.7 Apomixis gametofítica

Este tipo de apomixis involucra al menos dos procesos que comprenden la producción de un megagametofito (saco embrionario) haploide a través del camino normal de megasporogénesis y megagametogénesis, o un saco embrionario diploide a través de procesos como la *diplosporia mitótica*, en donde ocurre una mitosis en lugar de meiosis; *diplosporia meiótica*, en cuyo caso el megagametofito se forma a partir de un ciclo meiótico aberrante que evita la reducción y recombinación; o *aposporia somática*, en el cual las células esporofíticas de la nucela dan origen a un megagametofito no reducido. La división autónoma de la ovocélula u otras células del saco (sinérgidas, antípodas o núcleos polares) generan embriones viables sin fecundación; sin embargo, la mayoría de las especies aposporas son pseudógamas; esto es que requieren de la fecundación de los núcleos polares para el desarrollo del endospermo. Si el embrión se forma a partir de la ovocélula diploide se le conoce como *partenogénesis diploide*; mientras que si se origina a partir de otra célula del saco se le llama *apogametía diploide*. En ambos casos se forman embriones diploides

que originan plantas fértiles y por lo tanto se le conoce como *apomixis recurrente* a dicho proceso. También pueden formarse embriones a partir de un saco embrionario reducido, que al originarse a partir de la ovocélula se le conoce como *partenogénesis haploide*; mientras que al formarse a partir de otra célula del megagametofito, diferente a la ovocélula, se le conoce como *apogametía haploide*. Como en ambos casos se producen embriones haploides que dan origen a plantas estériles, el ciclo de vida de la planta se ve truncado y por lo tanto se le conoce como *apomixis no recurrente*. La presencia de apomixis gametofítica es rara en las especies frutícolas; sin embargo, la partenogénesis se ha reportado en *Malus*; la aposporia en *Malus*, *Pyrus*, *Rubus*, *Crataegus* y *Potentilla*; y la diplosporia meiótica en *Rubus* (Naumova, 1993; Crane, 2001; Naumova y Vielle-Calzada, 2001; Grossniklaus, 2001).

2.12 Causas del aborto de óvulos y embriones en angiospermas

El aborto de frutos fue notado por primera vez por Darwin en 1878. Ahora es ampliamente aceptado que la mayoría de las plantas angiospermas producen más óvulos que semillas y más flores que frutos, de tal manera que el aborto de óvulos y semillas es un fenómeno común (Stephenson y Winsor, 1986; Wiens, 1984; Kärkkäinen et al., 1999).

La proporción de flores que desarrollan hasta frutos maduros varía considerablemente entre especies y va desde menos del 1 % hasta el 100% (Stephenson y Winsor, 1986; Bawa y Webb, 1984). De igual manera, Losada y Herrero (2013) mencionan que las primeras etapas del desarrollo del fruto son importantes en el número de frutos que finalmente llegan a amarrar. Varios autores han propuesto diversas hipótesis para explicar el aborto de óvulos y semillas en angiospermas. Entre las causas principales se mencionan: calidad de flor, que es el momento de apertura respecto al resto de las flores (Stephenson, et al., 1988), posición de las flores respecto a la inflorescencia (Guitian, 1994), el contenido de carbohidratos y nivel de nutrientes en el aparato reproductivo (Rodrigo y Herrero, 1998; Alcaraz et al., 2013). Además de lo mencionado, otras causas descritas para explicar el aborto de óvulos y semillas

son la adaptabilidad varietal, incompatibilidad floral, partenocarpia y estenospermocarpia (Sanzol y Herrero, 2007; Pérez-Barraza et al., 2009), depresión endogámica (Stephenson y Winsor, 1986), estrés debido a variaciones de temperatura (Thakur et al., 2010) o cambios en el balance hormonal de la planta (Bangerth, 2000).

2.13 Aborto de óvulos y embriones en mango ‘Ataulfo’

En mango se ha reportado un mecanismo de autorregulación que consiste en una alta abscisión de flores y frutos, que lleva a un bajo amarre de frutos (Singh, 1954; Bangerth, 2000). Las causas no han sido descritas claramente, a pesar de que varios investigadores han mencionado que puede deberse a factores abióticos como altas o bajas temperaturas durante las etapas de antesis, diferenciación floral y amarre de fruto (Shu y Sheen, 1987; Sukhvidul et al., 1999; Huang et al., 2010).

El aborto de óvulo y embriones en mango ‘Ataulfo’ lleva a un fenómeno conocido como “mango niño” que se describen como frutos estenospermocárpicos que son productos de una atrofia embrionaria (Lim et al., 1996; Pérez-Barraza et al., 2007). En trabajos hechos en Chiapas por Gehrke-Vélez et al. (2012) en mango ‘Ataulfo’, señalan que la autofecundación da como resultado una aparente formación de fruto, pero luego resultan en la formación de frutos atrofiados que después abortan de la planta, o permanecen en ella hasta alcanzar la madurez. Esto parece ser el resultado de una autoincompatibilidad a nivel poscigótico combinado con condiciones climáticas adversas, sin embargo, se requiere más investigación para confirmar esta hipótesis. El mismo autor, en un trabajo posterior, señala que el cultivar Ataulfo es autoincompatible, y es debido a eso que existe una gran presencia de “mango niño” en la región del Soconusco en Chiapas, toda vez que encontró una baja germinación de semillas provenientes de flores autopolinizadas; también menciona que la producción de frutos con semillas y óvulos abortivos es debido a la depresión endogámica producto de un aumento del monocultivo de este cultivar, que ha eliminado paulatinamente a

otros cultivares de mango que pudieran ser donadoras de polen en la región del Soconusco chiapaneco.

También se han estudiado los niveles nutrimentales de boro con el fin de determinar su rol en el desarrollo de frutos sin semilla, y se ha encontrado en el cultivar Ataulfo una reducción de 40.7 a 22.6% de incidencia de “mango niño” con la aplicación al suelo de 50 g de este elemento (Hernández et al., 2015). En otro estudio, la aplicación exógena de reguladores de crecimiento en frutos partenocárpicos de mango ‘Ataulfo’, incrementó el tamaño y el número de frutos que llegaban hasta cosecha, posiblemente por la adición de citocininas y giberelinas que, al ser las causantes de la división y elongación celular, hicieron que los frutos aumenten en tamaño y permanezcan en el árbol hasta el momento de la cosecha (Pérez-Barraza et al., 2009).

Por otro lado, estudios hechos por Pérez-Barraza et al. (2019) en mango ‘Ataulfo’ en el estado de Nayarit, señalan que temperaturas por debajo de 15 °C o por encima de 35 °C durante el desarrollo de la inflorescencia, ocasionaron daños tanto a la floración como a la fecundación y desarrollo del fruto, causando un aumento en la producción de “mango niño”.

Por último, no existen estudios moleculares que indiquen cuál es el gen o los genes involucrados en el aborto de óvulo y semilla en mango ‘Ataulfo’; sin embargo, se han reportado estudios moleculares hechos en los mangos ‘Jinhuang’, ‘Ewais’, ‘Sedeq’ y ‘Zebda’, en los cuales el nivel de expresión del gen MaMADS es bajo en embriones abortivos, comparado con los normales, por lo que los autores sugieren que este gen posiblemente tiene un papel importante en el desarrollo del embrión (He et al., 2012; Abdel et al., 2017).

2.14 Literatura Citada

- Abdel S, M., Ibrahim, A. M., Ashmawy, N. A., and Shams, E. (2017). A Study on Normal and Nubbin Productivity of Some Mango Trees in Relation to Quantification of Expressed Gene Levels. *Journal of Plant Production*, 8(8), 805-811.
- Alcaraz, M. L., Hormaza, J. I., and Rodrigo, J. (2013). Pistil starch reserves at anthesis correlate with final flower fate in avocado (*Persea americana*). *PLoS One*, 8(10), e78467.
- Ali, M. F., and Morgan, E. D. (1990). Chemical communication in insect communities: a guide to insect pheromones with special emphasis on social insects. *Biological Reviews*, 65(3), 227-247, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1990.tb01425.x>
- Asker, S.E. and Jerling, L. (1992). Apomixis in plants. Boca Raton: CRC Press, doi:10.1017/S0014479700023954
- Bangerth, F. (2000). Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. *Plant Growth Regulation*, 31(1-2), 43-59, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006398513703>
- Bawa, K. S., and Webb, C. J. (1984). Flower, fruit and seed abortion in tropical forest trees: implications for the evolution of paternal and maternal reproductive patterns. *American Journal of Botany*, 71(5), 736-751, doi: 10.2307/2443371
- Bicknell R., Catanach A. (2015) Apomixis: The Asexual Formation of Seed. In: Li XQ., Donnelly D., Jensen T. (eds) *Somatic Genome Manipulation*. (147-167). NY: Springer, New York, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2389-2_7
- Bicknell, R. A., and Koltunow, A. M. (2004). Understanding apomixis: recent advances and remaining conundrums. *The Plant Cell*, 16(1), 228-245, doi: 10.1105/tpc.017921
- Bompard, J. M. (2009). Taxonomy and systematics. In: Litz RE, (ed). *The mango: botany, production and uses*. (19-41) Wallingford, UK: CAB International.
- Bouman, F., and Boesewinkel, F. D. (1969). On a case of polyembryony in *Pterocarya fraxinifolia* (*Juglandaceae*) and on polyembryony in general. *Acta Botanica Neerlandica*, 18(1), 50-57, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1969.tb00569.x>
- Braybrook, S. A., and Harada, J. J. (2008). LECs go crazy in embryo development. *Trends in Plant Science*, 13(12), 624-630, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.09.008>
- Cameron, J. W. y Soost, R. K. (1987). Cítricos. In: Ferwerda, F. P. y Wit, F. (eds). *Genotecnia de Cultivos Tropicales Perennes*. (156-191). Traducido por Mosqueda. México, D. F. V. R. A. G. T. Editor, S. A.

- Carman, J. G. (1997). Asynchronous expression of duplicate genes in angiosperms may cause apomixis, bispority, tetraspority, and polyembryony. *Biological Journal of the Linnean Society*, 61(1), 51-94, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1997.tb01778.x>
- CONASPROMANGO (Consejo Nacional del Sistema Producto Mango). (2012). Plan Rector Nacional de Sistema Producto Mango. Comité Nacional Sistema Producto Mango. Tecomán, Colima, México.
- Crane Ch, F. (2001). Classification of Apomictic Mechanisms. In: Savidan, Y.; Carman, J. G.; Dresselhaus, T. (eds.). (24-43). *The Flowering of Apomixis. From Mechanisms to Genetic Engineering*. CIMMYT, México, D.F. European Union and Institut de recherche pour le développement.
- Crane, J. H., and Campbell, C. W. (1994). The mango. Hoja de datos del Departamento de Ciencias Hortícolas, Universidad de Florida, EE.UU.
- Ding, P., and Darduri, K. B. (2013). Morphology of Chok Anan mango flower grown in Malaysia. *African Journal of Agricultural Research*, 8(18), 1877-1880, doi: <https://doi.org/10.5897/AJAR11.059>
- Dodeman, V. L., Ducreux, G., and Kreis, M. (1997). Zygotic embryogenesis versus somatic embryogenesis. *Journal of Experimental Botany*, 48(8), 1493-1509, doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/48.8.1493>
- Drews, G. N., and Yadegari, R. (2002). Development and function of the angiosperm female gametophyte. *Annual Review of Genetics*, 36(1), 99-124, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.genet.36.040102.131941>
- Dutta, S. K., Srivastav, M., Chaudhary, R., Lal, K., Patil, P., Singh, S. K., and Singh, A. K. (2013). Low temperature storage of mango (*Mangifera indica* L.) pollen. *Scientia Horticulturae*, 161, 193-197, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.022>
- FAOSTAT. (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 08 de junio 2020 en <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- Gehrke-Vélez, M. R. (2008). Reflexiones sobre problemas de biología reproductiva del mango 'Ataulfo' en el Soconusco, *Chiapas Tecnología en Marcha*, 21, 174-183, consultado en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1350/1252
- Gehrke-Vélez, M., Castillo V, A., Ruiz B, C., Moreno M, J. L., & Moreno B, G. (2012). Delayed self-incompatibility causes morphological alterations and crop reduction in 'Ataulfo' mango (*Mangifera indica* L.). *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 40(4), 215-227, doi: 10.1080/01140671.2011.632423
- Gehrke-Vélez, Malc R., Castillo V, A., Ruiz B, C., y Moreno M, J. L. (2011). Viabilidad y germinación del polen en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo, *Interciencia*, 36(5), 378-385, consultado en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33918012009.pdf>

- Gordon D., W. (1970). Attracting Honeybees to Alfalfa with Citral, Geraniol and Anise, *Journal of Apicultural Research*, 9:1, 9-12, doi: <https://doi.org/10.1080/00218839.1970.11100238>
- Grossniklaus, U. (2001). From Sexuality to Apomixis: Molecular and Genetic Approaches. In: Savidan, Y.; Carman, J. G.; Dresselhaus, T. (eds.). *The Flowering of Apomixis. From Mechanisms to Genetic Engineering*. (168-211). México, D. F.: CIMMYT European Union and Institut de recherche pour le développement.
- Guitian, J. (1994). Selective fruit abortion in *Prunus mahaleb* (Rosaceae). *American Journal of Botany*, 81(12), 1555-1558, doi: <https://doi.org/10.2307/2445332>
- He, J. H., Ma, F. W., Chen, Y. Y., and 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, doi: <http://dx.doi.org/10.4238/2012.November.14.4>
- Hernández M, J. A., Castillo G, A. M., Pérez B, M. H., Avitia G, E., Trejo T, L. I., Osuna G, J. A., y García M, R. (2015). Fertilización con boro y su relación con la producción de frutos sin semilla en mango 'Ataulfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(8), 1757-1768, consultado en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n8/2007-0934-remexca-6-08-01757.pdf>
- Huang, J. H., Ma, W. H., Liang, G. L., Zhang, L. Y., Wang, W. X., Cai, Z. J., and Wen, S. X. (2010). Effects of low temperatures on sexual reproduction of 'Tainong 1' mango (*Mangifera indica*). *Scientia Horticulturae*, 126(2), 109-119, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.017>
- Infante, F., Quilantán, J., Rocha, F., Esquinca, H., Castillo, A., Ibarra N, G. y Palacio, V. (2011). Mango 'Ataulfo': Orgullo chiapaneco. CONABIO. *Biodiversitas*, 96:1-5, doi: 10.13140/RG.2.1.4498.5764
- Ingram, G. C. (2010). Family life at close quarters: communication and constraint in angiosperm seed development. *Protoplasma*, 247(3-4), 195-214, doi: <https://doi.org/10.1007/s00709-010-0184-y>
- Iyer C, P. A., Subbaiah, M. C, Subramanyam, M. D., Rao, G. S. P. (1989). Screening of germplasm and correlation among certain characters in mango. *Acta Horticulturae*. 231:83-88.
- Jutamanee, K., Eomkham, S., Pichakum, A., Krisanapook, K., Phavaphutanon, L. (2002). Effects of Calcium, Boron and sorbitol on pollination and fruit set in mango cv. Namdokmai. *Acta Horticulturae*. 575, 829-834, doi: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.575.98>
- Kärkkäinen, K., Savolainen, O., and Koski, V. (1999). Why do plants abort so many developing seeds: bad offspring or bad maternal genotypes? *Evolutionary Ecology*, 13(3), 305-317, doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006746900736>

