



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN FITOSANIDAD

FITOPATOLOGÍA

## **TOLERANCIA DE CULTIVARES DE MANGO (*Mangifera indica* L.) A LA CENICILLA (*Oidium mangiferae* Berthet.) EN MÉXICO.**

M. C. Amado Pérez Rodríguez

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2017

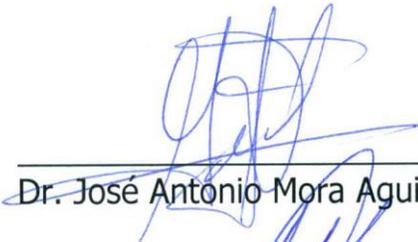
La presente tesis titulada: "TOLERANCIA DE CULTIVARES DE MANGO (*Mangifera indica* L.) A LA CENICILLA (*Oidium mangiferae* Berthet.) EN MÉXICO", realizada por el alumno: Amado Pérez Rodríguez bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS

FITOSANIDAD  
FITOPATOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Antonio Mora Aguilera

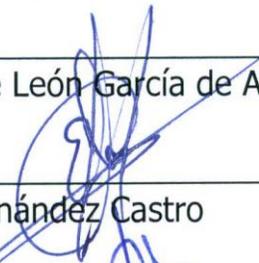
ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Sergio Sandoval Islas

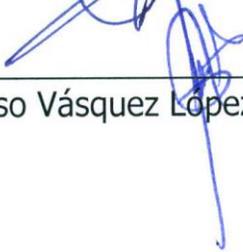
ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Carlos de León García de Alva

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Elías Hernández Castro

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Alfonso Vásquez López

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2017

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento durante mi programa de estudios doctorales.

Al Dr. José Antonio Mora Aguilera por su amistad y la invaluable dirección en la planeación, ejecución y culminación de esta investigación.

Al Dr. José Sergio Sandoval Islas, Dr. Carlos de León, Dr. Elías Hernández Castro, Dr. Alfonso Vásquez López y Dr. Ángel Villegas Monter por sus acertadas aportaciones y sugerencias que enriquecieron esta investigación.

Al Dr. Cristian Nava Díaz por su gran apoyo en este proyecto de investigación.

Al Dr. Agustín Damián Nava por brindarme un espacio en su laboratorio que fue parte esencial del trabajo de investigación.

A la Ing. Daría Zapoteco Capulín y el Ing. Luis Rosas por apoyarme en la toma de datos y por su amistad brindada en mi estancia de investigación.

A Elvia Rosas por su amistad y facilidades brindadas en la fase administrativa y de laboratorio.

A Hilda, Verónica y Silvia por su amable atención y apoyo en los diversos trámites realizados en el postgrado de Fitosanidad.

A Natali Salgado Cruz, Dianita Isabella e Ikal Adrián que fueron y siguen siendo un gran apoyo constante y por aguantarme todo este proceso que no ha sido fácil pero si muy satisfactorio. También a Frank, Ale, Daniel, Rony, Yulissa, Doña Suegra Nena por todo el apoyo brindado.

A mis padres: Adrián y Juana porque gracias a ellos sigo luchando y persiguiendo sueños, mi hermana Consuelo, que es la que siempre ha creído en mí; y mis sobrinos Paulino, Jorge, Ricardo y Francisco.

A mis amigos y compañeros de esta travesía llamada doctorado: Paúl, Yuridia, Abraham, Haidel, Martita, Dr. Talavera, Marco, Cipri, Fernanda, Jorge, Jesús, Fernanda, Edgar, Elvia, Isabel, Marilú, Don Ochoa, Valentín, Abril, Karla, Fili, Mine, Liz, Kristel y muchos más por todo lo vivido juntos.

# **DEDICATORIA**

**Para:**

**Adrián Pérez Mora, Juana Rodríguez Pérez y Consuelo Pérez  
Rodríguez**

**Alicia Mora Ponce**

**Natali Salgado Cruz, Diana Isabella e Ikal Adrián**

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS.</b> .....	i
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b> .....	iii
<b>RESUMEN GENERAL.</b> .....	iv
<b>GENERAL SUMMARY</b> .....	vi
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL</b>	
<b>Importancia del mango.</b> .....	1
<b>Descripción de variedades introducidas.</b> .....	2
<b>Principales limitantes del cultivo en México.</b> .....	5
<b>La cenicilla del mango (<i>Oidium mangiferae</i> Berthet.)</b> .....	5
<b>OBJETIVOS GENERALES</b> .....	8
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	9
<b>CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE HOJAS DE 10 CULTIVARES DE MANGO AMARILLO EN GUERRERO, MÉXICO.</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT.</b> .....	13
<b>INTRODUCCIÓN.</b> .....	14
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	15
<b>RESULTADOS.</b> .....	18
<b>DISCUSIÓN.</b> .....	26
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	30
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	31
<b>CAPITULO 3. TÉCNICA DE INOCULACIÓN DE CENICILLA (<i>Oidium mangiferae</i>) EN HOJAS DE MANGO.</b>	
<b>RESUMEN</b> .....	35
<b>ABSTRACT.</b> .....	36

<b>INTRODUCCIÓN.</b> .....	37
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	39
<b>RESULTADOS.</b> .....	42
<b>DISCUSIÓN.</b> .....	48
<b>CONCLUSIONES.</b> .....	50
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	51

**CAPÍTULO 4. TOLERANCIA DE 10 NUEVAS VARIETADES DE MANGO AMARILLO A *Oidium mangiferae* EN MEXICO.**

<b>RESUMEN</b> .....	54
<b>ABSTRACT.</b> .....	55
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	56
<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	58
<b>RESULTADOS</b> .....	61
<b>DISCUSIÓN</b> .....	66
<b>CONCLUSIONES</b> .....	69
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	70

<b>DISCUSIÓN GENERAL</b> .....	73
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	76
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	77

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	
Cuadro 1. Descriptores morfológicos usados en la caracterización de diez cultivares de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) amarillo en Guerrero, México. . . . .	17
Cuadro 2. Desarrollo fenológico de la <i>primera hoja medible</i> en plantas de mango de la variedad Mallika en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	18
Cuadro 3. Etapas de desarrollo fenológico y duración del periodo que tarda en desarrollarse la primera hoja medible en 10 variedades de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) amarillo. Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	19
Cuadro 4. Periodos de máximo desarrollo de hojas maduras posteriores a la formación de la <i>primera hoja juvenil medible</i> en diez variedades de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	21
Cuadro 5. Características morfométricas de hojas maduras y desarrollo de brotes vegetativos de diez variedades de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	22
Cuadro 6. Etapas fenológicas en el desarrollo de la hojas maduras de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) en Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	23
Cuadro 7. Características morfométricas de hojas de diez variedades de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15. . . . .	24
Cuadro 8. Características morfológicas cualitativas de diez variedades de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) en Guerrero, México, 2014-15. . . . .	25
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Cuadro 1. Efecto de aditivos, periodos de incubación y condición de luminosidad en la germinación <i>in vitro</i> de conidios de <i>Oidium mangiferae</i> . Iguala, Gro. 2015.	43

Cuadro 2. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango de 8-12 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante cuatro tratamientos de inoculación en dos horas contrastantes de aplicación. Iguala, Gro. 2015. . . . .	44
Cuadro 3. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango mayores a 20 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante cuatro tratamientos de inoculación en dos horas contrastantes de aplicación. Iguala, Gro. 2015. . . . .	45
Cuadro 4. Concentraciones de inóculo, periodos de incubación, incidencia y severidad de <i>Oidium mangiferae</i> en hojas de 8-12 días de edad en plantas de 16 meses, cv. Manililla inoculadas a las 18:00 h. Iguala, Gro., México, 2015. . . . .	46
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Cuadro 1. Diagrama de severidad para evaluar <i>Oidium mangiferae</i> . . . . .	60
Cuadro 2. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango de 8-12 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante dos métodos de deposición de inóculo. Iguala, Gro. 2016. . . . .	61
Cuadro 3. Tolerancia a <i>Oidium mangiferae</i> de 10 variedades de mango inoculadas en hojas de 8-12 días de edad con respecto al período de incubación, incidencia, severidad y concentración de conidios. Iguala, Gro. 2016. . . . .	63
Cuadro 4. Evaluación de la tolerancia a <i>Oidium mangiferae</i> de 10 variedades de mango inoculadas en hojas de 8-12 días de edad con respecto a la severidad máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y la tasa de infección aparente. Iguala, Gro. 2016. . . . .	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>CAPÍTULO</b>	
Figura 1. Principales países productores de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) (FAOSTAT, 2016). . . . .	2
Figura 2. Principales estados productores de mango ( <i>Mangifera indica</i> ) en México (SIAP, 2016). . . . .	2
Figura 3: Germoplasma introducido a México procedente de Florida, EEUA: a) Alfonso, b) Fairchild, c) Ivory, d) Kesar, e) Mallika, f) Nam Doc Mai, g) Neelum y h) Rosigold. . . . .	4
Figura 4. a) Conidióforos y conidios de <i>Oidium mangiferae</i> ; síntomas inducidos por la cenicilla del mango en: a) Hoja joven, C) Inflorescencia y d) Frutos con diámetro menor a 15 mm. . . . .	6
<b>CAPÍTULO 3</b>	
Figura 1. Síntomas causados por <i>Oidium mangiferae</i> en hojas de mango de 8-12 días. . . . .	47
Figura 2. Síntomas causados por <i>Oidium mangiferae</i> en hojas de mango > 20 días. . . . .	47
<b>CAPÍTULO 4</b>	
Figura 1. Respuesta de las variedades de mango a la infección por <i>Oidium mangiferae</i> . . . . .	65

# **TOLERANCIA DE CULTIVARES DE MANGO (*Mangifera indica* L.) A LA CENICILLA (*Oidium mangiferae* Berthet.) EN MÉXICO**

**Amado Pérez Rodríguez, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2017**

## **RESUMEN**

México es el séptimo productor con más de 1.8 millones de ton y el principal exportador con una participación del 24% del volumen total de la exportación global. Sin embargo, México perdió competitividad en la exportación de mango a EEUU., debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Perú, Brasil y Ecuador. Para diversificar la oferta de mango el Colegio de Postgraduados introdujo en 2011 y 2012 ocho nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación procedentes de Florida, EEUA. También el INIFAP recientemente generó nuevos cultivares de mango del clon Ataúlfo.

Las principales limitantes del mango en México incluyen árboles de porte alto, baja densidad de plantación, plagas, estacionalidad de la producción en los meses de mayo, junio y julio, y la falta de viveros certificados que garanticen el origen genético y calidad fitosanitaria del material vegetativo. La cenicilla del mango (*Oidium mangiferae* Berthet.) es una de las enfermedades más importantes de este frutal por causar pérdidas severas en producción. Este proyecto tuvo como objetivo determinar las variaciones morfológicas de hojas de 10 nuevas variedades de mango (*Mangifera indica* L.) amarillo en plantas juveniles de vivero con base en patrones de crecimiento vegetativo y evaluar la tolerancia a *O. mangiferae* en condiciones de vivero con base en el diseño de una técnica de inoculación confiable y consistente para inducir cenicilla en hojas de mango.

En la presente investigación se determinaron siete etapas fenológicas desde el desarrollo de la primera hoja medible hasta la formación de la hoja madura. La máxima expansión laminar entre las variedades se alcanzó entre un intervalo de 25 a 29 días. La longitud del pecíolo fue el primero en completar su desarrollo (15-21 días), seguido del largo y ancho de hoja (16-23 días) y diámetro del pecíolo (25-29 días). Las variedades con mayor largo y ancho de la hoja fueron Alphonse, Cotaxtla, Ivory y Nam Doc Mai. Las variedades con más flujos vegetativos fueron Neelum y Mallika; Cotaxtla formó mayor cantidad de hojas. Mallika e Ivory tuvieron

mayor peso específico de la hoja y Neelum e Ivory la mayor densidad estomática. El análisis morfológico basado en descriptores vegetativos publicados por el IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) fue útil para discriminar entre variedades. Los parámetros cualitativos son menos afectados por el ambiente y son inherentes al genotipo de las variedades. La técnica que promovió los valores más altos de incidencia y severidad consideró la deposición de inóculo por contacto directo o polisorbato 20 al 5% + surfactante al 2%, a una concentración de  $4.6 \times 10^5$  o  $4.6 \times 10^6$  cél./ mL sobre hojas de 8-12 días de edad inoculadas al anochecer. Las variedades evaluadas presentaron cuatro niveles de infección-susceptibilidad. Alphonse fue moderadamente tolerante; Neelum y Fairchild ligeramente tolerantes; Nam Doc Mai, Rosigold, A. Zafiro, Cotaxtla y Kesar susceptibles; e Ivory y Mallika altamente susceptibles. Las variedades menos susceptibles presentaron menores valores de incidencia, severidad máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, tasa de infección aparente y concentración de conidios por  $\text{cm}^2$  de área foliar dañada.

**Palabras clave:** caracterización varietal, fenología foliar, *Mangifera indica*, *Oidium mangiferae*, resistencia.

# **TOLERANCE OF MANGO CULTIVARS (*Mangifera indica* L.) TO THE POWDERY MILDEW (*Oidium mangiferae* Berthet.) IN MEXICO**

**Amado Pérez Rodríguez, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2017**

## **ABSTRACT**

Mexico is the seventh largest producer with more than 1.8 million tons and the main exporter with a share of 24% of the total volume of global exports. However, Mexico lost competitiveness in the export of mango to the USA, due to the increase of the commercial participation of India, Thailand, Peru, Brazil and Ecuador. To diversify the mango offer, the College of Postgraduates introduced in 2011 and 2012 eight new varieties of yellow mango with export potential from Florida, USA. Also the INIFAP recently generated new mango cultivars of the Ataúlfo clone.

The main constraints of mango in Mexico include tall trees, low planting density, pests, seasonality of production in May, June and July, and the lack of certified nurseries that guarantee the genetic origin and phytosanitary quality of the material vegetative. The powdery mildew of mango (*Oidium mangiferae* Berthet.) Is one of the most important diseases of this fruit because it causes severe losses in production. The objective of this project was to determine the morphological variations of leaves of 10 new varieties of mango (*Mangifera indica* L.) yellow on juvenile nursery plants based on vegetative growth patterns and to evaluate the tolerance to *O. mangiferae* in nursery-based conditions in the design of a reliable and consistent inoculation technique to induce powdery mildew in mango leaves.

This research seven phenological stages were determined from the development of the first measurable leaf until the formation of the mature leaf. The maximum laminar expansion between the varieties was reached between 25 and 29 days. Petiole length was the first to complete development (15-21 days), followed by leaf length and width (16-23 days) and petiole diameter (25-29 days). The varieties with greater length and width of the leaf were Alphonse, Cotaxtla, Ivory and Nam Doc Mai. The varieties with the most vegetative flows were Neelum and Mallika; Cotaxtla formed more leaves. Mallika and Ivory had greater leaf

specific weight and Neelum and Ivory had greater stomatal density. Morphological analysis based on vegetative descriptors published by IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute) was useful for discriminating between varieties. The qualitative parameters are less affected by the environment and are inherent to the genotype of the varieties. The technique that promoted the highest values of incidence and severity considered inoculation by direct contact or polysorbate 20 5% + 2% surfactant, at a concentration of  $4.6 \times 10^5$  or  $4.6 \times 10^6$  cells / mL on leaves of 8 -12 days old inoculated at dusk. The evaluated varieties had four levels of infection-susceptibility. Alphonse was moderately tolerant; Neelum and Fairchild slightly tolerant; Nam Doc Mai, Rosigold, A. Sapphire, Cotaxtla and Kesar susceptible; And Ivory and Mallika highly susceptible. Less susceptible varieties presented lower values of incidence, maximum severity, area under the curve of disease progression, apparent infection rate and conidia concentration per  $\text{cm}^2$  of damaged leaf area.