- Karlson, P., and Butenandt, A. (1959). Pheromones (ectohormones) in insects. *Annual Review of Entomology*, 4(1), 39-58, doi: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.04.010159.000351>
- Knight, R. J., and Schnell, R. J. (1994). Mango introduction in Florida and the 'Haden' cultivar's significance to the modern industry. *Economic Botany* 48, 139-145, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02908201>
- Knight, R. J., Campbell, R. J., Maguire, I. (2009). Important mango cultivars and their descriptions. In: Litz R. E, (ed). *The mango: botany, production and uses*. (42-66). Wallingford, UK: CAB International.
- Kostermans, A. J. G. (2012). *The mangoes: Their botany, nomenclature, horticulture and utilization*. Great Britain: Academic Press.
- Lakshmanan, K. K., Ambegaokar, K. B. (1984). Polyembryony. In: Johri B. M. (ed). *Embryology of Angiosperms*. (445-474). Berlin: Springer Heidelberg, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-69302-1_9
- Leeuwenhoek V, A. (1719). *Epistolae physiologicae super compluribus naturae arcanis*. Apud Adrianum Beman.
- Lim, T. K., Luders, L., and Poffley, M. (1996). Studies on fruit deformity and nubbins in Irwin mango. *Proceedings of the International Conference on Tropical Fruits: Global Commercialization of Tropical Fruits*, 1, 261-266.
- Losada, J. M., and Herrero, M. (2013). Flower strategy and stigma performance in the apple inflorescence. *Scientia Horticulturae*, 150, 283-289, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.031>
- Maheshwari, P. (1950). *An introduction to the embryology of angiosperms*. McGraw-Hill, New York.
- Malerbo S, D. T., Nogueira C, R. H., Couto, L. A. (2004). Honey bee attractants and pollination in sweet orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, var. Pera-Rio. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, 10(2), 144-153, doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-91992004000200004>
- Mehrotra, R. C., Dilcher, D. L., Awasthi, N. A. (1998). Paleocene Mangifera - Like leaf fossil from India. *Phytomorphology*, 48, 91-100.
- Mordhorst, A. P., Voerman, K. J., Hartog, M. V., Meijer, E. A., van Went, J., Koornneef, M., and de Vries, S. C. (1998). Somatic embryogenesis in *Arabidopsis thaliana* is facilitated by mutations in genes repressing meristematic cell divisions. *Genetics*, 149(2), 549-563, consultado en: <https://www.genetics.org/content/149/2/549.short>
- Mukherjee, S. K. (1949). The mango and its wild relatives. *Science and Culture*, 26, 5-9.
- Mukherjee, S. K. (1972). Origin of Mango (*Mangifera indica*). *Economic Botany* 26, 260-264.

- Mukherjee, S. K., and Litz, R. E. (2009). Introduction: Botany and Importance. In: Litz R. E. (ed). *The mango: botany, production and uses*. (1-18). Wallingford, UK: CAB International.
- Naumova, T. N. (1993). Apomixis in Angiosperms. Nucelar and Integumentary Embryony. Translated by Mershchikova. Boca Raton, FLA., USA: CRC Press, Inc.
- Naumova, T. N., and Vielle-Calzada, J. P. (2001). Ultrastructural Analysis of Apomictic Development. 44-63. In: Savidan, Y.; Carman, J. G.; Dresselhaus, T. (eds.). *The Flowering of Apomixis. From Mechanisms to Genetic Engineering*. CIMMYT, México, D. F.: European Union and Institut de recherche pour le développement.
- Nayak, P., Behera, D., and Das, S., (2020). Surveying, record keeping and identifying the various insect pollinators visiting mango inflorescence under coastal Odisha conditions. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3): 1157-1162, doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i3o.9356
- Ohe, W. V. D., and Praagh, J. P. (1983). Versuche zur duftlenkung in Obstanlagen. *Nordwetsdeutsche Imkerzeitung*, 35, 100.
- Pérez-Barraza, M. H. (2015). Regulación del proceso de floración y desarrollo de frutos de mango 'Ataulfo' mediante biorreguladores de crecimiento. (Tesis de Doctorado en Ciencias por Investigación). Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México.
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., y Osuna-García, J. A. (2007). Incidencia de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' en huertos comerciales de Nayarit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 149-156, doi: 10.5154/r.rchsh.2007.01.001
- Pérez-Barraza, M. H., Bravo, A. Á., Avitia G, E., Luna, A. I. P., y Cárdenas, M. V. S. (2019). Temperatura y desarrollo floral en la formación de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 199-210, doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2021>
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., Osuna-García, J. A., y 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-Quintanilla, N. J., Calderón C, C. S., Nomura H, J.M. (1998). La caída de flores y frutos en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo y su impacto económico. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(2), 14-24.
- Pickett, J. A., Williams, I. H., Martin, A. P., and Smith, M. C. (1980). Nasonov pheromone of the honey bee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Chemical Ecology*, 6(2), 425-434.
- Pimentel, R. B., Coronel, R. E., and Espino, R. F. C. (1984). Floral biology and fruit set in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars: 'Carabao', 'Pico' and 'Kancha Mitha'. *Philippines Journal of Crop Sciences*, 9, 47-51.

- Ramírez, F., and Davenport, T. L. (2016). Mango (*Mangifera indica* L.) pollination: a review. *Scientia Horticulturae*, 203, 158-168, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.011>
- Ramírez, F., and Davenport, T. L. (2010). Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. *Scientia Horticulturae*, 126, 65–72, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.06.024>
- Regnier, F. E., and Law, J. H. (1968). Insect pheromones. *Journal of Lipid Research*, 9(5), 541-551.
- Richards, A. J. (1986). *Plant Breeding Systems*. George Allen & Unwin Publ. Ltd. London.
- Rodrigo, J., and Herrero, M. (1998). Influence of intraovular reserves on ovule fate in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Sexual Plant Reproduction*, 11(2), 86-93.
- Sánchez D, J. J., Avitia G, E., Castillo G, A. M., Villegas M, A., y Corona T, T. (2006). Estudio anatómico de la poliembrionía en tres portainjertos de cítricos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 12(2), 145- 152.
- Sanzol, J., and Herrero, M. (2007). Self-incompatibility and self-fruitfulness in pear cv. Agua de Aranjuez. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 132(2), 166-171, doi: <https://doi.org/10.21273/JASHS.132.2.166>
- Sasaki, K., Takebayashi, T., and Utsunomiya, N. (1998). Fruit set and fruit growth of 'Irwin' mango as affected by honeybee pollination. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 42(3), 159-162.
- Schnarf, K. (1929). Embryologie der angiospermen. *Handbuch der Pflanzenanatomie II 2*.
- Shorey, H. H. (1973). Behavioral responses to insect pheromones. *Annual Review of Entomology*, 18(1), 349-380.
- Shu, Z. H., and Sheen, T. F. (1987). Floral induction in axillary buds of mango (*Mangifera indica* L.) as affected by temperature. *Scientia Horticulturae*, 31(1-2), 81-87.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). (2020). Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 10 de junio del 2020 en <https://www.gob.mx/sader>
- Singh, N. K., Mahato, A. K., Jayaswal, P. K., Singh, A., Singh, S., Singh, N., ... and Lal, S. (2016). Origin, diversity and genome sequence of mango (*Mangifera indica* L.). *Indian Journal of History of Science*, 51(2), 355-368.
- Singh, R. N. (1954). Studies in Floral Biology and Subsequent Development of Fruits in the Mango (*Mangifera indica* L.) 'dasherí' and 'langda'. *Indian Journal of Horticulture*, 11(3), 69-88.
- Siqueira, K. M., Piedade K, L. H., Martins, C. F., Lemos, I. B., Monteiro, S. P., and Feitoza, E. D. A. (2008). Comparative study of pollination of *Mangifera indica* L. in conventional and organic crops in the region of the Submédio São Francisco valley. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 303-310.

- Slessor, K. N., Winston, M. L., and Le Conte, Y. (2005). Pheromone communication in the honeybee (*Apis mellifera* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 31(11), 2731-2745.
- Souter, M., and Lindsey, K. (2000). Polarity and signaling in plant embryogenesis. *Journal of Experimental Botany*, 51(347), 971-983.
- Stephenson, A. G., and Winsor, J. A. (1986). *Lotus corniculatus* regulates offspring quality through selective fruit abortion. *Evolution*, 40(3), 453-458.
- Stephenson, A. G., Devlin, B., and Horton, J. B. (1988). The effects of seed number and prior fruit dominance on the pattern of fruit production in cucurbits pepo (Zucchini squash). *Annals of Botany*, 62(6), 653-661.
- Strasburger, E. (1878). Über Polyembryonie. *Jenaische Zeitschr Naturwiss*, 12, 647-670.
- Sukhvibul, N., Whiley, A. W., Smith, M. K., Hetherington, S. E., and Vithanage, V. (1999). Effect of temperature on inflorescence development and sex expression of mono and polyembryonic mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74(1), 64-68.
- Thakur, P., Kumar, S., Malik, J. A., Berger, J. D., and Nayyar, H. (2010). Cold stress effects on reproductive development in grain crops: an overview. *Environmental and Experimental Botany*, 67(3), 429-443, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.09.004>
- Trigiano, R. N., Follum, R. A., and Beyl, C. A. (2008). Sexual Reproduction in Angiosperms. In Beyl A, C., and Trigiano N, R. (eds). *Plant Propagation Concepts and Laboratory Exercises*. (pp. 379-390). New York: CRC Press.
- Valmayor, R. V. (1962). *The Mango: Its Botany and Production*. College University of Philippines, College of Agriculture.
- Vavilov, N. I. (1987). *Origin and geography of cultivated plants*. (First Ed. In English). Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Warschefsky, E. J., and von Wettberg, E. J. (2019). Population genomic analysis of mango (*Mangifera indica*) suggests a complex history of domestication. *New Phytologist*, 222(4), 2023-2037, doi: <https://doi.org/10.1111/nph.15731>
- Webber, J. M. (1940). Polyembryony. *The Botanical Review*, 6(11), 575-598, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02919556>
- Wiens, D. (1984). Ovule survivorship, brood size, life history, breeding systems, and reproductive success in plants. *Oecologia*, 64(1), 47-53.
- Williamson, J., Adams, C. G., Isaacs, R., and Gut, L. J. (2018). Evaluation of Nasonov Pheromone Dispensers for Pollinator Attraction in Apple, Blueberry, and Cherry. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1658-1663, doi: <https://doi.org/10.1093/jee/toy107>

- Winkler H, K. A. (1908). Parthenogenesis und apogamie im pflanzenreiche. *Progressus Rei Botanicae*, 253-454, consultado en: <https://www.worldcat.org/title/parthenogenesis-und-apogamie-im-pflanzenreiche/oclc/7934619>
- Woyke, H. W. (1980). Some aspects of the role of the honeybee in onion seed production in Poland. In *Symposium on Vegetable and Flower seed Production*, 111, 91-98, doi: 10.17660/ActaHortic.1981.111.12

**CAPÍTULO III. TIPO DE FLORES, ABORTO DE ÓVULO Y
EMBRIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE FRUTOS
SIN SEMILLA EN MANGO 'ATAULFO'**

RESUMEN GENERAL

TIPO DE FLORES, ABORTO DE ÓVULO Y EMBRIÓN Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCION DE FRUTOS SIN SEMILLA EN MANGO 'ATAULFO'

Con el objetivo de establecer una relación entre la producción del tipo de flores, las causas del aborto de óvulo y embrión, y su relación con temperaturas registradas, se hizo un conteo del número de flores por orientación (norte, sur, este y oeste) en dos huertas (con alta y baja incidencia de "mango niño") de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México. El número de flores por inflorescencia varió de 316 a 2,135. El mayor número de flores se encontró en el lado sur con 1,082 flores hermafroditas por 669 masculinas; el lado este tuvo 907 flores hermafroditas por 360 masculinas; el lado oeste tuvo 486 flores hermafroditas por 456 masculinas; y el lado norte tuvo 373 flores hermafroditas por 164 masculinas. Se registró una tendencia a presentarse una mayor cantidad de flores hermafroditas (712) que masculinas (412); las proporciones de flores hermafroditas variaron de 43.94 a 80.48 %, mientras que las masculinas variaron de 19.52 a 56.96 %. Se registraron dos eventos con temperaturas menores a 15°C, durante la etapa de floración y polinización, lo cual pudo haber afectado al aborto de óvulo, como se observó en los estudios anatómicos. Se concluye que el número de flores varía ampliamente según la orientación de la inflorescencia dentro del árbol y que temperaturas menores a 15°C durante la floración pueden llevar al aborto de óvulo y embrión en mango 'Ataulfo' en el estado de Nayarit, México.

Palabras clave: *Mangifera indica* L., estenospermocarpia, inflorescencia, tipo de flores.

Tesis de Maestría, Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo
Autor: José Manuel Castillo Chuc
Director: Dr. Edilberto Avitia García

ABSTRACT

TYPE OF FLOWERS, OVULE AND EMBRYO ABORTION AND THEIR RELATION WITH THE SEEDLESS FRUIT PRODUCTION IN MANGO CROP 'ATAULFO'

With the aim to establish a relation between the production of type of flowers, ovule and embryo causes of abortion, and their relations with registered temperatures, the number of flowers by orientation (north, south, east and west) was made in two orchards (with high and low incidence of nubbin or "mango niño" fruits) of 'Ataulfo' mango in the locality of Las Palmas, San Blas, Nayarit, Mexico. The number of flowers by inflorescence varies from 316 to 2,135. The highest number of flowers was founded in the south side of the tree with 1082 hermaphrodite flowers than 669 male ones; the east side had 907 hermaphrodite flowers than 360 male ones; the west side had 486 hermaphrodite flowers than 456 male ones; and the north side had 373 hermaphrodite flowers than 164 male ones. A trend to present a major number of hermaphrodite (712) than male (412) flowers were registered; the sex ratios varied from 43.94 to 80.48% between hermaphrodite flowers, meanwhile the male ones varied from 19.52 to 56.96%. Finally, twice events with temperatures less than 15°C during the flowering and pollination phases were registered, which could lead to the ovule abortion, as was observed by the anatomical study. We conclude that the number of flowers varies widely according to the inflorescence orientation within the tree and that temperatures less than 15°C during the flowering and pollination stages could lead to the ovule and embryo abortion in fruits of 'Ataulfo' mango in Mexico's Nayarit state.

Key words: *Mangifera indica* L., flowering, inflorescence, type of flowers.

Thesis, Master of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo
Author: José Manuel Castillo Chuc
Advisor: Dr. Edilberto Avitia García

3.1 INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) es conocido como el “Rey de las Frutas” debido a su gran demanda a nivel mundial (FAOSTAT, 2020). En México se cultivan más de 200 mil hectáreas de mango, con una producción de 1.86 millones de toneladas. En el estado de Nayarit, la superficie establecida de mango supera las 27 mil hectáreas, liderando por superficie sembrada el cultivar Ataulfo con 12,593 ha (SIAP, 2020).