**Key words:** varietal characterization, foliar phenology, *Mangifera indica*, *Oidium mangiferae*, resistance.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

### Importancia del mango

El mango (*Mangifera indica* L.) pertenece a la familia Anacardiaceae, (Purseglove, 1974). Es una fruta rica en azúcares, fibra, minerales y vitaminas en especial A y C además es fuente rica de antioxidantes (Cárdenas, 2012). Incluye aproximadamente unas 69 especies (Kosterman y Bompard, 1993). Se consume como fruta fresca o procesad: conservas, salsas, encurtidos, helados, aguas frescas, néctar, puré, fruta deshidratada y jugo (Galán, 1999).

El mango se adapta a diferentes regiones, climas y condiciones de hábitat, por ello podemos encontrar este fruto desde el sur de Asia, donde se originó, hasta América (Mukherjee, 1997). En 2013, la producción bruta mundial de mangos ascendió a 43,7 millones ton y presentó un crecimiento del 4% durante los últimos cinco años (FAOSTAT, 2016). México ocupa el séptimo lugar en volumen de producción después de India, China, Kenia, Tailandia, Indonesia y Pakistán (Figura 1.); además, es el principal exportador mundial con el 24% del volumen total (FAOSTAT, 2016). A nivel nacional, Guerrero ocupa el primer lugar con el 25 % del volumen de producción total del país seguido por Chiapas, Nayarit, Oaxaca y Michoacán (Figura 2.) (SIAP, 2016). Sin embargo, la competitividad internacional de México es limitada; ya que EEUA que es su el principal destino de exportación demanda frutos de pulpa amarilla (poliembriónicos), y México sólo cuenta con los cultivares Ataúlfo y Manila, donde el primero es el que actualmente se exporta en volumen masivos; por lo que países como India, Kenia y Pakistán compiten en la exportación a EEUA con más diversidad de cultivares poliembriónicos (FAOSTAT, 2016). Para diversificar la oferta de mango en el país se introdujeron ocho nuevas variedades con potencial de exportación procedentes de Florida, EEUA., y se registraron dos nuevas variedades locales del clon Ataúlfo.

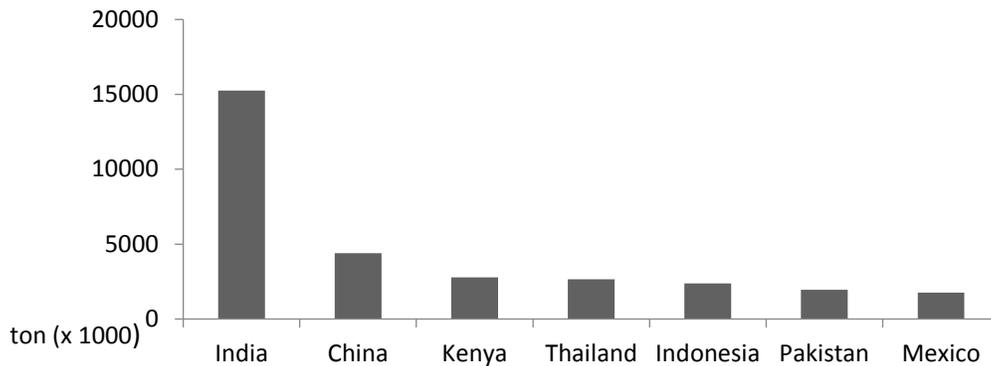


Figura 1. Principales países productores de mango (*Mangifera indica*) (FAOSTAT, 2016).

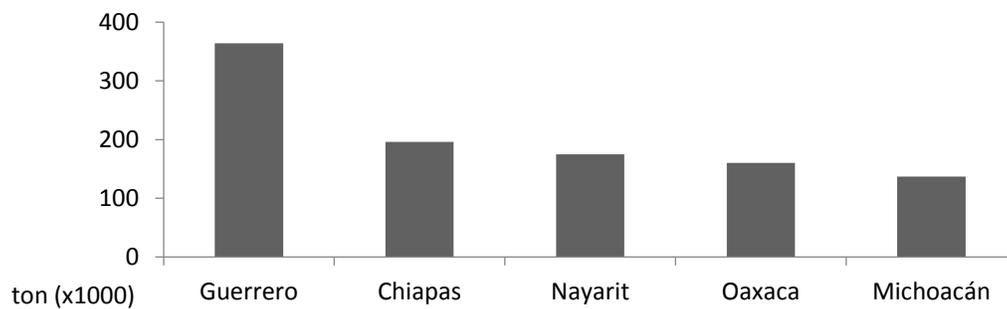


Figura 2. Principales estados productores de mango (*Mangifera indica*) en México (SIAP, 2016).

### Descripción de variedades introducidas

**Alfonso.** Es nativo de la India. Posee porte medio, alcanza una altura entre 3.5 hasta 4.0 m. El fruto es de color amarillo-naranja, de forma elíptica, textura lisa, poca fibra y con ligero sabor a trementina. Los valores medios del largo y ancho del fruto es de 96.6 y 64.81 mm, la masa fresca varía entre 190.5 y 209.7 g con una media de 198.78 g. La relación largo/ancho es de 1.49 como promedio y varía entre 1.39 y 1.54 mm. Otro aspecto de interés es la pequeña masa de la semilla, la cual es representada por valores de 24.8 a 33 g. El contenido de vitamina C oscila entre 9.86 a 33.95 mg/100g de pulpa, mientras que el valor medio de la

acidez es de 0.33%. Los sólidos solubles totales varían desde 17.4 a 20.4 con un promedio de 18.96° Brix (Blanco *et al.*, 2013).

**Fairchild.** Seleccionado en el año 1900 en Panamá, y fue introducido en Hawái en la década de 1920. Los frutos son pequeños y consistentes de color verde-amarillento; el peso fluctúa de 180 a 240 g. Son oblongos con una base aplanada. Madura en junio y julio en el sur de Florida. La epidermis es fina y la superficie es a menudo ondulada. La pulpa de color naranja, jugoso, con un sabor dulce, rico, aromático y picante, sin fibra. El árbol puede alcanzar una altura de 3.0 m. con rendimientos consistentes si se estimula adecuadamente con la poda anual y produce a menudo múltiples floraciones. Presenta tolerancia a antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. Y Sacc), pero puede ser severamente afectado por cenicilla (*O. mangiferae*) (Campbell y Campbell 1999).

**Ivory.** También conocido como *marfil*, es un cultivar del sudeste asiático de origen tailandés, el fruto tiene forma ovalada y larga del cual proviene su nombre (marfil) por su parecido con el colmillo de un elefante joven. La epidermis es verde a amarillo. La pulpa es de color amarillo a naranja y no presenta gran cantidad de fibra como la mayoría de las variedades de Florida (Pott, 2002).

**Kesar.** Es una variedad muy cultivada en Gujarat, se comercializa en el oeste de India. Es considerada como una variedad de rendimiento irregular. Los frutos son de tamaño mediano; la pulpa tiene poca fibra y un sabor dulce. El color del fruto al madurar es amarillo anaranjado, tiene una excelente mezcla de azúcar-acidez y buena vida de anaquel (Hiwale, 2015).

**Mallika.** Es un híbrido entre Neelum y Dasher, procedente de India. El árbol es de tamaño medio y semi vigoroso, tiene una producción regular de media a alta. Los frutos presentan una apariencia atractiva, con peso promedio de 307 g, y una mezcla variable de azúcar-ácido, de aroma fuerte y dulce que es del agrado de los consumidores. La pulpa es firme y no tan fibrosa; la semilla es muy delgada. El porcentaje de sólidos solubles totales es de 24.0° Brix. Posee buena vida de anaquel y una maduración tardía (Pinto *et al.*, 2002; Kadam, 2012).

**Nam Doc Mai.** Es un cultivar muy vigoroso, tiene porte erecto, y copa densa. El fruto es de forma alargada de color rojo-amarillo brillante, con un peso promedio de 340 a 580 g, éste

fruto se puede comer antes de su madurez, además tiene poca fibra y el tamaño de la semilla es de pequeña a mediana. Contiene numerosas lenticelas pequeñas de color verdes y muy poco resorsinol. Es muy sensible a antracnosis y cenicilla; sin embargo presenta tolerancia a la mancha negra bacteriana (Galán, 1999).

**Neelum.** Se cultiva en el sur de India. Tiene una amplia gama de adaptabilidad y rendimiento por unidad de área. Este cultivar tiene ciclos productivos constantes por lo que se ha utilizado en los programas de mejoramiento de mango para impartir rasgo de la regularidad. El fruto es de tamaño mediano a pequeño y de forma oval con el ápice prominente elevado. El árbol es de porte bajo; en biotecnología se utiliza en diferentes combinaciones para la obtención de híbridos con ciclos productivos constantes y de porte bajo (Kadam, 2012).

**Rosigold.** El árbol es de porte bajo, manejable y altamente productivo. Se puede mantener a 2.5 m de altura, la floración se produce a menudo en emisiones sucesivas durante todo el invierno; la producción ocurre entre abril y principios de mayo lo que resulta en un múltiples cosechas (Caldwell, 2009).



Figura 3: Germoplasma introducido a México procedente de Florida, EEUA: a) Alfonso, b) Fairchild, c) Ivory, d) Kesar, e) Mallika, f) Nam Doc Mai, g) Neelum y h) Rosigold.

## **Principales limitantes del cultivo en México**

Los principales problemas que tiene el cultivo de mango son: árboles de porte alto, bajas densidades de plantación, estacionalidad de la producción en los meses de mayo, junio y julio, y la falta de viveros certificados que garanticen el origen genético y calidad fitosanitaria del material vegetativo (Villegas y Mora, 2011).

Las principales limitantes fitosanitarias del cultivo son: antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), cenicilla (*Oidium mangiferae*), proliferación vegetativa y floral (*Fusarium spp.*), muerte descendente (*Lasiodiplodia theobromae*), moscas de la fruta (*Anastrepha pp.*), escama blanca (*Aulacaspis tubercularis*), trips (*Scirtothrips spp.*, y *Frankiniella spp.*), cochinilla rosada del hibisco (*Maconellicoccus hirsutus*) y ácaro de la hoja plateada (*Cisaberoptus kenya*) (Galán, 1999; Mora *et al.*, 2002).

### **La cenicilla del mango (*Oidium mangiferae* Berthet.)**

La cenicilla del mango es causada por el hongo obligado *Oidium mangiferae* Berthet (Sin. *Pseudoidium anacardii*) (Braun y Cook, 2012). El mango es su único hospedante conocido y se encuentra distribuido en todas las zonas productoras del mundo (Akhtar y Alam, 2000). Este patógeno es importante porque causa pérdidas superiores a 80% en el rendimiento y daña desde inicio de floración hasta frutos en desarrollo (Prusky, 1991; Schoeman *et al.*, 1995).

En hojas jóvenes la infección por *O. mangiferae* comienza con manchas aisladas polvosas de color blanco que adoptan formas irregulares; posteriormente las áreas afectadas se tornan púrpuras y pueden exhibir necrosis; según los cultivares los síntomas se manifiestan en el envés, haz o en ambos lados de la hoja (Singh, 2000). Las flores individuales infectadas, no abren y abortan, la infección se extiende rápidamente en las inflorescencias; en áreas infectadas se observan crecimientos miceliales blanquecinos, que posteriormente ennegrecen y causa muerte prematura de tejidos (Schoeman *et al.* 1995). En variedades muy susceptibles las brácteas florales pueden cubrirse totalmente por cenicilla y eventualmente caer; en variedades tolerantes son dañadas parcialmente (Palti *et al.*, 1974; Schoeman *et al.* 1995). El patógeno reduce significativamente el amarre de frutos y cuando alcanzan 8 mm de diámetro,

la epidermis puede presentar aspecto corchoso e incluso agrietado, cuando los frutos alcanzan más de 15 mm Ø ya no son susceptibles (Figura 4) (Guillén *et al.*, 2003).



Figura 4. a) Conidióforos y conidios de *Oidium mangiferae*; síntomas inducidos por la cenicilla del mango en: a) Hoja joven, C) Inflorescencia y d) Frutos con diámetro menor a 15 mm.

El hongo se desarrolla en ambientes secos y fríos, con humedad relativa de 40 a 90% (Gupta, 1989; Shoeman *et al.*, 1995). La enfermedad alcanza niveles altos de severidad con humedad alta (85%) y temperatura entre 20 y 25°C (Palti *et al.*, 1974; Ploetz y Prakash, 1997). La germinación conidial ocurre en las primeras cinco a siete horas con una temperatura óptima de 23°C y humedad de 20-65% (Ploetz y Prakash, 1997). El patógeno puede sobrevivir en campo a temperaturas de 4-5°C hasta de 44.2°C lo cual facilita su permanencia (Palti *et al.*, 1974). La incidencia y desarrollo epidémico depende del inóculo que sobrevive de la temporada anterior y de factores ambientales inductivos que prevalecen durante el siguiente ciclo (Gupta, 1989). El hongo sobrevive como micelio, conidios y conidióforos en yemas latentes o haustorios en hojas infectadas; además puede permanecer activo como micelio en

inflorescencias inmaduras con proliferación vegetativa y floral (*Fusarium* spp.) (Gupta, 1989).

La pérdida de rendimiento por cenicilla del mango pueden minimizarse con el uso de algunas prácticas culturales y fitosanitarias como poda y fertilizaciones fosfatadas; además, la enfermedad se controla efectivamente mediante la aplicación oportuna de fungicidas (Brooks, 1991). El patógeno es sensible a condiciones ambientales por lo que requiere de un monitoreo constante y captura de conidios en huertas comerciales para aplicar medidas de control (Nasir *et al.*, 2014). El uso de la biotecnología (mejoramiento genético) es imprescindible, así como la caracterización varietal; ya que facilita la identificación de fuentes de resistencia de los diversos cultivares de mango existentes en el mundo para ser integrados en los programas de mejoramiento (Nasir *et al.*, 2014).

## **OBJETIVOS GENERALES**

1. Determinar las variaciones morfológicas de hojas de 10 nuevas variedades de mango (*Mangifera indica* L.) amarillo en plantas juveniles de vivero con base en patrones de crecimiento vegetativo y descriptores morfológicos.
2. Diseñar una técnica de inoculación confiable, optimizada y consistente para inducir cenicilla en hojas de mango en condiciones de invernadero, basada en la virulencia del patógeno y factores físicos inherentes al patógeno, método y hospedante como procedimientos de deposición, coadyuvantes, densidad de inóculo, edad de la hoja y condiciones lumínicas de incubación.
3. Determinar la tolerancia a *O. mangiferae* de diez nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación en plantas de vivero de 18 meses de edad con base en una técnica de inoculación optimizada de inoculación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akhtar, K., y Alam, S. S. 2000. Powdery mildew of mango: A Review. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 3: 1119-1122.
- Blanco, D. Z., Villasuso, R. J., Campo, F. P., Valdés, M. E. R., Carreras, C. N., Díaz, H. O., y Rodríguez, J. O. H. (2013). Descripción agronómica de seis accesiones de frutales tropicales pertenecientes a dos géneros de anacardiácea en Cuba. *CitriFrut* 30(1) ISSN 1607-5072.
- Braun, U. y Cook, R. T. A. 2012. CBS Biodiversity Series. Vol. 11, p. 497.
- Brooks, W.H., 1991. Mango Powdery Mildew: Increased Yields with Improved Mildew Control. In: S. Afr. Mango Growers' Association Yearbook 19: 33-34.
- Caldwell, D. 2009. Snowbird Harvest: If you're only here for the season you can still grow and enjoy great fruits. University of Florida.
- Campbell, R. J., y Campbell, C.W. 1999. The Fairchild Mango. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 112: 220-221.
- Cárdenas, C. W. G., Velez, R. R., Siller, C. J. H., Osuna, F. T., Muy, R. M. D., y Sañudo, B. J. A. 2012. Cambios en la composición de almidón, pectinas y hemicelulosas durante la maduración de mango (*Mangifera indica* cv. Kent). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1): 5-19.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es> (Accesado en junio, 2016).
- Galán, S. V. 1999. El Cultivo del Mango. Mundi-Prensa. Madrid, España. 298p.
- Guillén, D., Téliz D., Mora, G., Mora, A., Sánchez, P., y González, V. 2003. Desarrollo temporal de epidemias de cenicilla (*Oidium mangiferae*Berthet) en huertos de mango

- (*Mangifera indica* L.) en Michoacán, México. Revista Mexicana de Fitopatología 21: 181-188.
- Gupta, J. H. 1989. Perpetuation and epidemiology of powdery mildew of mango. Acta Horticulture 231: 528-533.
- Hiwale, S. 2015. Sustainable Horticulture in Semiarid Dry Lands. Springer. 393p.
- Kadam, D. M. 2012. Phenotyping of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars growth and fruiting characters. IARI, Division of Fruits and Horticulture Technology Indian Agricultural Research Institute New Delhi. 155p.
- Kosterman, A.J.G.H., y Bompard, J.M. 1993. The mangoes, their Botany, Nomenclature, Horticulture and Utilization. Academic Press, Londres. 233p.
- Mukherjee, S. K. 1997. Introduction: botany and importance. In: Litz, R.E. (Ed.). The Mango, Botany, Production and Uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Nasir, M., Mughal, S. M., Mukhtar, T., and Awan, M. Z. 2014. Powdery mildew of mango: A review of ecology, biology, epidemiology and management. Crop Protection 64: 19-26.
- Palti, J., Pinkas, Y., y Chorin, M. 1974. Powdery mildew of mango. Plant Disease Reporter 58: 45-49.
- Pinto, A. C. Q., Andrade, S. R. M., Ramos, V. H. V., and Cordeiro, M. C. R. 2002. Intervarietal hybridization in mango (*Mangifera indica* L.): techniques, main results and their limitations. In VII International Mango Symposium 645: 327-330.
- Ploetz, R., y Prakash, O. 1997. Foliar, floral and soilborne diseases, p. 281-325. In: Litz, R, Ed. The Mango: Botany, Production and Uses. CAB International, New York, NY, USA.

- Pott, I., Konrad, S., Mühlbauer, W., Wiriacharee, P., and Scherer, R. 2002. The Suitability of Thai Mango Varieties for Solar Drying. In International Symposium: Sustaining Food Security and Managing Natural Resources in Southeast Asia. 3p.
- Prusky, D. 1991. Mango Diseases: an overview. *Acta Horticulturae* 291:279-287.
- Purseglove, J. W. 1974. Anacardiaceae. In *Tropical Crops Dicotyledons*; Longman Group: London, U.K.18-32p.
- SIAP. 2016. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx>. (Accesado en junio, 2016).
- Schoeman, M. H., Manicom, B. Q., y Wingfield, M. J. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. *Plant Disease* 79:524-528.
- Singh, R. S. 2000. Powdery mildew of mango. In: *Diseases of Fruit Crops*. Oxford and IBH Publishing Co, New Delhi. 157-159p.
- Villegas, M. A., y Mora, A. A. 2011. Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura* E: 179-186.

## **CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA DE HOJAS DE 10 CULTIVARES DE MANGO AMARILLO EN GUERRERO, MÉXICO.**

### **RESUMEN**

México perdió competitividad de 27.6% en la exportación de mango a EEUA, entre 1992 y 2006, debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Brasil, Ecuador y Perú y a la oferta limitada de mango amarillo de exportación. En 2011 y 2012 el Colegio de Posgraduados introdujo ocho nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación procedentes de Florida, EUA. La caracterización morfológica y fenológica de variedades es importante en el mejoramiento del mango ya que algunas sus características están asociadas a factores de productividad y susceptibilidad a plagas. El objetivo de este estudio fue determinar las variaciones morfológicas de hojas en diez variedades de mango amarillo en plantas de vivero con base en patrones de crecimiento vegetativo y descriptores publicados por el International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Se determinaron cuatro etapas fenológicas en el desarrollo de la primera hoja medible y tres etapas posteriores en la formación de la hoja madura. La máxima expansión laminar entre las variedades se alcanzó entre un intervalo de 25 a 29 días. La longitud del pecíolo fue el primero en completar su desarrollo (15-21 días), seguido del largo y ancho de hoja (16-23 días) y diámetro del pecíolo (25-29 días). Las variedades con mayor largo y ancho de la hoja fueron Alphonse, Cotaxtla, Ivory y Nam Doc Mai. Las variedades con más flujos vegetativos fueron Neelum y Mallika; Cotaxtla formó mayor cantidad de hojas. Mallika e Ivory tuvieron mayor peso específico de la hoja y Neelum e Ivory la mayor densidad estomática. El análisis morfológico basado en descriptores no frutales por el IPGRI fueron trascendentes para discriminar entre variedades. Los parámetros cualitativos son menos afectados por el ambiente y son inherentes al genotipo de las variedades.

**Palabras clave:** descriptores, fenología vegetativa, *Mangifera indica*.

## **MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF LEAVES OF 10 CULTIVARS OF YELLOW MANGO IN GUERRERO, MEXICO.**

### **ABSTRACT**

Mexico lost competitiveness of 27.6% in mango exports to the USA between 1992 and 2006, due to the increase in the commercial participation of India, Thailand, Brazil, Ecuador and Peru and the limited supply of yellow mango exportation. In 2011 and 2012 the College of Postgraduates introduced eight new varieties of yellow mango with export potential from Florida, USA. The morphological and phenological characterization of varieties is important in the improvement of the mango as some of its characteristics are associated with factors of productivity and susceptibility to pests. The objective of this study was to determine leaf morphological variations on ten varieties of yellow mango in nursery plants based on vegetative growth patterns and descriptors published by the International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Four phenological stages were determined in the development of the first measurable leaf and three subsequent stages in the formation of the mature leaf. The maximum laminar expansion between the varieties was reached between 25 and 29 days. Petiole length was the first to complete development (15-21 days), followed by leaf length and width (16-23 days) and petiole diameter (25-29 days). The varieties with greater length and width of the leaf were Alphonse, Cotaxtla, Ivory and Nam Doc Mai. The varieties with the most vegetative flows were Neelum and Mallika; Cotaxtla formed more leaves. Mallika and Ivory had greater leaf specific weight and Neelum and Ivory had greater stomatal density. The morphological analysis based on non-fructual descriptors by the IPGRI were transcendent to discriminate between varieties. The qualitative parameters are less affected by the environment and are inherent to the genotype of the varieties.

**Key words:** descriptors, vegetative phenology, *Mangifera indica*.

## INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangifera indica* L.) se adapta a diferentes regiones agroecológicas por lo que este fruto puede encontrarse desde el sur de Asia, donde se originó, hasta América (Mukherjee, 1997). La producción mundial de esta fruta en 2013 ascendió a 43,7 millones de toneladas con un crecimiento del 4% durante los últimos cinco años (FAO, 2016). México es el séptimo país productor con más de 1.8 millones de ton y el principal exportador con una participación del 24% del volumen total de exportación global (FAO, 2016). Sin embargo, México perdió competitividad de 27.6% en la exportación de mango a EEUA, entre 1992 y 2006, debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Brasil, Ecuador y Perú (Hernández y Martínez, 2009). La problemática está asociada a la oferta limitada de mango amarillo de exportación ya que nuestro país cuenta únicamente con la variedad Ataúlfo que enfrenta baja productividad por limitantes como partenocarpia, plagas y enfermedades, mezcla genética, alternancia y estacionalidad de cosecha (Villegas y Mora, 2012). Para mitigar este problema, en 2011 y 2012 el Colegio de Posgraduados introdujo ocho nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación procedentes de Florida, EEUA. La caracterización morfológica y fenológica de variedades es un componente importante en los programas de mejoramiento genético del mango; aún antes de la caracterización bioquímica o molecular (Efendy *et al.*, 2003; Kehlenbeck *et al.*, 2010). En la agricultura es importante el manejo de las variaciones morfológicas y agronómicas que pueden utilizarse con eficacia para una agricultura sostenible (Rajwana *et al.*, 2011; Wahdam *et al.*, 2011) y competitiva. Así, el desconocimiento de estas características limitan la identificación adecuada de los cultivares potencialmente más productivos en zonas agroecológicas específicas (Toili *et al.*, 2016). La caracterización morfológica puede ser un método simple y fácil de medir para identificar y presentar la diversidad genética del mango pero requieren observaciones extensas y procedimientos estandarizados (Kehlenbeck *et al.*, 2010; Rajwana *et al.*, 2011). Cuando en el cultivo del mango la disponibilidad de frutos es limitada es particularmente relevante la identificación y uso de descriptores vegetativos (Toili *et al.*, 2016). El objetivo de este estudio fue determinar las variaciones morfológicas de hojas de 10 nuevas variedades de mango (*Mangifera indica* L.) amarillo en plantas juveniles de vivero con base en patrones de crecimiento vegetativo.

## MATERIALES Y METODOS

**Área de estudio.** El estudio se realizó en dos ciclos de crecimiento durante 2016-17 en el laboratorio e invernadero del Postgrado de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Iguala, Guerrero, México (18°20'39.505" N; 99°29'52.796"O; 738 m).

**Germoplasma.** Se utilizaron plantas de las variedades Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Kesar, Fairchild, Alphonse e Ivory, de introducción reciente por el Colegio de Postgraduados, así como Cotaxtla y Ataulfo Zafiro, generadas por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Las plantas tuvieron 18 meses de edad e injertaron sobre el portainjerto (PI) manilla, provenientes de un vivero de Huamuxtitlán, Guerrero. Las plantas se podaron al inicio cada replica experimental para estandarizar el desarrollo y respuesta vegetativa, se tuvieron en contenedores plásticos de 20 X 40 cm. Se regaron diariamente y fertilizaron cada cinco días con 8.0 g de la fórmula 100-60-60 (NPK) en 500 mL de agua por contenedor.

**Crecimiento foliar.** Se marcaron 24 brotes vegetativos con yema apical hinchada por variedad (6 brotes/planta x 4 plantas-variedad), y al reiniciar el crecimiento se caracterizaron las etapas fenológicas del desarrollo inicial de las hojas, desde yema hinchada hasta la condición de *primera hoja medible*. Dado que la hoja de mango al iniciar su desarrollo se encuentra enrollada a lo largo de la nervadura principal y con el ápice curvado ventralmente, se consideró una *hoja medible* cuando estas tuvieron coloración bronceada o café-claro, longitud aproximada de 3.0-5.0 x 1-2 cm LW y exposición plana de la lámina foliar. Posteriormente, observadas la hojas medibles, se eligieron 24 hojas por variedad (6 hojas/planta x 4 plantas /variedad) considerando elegir al menos una hoja por brote vegetativo independiente y registraron las variables longitud (LDH) y ancho de hoja (ADH), así como longitud (LDP) y diámetro de pecíolo (DDP). Las mediciones (cm) se realizaron cada tercer día con un vernier digital Truper® desde una condición de *hoja medible* y hasta la máxima expansión laminar. Se caracterizaron las etapas fenológicas del desarrollo inicial de las hojas desde la condición de primera hoja medible. También se registraron los brotes por planta-variedad y hojas por brote /planta-variedad.

Alcanzada la máxima expansión de la lámina foliar se estimaron las variables: a) Área foliar (AF); determinada ( $\text{cm}^2$ ) por análisis de imágenes digitales de 24 hojas /variedad (6 hojas /planta) con el software ImageJ 1.47v (Wayne Rasband National Institutes of Health, USA); b) peso de materia seca (PMS) obtenido después de secar las hojas en estufa por 48 h a 80 °C y pesarlas (g) individualmente; c) peso específico de la hoja (PEH): estimado con la ecuación  $\text{PEH} = \text{peso seco (g) de la hoja} / \text{área foliar (cm}^2\text{)}$ , y d) densidad estomática (DE) por  $\text{mm}^2$ , obtenida mediante técnicas de uso común en el laboratorio de Fisiología Vegetal del CP.

**Descriptores morfológicos de hojas.** Se tomaron datos de 24 hojas /variedad de tres repeticiones por ciclo (2014-2015), utilizando como referencia Descriptors for Mango (*Manguifera indica*) para Mango, publicada por el International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI) (Cuadro 1).

**Análisis estadístico.** En todas las evaluaciones se obtuvo el dato promedio por planta y fecha de valuación; siendo una planta la unidad experimental. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar con cuatro repeticiones /tratamiento. Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias (DMS, 5%) con el software SAS® v.9.4 (SAS Intitute Inc, 2016).

Cuadro 1. Descriptores morfológicos usados en la caracterización de diez cultivares de mango (*Mangifera indica*) amarillo en Guerrero, México.

Carácter <sup>1</sup> morfológico	Descripción	Carácter morfológico	Descripción
<b>Planta</b>			
Habito de crecimiento (HC)	Erecto, disperso, inclinado	Forma de la hoja (FH)	Elíptica, oblonga, lanceolada,
Densidad de follaje (DD)	Denso, intermedio, escaso	Forma del ápice de la hoja (FAH)	Obtuso, agudo, acuminado
<b>Hoja</b>			
Posición de la hoja respecto al tallo (PH)	Semi erecta, horizontal, semi-inclinado	Forma de la base de la hoja (FBH)	Aguda, obtusa, redondeada
Color de la hoja joven (CHJ)	Verde brillante, verde con tonos café, tono rojizo, marrón-rojizo	Tipo de margen de hoja (TMH)	Entero, ondulado
Color de la hoja madura (CHM)	Verde pálido, verde, verde oscuro.	Pubescencia (P)	Presente, ausente

<sup>1</sup> De acuerdo con la guía Descriptores para Mango del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

## RESULTADOS

**Desarrollo de la primera hoja medible.** Se identificaron cuatro etapas en la formación de la primera hoja medible, las cuales fueron: yema hinchada, separación de escamas con ápice de primordio visible; primordio foliar sésil y primordios foliares definidos de color café claro o bronceados, doblados a lo largo de la nervadura principal y curvados ventralmente (Cuadro 2). El período que tardó en formarse la hoja medible fue diferente entre las variedades y ocurrió en el rango de 17-20 días. La variedad más precoz fue Mallika que completó esta etapa fenológica en 14 días y la más tardía fue Cotaxtla con 20 días. Las variedades formaron tres subgrupos de acuerdo a sus intervalos de duración ( $p \leq 0.05$ ). (Cuadro 3).

Cuadro 2. Desarrollo fenológico de la *primera hoja medible* en plantas de mango de la variedad Mallika en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15.



Etapa 1. *Yema hinchada*. 3-4 días



Etapa 2. *Separación de escamas con ápice de primordio visible*. 2 días.



Etapa 3. *Primordio foliar sésil*. 5 días.



Etapa 4. *Primera hoja medible*. Primordios foliares definidos, doblados a lo largo de las nervaduras principales y curvadas ventralmente. 6 días.

**Desarrollo de hojas maduras.** La máxima expansión laminar (LDH y ADH) entre variedades se alcanzó entre un intervalo de 16 a 23 días (Cuadro 4). La longitud máxima del pecíolo fue la primera estructura foliar en completar su desarrollo (15-21 días), seguida del

largo y ancho de hoja (16-23 días) y diámetro del peciolo (25-29 días). Las variedades más precoces en desarrollar hojas completas (limbo y peciolo) fueron Nam Doc Mai y Mallika y las más tardías Alphonse, Ivory y A. Zafiro ( $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 3. Etapas de desarrollo fenológico y duración del periodo que tarda en desarrollarse la primera hoja medible en 10 variedades de mango (*Mangifera indica*) amarillo. Guerrero, México, ciclos 2014-15.