Sin embargo, a pesar de que el mango Ataulfo rendía hasta 15 ton ha⁻¹ en los 80, una de las problemáticas que se fue presentando desde aquellos años, es la incidencia de “mango niño”, que son frutos pequeños sin semilla, con una hendidura en la parte distal y que carece de valor comercial, causando una disminución de hasta el 90 % de la producción en estados como Nayarit y Chiapas (Pérez-Barraza, et al., 2007; Gehrke-Vélez, 2008; Infante et al., 2011).

Se han hecho diversos estudios para conocer las causas de la producción de “mango niño” en nuestro país, entre las cuales se pueden mencionar autoincompatibilidad (Gehrke-Vélez, et al., 2012), atrofia embrionaria, temperaturas extremas y estenospermocarpia. En mango, la estenospermocarpia ha estado relacionada a la exposición de árboles a bajas temperaturas nocturnas (Huang et al., 2010; Sukhvidul et al., 2005; Mesejo et al., 2014) y por el contrario otros autores han relacionado la formación de frutos estenospermocárpicos con altas temperaturas durante el día (Núñez y Davenport, 1983; Pérez-Barraza et al., 2019), en ambos casos, la afectación ocurre durante la etapa de floración, interfiriendo con las etapas de polinización y fecundación, importantes para la formación de fruto.

De manera similar, en mango, altas y/o bajas temperaturas durante el día/noche durante la etapa de floración se ha relacionado con la proporción de flores hermafroditas/masculinas presentadas (Geetha et al., 2016), aborto de óvulo y embrión (Lakshminarayana y Aguilar, 1975, Pérez-Barraza et al., 2019); reduce

la viabilidad y el crecimiento del tubo polínico (Pérez et al., 2019). Estos factores en su conjunto llevan a una disminución en el rendimiento.

Por lo anterior, en el presente trabajo, partiendo de la hipótesis que la temperatura es un factor que lleva a la producción de frutos sin semilla en mango, se hizo una serie de muestreos de óvulos y embriones durante los meses de floración y fructificación, con el objetivo de determinar el momento y las causas que provocan el aborto de óvulo o embrión en esta especie. Además, se hizo un conteo del número y tipo de flores con el objetivo de establecer la relación entre estas y la producción de frutos con o sin semilla y con las condiciones climáticas registradas durante el experimento.

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Localización

La investigación se realizó en dos huertas comerciales de mango 'Ataulfo' establecidas en el municipio de San Blas, Nayarit; una con alta incidencia (80 %) de frutos sin semilla y otra con baja incidencia (20 %). Las huertas están ubicadas en la localidad de Las Palmas (21° 62' de LN y 105° 15' LW, a 75 msnm), con un clima clasificado como (A)Ca(w2) (w)(i) w" (García, 1973).

3.2.2 Material vegetal

Para el estudio sobre el tipo de flores, se seleccionaron árboles de mango 'Ataulfo' de ocho años (huerta de alta incidencia) y 10 años (huerta de baja incidencia) de edad. Los árboles están injertados sobre portainjerto criollo regional y establecidos con distancias de plantación de 7 m entre hileras y 4 m entre árboles, con una densidad de 357 árboles/ha (huerto de alta incidencia) y de 8 m entre hileras y 8 m entre árboles, con una densidad de 156 aboles/ha (huerto con baja incidencia).

Huerta de alta incidencia. Se realizó poda de despunte, utilizando para ello una podadora mecánica; se hizo una fertilización después de la cosecha, aplicando 2 kg de triple 17 por árbol y posteriormente 2 kg de gallinaza antes de la salida del temporal de lluvias (septiembre). La sanidad del cultivo se llevó a cabo mediante dos aplicaciones preventivas al follaje (con 21 días entre aplicaciones) de detergente líquido (1 L en 100 de agua) iniciando en el mes de noviembre. Para prevenir daños por antracnosis se realizaron aplicaciones preventivas de FungiFree® (i.a *Bacillus subtilis*, equivalente a 10 g kg⁻¹), conteniendo no menos de 1x10⁹ UFC g⁻¹ en dosis de 4 L ha⁻¹, antes del inicio de floración. El riego fue mediante el sistema de goteo y se aplicaron riegos semanales a partir de febrero.

Huerta de baja incidencia. Se mantuvo sin poda y sin riego, se fertilizó con 2 kg de triple 17 por árbol al inicio de las lluvias y aplicaciones preventivas de FungiFree® en dosis de 4 L ha⁻¹, antes del inicio de floración; durante el periodo de floración hasta amarre se aplicó Tecto® 60 [i.a 2-(4-tiazolil) benzimidazol, dosis

de 1 g L⁻¹ de agua] y Amistar® (i.a azoxistrobin, equivalente a 500g de i.a kg⁻¹, dosis de 0.5 g L⁻¹) alternados y aplicados cada 15 días.

Para recolectar las muestras y observar el desarrollo de óvulos, embriones y frutos, se seleccionó una huerta de alta incidencia de frutos sin semilla, los árboles tenían 10 años de edad, establecidos a distancias de 8 m entre hileras y 5 m entre árboles, con una densidad de 250 árboles por ha. El manejo consistió en poda de despunte, utilizando una podadora mecánica y se fertilizaron después de la cosecha, aplicando 3 kg de triple 17 por árbol y posteriormente 4 kg de gallinaza antes de la salida del temporal de lluvias (septiembre). La sanidad del cultivo fue similar a la huerta con alta incidencia. El riego fue mediante el sistema de goteo y se aplicaron riegos semanales a partir de febrero.

3.2.3 Muestreo de árboles y flores

De las huertas con baja y con alta incidencia de frutos sin semilla (= “mango niño”), se seleccionaron cuatro árboles de cada una y en cada árbol se consideraron los cuatro polos de la copa del árbol (Norte, Sur, Este y Oeste). De cada polo se seleccionó una panícula, de las cuales se seleccionaron las flores y los frutos para tomar los datos de las variables evaluadas. Los muestreos se hicieron al azar.

3.2.4 Variables evaluadas

Número y tipo de flores por inflorescencia. Se seleccionó una panícula de cada polo, se separaron las flores y se fijaron en FAA (50 % etanol al 96 % + 5 % de ácido acético glacial + 10 % de formaldehído al 37 % + 35 % de agua destilada). Posteriormente en el laboratorio se enjuagaron las flores con etanol al 50 % y se procedió al conteo. Con estos mismos datos también se obtuvo la relación y proporción entre flores hermafroditas y masculinas.

Desarrollo de óvulos. Se recolectaron cuatro flores en anthesis de cada uno de los polos y de cada uno de los árboles, mezclando las flores de un mismo polo. Las flores recolectadas se fijaron en FAA, siete días después se fijaron en GAA hasta el momento de procesar para hacer los cortes anatómicos. Para el proceso de

cortes anatómicos las muestras se deshidrataron y transparentaron utilizando etanol y xileno [etanol al 50 %, 70 %, 96 % (dos cambios) y etanol 100 %: xileno 100 % (1:1), xileno 100 % (tres cambios)]. Después los especímenes se incluyeron en parafina y se realizaron cortes anatómicos de 10 μm de espesor utilizando un microtomo rotatorio (Leica Jung 820, Leica Microsystems, Wetzlar, Alemania). Los cortes anatómicos se tiñeron con safranina y fastgreen para su observación al microscopio.

Desarrollo de óvulos y embriones a partir de frutos tamaño pimienta (frutos entre 4 y 5 mm). Se recolectaron 25 frutos con semilla y 25 frutos sin semilla, cada dos semanas, para seguir el desarrollo de los embriones hasta que el fruto estuvo próximo a cosecha. Se extrajeron los óvulos o semillas y se fijaron en FAA en donde permanecieron por 15 días, posteriormente se pasaron a GAA hasta la realización de cortes anatómicos y observación al microscopio.

De esta misma recolecta se seleccionaron seis frutos durante toda la etapa de crecimiento y maduración del fruto para medir longitud y diámetro de fruto y semilla, con un vernier digital marca Truper modelo CALDI-6MP.

Temperatura máxima, mínima y precipitación. Se utilizaron datos de la red de estaciones agrometeorológicas de Nayarit, la cual se compone de equipos automatizados que colectan datos quinceminutales de temperatura, precipitación, radiación solar y viento (Adcon Telemetry, modelo A753, Klosterneuburg, Austria). La estación seleccionada por caracterizar las condiciones del área de estudio fue el Verdineño, localizada 21.702 LN, -105.132 LO y 43 msnm. La estación se ubica a 10 km de la parcela experimental.

3.2.5 Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva y se hicieron gráficas para el conteo del tipo de flores por orientación y por huerta, así como tablas de frecuencias para la presentación de datos del seguimiento del crecimiento de frutos y número de embriones, según lo recomendado por

Sahagún (2016). Para calcular los valores de las frecuencias se hizo uso de la Ecuación 1:

$$fr = fa * n^{-1} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde fr es la frecuencia relativa, fa es la frecuencia acumulada (número de veces que aparece un dato dentro de un intervalo establecido), y n^{-1} es el número total de datos analizados. Por último, para obtener el porcentaje de la frecuencia de las variables de fruto y semilla, se hizo la operación $fr * 100$

3.3 Resultados y Discusión

3.3.1 Condiciones climáticas y número de flores por orientación de la inflorescencia

Las temperaturas registradas durante el periodo de floración (Figura 1). Mostraron que hubo al menos tres eventos con temperaturas menores a 15 °C, que se registraron el cinco de enero, el siete de febrero y el 13 de febrero. Por otro lado, durante el periodo de floración hasta cosecha, no se registraron temperaturas mayores a 35 °C, que son los valores críticos reportado por Pérez-Barraza et al. (2019), la etapa de floración fue de febrero a finales de marzo durante el año 2020, por lo que los dos eventos con temperaturas menores a 15 °C presentados en febrero, pudieron afectar la polinización y fecundación en mango 'Ataulfo', lo que finalmente pudo incidir en la presencia de frutos partenocárpicos o sin semilla.

Asimismo, las precipitaciones durante este periodo se dieron en tres eventos importantes, el primero de ellos el uno de enero, con 58 mm de lluvia, el segundo evento fue el tres de febrero, con 46 mm y el último fue el siete de mayo, con ocho mm de precipitación. Durante los otros días no se registraron precipitaciones, o estas fueron menores a 2 mm de lluvia.

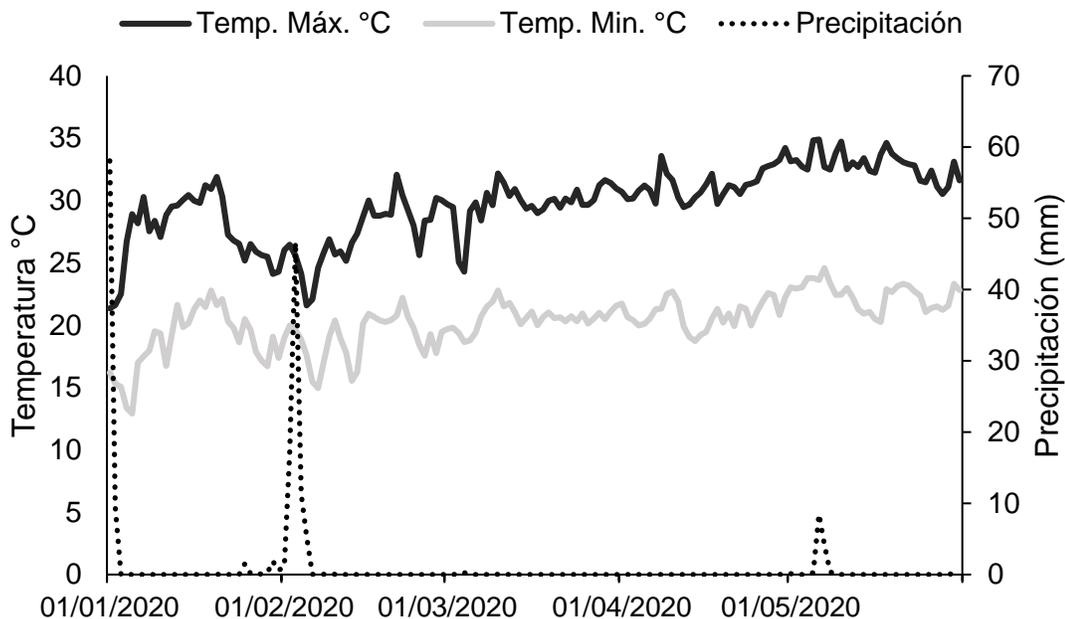


Figura 1. Registro de las temperaturas máximas y mínimas diarias de inicio de floración a cosecha durante el año 2020 en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Con relación al tipo y número de flores, el número promedio de ellas por inflorescencia y por orientación que se presentan en la Figura 2., muestra que existe una clara tendencia a presentarse más flores en las orientaciones Sur (1,751 flores), y Este (1,267 flores); mientras que el menor número de flores se presentó en las orientaciones Oeste (943 flores) y Norte (537 flores) de los árboles de mango ‘Ataulfo’; independientemente de si eran inflorescencias de alta o baja incidencia de “mango niño”.

Además, el número de flores por inflorescencia varió de 316 a 2,135, siendo el lado Norte de la huerta de alta incidencia de “mango niño” donde se encontró el menor número (316) de flores, y el lado Sur de la huerta de alta incidencia fue donde se contabilizó el mayor número (2,135); asimismo, en la huerta de baja incidencia de “mango niño”, el menor número de flores se contó en el lado Norte (758) mientras que el mayor número se contó en el lado Este (1,412).

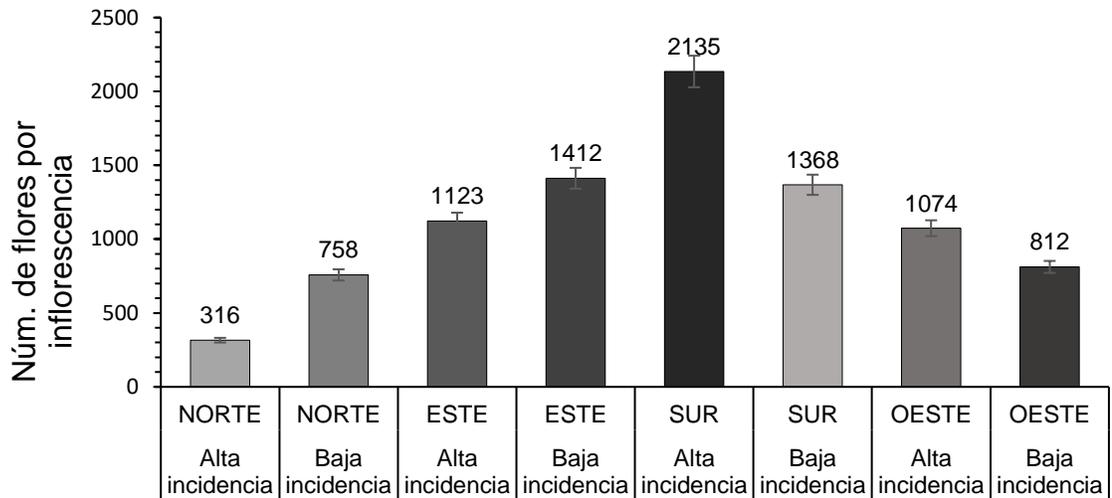


Figura 2. Número de flores por orientación de la inflorescencia en huertas de alta y baja incidencia de “mango niño” en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

El orden de acuerdo al número de flores, orientación y tipo de huerta es el siguiente: Sur Alta incidencia > Este Baja incidencia > Sur Baja incidencia > Este Alta incidencia > Oeste Alta incidencia > Oeste Baja incidencia > Norte Baja incidencia > Norte Alta incidencia.

Estos resultados caen dentro del rango del número de flores registrado por Pérez-Quintanilla et al. (1998) para mango ‘Ataulfo’, donde contaron entre 103 y 4,798 flores por inflorescencia; resultados similares han sido reportados por Asif et al. (2002), en los cultivares de mango Anwar-Rataul, Langra y Dasehari, en los que el número de flores por panícula fue de 528 a 1257; además sus resultados mostraron que en las orientaciones Este, Oeste y Sur, presentan el mayor número de flores; mientras que el lado Norte presentó el menor número de flores para el cultivar Anwar-Rataul.

Estos resultados podrían explicarse debido a que, en las orientaciones Este, Sur y Oeste, es por donde la luz solar sigue su curso natural durante el día en las huertas de San Blas, lo que podría estimular a las hojas para la formación de la señal que se transloca vía floema a los meristemas reproductivos como señalan

Ramírez et al., (2010), lo que finalmente lleva a un mayor número de flores en estos polos del árbol (Roldán y Zapater, 2008).

3.3.2 Tipo de flores por inflorescencia y relación de flores hermafroditas/masculinas en huertas de mango ‘Aaulfo’

En el conteo del tipo de flores se encontró una tendencia a presentarse un mayor número de flores hermafroditas que masculinas, como se ilustra en el Cuadro 1. En la parte Norte de la huerta de alta incidencia, se contaron 216 flores hermafroditas y 100 masculinas contra la orientación Norte de la huerta de baja incidencia, que presentó 529 hermafroditas y 229 masculinas. En la orientación Este, se contaron 799 flores hermafroditas y 324 masculinas en la huerta de alta incidencia, mientras que en la huerta de baja incidencia se contaron 1016 flores hermafroditas y 396 flores masculinas.

Por su parte, en la orientación Sur de la huerta con alta incidencia se contaron 1063 flores hermafroditas por 1072 flores masculinas, mientras que en la huerta de baja incidencia las flores hermafroditas fueron 1101 por 267 flores masculinas. Por último, en la orientación Oeste de la huerta de alta incidencia se contaron 472 flores hermafroditas y 602 masculinas y en la huerta de baja incidencia se contaron 501 hermafroditas y 311 masculinas.

Como se mencionó anteriormente, la tendencia del tipo de floración en mango ‘Aaulfo’ es a que haya mayor número de flores hermafroditas que de flores masculinas; en este trabajo, las orientaciones donde no se cumplió esta tendencia fue en la orientación Sur (1063 flores hermafroditas y 1072 flores masculinas), y en la orientación Oeste (472 flores hermafroditas y 602 masculinas), ambos de la huerta de alta incidencia de “mango niño”.

Cuadro 1. Orientación, número de flores, porcentaje y relación de flores Hermafroditas/Masculinas (H/M) en dos huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Orientación	Numero de flores				Total	Rel. H/M ^Y
	Hermafroditas	%	Masculinas	%		
Norte A-I	216	68.35	100	31.65	316	2.16
Norte B-I	529	69.78	229	30.22	758	2.31
Este A-I	799	71.14	324	28.86	1123	2.46
Este B-I	1016	71.95	396	28.05	1412	2.56
Sur A-I	1063	49.78	1072	50.22	2135	0.99
Sur B-I	1101	80.48	267	19.52	1368	4.12
Oeste A-I	472	43.94	602	56.06	1074	0.78
Oeste B-I	501	61.69	311	38.31	812	1.61
Promedio ^z	712.125	63.32	412.625	36.68	1124.75	2.13

^z: Promedio de ocho inflorescencias.

^Y: Relación de flores Hermafroditas/Masculinas

Norte A-I y Norte B-I= Norte con alta incidencia y Norte con baja incidencia de "mango niño", respectivamente; Este A-I y Este B-I= Este con alta y con baja incidencia de "mango niño", respectivamente; Sur A-I y Sur B-I= Sur con alta y baja incidencia de "mango niño", respectivamente; Oeste A-I y Oeste B-I= Oeste con alta y baja incidencia de "mango niño" respectivamente.

Ya se ha reportado que las proporciones de flores hermafroditas y masculinas en los árboles de mango varía entre las panículas, árboles, edad del árbol, cultivares y regiones de cultivo (Singh, 1954; Coetzer et al., 1995), así como también influyen los factores ambientales y fisiológicos internos de la planta (Asif *et al.*, 2002). Las altas temperaturas han estado asociadas con un incremento en la formación de flores hermafroditas, mientras que las bajas temperaturas han estado asociadas con una disminución de éstas (Sukhvidul et al., 1999). En el presente trabajo se registraron las mismas temperaturas para ambas huertas, que fueron de 20 a 31°C en la fecha del conteo de flores, que son consideradas óptimas para floración, polinización y fecundación (Ramírez y Davenport, 2016), por lo que, además de la temperatura, es posible que haya otros factores endógenos de los árboles que lleven a una alta o baja producción de flores hermafroditas y masculinas.

Por otro lado, Iyer et al., (1989) mencionan que la comprensión de la biología floral del mango es esencial, debido a que el número de flores perfectas o hermafroditas es relevante para la producción. También mencionan que la

proporción de flores hermafroditas a masculinas es variable entre las panículas, árboles y cultivares, pero normalmente es menor al 50 %. Nuestros resultados (Cuadro 1) revelaron que los porcentajes de flores hermafroditas fueron de 43.94 al 80.48 %, registrándose la menor proporción en la orientación Oeste de la huerta de alta incidencia de “mango niño” y la mayor se registró en la orientación Sur de la huerta de baja incidencia de “mango niño” y en otros trabajos hechos con mango ‘Ataulfo’ en la región del Soconusco chiapaneco muestran porcentajes de 63.1 a 36.9 % entre flores hermafroditas y masculinas, respectivamente; estos datos resultan similares a trabajos hechos por varios autores para diferentes cultivares de mango (Pimentel et al., 1984; Geetha et al., 2016; Kobra et al., 2012).

Se obtuvo igualmente el promedio entre flores hermafroditas y masculinas, con resultados variables, de tal manera que se obtuvo en promedio 712 flores hermafroditas por 412 masculinas. Por orientación, se encontraron en promedio 372.5 flores hermafroditas y 164.5 flores masculinas en la orientación Norte; en la orientación Este se tuvo en promedio 907.5 flores hermafroditas por 360 flores masculinas; el lado Sur tuvo en promedio 1082 flores hermafroditas por 669.5 flores masculinas; por último, el lado Oeste tuvo en promedio 486 flores hermafroditas por 456.5 flores masculinas.

Finalmente, en la variable relación de flores hermafroditas/masculinas, los resultados fueron inestables, de tal manera que se registraron valores entre 0.78 en la orientación Oeste con alta incidencia de “mango niño” hasta 4.12 en la orientación Sur de baja incidencia de “mango niño”; en general se tuvo en promedio 2.13 flores hermafroditas por cada flor masculina. Estas diferencias podrían deberse a que esta relación se define en un momento dado por el investigador durante el desarrollo de la panícula; por lo tanto, la relación entre flores hermafroditas/masculinas puede ser naturalmente variable (Davenport, 2009); además esta relación puede deberse a factores internos de la planta, cultivares y regiones de cultivo (Sing, 1954; Asif *et al.*, 2002), toda vez que la temperatura fue la misma para ambos tipos de huertas, y sin embargo las

relaciones entre flores hermafroditas/masculinas variaron ampliamente entre orientación y tipo de huerta.

3.3.3 Estudio anatómico del aborto de óvulos y embriones

Los resultados mostraron que los frutos con semilla de mango 'Ataulfo' poseen un óvulo normal anátropo, un buen desarrollo de la nucela (Figura 3A), sin la presencia de espacios intercelulares y sin la acumulación de taninos. El óvulo alcanzó un tamaño mínimo de 15 mm (Figura 4A). En tanto que, en los óvulos abortivos de frutos sin semilla, inicialmente se presentó una abundante acumulación de taninos en las células que rodean a la nucela (Figura 3C), para posteriormente abrirse muchos espacios intercelulares a causa de la separación y destrucción del tejido nucelar y de los integumentos, los cuales prácticamente desaparecieron. También el saco embrionario se colapsó y se destruyó, incluso antes de que la nucela girara para tomar la posición anátropa (Figura 3B). En un corte longitudinal de los frutos a simple vista los óvulos abortivos se observaron necróticos y detuvieron totalmente su desarrollo, alcanzando no más de 2 mm de longitud. El funículo también se distorsionó y se destruyó (Figura 4B).

La flor del mango en su ovario, a diferencia de muchas otras especies frutícolas, contiene un sólo óvulo del tipo anátropo, unitégmico, crasinucelado (Figura 3A); por lo cual al momento de abortar dicho óvulo se anula la posibilidad de desarrollo del fruto. En esta especie aparentemente la falta de semilla se debe más bien al aborto del embrión (estenospermocarpia) que al aborto del óvulo; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que el óvulo aborte antes de que sea polinizado.

En esta investigación es difícil decir si hubo o no fecundación y por lo tanto hay dificultad para saber si la presencia de "mango niño" se debió a partenocarpia o estenospermocarpia; puesto que no se hicieron estudios de desarrollo de los tubos polínicos y fecundación. La presencia de embriones tampoco garantiza que haya habido fecundación, debido a que se trata de un cultivar poliembriónico y la formación de embriones apomícticos o adventicios puede ocurrir, aunque no se formen el embrión cigótico y el endospermo.

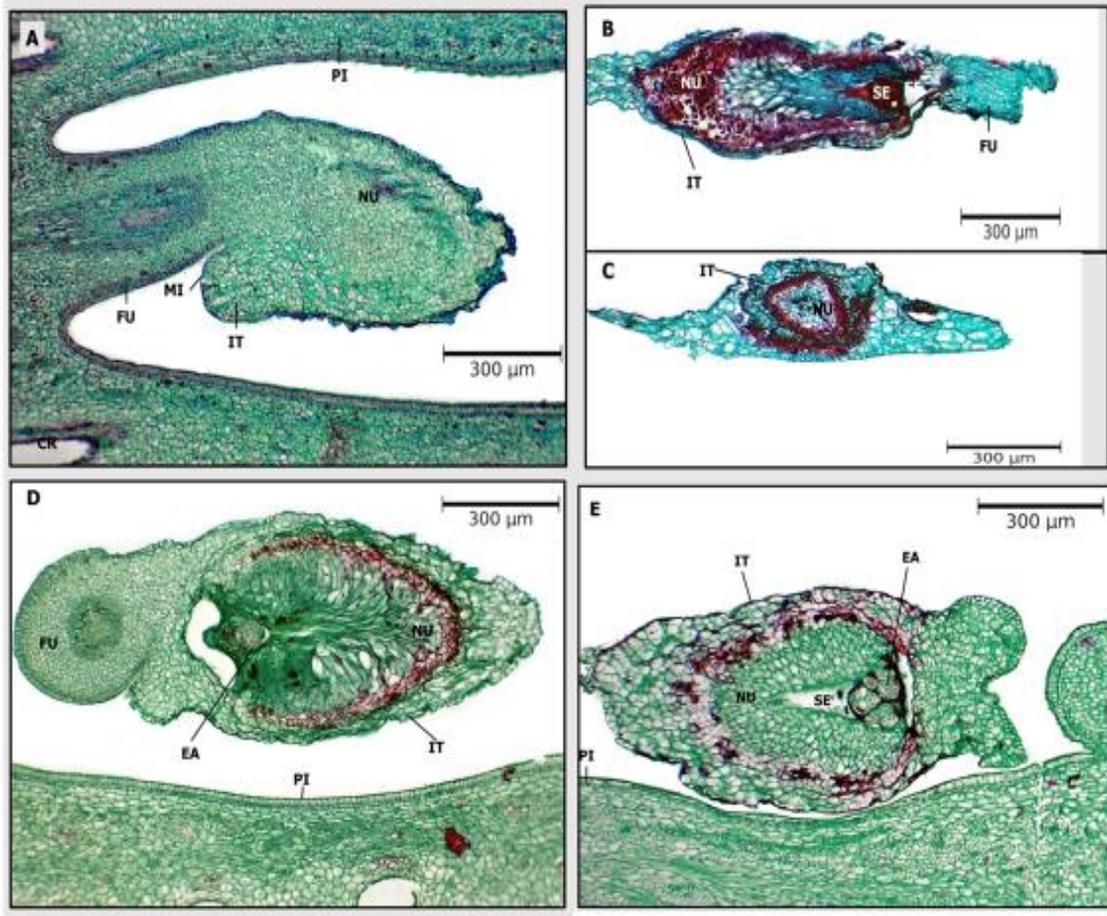


Figura 3. Cortes longitudinales en embriones normales y abortivos de mango 'Ataulfo'. **A.** Corte longitudinal de un óvulo normal de mango 'Ataulfo' del tipo anátropo unitégmico; **B.** Corte longitudinal de un óvulo abortivo, obsérvense la acumulación de taninos, la destrucción celular y los espacios intercelulares; **C.** Corte transversal de un óvulo abortivo, obsérvense la gran acumulación de taninos alrededor de la nucela; **D.** Corte longitudinal de un óvulo aparentemente normal, mostrando la iniciación de embriones apomícticos; **E.** Corte longitudinal de un óvulo normal conteniendo al menos tres embriones. **PI**, pared interna del carpelo; **NU**, nucela; **FU**, funículo; **MI**, micrópilo; **IT**, integumento; **SE**, saco embrionario; **EA**, embriones.

Se ha reportado que los óvulos de diversos géneros de Anacardiaceae (*Rhus*, *Schinus*, *Anacardium*, *Spondias*, *Sclerocarya* y *Pistacia*) existen células nucelares, contiguas al extremo calazal del saco embrionario, con paredes ligeramente engrosadas conocidas como hipostasa *sensu stricto* (Tilton, 1980 y Von Teichman, 1988a). Bouman (1984) reportó que algunas veces en dicha zona se observan células de parénquima con taninos que rodean parcialmente la

nucela en el extremo calazal, también reportó la impregnación de las paredes celulares de la hipostasa con cutina, suberina, lignina y calosa.

A pesar de que en mango no se ha encontrado hasta ahora reportes de la existencia de una hipostasa, Von Teichman et al. (1988b) indican la presencia de una paquicálaza; que consiste en una cálaza ensanchada en forma de copa, que rodea parte del saco embrionario (Espinosa-Osorio y Engleman, 1998). En este trabajo se observó la acumulación de taninos alrededor del saco embrionario, que coincide por los reportado por Bouman (1984), y que pudo haber sido ocasionado por el factor temperatura, pues se registraron dos eventos menores a 15 °C, debajo del umbral reportado por Pérez-Barraza et al. (2019) y como también ha reportado Davenport y Núñez-Elisea (1997).