Variedades	Etapa 1*	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4	Días totales
Mallika	3a**	2a	5a	4a	14a
Nam Doc Mai	3a	2a	4a	6b	15a
Neelum	3a	3a	4a	5a	15a
Alphonse	3a	2a	4a	6b	15a
Ivory	3a	3a	4a	6b	16a
Rosigold	4a	3a	4a	6b	17b
Kesar	4a	3a	4a	6b	17b
Fairchild	5a	4b	4a	6b	19b
A. Zafiro	6b	3a	4a	6b	19b
Cotaxtla	6b**	3a	4a	7b	20c
***DMS 5%)	2.3	1.7	1.2	1.8	2.6
R <sup>2</sup>	88	91	88	89	89

\* Etapa 1, yema hinchada. Etapa 2, separación de escamas con ápice de primordio visible. Etapa 3, primordio foliar sésil. Etapa 4, primordios foliares definidos, de color café claro o bronceados, doblados a lo largo de la nervadura principal y curvados ventralmente. \*\* Media en días de 24 hojas /tratamiento en tres replicas experimentales por ciclo (2014-15). Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes significativamente (DMS,  $p \leq 0.05$ ). \*\*\*DMS= Diferencia mínima significativa (5%).

En relación a las dimensiones de las hojas, las variedades con valores más altos en LDH, ADH y longitud de peciolo, en general, fueron: Alphonse, Cotaxtla, Ivory y Nam Doc Mai. Con base en estas variables de desarrollo las variedades conformaron sólo dos subgrupos definidos. No se observó un patrón de concordancia entre diámetro del peciolo con el resto de las variables ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 5). En el desarrollo laminar se identificaron las siguientes cuatro etapas fenológicas: primera hoja medible, hoja flácida, hoja con 80% de desarrollo y hoja madura. Las características cualitativas se describen en el Cuadro 6.

**Desarrollo vegetativo.** Únicamente Mallika y Neelum se distinguieron por formar mayor cantidad de tallos por planta y Cotaxtla por desarrollar mayor cantidad de hojas por brote (Cuadro 5), observándose que no necesariamente las variedades que presentaron menos brotes estimularon el mayor número de hojas por brote, mayor área foliar o peso específico de la hoja (Cuadro 8) ( $p \leq 0.05$ ).

**Parámetros fisiológicos.** Con base en el peso específico de la hoja (PEH), las variedades formaron tres categorías, en la de mayor PEH se ubicaron Mallika e Ivory, seguidas por Neelum, Alphonse, Ataúlfo Zafiro y Fairchild; y en la de menor PEH Cotaxtla, Nam Doc Mai, Rosigold y Kesar. Las variedades que registraron mayor densidad estomática fueron: Neelum e Ivory y las de menor densidad fueron Cotaxtla, Fairchild y Kesar ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 7).

Cuadro 4. Periodos de máximo desarrollo de hojas maduras posteriores a la formación de la primera hoja juvenil medible en diez variedades de mango (*Mangifera indica*) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15.

Variedades	LDH <sup>1</sup>	ADH <sup>1</sup>	LDP <sup>1</sup>	DDP <sup>1</sup>
Nam Doc Mai	16 <sup>2</sup> a*	16a	15a	25a
Mallika	17a	17a	15a	26a
Cotaxtla	18b	18b	16a	26a
Neelum	19b	19b	17b	27b
Kesar	19b	19b	17b	27b
Rosigold	20c	20c	18b	27b
Fairchild	21d	21d	18b	29c
Alphonse	21d	21d	19c	28c
Ivory	22 <sup>2</sup> d	23e	21d	28c
A. Zafiro	23e	22d	19c	29c
DMS** 5%	1.6	1.6	1.7	1.4
R <sup>2</sup>	86	86	85	86

<sup>1</sup> LDH (largo de hoja), (ADH) ancho de hoja, (LDP) longitud de peciolo y (DDP) (diámetro de peciolo). <sup>2</sup> Media en días de 24 hojas /tratamiento en tres replicas experimentales por ciclo (2014-15). \*Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes significativamente (DMS,  $p \leq 0.05$ ). \*\*DMS= Diferencia mínima significativa (5%).

**Descriptor morfológicos.** Las variedades en estudio fueron 10, de las cuales seis son de tipo monoembriónicos (Alphonse, Fairchild, Neelum, Rosigold, Kesar y Mallika) y cuatro poliembriónicos (Nam Doc Mai, Cotaxtla, Ivory y A. Zafiro). De acuerdo a la guía “Descriptors for Mango” propuesta por el International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), el hábito de crecimiento predominante entre cultivares fue el disperso, con follaje denso o intermedio. La posición más común de las hojas fue la semi-erecta. El color más frecuente de la hoja joven fue el marrón-rojizo y de las maduras el verde y verde-oscuro.

Predominaron las hojas elípticas con ápice acuminado y base aguda o redondeada con margen ondulado y pubescencia ausente. Las características específicas de las variedades se observan en el Cuadro 8.

Cuadro 5. Características morfométricas de hojas maduras y desarrollo de brotes vegetativos de diez variedades de mango (*Mangifera indica*) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15.

Variedades	LDH <sup>1</sup> (mm)	ADH <sup>1</sup> (mm)	LDP <sup>1</sup> (mm)	DDP <sup>1</sup> (mm)	Brote /planta	Hojas /brote
Alphonse	207.17 <sup>2b*</sup>	48.40b	22.48e	3.32c	3 <sup>1b</sup>	6a
Cotaxtla	196.02b	45.01a	16.77b	2.55a	3b	6a
Ivory	193.18b	46.94b	16.81b	3.26b	2a	6a
Nam Doc Mai	180.54b	47.94b	16.18b	3.30c	2a	6a
Rosigold	178.65a	47.45b	16.33b	2.76b	2a	6a
A. Zafiro	164.21a	43.6a	16.49b	2.82b	2a	7a
Mallika	162.96a	41.1a	13.49a	2.91b	2a	5a
Kesar	159.03a	41.72a	14.19a	2.24a	2a	8b
Neelum	147.94a	41.64a	12.07a	3.01b	1a	10c
Fairchild	142.94a	37.30a	11.77a	2.35a	1a	6a
DMS** 5%	37.32	8.36	2.62	0.39	1.07	2.3
R <sup>2</sup>	81	85	87	83	92	90

<sup>1</sup>LDH (largo de hoja), ADH (ancho de hoja), LDP (longitud de peciolo y DDP (diámetro de peciolo) en condiciones de vivero al alcanzar su máximo desarrollo en Guerrero, México, 2014-15. <sup>2</sup> Media de 24 hojas /tratamiento en tres replicas experimentales por ciclo (2014-15). \*Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes significativamente (DMS,  $p \leq 0.05$ ). \*\*DMS= Diferencia mínima significativa (5%).

Cuadro 6. Etapas fenológicas en el desarrollo de la hojas maduras de mango (*Mangifera indica*) en Guerrero, México, ciclos 2014-15.



*Primer hoja medible.*  
Primordios foliares definidos, doblados a lo largo de las nervaduras principales y curvadas ventralmente. Hojas de 30-50 mm de longitud. Se alcanza a

15-20 días del inicio de brotación (IB)



*Hoja flácida.* Las hojas pierden turgencia, son delgadas y suaves, algunas translúcidas, frecuentemente con los bordes del limbo curvados hacia el envés, presentan colores juveniles según la variedad. Se alcanza a

24 días de IB



*Hoja con 80% de desarrollo.* Hojas más gruesas y rígidas (semicoriáceas), puede persistir color juvenil o ser verde claro, cambios de coloración a verdoso. Limbo extendido.

(30 días de IB)



*Hoja madura.* Completamente expandida, coriácea y color verde a verde oscuro

(70 días de IB)

Cuadro 7. Características morfométricas de hojas de diez variedades de mango (*Mangifera indica*) amarillo en condiciones de vivero. Guerrero, México, ciclos 2014-15.

Variedades	AF <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )	PS <sup>1</sup> (g)	PEH <sup>1</sup> (g cm <sup>2</sup> )	DE <sup>1</sup> (cm <sup>2</sup> )
Mallika	43.92 <sup>2</sup> a*	0.65b	0.0148c	2345.75b
Ivory	56.07a	0.80b	0.0143c	2586.00d
Neelum	44.47a	0.59a	0.0133b	2572.16d
Alphonse	84.90c	1.12d	0.0132b	2429.83c
A. Zafiro	60.48b	0.77b	0.0127b	2467.33c
Fairchild	59.24b	0.7b	0.0118b	2223.08a
Cotaxtla	90.45c	0.98c	0.0108a	2225.50a
Nam Doc Mai	40.56a	0.41a	0.0101a	2432.00c
Rosigold	44.29a	0.43a	0.0097a	2341.16b
Kesar	77.27c	0.65b	0.0084a	2123.41a
** DMS 5%	17.77	0.21	0.0025	123.15
R <sup>2</sup>	89	88	93	90

<sup>1</sup> AF (área foliar), PS (peso seco de la hoja), PEH (peso específico de la hoja) y DE (densidad estomática). <sup>2</sup> Media de 24 hojas/tratamiento en tres repeticiones por ciclo (2014-15). \*Valores con la misma letra en la misma columna no son diferentes significativamente (DMS,  $p \leq 0.05$ ). \*\*DMS= Diferencia mínima significativa (5%).

Cuadro 8. Características morfológicas cualitativas de diez variedades de mango (*Mangifera indica*) en Guerrero, México, 2014-15.

Variedades	HC <sup>1</sup>	DF <sup>1</sup>	PH <sup>1</sup>	CHJ <sup>1</sup>	CHM <sup>1</sup>
Nam Doc Mai	Disperso	Denso	semi-inclinado	verde brillante	verde
Rosigold	Inclinado	Intermedio	horizontal	marrón rojizo	verde oscuro
Neelum	Erecto	Intermedio	semi-erecto	marrón rojizo	verde
Mallika	Disperso	Denso	semi-erecto	marrón rojizo	verde oscuro
Cotaxtla	Disperso	Denso	horizontal	verde brillante	verde oscuro
Kesar	Disperso	Intermedio	semi-erecto	rojizo	verde pálido
Fairchild	Disperso	Intermedio	semi-erecto	verde con tonos cafés	verde pálido
Alphonse	Erecto	Denso	horizontal	marrón rojizo	verde oscuro
Ivory	Disperso	Denso	semi-erecto	verde con tonos cafés	verde
A. Zafiro	Erecto	Denso	horizontal	marrón rojizo	verde
Variedades	FAH	FBH	TMH	FH	P
Nam Doc Mai	acuminado	agudo	ondulado	lanceolada	ausente
Rosigold	acuminado	redondeado	ondulado	oblonga	ausente
Neelum	agudo	agudo	ondulado	lanceolada	ausente
Mallika	agudo	agudo	ondulado	lanceolada	ausente
Cotaxtla	acuminado	redondeado	ondulado	elíptica	ausente
Kesar	agudo	agudo	entero	oblonga	ausente
Fairchild	acuminado	redondeado	ondulado	oblonga	ausente
Alphonse	acuminado	obtuso	ondulado	elíptica	ausente
Ivory	acuminado	obtuso	entero	elíptica	ausente
A. Zafiro	acuminado	obtuso	entero	elíptica	ausente

<sup>1</sup> HC= hábito de crecimiento, DF= densidad de follaje, PH= posición de la hoja respecto al tallo, CHJ= color de hoja joven, CHM= color de hoja madura, FAH= forma del ápice de la hoja, FBH= forma de la base de la hoja, TMH= tipo de margen de la hoja, FH= forma de la hoja, P= pubescencia. <sup>1</sup> De acuerdo con la guía “Descriptors for Mango” del International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI).

## DISCUSIÓN

Para medir correctamente el desarrollo foliar es importante contar con procedimientos sencillos, representativos y reproducibles. Cuando los tallos vegetativos de mango inician su desarrollo los nuevos primordios foliares no pueden medirse adecuadamente por encontrarse plegados a lo largo de la nervadura principal y curvados hacia el envés. Al tratar de extender la lámina foliar para realizar una medición precisa es frecuente el deterioro severo del tejido. En este estudio se determinó el período que tarda en formarse la primera hoja medible desde que inicia la brotación de la yema apical, la cual se observó entre 14 y 20 días dependiendo de la variedad (Cuadro 3). En su formación se identificaron cuatro etapas fenológicas: yema hinchada, separación de escamas con ápice de primordio foliar visible, primordio foliar sécil y primera hoja medible, en esta última etapa los primordios foliares ya tienen pecíolo visible y la lámina presenta exposición plana por lo que ya pueden ser evaluados. No se encontraron antecedentes relativos al desarrollo de esta primera hoja medible; sin embargo, se han documentado procedimientos análogos para describir el desarrollo fenológico de inflorescencias (Alonso-Báez *et al.*, 2016; Corredor y García, 2011) que consideran también las condiciones de la yema (reposo o hinchada) y la separación de escamas con la posterior exposición, elongación y diferenciación de los meristemas. Es importante documentar con precisión este evento fenológico para tener un registro más acertado de la edad de la hoja para optimizar condiciones experimentales, ya sea para determinación nutricional, estudios epidemiológicos, tolerancia a patógenos o mejoramiento del mango, entre otros propósitos. Sin embargo, es importante considerar que el periodo de desarrollo foliar puede ser afectado por la edad de la planta (Davenport, 2000) o factores ambientales o de manejo agronómico (poda, riego, fertilización) (Davenport, 2009), por lo que la determinación de la primera hoja medible debe ser bajo condiciones experimentales estandarizadas.

La máxima expansión laminar entre las variedades se alcanzó a los 16-23 días. La longitud del pecíolo se completó con mayor rapidez (15-21 días), seguida del largo y ancho de hoja (16-23 días) y posteriormente el diámetro del pecíolo (25-29 días). La longitud de pecíolo registró un crecimiento de 12.07 a 22.48 mm; el diámetro de pecíolo de 2.24 a 3.32 mm; el ancho de hoja de 37.3 a 48.4 mm y el largo de hoja de 142.94 a 207.17 mm. Estos resultados fueron parcialmente coincidentes con Jamil *et al.* (2015) quienes evaluaron ocho variedades

de mango y encontraron intervalos de crecimiento en longitud (157-216 mm) y ancho (33.4-53.9 mm) de la hoja, aunque con longitud de peciolo de 21.5-39.4 mm. Similarmente, Toili *et al.* (2016) documentaron dimensiones del largo (91.4-290 mm) y ancho (25.9-79.5) de hoja y longitud de peciolo de 20-79.5 mm en hojas de árboles adultos de 21 variedades de mango. La variabilidad en las dimensiones de la hoja puede atribuirse al genotipo y a la edad o manejo agronómico de los árboles (Corredor y García, 2011; Ramírez y Davenport, 2010).

Las variedades con mayor LDH y ADH fueron Alphonse, Cotaxtla, Ivory y Nam Doc Mai y con valores menores Rosigold, Ataúlfo Zafiro, Mallika, Kesar, Neelum y Fairchild, a diferencia de lo reportado por Jamil *et al.* (2005) quienes observaron que Neelum y SS-II presentaron el desarrollo laminar más alto y Alphonse, Almas y Sindhri crecimiento intermedio a bajo; lo cual indica que las variedades pueden tener un comportamiento diferenciado dependiendo de las zonas climáticas, regiones geográficas y manejo cultural del cultivo (Alonso-Báez *et al.*, 2016; Rajan *et al.*, 2011).

Durante desarrollo de las hojas maduras se determinaron cuatro etapas: primera hoja medible, hoja flácida, hoja con 80% de desarrollo y hoja madura. A partir de la primera hoja medible, formada a 17-20 días de la brotación, pueden registrarse sus dimensiones con mayor precisión y sin deterioro del tejido. La hoja flácida, se alcanzó a 24 días de la brotación de primordios foliares, exhibe poca turgencia, coloración propia del tejido juvenil (tonos café-claro, bronceado o verde-claro) y frecuentemente son translúcidas. Esta etapa es una de las más importante desde el punto de vista fitosanitario ya que presenta la mayor susceptibilidad a *Oidium mangiferae*, un patógeno endémico y severo del mango (Lonsdale y Kotze (1993; Sinha *et al.*, 2001). La hoja al 80% de desarrollo se observa a los 30 días de la brotación y es determinante en diversos procesos fisiológicos ya que pueden ser autosuficientes, como fue indicado por Kennedy y Johnson (1981) en manzano y Whiley (1990) en aguacate. La hoja madura se usa comúnmente para determinar la eficiencia fotosintética y condición nutrimental; además, de que la edad de la hoja determina la eficiencia de procesos de fisiología reproductiva que conducen a la floración (Ramírez *et al.*, 2010; Ramírez y Davenport, 2010).