Figura 4. Frutos de mango con óvulo abortivo y óvulo normal. **A.** Fruto de mango 'Ataulfo' conteniendo un óvulo abortivo (**OA**); **B.** Fruto de mango 'Ataulfo' conteniendo un óvulo normal (**ON**).

3.3.4 Estudio anatómico de la poliembrionía

En el presente estudio se observó la formación de pequeños embriones (embriocitos) en óvulos que aparentemente eran normales (Figura 3D); lo cual quiere decir que los embriones adventicios se pueden iniciar en una etapa temprana del desarrollo floral; sin embargo, ello no garantiza que dichos embriones completen su desarrollo, puesto que al no ocurrir la doble fecundación no habrá formación de endospermo y por lo tanto dichos embriones abortarán.

Además, existe la posibilidad de que el óvulo aborte en una etapa temprana. En óvulos con un desarrollo mayor pueden formarse más embriones, los cuales tal vez se formen en la nucela y migren posteriormente hacia el saco embrionario (Figuras 3D y 5A).

En una etapa más avanzada los embriones adventicios y el embrión cigótico desarrollan a expensas del endospermo en los frutos con semilla. En la Figura

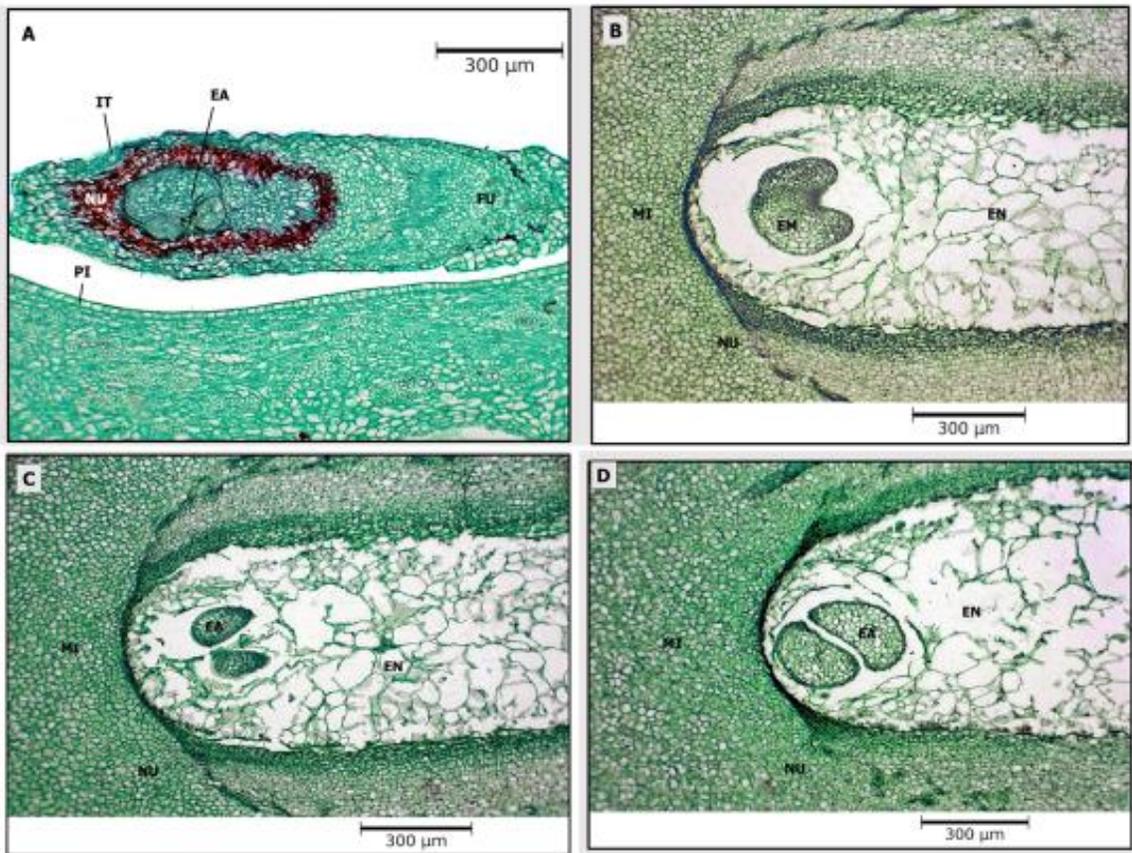


Figura 5. Cortes longitudinales de mango 'Ataulfo' mostrando varios embriones. **A.** Corte longitudinal de un óvulo de mango 'Ataulfo' conteniendo al menos tres embriones, obsérvese que hay acumulación de taninos en la nucela; **B.** Corte longitudinal de un óvulo conteniendo un embrión sexual en etapa de corazón, obsérvese el consumo de endospermo por el embrión; **C.** Corte longitudinal de un óvulo mostrando el desarrollo inicial de dos embriones; **D.** Corte longitudinal de un óvulo mostrando dos embriones. **PI**, pared interna del carpelo; **NU**, nucela; **FU**, funículo; **MI**, extremo micropilar de la nucela; **IT**, integumento; **SE**, saco embrionario; **EN**, endospermo; **EM**, embrión cigótico en etapa de corazón; **EA**, embriones diversos.

5B puede observarse el embrión cigótico en etapa de corazón y no están

presentes embriones apomícticos, los cuales probablemente se formen después; ello indica que los embriones apomícticos pudieran formarse durante un largo tiempo desde la etapa de botón hasta el amarre de frutos. Ya se ha reportado que la poliembrionía es muy frecuente entre las gimnospermas (Sedgley y Griffin, 1989). En las angiospermas la apomixis puede conducir a la poliembrionía y en el mango la formación de embriones asexuales puede ocurrir tanto en la nucela como en los integumentos, conociéndose este fenómeno como embrionía adventicia.

En las Figuras 5C y 5D se observa la presencia de dos embriones dentro del saco embrionario hacia el extremo micropilar; sin embargo, es difícil saber si ambos son embriones adventicios o uno de ellos es el cigótico, debido a que su forma es muy similar. Es altamente probable que si se trata de embriones apomícticos se hayan formado en el extremo micropilar de la nucela y hayan migrado hacia el saco embrionario; puesto que en mango no hay evidencia de que en mango se formen embriones a partir de los núcleos del saco embrionario.

Por último, en la Figura 6A se observa la presencia del embrión cigótico en etapa de corazón y dos embriones asexuales coexistiendo dentro del mismo saco embrionario y nutriéndose a partir del endospermo; mientras que en la Figura 6B se observa al parecer un embrión cigótico en etapa de corazón más cuatro embriones adventicios. Conforme avanza el desarrollo de los embriones se consume el endospermo, llenando totalmente la cavidad que inicialmente correspondía al saco embrionario (Figuras 6C y 6D) y a partir de esta etapa resulta muy difícil distinguir cual es el embrión cigótico y si todavía está presente o ha desaparecido. Finalmente se consumirá la nucela para quedar únicamente los embriones cubiertos por la testa.

La primera evidencia morfológica de la diferenciación de embriones adventicios generalmente es observada después de la iniciación de la megagametogénesis. Los pequeños embriones, conocidos como embriocitos, se caracterizan por presentar núcleos grandes y citoplasmas densos, y consisten de células más grandes que las del resto de la nucela (Bruck y Walker, 1985). La abundancia de

ribosomas, mitocondrias y plastidios sugiere una alta actividad de los embriocitos; además sus paredes celulares están significativamente engrosadas y carecen de plasmodesmos (Naumova y Vielle-Calzada, 2001).



Figura 6. Cortes longitudinales de mango 'Ataulfo' mostrando embriones en diferentes estadios de desarrollo. **A.** Corte longitudinal de un óvulo de mango 'Ataulfo' conteniendo un embrión cigótico en etapa de corazón y dos embriones apomícticos; **B.** Corte longitudinal de un óvulo de mango 'Ataulfo' conteniendo al menos cinco embriones, obsérvese el consumo de endospermo por el embrión; **C.** Corte longitudinal de un óvulo de mango 'Ataulfo' conteniendo al menos cinco embriones, obsérvese el consumo del endospermo; **D.** Corte longitudinal de un óvulo de mango 'Ataulfo', mostrando el desarrollo de al menos siete embriones, obsérvese que el endospermo prácticamente ha desaparecido. **NU**, nucela; **FU**, funículo; **MI**, extremo micropilar de la nucela; **EN**, endospermo; **EM**, embrión cigótico en etapa de corazón; **EA**, embriones.

3.3.5 Seguimiento del crecimiento de fruto y semilla

Los resultados del crecimiento de fruto y semilla (Cuadro 2), muestran que los frutos de mango tenían aproximadamente 8 mm de longitud por 5.8 mm de diámetro en el día 0 del primer muestreo (DDPM), y fueron creciendo alrededor de 2 mm por semana hasta el día 15 después del primer muestreo. Luego se observa un crecimiento más acelerado del día 15 al día 26, pasando de 13.7 a 19 mm en longitud y de 8.8 a 14.2 mm en diámetro, y finalmente el día 31 DDPM los frutos registraron un tamaño promedio de 35.7 mm de longitud por 24.5 mm de diámetro, esto es un crecimiento de 27 mm durante los 31 días del muestreo.

Cuadro 2. Crecimiento de frutos de mango ‘Ataulfo’ en una huerta de la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

DDPM ^z	Fruto (mm)		Semilla (mm)	
	Longitud	Diámetro	Longitud	Diámetro
0	8.7 ± 1.032 ^Y	5.8 ± 0.752	--	--
5	10.8 ± 1.169	7.3 ± 1.211	--	--
10	12.3 ± 1.033	8.5 ± 1.049	--	--
15	13.7 ± 1.033	8.8 ± 0.753	1.0 ± 0.516	1.0 ± 0.516
26	19.0 ± 2.757	14.2 ± 1.472	7.6 ± 3.266	4.6 ± 2.137
31	35.7 ± 3.445	24.5 ± 1.378	13.2 ± 1.329	8.5 ± 0.548

^zDDPM: Días después del primer muestreo, hecho el 17 de febrero de 2020

^Y: Los valores son la media de 6 repeticiones ± desviación estándar

Por otra parte, el crecimiento de la semilla fue visible a partir de que el diámetro de fruto fue de al menos 13.7 mm de longitud y 8.8 mm de diámetro, esto fue posible a partir del día 15 después del primer muestreo y la semilla tenía una forma aproximadamente semiesférica, con 1 por 1 mm entre longitud y diámetro, respectivamente. Al día 26 después del primer muestreo, la semilla creció más de 7 mm y al día 31 el tamaño de la semilla fue de 13.2 por 8.5 mm entre longitud y diámetro, respectivamente. Hasta ese punto las semillas solamente mostraban tejido líquido del endospermo, sin embriones presentes a simple vista.

El crecimiento en longitud y diámetro en frutos y semillas reportados en este trabajo siguen una curvatura sigmoideal, con tres etapas bien diferenciadas, la primera es de un crecimiento lento (de 0 a 14 días después de la floración, DDF) pero con una activa división celular (Tharanathan et al., 2006; Ram, 1992), la

segunda etapa (de 14 a 42 DDF) es de crecimiento rápido, con expansión celular y se inicia el desarrollo de la semilla (Ram, 1992) y finalmente en la tercera etapa (de 41 a 77 DDF) el fruto continúa creciendo mediante expansión celular hasta alcanzar su tamaño final y el embrión empieza a madurar cuando el fruto alcanza su madurez fisiológica (Varoquaux et al., 2000).

Finalmente, los frutos cosechados en madurez fisiológica (Cuadro 3), midieron desde 10.3 hasta 11.9 cm de longitud, concentrándose el 84 % de los frutos en un intervalo de longitud de 10.7 a 11.5 cm.

Cuadro 3. Longitud, diámetro de fruto y número de embriones en semilla de frutos de mango 'Ataulfo' en madurez fisiológica cosechados en una huerta de la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Fruto						Semilla		
Longitud (cm)	Frecuencia	%	Diámetro (cm)	Frecuencia	%	Número de embriones	Frecuencia	%
≤ 10.3 ^z	2 ^y	8 ^x	≤ 6.2 ^z	2 ^y	8 ^x	≤ 5 ^z	7 ^y	28 ^x
≤ 10.7	6	24	≤ 6.5	7	28	≤ 7	14	56
≤ 11.1	8	32	≤ 6.8	7	28	≤ 9	2	8
≤ 11.5	7	28	≤ 7.1	7	28	≤ 11	0	0
≤ 11.9	4	16	≤ 7.4	2	8	≤ 13	2	8
Total	25	100	-	25	100	-	25	100

^z: Los valores de longitud, diámetro y número de embriones corresponden a los límites superiores de cada intervalo. Los datos corresponden a 25 frutos y semillas respectivamente.

^y: Número de veces que se contó un dato dentro del intervalo establecido.

^x: La frecuencia entre el número total de datos (25) por 100.

El diámetro de fruto fue de 6.2 a 7.4 cm, y se halló que del intervalo de 6.5 a 7.1 cm estaba el 84 % de los frutos muestreados; finalmente los frutos contenían entre 5 y 13 embriones por semilla y resultó interesante observar que el 82 % de las semillas contenían entre 5 y 7 embriones. Resultados similares para porcentajes de longitud y diámetro han sido descritos para los cultivares de mango Tommy Atkins y Keith por Fallas et al. (2010), quienes mencionan que mientras se acerca la madurez fisiológica, el fruto alcanza su tamaño máximo.

3.4 Conclusiones

El número de flores por inflorescencia en mango 'Ataulfo' varió de 316 a 2,135 y en las orientaciones sur y este fue donde se contó mayor cantidad de flores, mientras que la menor cantidad se contó en las orientaciones oeste y norte. Independientemente de si eran árboles de alta o baja incidencia de "mango niño".

Se presentó un mayor número de flores hermafroditas con respecto a masculinas, encontrándose una relación de al menos dos veces más flores hermafroditas que masculinas. Estas relaciones de flores no parecen indicar alguna relación con la presencia de "mango niño".

Se registraron al menos dos eventos de temperatura menor a 15 °C y ninguno por encima de los 35 °C, por lo que las temperaturas menores a 15 °C pudieron haber repercutido en el aborto de óvulo y embrión durante la etapa de floración y amarre de fruto, lo que pudo haber influido en la presencia de mango niño

Frutos con semilla en madurez fisiológica presentaron entre 5 y 7 embriones por semilla.

3.5 Literatura citada

- Asif, M., Usman, M., Jaskani, M. J., & Khan, M. M. (2002). Comparative study of flower sex ratio in different cultivars of mango (*Mangifera indica* L.). *International Journal of Agriculture and Biology*, 4, 220-222, consultado en: http://www.fspublishers.org/published_papers/12301_...pdf
- Bouman, F. (1984). The ovule. In Johri (Ed.). *Embryology of Angiosperms* (p.123-157), Berlin, Germany: Springer-Verlag.
- Bruck, D. K. and Walker, D. B. (1985). Cell determination during embryogenesis in *Citrus jarmhiri*. I. Ontogeny of the epidermis. *Botanical Gazete*, 146, 188-195, doi: <https://doi.org/10.1086/337514>
- Coetzer, L. A., Oosthuysen, S. A., Wishart, D. L., and Robbertse, P. J. (1995). Influence of pruning on the flower sex ratio in some mango cultivars. *South African Mango Growers' Association Yearbook (South Africa)*, 15, 26-30.
- Davenport, T. L. (2009). Reproductive physiology. In Litz, R.E (Ed.), *The mango: botany production and uses*. (pp. 97-169). Wallingford, UK: CAB International.
- Davenport, T. L. and Núñez-Elisea, R. (1997). Reproductive physiology. In: Litz, R. E (Ed.). *The Mango. Botany, Production and Uses* (p. 69-146). New York, USA: CAB International.
- Espinosa-Osornio, G. y Engleman, M. (1998). Breve Recopilación de Anatomía de Semillas. Montecillo, Edo. de México, México: Colegio de Postgraduados.
- Fallas, R., Bertsch, F., Miranda, E., & Henríquez, C. (2010). Análisis de crecimiento y absorción de nutrientes de frutos de mango, cultivares Tommy Atkins y Keith. *Agronomía Costarricense*, 34(1), 01-15, consultado en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242010000100001&script=sci_arttext
- FAOSTAT. (2020). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Consultado el 08 de junio 2020 en <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. (Segunda Edición). México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Geetha, G. A., Shivashankara, K. S., and Reddy, Y. T. N. (2016). Varietal variations in temperature response for hermaphrodite flower production and fruit set in mango (*Mangifera indica* L.). *South African Journal of Botany*, 106, 196-203, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.011>
- Gehrke-Vélez, M. R. (2008). Reflexiones sobre problemas de biología reproductiva del mango 'Ataulfo' en el Soconusco, *Chiapas Tecnología en Marcha*, 21, 174-183, consultado en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1350

- Gehrke-Vélez, M., Castillo V, A., Ruiz B, C., Moreno M, J. L., and Moreno B, G. (2012). Delayed self-incompatibility causes morphological alterations and crop reduction in 'Ataulfo' mango (*Mangifera indica* L.), *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 40(4), 215-227, doi: <https://doi.org/10.1080/01140671.2011.632423>
- Huang, J. H., Ma, 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*). *Scientia horticulturae*, 126(2), 109-119.
- Infante, F., J. Quilantán, F. Rocha, H. Esquinca, A. Castillo, G. Ibarra Núñez y V. Palacio. (2011). Mango 'Ataulfo': Orgullo chiapaneco, CONABIO, *Biodiversitas*, 96, 1-5, doi: 10.13140/RG.2.1.4498.5764
- Iyer C, P.A., Subbaiah, M.C, Subramanyam, M.D., Rao, G.S.P. (1989). Screening of germplasm and correlation among certain characters in mango. *Acta Horticulturae*. 231:83–88.
- Kobra, K., Hossain, M. A., Talukder, M. A. H., & Bhuyan, M. A. J. (2012). Performance of twelve mango cultivars grown in different agroecological zones of Bangladesh. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 37(4), 691-710, doi: <https://doi.org/10.3329/bjar.v37i4.14394>
- Lakshminarayana, S., and Aguilar, P. H. (1975). Effect of orchard heating in reducing parthenocarpic fruits in 'Haden' mango. *Proceedings of Florida State Horticultural Society*, 88, 502-505.
- Mesejo, C., Muñoz-Fambuena, N., Reig, C., Martínez-Fuentes, A., & Agustí, M. (2014). Cell division interference in newly fertilized ovules induces stenospermocarpy in cross-pollinated citrus fruit. *Plant Science*, 225, 86-94.
- Naumova, T. N., and Vielle-Calzada, J. P. (2001). Ultrastructural Analysis of Apomictic Development. In Savidan, Y.; Carman, J. G.; Dresselhaus, T. (eds.). *The Flowering of Apomixis. From Mechanisms to Genetic Engineering* (p. 44-63). México, D. F.: CIMMYT, European Union and Institut de recherche pour le développement.
- Núñez E, R. and Davenport, T. L. (1983). Abscission and Ethylene production of mango (*Mangifera indica* L.) fruit cv. Tommy Atkins. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 96, 185-188.
- Pérez, V., Herrero, M., and Hormaza, J. I. (2019). Pollen performance in mango (*Mangifera indica* L., Anacardiaceae): Andromonoecy and effect of temperature. *Scientia Horticulturae*, 253, 439-446, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.070>
- Pérez-Barraza, M. H., Bravo, A. Á., Avitia G, E., Luna, A. I. P., y Cárdenas, M. V. S. (2019). Temperatura y desarrollo floral en la formación de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo'. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 23, 199-210, doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i23.2021>

- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., y Osuna-García, J. A. (2007). Incidencia de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' en huertos comerciales de Nayarit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 149-156, doi: 10.5154/r.rchsh.2007.01.001
- Pérez-Quintanilla, N. J., Calderón C, C. S., Nomura H, J. M. (1998). La caída de flores y frutos en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataulfo y su impacto económico. *Quehacer Científico en Chiapas*, 1(2), 14-24, consultado en: https://www.dgip.unach.mx/images/pdf-REVISTA-QUEHACERCIENTIFICO/QUEHACER-CIENTIFICO-1998-agosto/LA_CAIDA_DE_FLORES_Y_FRUTOS_EN_MANGO.pdf
- Pimentel, R. B., Coronel, R. E., and Espino, R. F. C. (1984). Floral biology and fruit set in mango (*Mangifera indica* L.) cultivars: Carabao, Pico and Kancha Mitha. *Philippines Journal of Crop Sciences*, 9, 47-51, consultado en: <https://www.cabi.org/GARA/FullTextPDF/Pre2000/19850331244.pdf>
- Ram, S. (1992). Naturally occurring hormones of mango and their role in growth and drop of the fruit. *Frontier in Tropical Fruit Research* 321, 400-411, doi: 10.17660/ActaHortic.1992.321.43
- Ramírez, F., & Davenport, T. L. (2016). Mango (*Mangifera indica* L.) pollination: a review. *Scientia Horticulturae*, 203, 158-168, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.011>
- Ramírez, F., Davenport, T. L., and Fischer, G. (2010). The number of leaves required for floral induction and translocation of the florigenic promoter in mango (*Mangifera indica* L.) in a tropical climate. *Scientia Horticulturae*, 123(4), 443-453, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.10.005>
- Roldán, M., y Zapater, J. M. M. (2008). Floración y su control ambiental. In Azcón-Bieto, J., y Talón, M., (Eds.) *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 499-517). España: McGraw-Hill Interamericana.
- Sahagún C, J. (2016). Estadística descriptiva y probabilidad, una perspectiva biológica. Chapingo, estado de México, Departamento de publicaciones de la dirección de difusión cultural y servicio de la Universidad Autónoma Chapingo.
- Sedgley, M. and Griffin, A. R. (1989). Sexual Reproduction of Tree Crops. San Diego, CA: Academic Press Inc.
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 10 de junio del 2020 en <https://www.gob.mx/sader>
- Singh, R. N. (1954). Studies in Floral Biology and Subsequent Development of Fruits in the Mango (*Mangifera indica* L.) Dasherri and Langda. *Indian Journal of Horticulture*, 11(3), 69-88, consultado en: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ijh&volume=11&issue=3&article=001>

- 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, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.02.007>
- Sukhvibul, N., Whiley, A. W., Smith, M. K., Hetherington, S. E., Vithanage, V. (1999). Effect of temperature on inflorescence development and sex expression of mono and polyembryonic mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74, 64–68, doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.1999.11511073>
- Tharanathan, R. N., Yashoda, H. M., and Prabha, T. N. (2006). Mango (*Mangifera indica* L.) “The king of fruits” -An overview. *Food Reviews International*, 22(2), 95-123, doi: <https://doi.org/10.1080/87559120600574493>
- Tilton, V. R. (1980). Hypostase development in *Ornithogalum caudatum* (Liliaceae) and notes on other types of modifications in the chalaza of angiosperm ovules. *Canadian Journal of Botany*, 58, 2059-2066, doi: <https://doi.org/10.1139/b80-238>
- Varoquaux, F., Blanvillain, R., Delseny, M., & Gallois, P. (2000). Less is better: new approaches for seedless fruit production. *Trends in Biotechnology*, 18(6), 233-242, doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(00\)01448-7](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(00)01448-7)
- Von Teichman, I. (1988a). Development and structure of the seed-coat of *Lanea discolor* (Sonder) Engl. (Anacardiaceae). *Botanical Journal of Linnean Society*, 96, 105-117, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.1988.tb00631.x>
- Von Teichman, I.; Robbertse, P. J. and Schoonraad, E. (1988b). Th estructure of the seed of *Mangifera indica* L. and notes on seed caracteres of the tribu *Mangiferae* (Anacardiaceae). *South African Journal of Botany*, 54(5), 472-476, doi: [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(16\)31280-7](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(16)31280-7)

**CAPÍTULO IV. EVALUACIÓN DE LA FEROMONA DE NASONOV
SOBRE POLINIZACIÓN Y RENDIMIENTO DE FRUTO EN MANGO
(*Mangifera indica* L.) 'ATAULFO'**

RESUMEN GENERAL

EVALUACIÓN DE LA FEROMONA DE NASONOV SOBRE POLINIZACIÓN Y RENDIMIENTO EN MANGO (*Mangifera indica* L.) 'ATAULFO'

En México se cultivan aproximadamente 200 mil ha de mango y el estado de Nayarit es uno de los principales productores de mango 'Ataulfo'; sin embargo, una de las principales causas de la disminución en el rendimiento en este cultivar es la presencia de mangos sin semilla, conocidos como "mango niño". El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la feromona de Nasonov de las abejas obreras sobre la polinización y el rendimiento en mango 'Ataulfo'. Los resultados indicaron diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$) para el amarre inicial de fruto siendo el "mango niño" superior al mango con semilla en proporción de 59.6% por 40.4%, respectivamente. Por orientación de inflorescencia, el mayor número de frutos se encontró en el lado sur del árbol, siendo estadísticamente superior con 1.52, mientras que el menor fue en el lado norte con 0.79 frutos por inflorescencia ($P \leq 0.05$). En el rendimiento, se encontraron diferencias significativas en el factor feromona, tipo de mango (con semilla y "mango niño") y en la interacción respectiva. El efecto de la feromona fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) al tratamiento sin feromona en todas las variables evaluadas. Por su parte, el mango con semilla fue superior en número de frutos (119.95) respecto al mango sin semilla (65.70). En la interacción se demostró que el rendimiento de frutos con semilla de la huerta con feromona fue superior a la huerta sin feromona, al pasar de 53.35 a 132.30 frutos por árbol ($P \leq 0.05$). En las huertas evaluadas en Nayarit, los datos indicaron que la feromona de Nasonov de la abeja obrera aumentó el número de frutos con semilla, rendimiento, peso promedio de fruto, calibre, longitud y diámetro en mango 'Ataulfo'.

Palabras clave: *Mangifera indica* L., *Apis mellifera*, polinizador, feromona de Nasonov, rendimiento.

Tesis de Maestría, Maestría en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo

Autor: José Manuel Castillo Chuc

Director: Dr. Edilberto Avitia García

ABSTRACT

EVALUATION OF THE NASONOV PHEROMONE ON POLLINATION AND YIELD IN 'ATAULFO' (*Mangifera indica* L.) MANGO

Mexico grows around 200 thousand ha of mango. Nayarit is one of the main mango state producers of mango crop 'Ataulfo'; however, one of the principal causes in the yield decrease of this crop is the presence of seedless fruits, known as nubbin or "mango niño". The aim of this work was to evaluate the effect of the Nasonov pheromone from the honeybee on pollination and yield in mango crop 'Ataulfo'. The results showed statistically significant differences ($P \leq 0.05$) for initial fruit set, being the nubbin fruit higher to the mango with seed in a ratio from 59.6 to 40.4%, respectively. By inflorescence orientation, the higher number of fruits was counted on the south side of the tree, being statistically superior with 1.52 fruits per inflorescence, while the north side was 1.52 fruits per inflorescence ($P \leq 0.05$). For yield, significant differences for the pheromone factor, mango type (with seed and nubbin) and in their respective interaction were founded. The effect of the pheromone was statistically higher than the no pheromone treatment in all the variables evaluated. By the other side, the number of fruits in the mango with seed (119.95) was higher than the seedless mango (65.70). The interaction demonstrated that the yield of fruits with seed on the orchard with pheromone was superior than the orchard with no pheromone, passing from 53.35 to 132.30 fruits per tree ($P \leq 0.05$). The data indicate that the Nasonov pheromone of the honeybee increased the number of pollinated fruits, yield, average fruit weight, caliber, length and diameter in mango crop 'Ataulfo' in the orchards evaluated in Nayarit.

Key words: *Mangifera indica* L., pollinator, Nasonov pheromone, *Apis mellifera*, yield.

Thesis, Master of Science in Horticulture, Universidad Autónoma Chapingo

Author: José Manuel Castillo Chuc

Advisor: Dr. Edilberto Avitia García

4.1 INTRODUCCIÓN

En México, al año 2020, se cultivan más de 200 mil hectáreas de mango con una producción de 1.86 millones de toneladas y con un valor de la producción de \$8,453 millones de pesos. En Nayarit, la superficie establecida supera las 27 mil hectáreas, con una producción mayor a las 322 mil toneladas. La superficie cultivada de mango 'Ataulfo' en Nayarit asciende aproximadamente a 12,500 ha, con una producción de 133 mil toneladas (SIAP, 2020).

Sin embargo, una de las problemáticas de este cultivar, es la incidencia de "mango niño", que son frutos pequeños sin semilla y que carecen de valor comercial, causando una disminución de hasta el 90 % de la producción (Pérez-Barraza, et al., 2007; Gehrke, 2008; Infante *et al.*, 2011).

En frutos como el mango, la polinización es un evento de suma importancia para que ocurra el amarre y posterior desarrollo del fruto (Jutamanee et al., 2002; Ramírez y Davenport, 2016). Se ha comprobado que la polinización por insectos mejora el valor comercial cuantitativo y cualitativo de los cultivos (Stein et al., 2017; Wietzke, 2018). Entre los polinizadores más importantes en mango se encuentran insectos de los órdenes Díptera, Himenóptera, Coleóptera y Lepidóptera (Chauhan et al., 2018), y entre ellos la abeja melífera (*Apis mellifera*) es la más importante para la polinización (Keng-Lou et al., 2018).