Las variedades que produjeron más flujos vegetativos fueron Neelum y Mallika y únicamente Cotaxtla formó mayor cantidad de hojas ( $p \leq 0.05$ ). No necesariamente las variedades que presentaron menos brotes estimularon el mayor número de hojas por brote, mayor área foliar o peso específico de la hoja. El alto vigor de Neelum para emitir flujos vegetativos fue previamente reportado por Jamil *et al.* (2015) para Neelum (34 flujos) superando a Alphonse en esta característica. El mango tiene crecimiento vegetativo en la zona distal del brote y el número de flujos y puede variar en función de la variedad, clima, edad de la planta y manejo agronómico. Avilan *et al.* (2000), observaron que el crecimiento de brotes de mango es rítmico, con tres o cuatro flujos vegetativos de 30 a 40 días de duración cada uno en un año. Sin embargo, para una adecuada caracterización de variedades es importante considerar que esta característica puede ser modificada por factores de manejo como la poda, ya que árboles podados, pueden desarrollar hasta cuatro flujos de crecimiento en nueve meses, mientras que árboles sin poda pueden presentar de uno a dos flujos. Por esta razón, es importante estandarizar las condiciones experimentales (poda, nutrición, clima, etc.) para comparar adecuadamente las variedades.

La edad de la hoja y su estado de desarrollo son importantes para determinar algunos procesos morfológicos y fisiológicos de las plantas (Horsley y Gottschalk, 1993; Chaumont *et al.*, 1994). También son caracteres útiles para comparar el potencial agronómico de genotipos ligado a la actividad fotosintética. Uno de los métodos para estimar la fotosíntesis es a través de la producción de materia seca (peso seco de la hoja) por unidad de superficie foliar (AF), o sea, el peso específico de la hoja (PEH) (Secor *et al.*, 1982). En este estudio las variedades formaron tres subgrupos de acuerdo al PEH, siendo mayor en Mallika e Ivory, intermedio en Neelum, Alphonse, Ataúlfo Zafiro y Fairchild y menor en Cotaxtla, Nam Doc Mai, Rosigold y Kesar (Cuadro 8). El mayor peso específico de Mallika e Ivory indica que tienen mayor tasa fotosintética potencial o que su lámina foliar es más eficiente a diferencia del resto de las variedades, como señalaron Reyes *et al.* (2000) quienes sugirieron que el mayor PEH de naranjo y tangerino puede deberse a la acumulación de carbohidratos de reserva para utilizarse en los procesos de diferenciación floral, crecimiento vegetativo inicial y fructificación. Este proceso también se ha documentado en manzano (*Malus pumila*) y aguacate (*Persea americana*) (Castillo, 1996; Marini y Sowers, 1990). Asimismo, se ha documentado que diferencias observadas en el PEH también pueden deberse al diámetro del

patrón, efecto de sombra, grosor de la lámina foliar, diferencias estructurales anatómicas y morfológicas inherentes a cada especie o genotipo (Reyes et al., 200) o a la edad y estado de desarrollo de la hoja (Chaumont et al., 1994; Marini y Sowers, 1990)

El análisis morfológico basado en descriptores para hojas y crecimiento de plantas publicado por el IPGRI (Cuadro 1) permitieron observar diferencias entre variedades, resultados similares a los obtenidos por Jamil *et al.* (2015) y Toili *et al.* (2016) en la caracterización de distintos grupos de variedades de mango con los mismos descriptores. El germoplasma evaluado exhibió diversidad varietal evidente por las variables morfológicas del descriptor seleccionado. Los resultados presentados para la caracterización morfológica en este estudio son de gran importancia ya que estas características prevalecen siempre en los árboles, inclusive en plantas de vivero y hace posible la caracterización varietal en diferentes etapas de desarrollo como indicaron Toili *et al.* (2016) en la evaluación de 21 variedades de mango. No obstante, se ha documentado que los parámetros relacionados con área foliar, largo y ancho de la hoja, así como la producción de flujos y hojas están determinados por las condiciones ambientales, edad del árbol o planta y manejo agronómico, entre otros factores, por lo que la validez de su uso para la discriminación morfológica debe analizarse específicamente para cada caso de estudio. Esto es a diferencia de los parámetros cualitativos que son menos afectados por el ambiente y son más dependientes de las características intrínsecas a las variedades.

## CONCLUSIONES

- Se determinaron cuatro etapas fenológicas en el desarrollo de la primera hoja medible: yema hinchada, separación de escamas con ápice de primordio foliar visible, primordio foliar sésil y primera hoja medible. En el desarrollo laminar posterior se identificaron tres etapas adicionales: hoja flácida, hoja con 80% de desarrollo y hoja madura formada a los 70 días.
- La máxima expansión laminar entre las variedades se alcanzó entre un intervalo de 25 a 29 días. La longitud del pecíolo fue el primero en completar su desarrollo (15-21 días), seguido del largo y ancho de hoja (16-23 días) y diámetro del pecíolo (25-29 días). Las variedades con mayor largo y ancho de la hoja fueron Alphonse, Cotaxtla, Ivory y Nam Doc Mai y con valores menores Rosigold, Ataúlfo Zafiro, Mallika, Kesar, Neelum y Fairchild.
- Las variedades que produjeron más flujos vegetativos fueron Neelum y Mallika y únicamente Cotaxtla formó mayor cantidad de hojas.
- Mallika e Ivory tuvieron mayor PEH, seguidas de Neelum, Alphonse, Ataúlfo Zafiro y Fairchild; en el grupo con menor peso específico estuvieron Cotaxtla, Nam Doc Mai, Rosigold y Kesar. La mayor densidad estomática se observó en Neelum e Ivory y la menor en Cotaxtla, Fairchild y Kesar.
- El análisis morfológico basado en descriptores para hojas y crecimiento de plantas publicado por el IPGRI permitieron discriminar entre variedades. Los parámetros cualitativos son menos afectados por el ambiente y son inherentes al genotipo de las variedades.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-Báez, M., Pérez-Barraza, M. H. y Sandoval-Esquivel, A. 2016. Ajuste de las escalas alfa numérica y BBCH a la fenología floral del mango ataulfo (*Mangifera indica* L.). *Agroproductividad* 9(4): 78-85.
- Avilan, L., Marín, C., Rodríguez, M. y Ruíz, J. 2000. Comportamiento de los brotes de mango en plantas tratadas con diferentes intensidades de poda, paclobutrazol y nitrato de potasio. *Agronomía Tropical*. 50:347-360.
- Castillo, G., A. M. 1996. Fluctuación anual de carbohidratos y nutrimentos en relación al amarre de frutos de aguacate (*Persea americana* Mill) cv. Colín V-33. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo. de México. 137 p.
- Chaumont, M., Morot-Gaudry, J. F. and Foyer. C.H. 1994. Seasonal and diurnal changes in photosynthesis and carbon partitioning in *Vitis vinifera* leaves in vines with and without fruit. *J. Exp. Bot.* 278: 1235-1243.
- Corredor, P. J. P. y García, L. J. 2011. Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Ecofisiología* 12(1): 21-32.
- Davenport, T. L. 2000. Processes influencing floral initiation and bloom: the role of phytohormones in a conceptual flowering model. *HortTechnology* 10(4):733-739.
- Davenport, T. L. 2009. Reproductive physiology. En: Litz RE, editor. *The mango: botany production and uses*. Wallingford, UK: CAB International. pp. 97-169.
- Efendy, A. R., A. Lewis and H.E. Sakur. 2003. Characterization, selection and conservation of germplasm of mango. Citrus and Sub-Tropical Horticulture Research Station. Research and Development Agency, Jakarta, Indonesia.

- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Available at <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es> (Accessed June 21, 2016).
- Hernández, S. D., y Martínez, M. Á. 2009. Procedimiento para el análisis de equilibrio parcial de las exportaciones mexicanas de mango (*Mangifera indica*) A EE. UU. Revista Fitotecnia Mexicana 32 (3): 251-256.
- Horsley, S. B., and Gottschalk. K. W. 1993. Leaf area and net photosynthesis during development of *Prunus serotina* seedlings. Tree Physiol. 12: 55-69.
- IPGRI. International Plant Genetic Resources Institute. Descriptors for mango (*Mangifera indica*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 2006.
- Jamil, W., Ahmad, S., Ahmad, M., Ali, S. and Abbas. M. M. 2015. Morpho-physiological and biochemical profiling of some mango cultivars in Pakistan. J. Agric. Res. 53(3):397-412.
- Kehlenbeck K, Rohde E, Njuguna JK, Omari F, Wasilwa L and R Jamnadass Mango cultivar diversity and its potential for improving mango productivity in Kenya. In: Transforming agriculture for improved livelihoods through agricultural product value chains. Proceedings of the 12th KARI biennial scientific conference, Kenya Agricultural Research Institute, Nairobi, Kenya, 2010; 657–665.
- Kennedy, R. A. and D. Johnson. 1981. Changes in photosynthetic characteristics during leaf development in apple. Photosynth. Res. 2:213-223.
- Lonsdale, J. H. and Kotze, J. M. 1993. Chemical control of mango blossom diseases and effect on the fruit set and yield. Plant Dis. 77, 558e562.
- Marini, R.P., and D. L. Sowers. 1990. Net photosynthesis, specific leaf weight and flowering of peach as influenced by shade. Hort Science 25: 331-334.
- Mukherjee, S. K. 1997. Introduction: botany and importance. In: Litz, R.E. (Ed.). The Mango, Botany, Production and Uses. CAB International, Wallingford, UK.

- Nafees, M., R. Anwar, M. Jameel, M. N. Aslam, S. Ahmad, F. Z. Akhtar and N.N. Memon. 2010. Flushing pattern of mango (*Mangifera indica* L.) cultivars in response to pruning of panicles and its effect on carry over effect of floral malformation. Pak. J. Agri. Sci. 47:13-18.
- Singh, S. K. and Bhargava, R. 2011. Evaluation of mango genotypes for morpho-physiological attributes under hot arid zone of Rajasthan. J. Trop. Agri. 49:104-106.
- Rajan, S., Tiwari, D., Singh, V.K., Saxena, P., Singh, S., Reddy, Y.T.N., Upreti, K.K., Burondkar, M.M., Bhagwan, A. and Kennedy, R. 2011. Application of extended BBCH scale for phenological studies in mango (*Mangifera indica* L.). J. App. Hortic., 13, 108-114.
- Rajwana, I. A., I. A. Khan, A.U. Malik, B. A. Saleem, A. S. Khan, K. Ziaf, R. Anwar and M. Amin. 2011. Morphological and bio-chemical markers for varietal characterization and quality assessment of potential indigenous mango (*Mangifera indica* L.) germplasm. Int. J. Agri. Biol. 13:151-158.
- Ramírez, F. and Davenport, T.L. 2010. Mango (*Mangifera indica* L.) flowering physiology. Scientia Horticulturae 126, 65–72.
- 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 Hortic 123(4):443-453.
- Reyes-Santamaría, M., Villegas-Monter, A., Colinas- León, M. T. y Calderón-Zavala, G. 2000. Peso específico, contenido de proteína y de clorofila en hojas de naranjo y tangerino. Agrociencia 34:49-55.
- SAS Institute Inc. 2016. System Options: Refence, Fifth Edition. SAS Institute. Cary, North Caroline, USA.
- Secor, J., McCarty., D. R., Shibbes, R. and Green. D. E. 1982. Variability and selection for leaf photosynthesis in advanced generation of soybean. Crop Sci. 22: 255-258.

- Sinha, P., Chakrabarti, U., Anuupam, V. and Varma, A., 2001. Critical factors for mango powdery mildew development. *Ann. Plant Prot. Sci.* 9, 264e267.
- Toili, M., Rimberio, F. K., Nyende, A. B. and Sila, D. 2016. Morphological diversity of mango Eastern Kenya: an analisis based on non-fruit descriptors. *African journal of food, agricultura, nutrition and development* 16(2): 10913-10935.
- Villegas, M. A., y Mora, A. A. 2011. Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura Vol. Especial*: 179-186.
- Wahdan MT, Abdelsalam AZ, El-Naggar AA and MA Hussein Preliminary horticultural studies to describe and identify two new Egyptian mango strains using DNA fingerprinting. *J. Amer. Sci.* 2011; 7(2): 641-650.
- Whiley, A. W. 1990. CO<sub>2</sub> assimilation of developing shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana Mill.*) a preliminary report. South African Avocado Growers Association. Yearbook. 13:28-30.

### **CAPITULO 3. TÉCNICA DE INOCULACIÓN DE CENICILLA (*Oidium mangiferae*) EN HOJAS DE MANGO.**

#### **RESUMEN**

La cenicilla del mango (*Oidium mangiferae* Berhet.) es una de las enfermedades más importantes de este frutal por causar pérdidas severas en producción. Se desarrolló una técnica de inoculación consistente y repetible para evaluar de forma más precisa la virulencia del hongo y optimizar la inducción de cenicilla en hojas de mango. Se determinó la viabilidad de esporas de *O. mangiferae* en tres aditivos y evaluaron los métodos de inoculación por contacto directo, espolvoreo de conidios con MgO, caseína y aspersion de conidios en suspensión con polisorbato 20 combinado con un surfactante de alcoholes detoxilados en hojas de 8-12 y >20 días, en dos condiciones lumínicas contrastantes de inoculación (960 lux y  $\pm 300-450$  lux). La mayor densidad de células germinadas se observó a las 48 h (94.3-98.1%) en oscuridad continua; la caseína incrementó la germinación en los períodos de incubación evaluados, bajo luz y oscuridad continuas. La técnica que promovió los valores más altos de incidencia y severidad consideró la deposición de inóculo por contacto directo o polisorbato 20 al 5% + surfactante al 2%, a una concentración de  $4.6 \times 10^5$  o  $4.6 \times 10^6$  cél./mL sobre hojas de 8-12 días de edad inoculadas al anochecer.

**Palabras clave:** *Oidium mangiferae*, infección, follaje, técnica de deposición.

## **INOCULATION TECHNIQUE OF POWDERY MILDEW (*Oidium mangiferae*) IN MANGO LEAVES.**

### **ABSTRACT**

The powdery mildew of mango (*Oidium mangiferae* Berhet.) is one of the most important diseases of this fruit because it causes severe losses in production. A consistent and repeatable inoculation technique was developed to more accurately evaluate the fungus virulence and to optimize the induction of conidia in mango leaves. The viability of *O. mangiferae* spores in three additives was evaluated and methods of inoculation by direct contact, conidia sprinkling with MgO, casein and spray of conidia in suspension with polysorbate 20 combined with a surfactant of detoxified alcohols in leaves of 8 -12 and > 20 days, in two contrasting light conditions of inoculation (960 lux and  $\pm$  300-450 lux). The highest density of germinated cells was observed at 48 h (94.3-98.1%) in continuous darkness; Casein increased germination in the incubation periods evaluated under continuous light and dark. The technique that promoted the highest values of incidence and severity considered inoculation by direct contact or polysorbate 20 5% + 2% surfactant, at a concentration of  $4.6 \times 10^5$  or  $4.6 \times 10^6$  cells / mL on leaves of 8 -12 days old inoculated at dusk.