Una de las propuestas para mejorar la eficiencia de la polinización de los cultivos es la aplicación de atrayentes para que las abejas polinizadoras permanezcan más tiempo en el cultivo de interés. Para ello se ha hecho uso de feromonas, una de ellas es la feromona de Nasonov de las abejas obreras, que ha demostrado ser eficiente para mejorar la polinización en cultivos como alfalfa (*Medicago sativa*), cebolla (*Allium cepa*) y cítricos (Woyke, 1980; Gordon, 1970; Malerbo-Souza et al., 2004); sin embargo, en un estudio más reciente hecho en arándano (*Vaccinium sp. L.*), cerezo (*Prunus cerasus L.*) y manzano (*Malus pumila Mill.*), esta feromona no aumentó el rendimiento ni la cantidad de insectos polinizadores

en esos cultivos (Williamson et al., 2018). No se encontraron referencias de la aplicación de atrayentes para aumentar la polinización en mango 'Ataulfo'.

La feromona de Nasonov se libera en la glándula del mismo nombre, que se encuentra ubicada en el séptimo tergito abdominal de la abeja melífera. Al exponerse esta glándula, se libera esta feromona volátil que atrae a más abejas obreras para forrajear las flores, logrando con ello un aumento en la eficiencia de la polinización dentro del cultivo de interés (Pickett et al., 1980; Williamson *et al.*, 2018).

Por lo anterior, y partiendo de la hipótesis de que es posible identificar la polinización como un factor que conduce a la falta de semilla en mango 'Ataulfo', en este trabajo se evaluó el efecto de la feromona de Nasonov de las abejas obreras con el objetivo de evaluar sus efectos sobre el amarre y rendimiento en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Localización

La investigación se realizó en dos huertas comerciales de mango 'Ataulfo' establecidas en el municipio de San Blas, Nayarit con alta incidencia (80 %) de frutos sin semilla (= "mango niño"). Las huertas están ubicadas en la localidad de Las Palmas (21° 62' de LN y 105° 15' LW, a 75 msnm), con un clima clasificado como (A)Ca(w2)(w)(i)w" (García, 1973).

4.2.2 Material Vegetal

Se seleccionaron árboles de mango 'Ataulfo' de 8 y 10 años de edad con alta incidencia de frutos sin semilla. Los árboles están injertados sobre portainjerto criollo regional.

Huerta 1. Árboles de 10 años de edad, establecidos a distancias de 8 m entre hileras y 5 m entre árboles, con una densidad de 250 árboles por ha. El manejo consistió en poda de despunte, utilizando una podadora mecánica; se hizo una fertilización después de la cosecha, aplicando 3 kg de triple 17 por árbol y posteriormente 4 kg de gallinaza antes de la salida del temporal de lluvias (septiembre). El riego fue mediante el sistema de goteo y se aplicaron riegos semanales a partir de febrero.

Huerta 2. Consistió de árboles de 10 años de edad establecidos a distancias de 8 m entre hileras y 5 m entre árboles, con una densidad de 250 árboles por ha. El manejo fue similar al de la huerta 1, pero el riego fue más escaso; mediante el sistema de goteo y los riegos se aplicaron cada 15 días a partir de marzo.

4.2.3 Tratamiento y diseño experimental

En la Huerta 1 cuando los árboles estaban en plena floración se aplicó el producto Splat Bloom™ (fabricante ISCA Technologies Inc, Riverside, CA, USA), que es una feromona comercial de la glándula Nasonov de las abejas obreras [i.a 10 % geraniol (3,7- dimetil-2,6-octadien-1-ol) más 90 % de cera, agua y emulsificantes] mediante una pistola dispensadora y se colocaron aproximadamente 3 g del

producto en dos ramas principales de 30 árboles, la aplicación se hizo alternada; en dos ramas con orientación norte-sur y en dos ramas con orientación este-oeste. En la huerta 2 no se aplicó feromona y funcionó como testigo.

Se evaluaron 4 tratamientos: 1) 'Ataulfo' + feromona + mango sin semilla, 2) 'Ataulfo' + feromona + mango con semilla, 3) Testigo ('Ataulfo' sin feromona + mango sin semilla) y 4) Testigo ('Ataulfo' sin feromona + mango con semilla), bajo un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones, utilizando un árbol como unidad experimental.

4.2.4 Variables evaluadas

Se evaluó el amarre inicial de frutos con semilla y frutos sin semilla, para ello, se contó el número de cada tipo de frutos en una inflorescencia por cada uno de los cuatro polos seleccionados y en cada repetición.

Para las variables rendimiento por árbol, se cosecharon todos los frutos del árbol y se procedió a su conteo y peso total de frutos por árbol, tanto de frutos polinizados como frutos sin semilla, posteriormente con esos mismos datos, se obtuvo el calibre de fruto.

Por último, para las variables longitud y diámetro de frutos con semilla y frutos sin semilla, se utilizó un vernier digital marca Truper modelo CALDI-6MP.

4.2.5 Análisis de datos

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el programa SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc, 2013). Previo al análisis de varianza, los datos de la variable amarre inicial de fruto fueron transformados mediante la Ecuación 2 para tener una distribución aproximadamente normal (Steel y Torrie, 1984; Gutiérrez y De la Vara, 2008).

$$x = y^{-1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Para los demás datos se efectuó un análisis de varianza para las variables rendimiento por árbol, peso promedio de fruto, longitud y diámetro de fruto. De

igual manera, se realizó una comparación de medias en las variables significativas con la prueba de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

4.3 Resultados y discusión

4.3.1 Amarre inicial de frutos en mango ‘Ataulfo’

El análisis de varianza del Cuadro 4 muestra que, para el amarre inicial de fruto, hubo diferencias significativas para el factor B (tipo de mango) y C (orientación de la inflorescencia). No se encontraron diferencias para el factor A (Feromonas); ni tampoco en ninguna de las interacciones entre las huertas con feromonas, el tipo de mango y la orientación de la inflorescencia.

Cuadro 4. Análisis de varianza para el amarre inicial de frutos en mango ‘Ataulfo’.

F. V	G. L	C.M	F	Pr>F
A	1	0.098	0.39	0.5336 ^{ns}
B	1	5.396	21.35	<.0001 ^{**}
C	3	2.460	9.74	<.0001 ^{**}
AB	1	0.656	2.60	0.1109 ^{ns}
AC	3	0.015	0.06	0.9804 ^{ns}
BC	3	0.332	1.32	0.2746 ^{ns}
ABC	3	0.561	2.22	0.0918 ^{ns}
Error	80	0.252		

F.V= Fuente de variación; G.L= Grados de libertad; C.M Cuadrados medios; F= Valor F de tablas Pr>F= F calculada; A= Factor feromonas; B= Factor tipo de mango; C= Factor orientación; AB, AC, BC, ABC= interacciones entre los factores principales; ns= no significativo con $P \leq 0.05$; **= altamente significativo con $P \leq 0.001$

4.3.2 Tipo de mango en amarre inicial de fruto

Para el factor B (Tipo de mango, Cuadro 5), hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$), siendo el “mango niño” el que más tiene presencia en las huertas de mango ‘Ataulfo’ en la etapa de amarre inicial de fruto, al tener en promedio 1.49 frutos por inflorescencia, comparado con el mango con semilla, que tuvo en promedio 1.01 frutos por inflorescencia; esto es una incidencia de 59.6 % de “mango niño” respecto al mango con semilla.

Cuadro 5. Tipo de mango en amarre inicial de fruto en huertas de mango ‘Ataulfo’ en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Tipo de mango	Amarre inicial de fruto (frutos inflorescencia ⁻¹)	Amarre inicial (porcentaje)
“Mango niño”	1.49 a ^z	59.6
Mango con semilla	1.01 b	40.4
DMSH	0.20	-

^z: Letras dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$).
DMSH= Diferencia mínima significativa honesta. Los valores de la media son las transformadas de $x = y^{-1}$

Estos resultados coinciden con estudios hechos anteriormente para el mismo cultivar por Pérez-Barraza *et al.* (2007), en los que se encontraron porcentajes de 16 % de incidencia de “mango niño” para la localidad de Las Palmas, hasta el 72 % en distintas localidades del estado de Nayarit; en este estudio el porcentaje de amarre de “mango niño” fue estadísticamente superior ($P \leq 0.05$) al mango con semilla, lo que es normal en este cultivar, y se atribuye a que en las primeras etapas del desarrollo es precisamente el estímulo de la polinización y su aporte de fitohormonas (giberelinas, citocininas y auxinas, principalmente), que juega un papel importante en el amarre y desarrollo de fruto, aunque no garantiza que los frutos de “mango niño” en amarre inicial lleguen hasta la cosecha (Chen, 1983; Díaz, 2002; Pérez-Barraza *et al.*, 2009).

4.3.3 Número de frutos por orientación de la panícula en amarre inicial de frutos

Para el factor C (orientación de la panícula) se encontró que, en los polos Este, Sur y Oeste tienen estadísticamente ($P \leq 0.05$) la misma cantidad de frutos, que fueron de 1.34 a 1.52 frutos por panícula y estas tres orientaciones fueron superiores a la orientación Norte del árbol, que fue donde se encontró la menor cantidad de frutos con 0.79 (Cuadro 6). Estas diferencias pueden atribuirse a que en los lados donde se encontró mayor número de frutos, es por donde el sol siguió su orientación natural durante el transcurso del día y, por lo tanto, esas orientaciones (Este, Sur y Oeste) aportan mayor cantidad de luz a las hojas, lo que genera un mayor estímulo para acumular fotoasimilados que finalmente son

translocados hacia las yemas reproductivas para la formación de flores y frutos (Ramírez y Davenport, 2016).

Cuadro 6. Orientación de la inflorescencia y amarre inicial de fruto en huertas de mango ‘Ataulfo’ en la localidad de Las Palmas, Tepic, Nayarit, México.

Orientación	Amarre inicial de fruto (frutos inflorescencia ⁻¹)
Norte	0.79 b
Este	1.36 a
Sur	1.52 a
Oeste	1.34 a
DMSH	0.38

^z: Letras diferentes dentro de la misma columna indican diferencias estadísticas significativas ($P \leq 0.05$). DMSH= Diferencia mínima significativa honesta. Los valores de la media son las transformadas de $x = y^{-1}$

En promedio se registraron 1.25 frutos por panícula, lo cual se considera dentro de los valores para mango ‘Ataulfo’ reportados anteriormente por Pérez-Barraza et al., (2009) y que coincide también con otros cultivares de mango reportados en otros trabajos (Pérez, 2013). Respecto al número de frutos por orientación, se encontró que en tres cultivares de mango de la India coinciden con este trabajo y que presentaron el menor número de frutos en la orientación norte (Mohanty, 2018). En otras especies se ha visto que la orientación en la que se siembran los árboles influye en la intensidad de floración y en el número de flores dentro de la planta, en peral (*Pyrus communis* L.) se ha reportado que el menor número de frutos que llegaron a cosecha se dio en el lado norte de la planta, siendo la orientación de siembra de este a oeste, y en persimonia (*Diospiros kaki* L.) se reportó que fue en la orientación norte donde se presentaron más frutos a cosecha; en ambos estudios se atribuyó este comportamiento a los diferentes niveles de percepción de luz solar durante el día (Khemira, 1991; George et al., 1996).

4.3.4 Rendimiento en mango ‘Ataulfo’

El análisis de varianza (Cuadro 7) para el rendimiento en mango ‘Ataulfo’ mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($P \leq 0.01$) para los factores feromonas (A), tipo de mango (B), y en la interacción (AB) respectiva de la

variable rendimiento; en las otras variables no se encontraron diferencias significativas en las interacciones.

Cuadro 7. Valores de los cuadrados medios de los efectos de los factores estudiados en huertas de mango 'Ataulfo' en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

F. V	Número de frutos	Rendimiento	Peso promedio de fruto	Longitud	Diámetro
A	62331.02***	9933.52***	106399.22***	41.41***	22.35***
B	29430.62*	19190.97***	764799.02***	202.95***	49.95***
AB	7263.025 ns	5041.14***	8381.02 ns	0.00025ns	0.38 ns
Error	1858.08	254.97	5001.60	1.03	0.20
C.V	46.43	55.480	30.48	10.27	8.32

F. V= Fuente de variación; C. V= Coeficiente de variación; A= Factor feromonas; B= Factor tipo de mango; AB= interacción entre el factor A y B, ns= no significativo de acuerdo a la prueba de Tukey a $P \leq 0.05$; * significativo con $P \leq 0.05$; ***= altamente significativo con $P \leq 0.0001$

4.3.5 Efecto de la aplicación de feromonas sobre el rendimiento

Para el factor feromona (Cuadro 8), se encontró que la huerta tratada con feromona tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en todas las variables evaluadas, siendo superior la huerta a la que se le aplicó la feromona de Nasonov.

El efecto que la feromona de Nasonov tuvo sobre el número de frutos fue de 53.35 a 132.30 frutos por árbol, esto fue un aumento del 147 %; para el rendimiento por árbol se tuvo un aumento de 13.02 a 44.54 kg árbol⁻¹ que significó un incremento de 242 %; para el peso promedio de fruto se registró un aumento del 57 % al pasar de 180.40 a 283.55 g fruto⁻¹; por último, la longitud aumentó de 8.90 a 10.93 mm (22 %) y el diámetro aumentó de 6.20 a 4.71mm (31 %) de la huerta sin feromona a la huerta con feromona.

Cuadro 8. Efecto de la aplicación de la feromona de Nasonov en dos huertas de mango ‘Ataulfo’ en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Tratamiento	Número de Frutos	Rendimiento (Kg árbol ⁻¹)	Peso prom. de fruto (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
Con Feromona	132.30 a ^z	44.54 a	283.55 a	10.93 a	6.20 a
Sin Feromona	53.35 b	13.02 b	180.40 b	8.90 b	4.71 b
DMSH	27.645	10.241	45.356	0.653	0.291

^z: Letras con medias iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P≤0.05).

DMSH=diferencia mínimamente significativa honesta.

Aunque no se encontraron referencias del uso de atrayentes de agentes polinizantes para aumentar la polinización en mango, se sabe que los insectos juegan un papel importante para la polinización en este cultivo. Así, en un estudio hecho en plantas de pequeño porte del cultivar Keitt, se obtuvieron producciones de 1 fruto planta⁻¹ cuando las plantas no recibieron visitantes florales y de 62 frutos planta⁻¹ cuando las plantas recibieron visita de polinizadores (Dag y Gazit, 2000). En otro experimento hecho por Sing (1996), se observó que en las panículas completamente cubiertas para evitar insectos polinizadores no se observó amarre de fruto, mientras que en las panículas descubiertas para que los insectos las visitaran, hubo mayor número de frutos formados, lo que indica la gran importancia de los insectos para una efectiva polinización en mango.

4.3.6 Rendimiento de mangos con semilla y “mango niño”

Para el tipo de mango cosechado por árbol (Cuadro 9), se observó que el mango con semilla fue el que obtuvo mayor número de frutos, mayor rendimiento por árbol, mayor peso promedio de fruto, mayor longitud y mayor diámetro.

El mango con semilla superó al “mango niño” en todas las variables evaluadas, lo que es de esperarse, ya que el tamaño del fruto se determina por el número y tamaño de células que el fruto produce durante los primeros días después de la polinización y, a su vez, el número y tamaño de células están fuertemente influenciados por fitohormonas (giberelinas, citocininas y auxinas) que se

sintetizan producto del estímulo de la polinización (Pérez-Barraza *et al.*, 2017; Ogata *et al.*, 2009) , por lo tanto, en los frutos sin semilla (“mango niño”), el estímulo para la división celular fue limitado, lo cual lo llevó a un menor tamaño de fruto. De hecho, es precisamente el menor tamaño de fruto lo que hace al “mango niño” no ser aceptado en el mercado de consumo, ocasionando pérdidas de hasta el 90 % de la producción, como se ha reportado anteriormente en Nayarit por Pérez-Barraza *et al.* (2009); por lo tanto, el porcentaje de incidencia de “mango niño” es el porcentaje de pérdida en la producción.

Cuadro 9. Efecto de la aplicación de la feromona de Nasonov sobre cinco variables evaluadas en huertas de mango ‘Ataulfo’ en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Tipo de mango	Número de Frutos	Rendimiento (Kg árbol ⁻¹)	Peso prom. de fruto (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)
Con semilla	119.95 a ^z	50.685 a	370.25 a	12.17 a	6.57 a
“Mango niño”	65.70 b	6.877 b	93.70 b	7.66 b	4.34 b
DMSH	27.645	10.241	45.356	0.653	0.291

^z: Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P≤0.05). DMSH=diferencia mínimamente significativa honesta.

En este trabajo, el porcentaje de incidencia de “mango niño” al momento de cosecha fue de 35.50 % lo que representó el porcentaje de pérdida en la producción.

4.3.7 Efecto de la interacción entre feromona y tipo de fruto en árboles de mango ‘Ataulfo’

Para las interacciones entre la feromona y el tipo de fruto encontrado en las huertas de mango ‘Ataulfo’ (Cuadro 10), se encontró que el tratamiento con feromonas produjo un aumento significativo en todas las variables evaluadas (P≤0.05).

En ese sentido, para el número de frutos por árbol, la combinación de feromona y fruto con semilla fue superior en un 158 % a los frutos con semilla de la huerta sin feromonas. El rendimiento de los frutos con semilla pasó de 23.70 a 77.67 kg por árbol de la huerta sin feromonas a la huerta con feromonas; el peso promedio

de los frutos con semilla fue de 304.20 a 436.30 g de la huerta sin feromona a la huerta con feromona. La longitud de los frutos con semilla pasó de 11.15 a 13.19 mm de la huerta sin feromona a la huerta con feromona y el diámetro pasó de 5.73 a 7.42 mm entre frutos con semilla de la huerta sin feromona a la huerta con feromona.

El efecto de la feromona sobre el “mango niño” no fue significativo para la variable número de frutos; sin embargo, los frutos pasaron de 39.70 a 91.70 frutos por árbol. El rendimiento por árbol de los frutos sin semilla pasó de 2.34 a 11.41 kg árbol⁻¹ entre la huerta sin feromonas a la huerta con feromonas; el peso promedio de fruto sin semilla pasó de 56.60 a 130.80 g de la huerta sin feromona a la huerta con feromona; la longitud pasó de 6.65 a 8.68 mm y el diámetro pasó de 3.69 a 4.99 mm entre la huerta sin feromona y la huerta con feromona, respectivamente.

Cuadro 10. Interacción del tratamiento de la feromona de Nasonov sobre el tipo de mango en dos huertas de mango ‘Ataulfo’ en la localidad de Las Palmas, San Blas, Nayarit, México.

Tratamiento	Número de Frutos	Rendimiento (Kg árbol ⁻¹)	Peso prom. de fruto (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Calibre
C. F. SEM.	172.90 a ^z	77.67 a	436.30 a	13.19 a	7.42 a	10
C. F. Niño	91.70 b	11.41 b	130.80 c	8.68 c	4.99 c	-
S. F. SEM	67.00 b	23.70 b	304.20 b	11.15 b	5.73 b	12
S. F. Niño	39.70 b	2.34 c	56.60 c	6.65 d	3.69 d	-
DMSH	52.34	19.38	85.7	1.23	0.551	-

C. F. SEM= Con feromona y mango con semilla; C. F. Niño= Con feromona y mango niño; S.F. SEM= Sin feromona y mango con semilla; S.F. Niño= Sin feromona y mango niño.

^z: Medias con letras iguales dentro de cada columna no difieren estadísticamente (Tukey, P≤0.05). DMSH=diferencia mínimamente significativa honesta.

Por último, el peso promedio de fruto es un factor que determina el calibre en mango ‘Ataulfo’ para su comercialización. Los frutos con semilla del tratamiento con feromonas cumplieron con el peso (436.30 g) promedio para ser clasificados como calibre 10 [esto es, 10 frutos de mango por caja de 10 libras(1lb=453.59g)], comparado con los frutos con semilla de la huerta sin feromonas, que pesaron

en promedio 304.20 g y por lo tanto se clasificaron como calibre 12 (12 frutos de mango por caja de 10 libras).

Por su parte, el “mango niño”, tanto de la huerta con feromona como de la huerta sin feromona, no cumplió con los requerimientos de tamaño y peso para su venta al mercado nacional ni de exportación, de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NMX-FF-058-2006), por lo tanto, significó una pérdida para el productor. El porcentaje de pérdida (=incidencia de “mango niño”) fue de 34 % para la huerta con feromona y de 37.5 % para la huerta sin feromona.

Estos datos son prueba indirecta del aumento en la eficiencia de la polinización y prueba directa del aumento del rendimiento en mango ‘Ataulfo’ a través del uso de la feromona de Nasonov, que se caracteriza por atraer a las abejas melíferas que son consideradas, junto a insectos de los géneros Díptera y Coleóptera, como polinizadoras directas de mango (Dag y Gazit, 2000; Siqueira et al., 2008; Nayaket et al., 2020).

En estudios hechos en especies como cebolla, alfalfa y manzano se ha visto que la feromona de Nasonov incrementó el número de visitantes florales y el rendimiento; en naranjo dulce se observó que las abejas se sintieron más atraídas a las huertas tratadas con esta feromona (Gordon, 1970; Woyke, 1980; Malerbo-Souza et al., 2004); sin embargo, en otros trabajos hechos en manzano, arándano, cerezo y en hortalizas, como pepino y sandía; esta feromona no reveló efectos significativos sobre los rendimientos; (Schultheis et al., 1994; Willianson et al., 2018).

El estímulo que provoca el polen durante el crecimiento del tubo polínico induce la síntesis de fitohormonas como giberelinas, auxinas y citocininas que promueven la expansión y división celular (Chen, 1983; Díaz, 2002), trayendo como consecuencia un mayor tamaño y peso de los frutos de mango ‘Ataulfo’ (Pérez-Barraza et al., 2009).

4.4 Conclusiones

La feromona de Nasonov demostró ser eficiente para mejorar la polinización y aumentar el rendimiento en mango 'Ataulfo'. El aumento de peso promedio del fruto y el rendimiento en kg árbol⁻¹, y el porcentaje de frutos con semilla fue mayor en la huerta tratada con feromona.

Los frutos sin semilla no alcanzaron el tamaño, ni peso mínimo para su venta al mercado nacional ni de exportación, por lo que continúa siendo una pérdida para el productor.

La producción de frutos sin semilla en árboles con y sin feromona fue evidente, aunque en menor cantidad respecto a los frutos con semilla.

4.5 Literatura citada

- Chauhan, A. K., Chandra, U., and Gupta, P. K. (2018). Study of pollinator's diversity on Mango (*Mangifera indica* L.) var. amrapali. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(3), 974-975, consultado en: <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue3/PartN/6-3-219-415.pdf>
- Chen, W. S. (1983). Cytokinins of the developing mango fruit: isolation, identification, and changes in levels during maturation. *Plant Physiology*, 71(2), 356-361, doi: <https://doi.org/10.1104/pp.71.2.356>
- Dag, A., and Gazit, S. (2000). Mango pollinators in Israel. *Journal of Applied Horticulture*, 2(1), 39-43, consultado en: [http://horticultureresearch.net/journal_pdf/Dag%20&%20Gazit,%20JAH%20Vol,%202%20\(1\),%202000.pdf](http://horticultureresearch.net/journal_pdf/Dag%20&%20Gazit,%20JAH%20Vol,%202%20(1),%202000.pdf)
- Díaz M., D.H. (2002). Fisiología de Árboles Frutales. México, D.F.: Editorial AGT.
- García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Segunda Edición. México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gehrke V, M.R. (2008). Reflexiones sobre problemas de biología reproductiva del mango 'Ataulfo' en el Soconusco, *Chiapas Tecnología en Marcha*, 21 (1), 174-183, consultado en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1350/1252.
- George, A. P., Nissen, R. J., Collins, R. J., and Rasmussen, T. S. (1996). Effects of shoot variables and canopy position on fruit set, fruit quality and starch reserves of persimmon (*Diospyros kaki* L.) in subtropical Australia. *Journal of Horticultural Science*, 71(2), 217-226, doi: <https://doi.org/10.1080/14620316.1996.11515399>
- Gordon D., W. (1970). Attracting Honeybees to Alfalfa with Citral, Geraniol and Anise. *Journal of Apicultural Research*, 9, 9-12, doi: <https://doi.org/10.1080/00218839.1970.11100238>
- Gutiérrez P, H., y De la Vara S, R., (2008). *Análisis y diseño de experimentos*. (Segunda edición). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Infante, F., Quilantán, J., Rocha, F., Esquinca, H., Castillo, A., Ibarra N, G., y Palacio, V. (2011). Mango 'Ataulfo': Orgullo chiapaneco. *CONABIO. Biodiversitas*, 96, 1-5, doi: [10.13140/RG.2.1.4498.5764](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4498.5764)
- Jutamanee, K., Eoomkham, S., Pichakum, A., Krisanapook, K., Phavaphutanon, L. (2002). Effects of calcium: boron and sorbitol on pollination and fruit set in mango cv. Namdokmai. *Acta Horticulturae*, 575, 829–834, doi: [10.17660/ActaHortic.2002.575.98](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.575.98)

- Keng-Lou, J., Kingston M, J., Albrecht, M., Holway A, D., and Kohn R, J. (2018). The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1870), 20172140, doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2017.2140>
- Khemira, H. (1991). Influence of canopy orientation on fruiting on 'Anjou' pears and postharvest urea spray on ovule longevity and fruit set of 'comice' pears. (Thesis of master of science, Oregon State University, USA). Consultada en https://ir.library.oregonstate.edu/concern/graduate_thesis_or_dissertations/rn301576x
- Malerbo-Souza, D. T., Nogueira-Couto, R. H., & Couto, L. A. (2004). Honey bee attractants and pollination in sweet orange, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, var. Pera-Rio. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 10(2), 144-153, doi: <https://doi.org/10.1590/S1678-91992004000200004>
- Mohanty, K. C. (2018). Studies on flowering behavior of important varieties of mango (*Mangifera indica* L.) in Odisha. (Thesis of Master in Science, Orissa University of Agriculture, Bhubaneswar, India). Consultada en <http://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810069848>
- Nayak, P., Behera, D., and Das, S., (2020). Surveying, record keeping and identifying the various insect pollinators visiting mango inflorescence under coastal Odisha conditions. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3): 1157-1162, doi: 10.22271/chemi.2020.v8.i3o.9356
- Norma Oficial Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 sobre productos alimenticios no industrializados para consumo humano-fruta fresca- mango (*Mangifera indica* L.)- especificaciones. Secretaría de Economía. (2006). México D.F. Consultado en: <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2006/nmx-ff-058-scfi-2006.pdf>
- Ogata, T., Tamura, H., Hamada, K., & Hasegawa, K. (2009). Effect of gibberelin on setting and growth of non-pollinated parthenocarpic fruit in mango. In *XI International Symposium on Plant Bioregulators in Fruit Production 884*, 597-604, doi: 10.17660/ActaHortic.2010.884.78
- Pérez M, V. (2013). Biología reproductiva del mango (*Mangifera indica* L.). (Tesis de doctorado, Universidad de Málaga, España). Consultada en <http://hdl.handle.net/10261/96361>
- Pérez-Barraza, M. H., Cano M, R., Avitia G, E., Gutiérrez E, M. A., Nolasco G, Y., Osuna E, T. (2017). Reguladores de crecimiento en mango: su relación con carbohidratos, número y tamaño de células. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 19, 3855-3868, doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.655>
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., & Osuna-García, J. A. (2007). Incidencia de frutos partenocárpicos en mango 'Ataulfo' en huertos

- comerciales de Nayarit. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(2), 149-156, doi: 10.5154/r.rchsh.2007.01.001
- 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, consultado en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027152X2009000200012&lng=es&nrm=iso
- Pickett, J. A., Williams, I. H., Martin, A. P., & Smith, M. C. (1980). Nasonov pheromone of the honey bee, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Chemical Ecology*, 6(2), 425-434, doi: <https://doi.org/10.1007/BF01402919>
- Ramírez, F., and Davenport, T. L. (2016). Mango (*Mangifera indica* L.) pollination: a review. *Scientia Horticulturae*, 203, 158-168, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.011>
- SAS Institute Inc. (2013). SAS® 9.4 Statements: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc., consultado en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=239E4F5E2E39CF2164C9BAD96900EA01?doi=10.1.1.353.6870&rep=rep1&type=pdf>
- Schultheis, J. R., Ambrose, J. T., Bambara, S. B., & Mangum, W. A. (1994). Selective bee attractants did not improve cucumber and watermelon yield. *HortScience*, 29(3), 155-158, doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.29.3.155>
- SIAP, Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Consultado el 10 de junio del 2020 en <https://www.gob.mx/sader>
- Singh, D. (1996). Pollination, pollinators and fruit setting in mango. In *V International Mango Symposium*, 455, 116-123, doi: 10.17660/ActaHortic.1997.455.16
- Siqueira, K. M. M. D., Kiill, L. H. P., Martins, C. F., Lemos, I. B., Monteiro, S. P., & Feitoza, E. D. A. (2008). Estudo comparativo da polinização de *Mangifera indica* L. em cultivo convencional e orgânico na região do Vale do Submédio do São Francisco. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 303-310, doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200006>
- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1984). *Principles and procedures of statistics a biometrical approach*. (2th. Ed). New York: McGraw Hill Publishers.
- Stein, K., Coulibaly, D., Stenchly, K., Goetze, D., Porembski, S., Lindner, A., ... and Linsenmair, E. K. (2017). Bee pollination increases yield quantity and quality of cash crops in Burkina Faso, West Africa. *Scientific reports*, 7(1), 1-10, doi: 10.1038/s41598-017-17970-2
- Wietzke, A., Westphal, C., Gras, P., Kraft, M., Pfohl, K., Karlovsky, P., ... Smit, I. (2018). Insect pollination as a key factor for strawberry physiology and

marketable fruit quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 258, 197-204, doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.036>

Williamson, J., Adams, C. G., Isaacs, R., & Gut, L. J. (2018). Evaluation of Nasonov Pheromone Dispensers for Pollinator Attraction in Apple, Blueberry, and Cherry. *Journal of Economic Entomology*, 111(4), 1658-1663, doi: <https://doi.org/10.1093/jee/toy107>

Woyke, H. W. (1980). Some aspects of the role of the honeybee in onion seed production in Poland. In *Symposium on Vegetable and Flower seed Production 111*, 91-98, doi: 10.17660/ActaHortic.1981.111.12