**Key words:** *Oidium mangiferae*, infection, foliage, deposition technique.

## INTRODUCCIÓN

La cenicilla del mango inducida por *Oidium mangiferae* (Berthet) (Syn. *Pseudoidium anacardii* F. Noack.) es una de las enfermedades más importantes de este frutal por causar pérdidas severas de producción en un rango amplio de regiones geográficas y afectar la mayoría de los cultivares comerciales (Braun y Cook, 2012; Prakash, 2004). El hongo necrosa inflorescencias, brotes foliares y frutos en desarrollo. En hojas juveniles, los síntomas inician con áreas rojizas en los sitios de infección que posteriormente se cubren con un polvillo blanco debido al crecimiento de micelio y esporulación, el daño avanza hasta causar distorsión de los márgenes foliares, necrosis extendidas y defoliación (Lonsdale y Kotze, 1993; Singh, 2000). Los daños causados por este patógeno son muy variables y a menudo subestimados; se han registrado pérdidas de hasta 80% en los principales países productores, con rangos de 25 a 80% en infecciones tempranas y una media mundial de 15-20% (Ihsan et al., 1999; Nasir et al., 2014). *O. mangiferae* se desarrolla en ambientes secos y fríos pero alcanza mayor severidad con humedad relativa de 90% y 20-25°C (Gupta, 1989; Shoeman et al., 1995).

Los programas actuales de manejo de enfermedades de árboles frutales generalmente estiman la tolerancia sanitaria de variedades a *O. mangiferae* con base en infecciones naturales. Por ejemplo, Naqvi et al. (2014) y Carvalho et al. (2004) caracterizaron el grado de tolerancia a cenicilla en 25 variedades comerciales a partir del inóculo ambiental de campo en Pakistán y Brasil, respectivamente. Sin embargo, este enfoque es limitativo ya que no siempre se tienen condiciones óptimas para el desarrollo del patógeno o enfermedad (Shoeman et al., 1995), como densidad de inóculo, disponibilidad de tejido susceptible o duración de factores climáticos en rangos y períodos de relevancia epidémica específicos. Para evitar sobrestimación o subestimación de la tolerancia varietal se requieren técnicas de inoculación que consideren la manipulación adecuada del patógeno y hospedante para una expresión óptima de virulencia. En general, los estudios de *O. mangiferae*, así como de la enfermedad, están basados en epidemias naturales, por lo que solamente trabajos escasos documentan la inducción artificial de la enfermedad. Para mejorar su eficiencia, una técnica de inoculación debe considerar la virulencia, densidades de inóculo y formas de deposición, coadyuvantes,

dispersantes y condiciones de incubación, entre otros factores. Aun cuando la bibliografía relativa a la interacción cenicilla-mango es limitada, se ha documentado que la deposición de esporas de *O. mangiferae* con pincel sobre hojas de *Pedilanthus tithymaloides* generó infecciones exitosas, promoviendo la activación de nuevas antocianinas y degradación de clorofila esperadas (Adikaram et al., 2002). También, Jia et al. (2003) observaron que el polisorbato 20 (Tween 20<sup>®</sup>) al 0.25%, combinado con un periodo de luz-oscuridad por 16 y 8 h, incrementaron la adherencia y la severidad máxima esperada de *Magnaporthe grisea* inoculado en hojas de (*Oryza sativa*). Asimismo, Mao et al. (2004) registraron que la oscuridad continua por tres días favoreció la infección experimental de *Colletotrichum capsici* y permitió evaluar la tolerancia de 19 genotipos de frutos de *Capsicum annum*. Además de los propios factores de patogenicidad, la virulencia del patógeno también depende de su interacción con los cultivares, clima y manejo agronómico. Este trabajo tuvo como objetivo diseñar una técnica de inoculación fiable y repetible para inducir cenicilla en hojas de mango cv. Manililla en condiciones de invernadero, basada en la virulencia del patógeno y factores físicos inherentes al patógeno, método y hospedante como procedimientos de deposición, uso de coadyuvantes, densidad de inóculo, edad de la hoja y condiciones lumínicas de incubación.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio.** El trabajo se realizó durante el 20015 en el laboratorio e invernadero del Postgrado de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Iguala, Guerrero, México (18°20'39.505" N; 99°29'52.796"O; 738 m).

**Inóculo experimental.** Se recolectó tejido foliar e inflorescencias colonizado por *O. mangiferae* en huertos de mango de 20 años de edad cv. Manilla en el estado de Guerrero y depositó en bolsas de papel. El tejido se deshidrató en condiciones de laboratorio (470 ± 10 lm, 24-26°C, 30% HR) por siete días. Una proporción de tejido deshidratado se guardó en bolsas de papel como reservorio de inóculo; del resto se recuperaron los conidios con un pincel de pelo fino (Rodin® Núm. 5) y suspendieron en tubos de vidrio con agua destilada estéril (ade) para su conservación a 24 ± 2°C hasta su utilización como inóculo.

**Aditivos y germinación.** Se realizaron mezclas de esporas de *O. mangiferae* con los siguientes aditivos (tratamientos): T1) agua destilada estéril (ade) (1 g de cél/2 mL ade); T2) polisorbato 20 (Tween 20®) al 5% + surfactante a base de alcoholes detoxilados (Inex-A®) al 2% (1 g de cél/2 mL de la mezcla); T3) óxido de magnesio (MgO) (QUIREY®) (1 g cél/2 g MgO); y T4) caseína en polvo (Caseína Rennet®) (1 g cél/2 g caseína). Cada mezcla se disolvió en un mL de ade, se recolectaron tres gotas (100 µL/gota) por tratamiento y depositaron individualmente sobre un portaobjetos plano e incubaron a 24°C. Cada tratamiento, con 15 repeticiones (una repetición constó de un portaobjetos, cada uno con tres gotas), se evaluó en condiciones de luz artificial (470 ± 10 lm) y oscuridad continuas, Se registró el porcentaje de germinación a 24, 48 y 72 h.

**Deposición de inóculo.** Se evaluaron cuatro métodos de deposición de inóculo: T1) contacto directo de tejido sano-enfermo (secciones de tejido esporulado de 1 cm<sup>2</sup>, separadas de hojas con infección natural, con una densidad conidial de 4.3-4.6 x 10<sup>5</sup>); T2) aspersión conidial en una suspensión con polisorbato 20 al 5% + surfactante a base de alcoholes detoxilados al 2%; T3) mezcla y espolvoreo de conidios en MgO; T4) mezcla y espolvoreo de conidios en caseína; y T5) ade (control). De cada tratamiento se preparó una mezcla base, según *prueba de aditivos y germinación* antes descrita, que se ajustó a una concentración conidial de

$4.6 \times 10^5$  cél por unidad de vol (mL) o masa (g) con una cámara de Neubauer. Los tratamientos se aplicaron en dos horas contrastantes del día, 9:00 (960 lm) y 18:00 h ( $\pm$  300-450 lm) en las superficies adaxial y abaxial de hojas de dos edades (8-12 y  $>20$  días) de plantas de vivero del cv. Manililla de 16 meses de edad establecidas en macetas, previamente lavadas con agua destilada y desinfectadas con hipoclorito de sodio al 5% con aspersor manual. Se inocularon 25 hojas (5 hojas/planta; 5 plantas/método). Cada 24 h se observó el desarrollo de síntomas por un período máximo de 24 días después de la inoculación (ddi), hasta alcanzar severidad máxima. Se determinó el periodo de incubación (PI), incidencia (Inc) de lesiones locales con o sin esporulación. La severidad (Sev) se estimó 15 días posteriores al PI con una escala de cinco clases basadas en coloración y área dañada con presencia o ausencia de micelio: 1) hoja sana o manchas diminutas menores a 01 mm y sin colonización micelial, 2) manchas púrpuras o rojizas, con micelio escaso y diámetro máximo de 5 mm, 3) manchas rojizas a oscuras con un diámetro máximo de 10 mm y micelio blanco escaso, 4) manchas rojizas a oscuras con un diámetro máximo de 15 mm y micelio abundante, 5) manchas oscuras que coalescen con diámetro mayor a 15 mm y micelio abundante. Las plantas se fertilizaron cada cinco días con 8 g de la fórmula 100-60-60 (NPK) en 500 mL de agua por maceta. Se registró la temperatura ( $^{\circ}$ C), humedad relativa (%) y luminosidad (lm) con un datalogger HOBO U12-012<sup>R</sup>. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco repeticiones. El experimento se replicó dos veces.

**Concentraciones de inóculo.** Se evaluaron las concentraciones de esporas de  $4.6 \times 10^3$ ,  $4.6 \times 10^4$ ,  $4.6 \times 10^5$  y  $4.6 \times 10^6$  conidios/mL en solución con polisorbato 20 al 5% + surfactante a base de alcoholes detoxilados al 2%; y utilizó ade como control. Los tratamientos se aplicaron por aspersión a las 18:00 h ( $\pm$  300-450 lm) en las superficies adaxial y abaxial de hojas de 08-12 días de desarrollo de plantas de vivero del cv. Manililla de 16 meses de edad establecidas en macetas, previamente lavadas con agua destilada y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 5% con aspersor manual. Se inocularon 50 hojas (5 hojas/planta; 10 plantas/tratamiento). El experimento se replicó dos veces. Las plantas se manejaron agronómicamente como se describió con anterioridad. El diseño experimental fue completamente al azar con diez repeticiones. Cada 24 h se observó el desarrollo de síntomas por un período máximo de 15 posteriores al PI, hasta obtener la severidad máxima. Se registraron las variables PI, Inc y Sev, acorde a la descripción previa.

**Análisis estadístico.** Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias (DMS, 5%) del porcentaje de germinación a 24, 48 y 72 h., así como del PI, Inc y Sev, con el programa SAS<sup>®</sup> v.9.4 (SAS Intitute Inc, 2016).

## RESULTADOS

La mayor densidad de células germinadas se observó a las 48 h (94.3-98.1%) y aumentó de 57.1 a 67.5% al incubarse en oscuridad en los períodos evaluados. Independientemente de los tratamientos, la germinación en oscuridad fue superior a la luz promoviendo, en general, hasta 200% más de células germinadas. La caseína aumentó la germinación en los períodos de incubación y condiciones lumínicas probadas. El resto de los tratamientos, menos efectivos, en general tuvieron un comportamiento similar en luz u oscuridad (Cuadro 1). La deposición de inóculo por contacto directo, seguido por aspersion en polisorbato 20 + surfactante (Cuadros 2 y 3), en general, indujeron la mayor incidencia y severidad de cenicilla con PI variables en hojas de 8-12 y >20 días de edad; sin embargo, las hojas juveniles (8-12 días) fueron más susceptibles que las hojas maduras (>20 d) (Figuras 1 y 2), observándose también que la incidencia y severidad aumentaron notoriamente cuando las inoculaciones se realizaron al atardecer (18:00 h;  $\pm$  300-450 lm) (Cuadros 2 y 3) (DMS 5%). Las concentraciones de esporas de  $4.6 \times 10^5$  y  $4.6 \times 10^6$  cél./mL estimularon la mayor incidencia (94.2-92. %) y severidad (4.8<sub>sev</sub>), (DMS 5%).

Cuadro 1. Efecto de aditivos, periodos de incubación y condición de luminosidad en la germinación *in vitro* de conidios de *Oidium mangiferae*. Iguala, Gro. 2015.

TRATAMIENTO	Germinación 24 h		Germinación 48 h		Germinación 72 h	
	(%)		(%)		(%)	
	oscuridad	luz	oscuridad	luz	oscuridad	luz
ade**	13 <sup>1</sup>	5.5	20.4	9.3	10.3	4.7
polisorb. 20+surfactante*	12.8	6.9	21.2	12.4	9.6	5.7
MgO	12.5	5.1	21.0	9.5	8.7	4.3
caseína	14.7	8.4	23.4	15.8	11.4	6.8
DMS	1.3	2.7	2.1	2.3	1.5	1.1
R <sup>2</sup>	89	89	92	90	91	89

<sup>1</sup>Media de 15 repeticiones/ tratamiento, DMS 5%, \*polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados (Inex-A<sup>®</sup>), \*\*agua destilada estéril.

Cuadro 2. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango de 8-12 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante cuatro tratamientos de inoculación en dos horas contrastantes de aplicación. Iguala, Gro. 2015.

Tratamiento	Periodo		Incidencia		Severidad	
	incubación (ddi)				(Clases)	
	9:00 h	18:00 h	9:00 h	18:00 h	9:00 h	18:00 h
Contacto directo	14.8 <sup>1</sup>	10.4 <sup>1</sup>	40.0	96.0	3.2	4.7
Polisorb. 20+surfactante*	16.0	14.2	32.0	92.0	3.5	4.5
MgO	12.0	14.2	16.0	72.0	1.9	2.9
Caseína	16.0	13.8	28.0	84.0	2.5	3.4
ade**	0.0	0.0	0.0	00.0	0.0	0.0
DMS	11.8	3.6	16	12.0	0.6	0.8
R <sup>2</sup>	91	90	90	91	91	90

<sup>1</sup>Media de 50 hojas/ tratamiento en dos replicas experimentales (25 hojas/ experimento), DMS 5%. ddi= días después de inoculación, \*polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados (Inex-A<sup>®</sup>), \*\*agua destilada estéril.

Cuadro 3. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango mayores a 20 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante cuatro tratamientos de inoculación en dos horas contrastantes de aplicación. Iguala, Gro. 2015.

Tratamiento	Periodo		Incidencia (%)		Severidad	
	incubación (ddi)/				(clases)	
	9:00 h	18:00 h	9:00 h	18:00 h	9:00 h	18:00 h
Contacto directo	22.7	19.2	28.0	64.0	2.1	3.9
Polisorb. 20+surfactante*	23.1	21.2	17	48.0	2.4	3.7
MgO	0.0	21.8	0.0	32.0	0.0	2.1
Caseína	23.5	21.8	9	40.0	1.6	2.8
ade**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DMS	9.3	2.5	12.3	16.0	2.1	0.7
R <sup>2</sup>	76	91	69	90	71	91

<sup>1</sup>Media de 50 hojas/ tratamiento en dos replicas experimentales (25 hojas/ experimento), DMS 5 %. ddi= días después de inoculación, \*polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados (Inex-A<sup>®</sup>), \*\*agua destilada estéril.

Cuadro 4. Concentraciones de inóculo, periodos de incubación, incidencia y severidad de *Oidium mangiferae* en hojas de 8-12 días de edad en plantas de 16 meses, cv. Manililla inoculadas a las 18:00 h. Iguala, Gro., México, 2015.

<b>Tratamientos</b> (cel./ mL <sup>-1</sup> )	<b>Periodo incubación (ddi)/</b>	<b>Incidencia (%)</b>	<b>Severidad</b> (clases)
4.6x10 <sup>3</sup>	6.3 <sup>1</sup>	68.2	3.7
4.6x10 <sup>4</sup>	5.5	83.7	4.1
4.6x10 <sup>5</sup>	5.23	92.5	4.8
4.6x10 <sup>6</sup>	5.04	94.2	4.8
ade*	0.0	0.0	0.0
DMS	0.7	10.4	0.9
R <sup>2</sup>	89	90	93

<sup>1</sup>Media de 100 hojas/ tratamiento en dos replicas experimentales (25 hojas/ experimento), DMS 5 %.  
ddi= días después de inoculación, \*agua destilada estéril.



Figura 1. Síntomas causados por *Oidium mangiferae* en hojas de mango de 8-12 días.



Figura 2. Síntomas causados por *Oidium mangiferae* en hojas de mango > 20 días.

## DISCUSIÓN

La caseína aumentó la germinación en los períodos de incubación y condiciones lumínicas probadas. Aun cuando no se encontraron reportes relativos al efecto de la caseína en la germinación conidial de *O. mangiferae*, se ha documentado que este aditivo favorece la germinación, esporulación y viabilidad de conidios de *Fusarium oxysporum* en *Solanum lycopersicum* (Jaimes et al., 2009). El mayor incremento en la germinación de conidios se determinó a 48 h, en concordancia con Sinha et al. (2001 y 2002) quienes observaron que después de 48 h germinó la mayor concentración de esporas de *O. mangiferae* incubadas a diferentes temperaturas, en un rango de 9 a 36°C, mientras que a 72 h sólo registraron un incremento marginal adicional. También encontraron que la germinación fue óptima después de 5-7 h de incubación en oscuridad a 23°C. De manera similar, Jacob et al. (2008) reportaron que la germinación de esporas de *O. neolycopersici* se inhibe con incremento de la luminosidad. La deposición de esporas por contacto directo evidencia la infección eficiente que ocurre de forma natural, para esta interacción parasítica, por rozamiento del tejido enfermo con el sano. La información referente a métodos para reproducir cenicilla del mango es escasa. Adikaram et al. (2002) emplearon un pincel fino para transferir inóculo de *O. mangiferae* y reproducir con éxito los síntomas de cenicilla en *Pedilanthus tithymaloides*. Una variante para deponer el inóculo directamente, sin combinarlo con aditivos, fue utilizado por Doster y Schnathorst (1992) quienes indujeron colonias fungosas de 0.271 a 1.03 mm de diámetro en *Vitis vinifera* al frotar hojas enfermas por *Uncinula necator* en hojas sanas. Por sus características tensioactivas, adherentes y dispersantes, el polisorbato 20 se ha utilizado en algunas investigaciones para evitar la aglutinación de esporas y facilitar su dispersión uniforme. Por ejemplo, Jansen et al. (2005) lograron infecciones 100% exitosas al inocular cariósides de trigo con *F. graminearum* a una concentración de 1500 macroconidios/mL en suspensión con polisorbato 20. Similarmente, Frias et al. (1995) favorecieron la germinación y lograron 97 a 100% de infección al inocular plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) con basidiosporas de *Crinipellis pernicioso* en una solución de glicerol al 3% con polisorbato 20. El grado de madurez de las hojas también puede modificar la eficiencia de la técnica de inoculación y estimación de niveles de tolerancia. La infección por *O. mangiferae* tiende a ser

más eficiente por la noche, con temperaturas de 20 a 25°C con PI que pueden extenderse de 4 a 23 d, en función de las condiciones climáticas (Nasir et al., 2014; Nofal and Haggag, 2005; Shoeman et al., 1995; Sinha et al., 2001); asimismo, las hojas jóvenes de mango pueden presentar daños más severos en relación con hojas adultas (Sinha et al., 2002). De igual forma, Doster y Schnathorst (1992), encontraron que las hojas jóvenes de *Vitis vinífera* fueron más susceptibles a *U. necátor* al estimular mayor proporción de conidios germinados (87.8%) y que la germinación y longitud de lesiones con esporulación decrecieron linealmente ( $R^2=0.81$  y  $R^2=0.98$ ) con la madurez de la hoja. Aun cuando pueden usarse indistintamente las concentraciones de  $4.6 \times 10^5$  y  $4.6 \times 10^6$  cél./mL para reproducir con eficiencia los síntomas de cenicilla, se sugiere usar la menor densidad ( $4.6 \times 10^5$  cél./mL) por requerir 10 veces menor cantidad de crecimiento fungoso para su preparación con ahorro significativo de costos y tiempo. Una densidad de inóculo cercana a la propuesta en este estudio fue utilizada por Nofal and Haggag (2005), quienes obtuvieron infecciones exitosas por aspersión conidial de *O. mangiferae* a una concentración de  $5 \times 10^5$  sobre hojas de mango e incubadas en cajas Petri por un período de oscuridad de 24 h.

A diferencia de los programas de mejoramiento convencionales que consideran la infección natural de campo para evaluar la tolerancia de variedades (Carvalho et al., 2004; Naqvi et al. 2014), el presente estudio sugiere que para estimar de forma más precisa la tolerancia varietal, es indispensable usar una técnica de inoculación que conlleve mayor control de los elementos que determinan la virulencia de *O. mangiferae* como densidad, deposición e incubación optimizada del inóculo, susceptibilidad del hospedante con base en la fenología y uso de coadyuvantes, entre otros.

## CONCLUSIONES

- Los resultados indicaron que la caseína favoreció la mayor germinación de conidios de *O. mangiferae* en condiciones de oscuridad.
- La técnica más eficiente de inoculación para promover la mayor incidencia y severidad sugiere considerar una concentración conidial de  $4.6 \times 10^5$  cél./mL, deposición de inóculo por contacto directo o mezclado con polisorbato 20 al 5% + surfactante al 2% sobre hojas juveniles de 8-12 días de edad, inoculadas al anochecer.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adikaram, N. K. B., Mailewa, G. and Weerahewa, D. 2002. Changes in pigment composition, acid metabolism, etc. In *Pedilanthus tithymaloides* leaf following powdery mildew infection. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka 30: 1-11.
- Braun, U. and Cook, R. T. A. 2012. CBS Biodiversity Series No., vol. 11, p. 497.
- Carvalho, C. R. L., Rossetto, C. J., Mantovani, D. M. B., Morgano, M. A., Castro, de J. V. y Bortoletto, N. 2004. Avaliação de cultivares de mangueira selecionadas pelo Instituto Agronomico de Campinas comparadas a outras de importancia comercial. Revista Brasileira de Fruticultura 26: 264-271.
- Doster, M. A. and Schnathorst, W. C. 1985. Effects of leaf maturity and cultivar resistance on development of the powdery mildew fungus on grapevines. Phytopathology 75: 318-321.
- Frias, G. A., Purdy, L. H. and Schmidt, R. A. 1995. An inoculation method for evaluating resistance of cacao to *Crinipellis pernicioso*. Plant Disease 79: 787-791.
- GUPTA, J. H. 1989. Perpetuation and epidemiology of powdery mildew of mango. Acta Horticulture 231: 528-533.
- Ihsan, J., Ahmad, I., Sajid, M. N., Muhammad, F. and Saleem, A. 1999 Incidence of powdery mildew of mango in the Punjab and evaluation of protective and curative fungicides for the control of disease. Pakistan Journal of Phytopathology 11: 67-69.
- Jacob, D., Rav, D. D., Sztjenberg, A. and Elad, Y. 2008. Conditions for Development of Powdery Mildew of Tomato Caused by *Oidium neolycopersici*. Phytopathology 98(3): 270-281.

- Jaimes, S. Y. Y., Moreno, V. C. A. and Cotes, P. A. M. 2009. Inducción de resistencia sistémica contra *Fusarium oxysporum* en tomate por *Trichoderma koningiopsis* Th003. *Acta Biológica Colombiana* 14(3): 111-120.
- Jansen, C., Wettstein, D., Schäfer, W., Kogel, K. H., Felk, A. and Maier, F. J. 2005. Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 102(46): 16892-16897.
- Jia, Y., Valent, B. and Lee, F. N. 2003. Determination of host responses to *Magnaporthe grisea* on detached rice leaves using a spot inoculation method. *Plant Disease* 87:129-133.
- Lonsdale, J. H. and Kotze, J. M. 1993. Etiology and control of some mango in South Africa. *Acta Horticulture* 341: 345-352.
- Mao, A., Qia, H. and Geng, S. 2004. Studies on the inoculation technique for resistant varieties of pepper to anthracnose and the application. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica* 19(2): 87-91.
- Naqvi, S. A. H., Perveen, R., Manzoor, S. A., Umar, H. M. I., Iqbal, M. T., Liaquat, F., Majid, T. and Irshad, A. 2014. Evaluation of various mango varieties against the infection dynamics of powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.). *American Journal of Plant Sciences* 5: 2372-2377.
- Nasir, M., Mughal, S. M., Mukhtar, T. and Awan, M. Z. 2014. Powdery mildew of mango: A review of ecology, biology, epidemiology and management. *Crop Protection* 64: 19-26.
- Nofal, M. A. and Haggag, W. M. 2006. Integrated management of powdery mildew of mango in Egypt *Crop Protection* 25: 480-486.
- Prakash, O. 2004. Diseases and disorders of mango and their management. In: Naqvi SAMH (ed.) *Diseases of Fruits and Vegetables*, Nagpur, Maharashtra, India. National

- Research Centre for Citrus (Indian Council of Agricultural Research), Vol. 1. pp. 511-620.
- SAS Institute Inc. 2016. System Options: Reference, Fifth Edition. SAS Institute. Cary, North Carolina, USA.
- Schoeman, M. H., Manicom, B. Q. and Wingfield, M. J. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. *Plant Disease* 79: 524-528.
- Singh, R. S. 2000. Powdery mildew of mango. In: Oxford and IBH Publishing Company. New Delhi. *Diseases of Fruit Crops*. pp. 157-159.
- Sinha, P., Prajneshu, R. and Varma, A. 2001. Studies on determining favourable factors for the germination of conidia of *Oidium mangiferae*. *Indian Phytopathology* 54(2): 197-200.
- Sinha, P., Prajneshu, R. and Varma, A. 2002. Growth models for powdery mildew development of mango. *Annals of Plant Protection Sciences* 10: 84-87.

## **CAPÍTULO 4. TOLERANCIA DE 10 NUEVAS VARIEDADES DE MANGO AMARILLO A *Oidium mangiferae* EN MEXICO.**

### **RESUMEN.**

Entre 2000 y 2012 México perdió competitividad en la exportación de mango a EE.UU., debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Perú, Brasil y Ecuador, así como a la oferta limitada de mango amarillo ya que México comercializa únicamente frutos amarillos de la variedad Ataúlfo. La cenicilla del mango (*Oidium mangiferae*) puede causar pérdidas de producción de hasta 80%, por lo que es necesario conocer el comportamiento sanitario contra este patógeno del nuevo germoplasma introducido recientemente o generado en México. El objetivo del presente estudio fue determinar la tolerancia a cenicilla de diez nuevas variedades de mango amarillo con base en una técnica de inoculación optimizada para reproducción de síntomas. El mejor método de inoculación fue la aspersión conidial suspendidos en una mezcla de polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados al 2%. Alphonse fue moderadamente tolerante Neelum y Fairchild ligeramente tolerantes, Nam Doc Mai, Rosigold, A. Zafiro, Cotaxtla y Kesar susceptibles e Ivory y Mallika altamente susceptibles. Las variedades menos susceptibles presentaron los menores valores de incidencia, severidad máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, tasa de infección aparente y concentración de conidios por cm<sup>2</sup> de área foliar dañada.

**Palabras claves:** *Oidium mangiferae*, inoculación, caracterización varietal.

## **TOLERANCE OF 10 NEW VARIETIES OF YELLOW MANGO TO *Oidium mangiferae* IN MEXICO**

### **Abstract**

Between 2000 and 2012, Mexico lost competitiveness in the export of mango to the USA, due to the increase of the commercial participation of India, Thailand, Peru, Brazil and Ecuador, as well as the limited supply of mango as Mexico only sells Yellow fruits of the variety Ataúlfo. The powdery mildew of mango (*Oidium mangiferae*) can cause production losses of up to 80%, so it is necessary to know the health behavior against this pathogen of the new germplasm recently introduced or generated in Mexico. The objective of the present study was to determine the tolerance to powdery mildew of 10 new varieties of yellow mango based on an inoculation technique optimized for reproduction of symptoms. The best method of inoculation was the conidial spray suspended in a mixture of polysorbate 20 + surfactant based on 2% detoxylated alcohols. Alphonse was moderately tolerant Neelum and Fairchild slightly tolerant, Nam Doc Mai, Rosigold, A. Sapphire, Cotaxtla and Kesar susceptible and Ivory and Mallika highly susceptible. Less susceptible varieties showed the lowest values of incidence, maximum severity, area under the curve of disease progression, apparent infection rate and conidia concentration per cm<sup>2</sup> of damaged leaf area.

**Key words:** *Oidium mangiferae*, inoculation, resistance, varietal characterization.

## INTRODUCCIÓN

El mango (*Mangiferae indica* L.) se adapta a diferentes regiones, climas y condiciones ambientales del trópico y subtropical, por lo que puede encontrarse desde el sur de Asia, centro de origen, hasta América (Mukherjee, 1997). En 2013, la producción mundial de esta fruta ascendió a 43,7 millones métricas toneladas y presentó un crecimiento del 4% durante los últimos cinco años (FAO, 2016). México es el séptimo país productor con más de 1.8 MMT y el principal exportador con una participación del 24% del volumen exportado global (FAO, 2016). Entre 1992 y 2006 México perdió competitividad en 27.6% en la exportación de mango a EE.UU., debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Perú, Brasil y Ecuador, en un rango global de 5 a 9.9% (Hernández y Martínez, 2009). Esta problemática creciente está asociada a la oferta limitada de mango amarillo ya que México tiene únicamente a la variedad Ataúlfo que presenta baja productividad debido principalmente a partenocarpia, mezcla genética así como enfermedades y marcada alternancia y estacionalidad de cosecha (Villegas y Mora, 2011). Para mitigar esta limitante, con apoyo del Consejo Nacional de Ciencia Tecnología el Colegio de Posgraduados introdujo en 2011 y 2012 ocho nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación procedentes de Florida, EE.UU y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias registró dos nuevas variedades locales del clon Ataúlfo.

*Oidium mangiferae* (Sin. *Pseudoidium anacardii* F. Noack) causa la cenicilla del mango, es una de las enfermedades más conocidas de este frutal en el mundo, tiene un comportamiento endémico y distribución cosmopolita (Braun y Cook, 2012; Raheel *et al.*, 2008). El patógeno afecta principalmente inflorescencias, brotes foliares nuevos y frutos juveniles; las áreas de infección se cubren con un polvo blanco debido al crecimiento micelial y esporulación, el daño avanzado causa deformación, necrosis, defoliación y aborto de frutos (Sinha *et al.*, 2001, 2002). Es una de las enfermedades más importantes del mango por causar pérdidas de hasta 80%, puede desarrollarse en ambientes secos y alcanza mayor severidad con humedad relativa de 90% y 20-25°C (Gupta, 1989; Nasir *et al.*, 2014, Shoeman *et al.*, 1995).

Dada la prioridad alta con que México debe diversificar la oferta comercial de mango amarillo, es indispensable evaluar el comportamiento sanitario del nuevo germoplasma a esta enfermedad para apoyar la adecuada selección y cultivo de las nuevas variedades acorde a las condiciones agroecológicas de México que influyen en la aptitud epidémica del patógeno.

Los actuales programas de mejoramiento genético de mango, en general, estiman la tolerancia varietal a patógenos con base en infecciones naturales. Con este enfoque, Galli *et al.* (2009 y 2012) caracterizaron la tolerancia a *O. mangiferae* y *Colletotrichum gloeosporioides* en 17 variedades comerciales de mango con base en cinco clases de severidad a partir del inóculo de campo en Pindorama, Brasil. Nelson (2008), encontró que Alphonso, Zill y Kent fueron muy susceptibles; Rosa y Haden moderadamente susceptibles y Sensation y Tommy Atkins ligeramente susceptibles a *O. mangiferae* en Hawai. Además, se han documentado a Neelum, Zardalu, Banglora, Brasil, Carlota, Espada, Tommy Atkins y Keitt como tolerantes; Carrie, Sensation y Tomy Atkins moderadamente resistentes y Kent, Alphonso, Rosa, Bourbon, Mallika, Haden y Nam Doc Mai como susceptibles: (Galli *et al.*, 2008; Gupta, 1976; Prakash y Raoof, 1994; Palti *et al.*, 1974; Peterson, 1984; Nofal y Haggag, 2006). No obstante, estos enfoques son limitados ya que la incidencia y severidad dependerá de las condiciones de desarrollo del patógeno como distribución y densidad de inóculo, disponibilidad de tejido susceptible o factores ambientales (Nasir *et al.*, 2014). Para evitar escape a la infección y asegurar una adecuada expresión parasítica del patógeno, es necesario utilizar una técnica de inoculación estandarizada que reproduzca con eficiencia la enfermedad. Existe escasa información referente a la inducción artificial de cenicilla del mango. Se ha documentado que la deposición de esporas de *O. mangiferae* con pincel sobre hojas de *Pedilanthus tithymaloides* generó infecciones exitosas, promoviendo la esperada activación de nuevas antocianinas y degradación de clorofila (Adikaram *et al.*, 2002). En estudios previos realizados en hojas de mango se observó que la mayor infección por *O. maniferae* se registró en hojas de 8-12 días de edad, inoculadas al atardecer (300-350 Lux) con una concentración de esporas de  $4.6 \times 10^5 \text{ mL}^{-1}$ .

El objetivo del presente estudio fue determinar la tolerancia a *O. mangiferae* de diez nuevas variedades de mango amarillo con potencial de exportación en plantas de vivero de 18 meses de edad con base en una técnica de inoculación optimizada de inoculación.

## MATERIALES Y METODOS

**Área de estudio.** El estudio se realizó en los años 2016 y 2017 en el laboratorio e invernadero del Postgrado de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero, en Iguala, Guerrero, México (18°20'39.505" N; 99°29'52.796"O; 738 m). Las plantas de mango fueron de 18 meses de edad, injertadas con cultivadores Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Alphonse, Ivory, Ataúlfo Zafiro y Manililla, establecidas en macetas de plástico en un vivero cubierto de plástico transparente (calibre 600 ) Y una malla de polipropileno, 50% de sombra.

Las plantas fueron fertilizadas aplicando cada cinco días 8 g de la fórmula 100-60-60 (NPK) en 500 mL<sup>-1</sup> de agua por maceta y regada a saturación cada tercer día. La temperatura, la humedad relativa y el fotoperiodo en el vivero se registraron cada dos horas con un registrador de datos Hobo®, modelo U12.

**Inóculo experimental.** Se recolectó tejido foliar e inflorescencias colonizadas por *O. mangiferae* en huertos de mango de 20 años de edad del cv. Manililla, en el estado de Guerrero, México y depositó en bolsas de papel para su conservación temporal y traslado. El tejido se deshidrató en condiciones de laboratorio (470 ± 10 lux, 24-26°C, 30% HR) por siete días. Una porción de tejido deshidratado se conservó en bolsas de papel como reservorio de inóculo; del resto se recuperaron los conidios con un pincel de pelo fino (Rodin® Núm. 5) y suspendieron en tubos de vidrio con agua destilada estéril (ade) para su conservación a 24 ± 2°C y uso posterior como fuente de inóculo.

**Tratamientos de inoculación.** Para este estudio se seleccionaron plantas de mango cv. Manililla, de 16 meses de edad, con características similares de crecimiento y vigor susceptibles a *O. mangiferae* fueron seleccionadas para este estudio. Se marcaron los brotes vegetativos y cuando las hojas tuvieron 8-12 días de desarrollo se desinfectaron con solución de NaCl al 0,5% durante 30 s, se enjuagaron tres veces con agua destilada y se dejaron secar durante 10 minutos. Se evaluaron tres tratamientos de inoculación: T1) aspersión de una suspensión conidial en polisorbato 20 (Tween 20) al 5% + surfactante a base de alcoholes detoxilados (Inex-A®) al 2%; T2) espolvoreo de una mezcla de conidios con caseína; y T3)

aspersión de ade (control). De cada tratamiento se preparó una mezcla base; para el T1 se utilizó 1 g de cél  $2 \text{ mL}^{-1}$  de la disolución y para el T2 1 g cél /2 g de caseína y ambos se ajustaron a una concentración de  $4.6 \times 10^5$  cél por unidad de volumen (mL) o masa (g) con una cámara de Neubauer. La inoculación se realizó a las 18:00 h ( $\pm 300$ -450 lux) en las superficies adaxial y abaxial de las hojas previamente desinfectadas. Se inocularon 50 hojas por tratamiento (5 hojas /planta; 10 plantas /tratamiento). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones. El experimento se replicó tres veces.

**Tolerancia varietal.** Se evaluaron plantas de 18 meses de injertadas con las variedades Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Ivory, Alphonse y Ataúlfo Zafiro. Se utilizó el tratamiento de inoculación más eficiente para reproducir síntomas derivado de experimentos previos; ajustado a una concentración de  $4.6 \times 10^5$  cél /mL e implementado en las superficies adaxial y abaxial de la hoja, en el rango de  $\pm 300$ -450 lux. Se inocularon de 50 hojas de 8-12 días de edad por variedad (5 hojas /planta; 10 plantas /genotipo). Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 10 repeticiones. El experimento se replicó tres veces por ciclo productivo (2015 y 2016).

**Variables y análisis estadístico.** En ambos experimentos, tratamientos de inoculación y tolerancia varietal, cada 24 h se observó el desarrollo de hojas con lesiones, con o sin esporulación, y determinó la incidencia (Inc), periodo de incubación (Pi) hasta alcanzar severidad máxima ( $Y_{max}$ ), el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (AUDPC) y la tasa de infección aparente ( $b^{-1}$ ). Adicionalmente, en el experimento de tolerancia varietal se cuantificó la concentración de conidios (Cc) por  $\text{cm}^2$  de área foliar infectada según Sholberg *et al.* (2001) y estimó la tolerancia con una escala de cinco clases (Cuadro 1). Esta escala consideró el grado de decoloración y área dañada con presencia o ausencia de micelio: 1) hoja sana o manchas diminutas  $< 1.0$  mm sin colonización micelial evidente (resistente), 2) manchas púrpuras o rojizas, con micelio escaso y diámetro máximo de 5.0 mm (moderadamente tolerante), 3) manchas rojizas a oscuras con un diámetro máximo de 10.0 mm, se aprecia micelio blanco (ligeramente tolerante), 4) manchas rojizas a oscuras con un diámetro máximo de 15.0 mm y micelio abundante (susceptible), 5) manchas oscuras que coalescen con diámetro  $> 15.0$  mm y micelio abundante (altamente susceptible).

Cuadro 1. Diagrama de severidad para evaluar *Oidium mangiferae*.

Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
				
Resistente	Moderadamente tolerante.	Ligeramente tolerante	Susceptible	Altamente susceptible

**Análisis estadístico.** Se realizaron análisis de varianza y comparación de medias (DMS, 5%) para  $P_i$ ,  $Inc$ ,  $Y_{max}$ ,  $Cc$ , AUDPC y  $b^{-1}$  con el software SAS System v.9.4 (SAS Institute Inc, 2016).

## RESULTADOS

**Tratamientos de inoculación.** La suspensión de conidios en polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados indujo los mayores valores de incidencia, severidad, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y tasa de infección aparente con el menor período de incubación (Cuadro 2) ( $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 2. Período de incubación, incidencia y severidad en hojas de mango de 8-12 días de edad del cv. Manililla infectadas mediante dos métodos de deposición de inóculo. Iguala, Gro. 2016.

TREATMENTS <sup>1</sup>	Parámetros fitosanitarios <sup>2</sup>				
	Pi (ddi)	Inc (%)	$Y_{max}$	ABCPE	$b^{-1}$
T1	5.0 <sup>3</sup>	90.1	4.8	107	0.4025
T2	7.2	72.3	3.5	43.7	0.3875
T3	0	0	0	0	0
DMS	1.8	17.5	0.9	17.6	0.0973
R <sup>2</sup>	88	90	90	91	89

<sup>1</sup> Treatments: T1= Polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados, T2= caseína, T3= ade (agua destilada estéril, control). <sup>2</sup> Pi= período de incubación, Inc= incidencia,  $Y_{max}$ = severidad máxima, ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad,  $b^{-1}$ = tasa de infección aparente.

<sup>3</sup> Media de 50 hojas /tratamiento en tres réplicas experimentales. (DMS,  $p \leq 0.05$ ).

**Tolerancia varietal.** Todas las variedades fueron susceptibles a *O. mangiferae* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad. Alphonse fue moderadamente tolerante seguida de Neelum y Fairchild (ligeramente tolerantes), Nam Doc Mai, Rosigold, A. Zafiro Cotaxtla y Kesar (susceptibles) e Ivory y Mallika (altamente susceptibles). Aun cuando todas las variedades mostraron susceptibilidad, consistentemente, las variedades menos susceptibles (MT y LT) presentaron valores menores de incidencia,  $Y_{max}$ , AUDPC,  $b^{-1}$  y  $Cc$ . El  $P_i$  osciló entre 4 y 6 días y su duración no mostró un patrón concordante con el grado de susceptibilidad de las variedades evaluadas. Las variedades más susceptibles (S y HS) tuvieron 20.6 a 22% mayor incidencia, 33 a 38% mayor  $Y_{max}$ , 95.5-140% más AUDPC, tasas de desarrollo ( $b^{-1}$ ) más altas en 183 a 223% y concentración conidial por área dañada ( $cm^2$ ) de 226-300% superiores respecto a variedades de los grupos MT y LT. En este estudio, las variedades poliembriónicas (Nam Doc Mai, Cotaxtla, Ivory y A. Zafiro) fueron más susceptibles que las monoembriónicas (Cuadros 3 y 4) (LSD,  $p \leq 0.05$ ).

Cuadro 3. Tolerancia a *Oidium mangiferae* de 10 variedades de mango inoculadas en hojas de 8-12 días de edad con respecto al período de incubación, incidencia, severidad y concentración de conidios. Iguala, Gro. 2016.

TRATAMIENTOS	Pi (ddi)	Inc (%)	$Y_{max}$	Cc x 10 <sup>4</sup> /cm <sup>2</sup>
ALPHONSE	6.3 <sup>1</sup>	70.1	2.7	1213.5
FAIRCHILD	4.7	75.3	3.0	1305.1
NEELUM	4.6	83.1	3.4	3685.2
ROSIGOLD	6.1	86.2	3.6	3961.4
NAM DOC MAI	5.3	84.0	3.8	4283.6
KESAR	4.2	91.0	4.1	4600.3
COTAXTLA	4.9	91.2	4.4	5183.6
MALLIKA	5.1	90.5	4.7	5981.7
IVORY	4.6	93.3	4.7	6321.6
A. ZAFIRO	4.8	90.8	4.3	5221.4
DMS	1.1	9.3	0.9	1115.8
R <sup>2</sup>	91	89	90	88

Pi= período de incubación, Inc= incidencia, Sev= severidad, Cc= concentración de conidios. <sup>1</sup>Media de 50 hojas /variedad en seis replicas experimentales en dos ciclos productivos (2015 y 2016). (DMS,  $p \leq 0.05$ )

Cuadro 4. Evaluación de la tolerancia a *Oidium mangiferae* de 10 variedades de mango inoculadas en hojas de 8-12 días de edad con respecto a la severidad máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad y la tasa de infección aparente. Iguala, Gro. 2016.

TRATAMIENTO	$Y_{max}$	AUDPC	$b^{-1}$	TIPO	RESPUESTA
<b>EMBRIONARIO</b>					
ALPHONSE	2.7 <sup>1</sup>	38.1	0.121	M	MT
FAIRCHILD	3.0	43.7	0.132	M	LT
NEELUM	3.4	50.2	0.265	M	LT
ROSIGOLD	3.6	74.5	0.347	M	S
NAM DOC MAI	3.8	83.4	0.305	P	S
KESAR	4.1	90.3	0.368	M	S
COTAXTLA	4.4	97.5	0.371	P	S
A. ZAFIRO	4.3	96.1	0.378	P	S
MALLIKA	4.7	100.6	0.389	M	AS
IVORY	4.7	105.8	0.423	P	AS
DMS	0.9	17.7	0.101	-	-
R <sup>2</sup>	90	89	87	-	-

$Y_{max}$ = severidad máxima, AUDPC= área bajo la curva del progreso de la enfermedad,  $b^{-1}$ = tasa de infección aparente, M= monoembriónico, P= poliembriónico, M T= moderadamente tolerante, L T= ligeramente tolerante, S= susceptible, A S= altamente susceptible. <sup>1</sup> Media de 50 hojas /tratamiento en seis réplicas experimentales en dos ciclos productivos (2015 y 2016). (DMS,  $p \leq 0.05$ )



Alphonse



Fairchild



Neelum



Rosigold



Nam Doc Mai



Kesar



Cotaxtla



A. Zafiro



Mallika



Ivory

Figura 1. Respuesta de las variedades de mango a la infección por *Oidium mangiferae*.

## DISCUSIÓN

La aspersión de inóculo conidial de *O. mangiferae* en suspensión con una mezcla de polisorbato 20 (5%) + surfactante a base de alcoholes detoxilados (2%) produjo la mayor infección (70.1 a 93.3%), tasa de desarrollo de la enfermedad y severidad (Cuadro 2). Existen escasos reportes de métodos de inoculación artificial de este patógeno en mango. Por ejemplo, Nofal y Haggag (2006) inocularon *O. mangiferae* a una concentración de  $2 \times 10^5$  conidios /mL<sup>-1</sup> de agua destilada con un pincel promoviendo un porcentaje de infección en hojas de 29.2%, además que el objetivo del estudio sólo fue reproducir la enfermedad, a diferencia de éste caso que se determinó una mejor técnica para poder realizar una caracterización de la tolerancia de las variedades.

El presente estudio planteó estimar la tolerancia varietal considerando el control de la densidad inóculo y su deposición eficiente en el tejido foliar, además de la fenología del hospedante asociada a la susceptibilidad y condiciones óptimas de incubación. La carencia de este tipo de estudios limita la adecuada caracterización de tolerancia o resistencia varietal a fitopatógenos, ya que evaluar estas respuestas basadas en epidemias naturales con el inóculo presente de campo, como comúnmente han sido realizadas por diversos investigadores (Galli *et al.*, 2008; Nelson, 2008), puede llevar a conclusiones equivocadas al estar condicionadas a la ausencia o densidad de inóculo, factores ambientales heterogéneos o disponibilidad de tejido susceptible, entre otros factores (Nasir *et al.*, 2014; Shoeman *et al.*, 1995).

Todas las variedades fueron susceptibles a *O. mangiferae* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad como fue reportado por Naqvi *et al.* (2014) quienes encontraron que de 25 variedades de mango ninguna fue resistente pero si mostraron gradientes de tolerancia.

Alphonse mostró la mayor tolerancia a *O. mangiferae*, resultado contrastante con Nofal y Haggag (2006) quienes documentaron una susceptibilidad alta de esta variedad. Sin embargo, Neelum y Fairchild presentaron ligera tolerancia, concordando con Nasir *et al.* (2014). Las variedades más susceptibles fueron Mallika e Ivory como lo observaron Nofal y Haggag (2006) y Palti *et al.*, (1974). Adicionalmente, la presente investigación consigna por primera

vez de manera confiable la tolerancia a *O. mangiferae* de nuevas variedades mango (Nam Doc Mai, Rosigold, Ataúlfo Zafiro y Kesar) con potencial de exportación para México. Es relevante considerar que las variedades con menor susceptibilidad consistentemente presentaron la menor incidencia,  $Y_{max}$ , severidad acumulada durante el experimento (ABCPE), tasa desarrollo de la enfermedad, así como densidad de esporulación y los rangos de magnitud de estos valores guardaron concordancia con cada grupo o respuesta de susceptibilidad (MT, LT, S y AS) (Cuadros 3 y 4).

Es importante señalar que las caracterizaciones comparativas de tolerancia previamente citadas se han hecho con base a epidemias naturales (Galli *et al.*, 2008, 2009; Naqvi *et al.*, 2014), en donde no se controlaron condiciones óptimas para la adecuada expresión de virulencia del patógeno y el desarrollo de la enfermedad, por lo que la severidad pudo ser subestimada o sobreestimada. Por esta razón, es importante que se usen métodos eficaces y estandarizados para reproducir la enfermedad en condiciones controladas (laboratorio, invernaderos u otros espacios protegidos) para la correcta estimación de tolerancia, además de integrar en el estudio mayor número de variables fitosanitarias con el propósito de lograr mayor consistencia de los resultados, además de usar una escala de severidad diseñada acorde al patrón de síntomas y grado máximo de severidad (clases) observado en huertos comerciales de mango de las regiones productoras de mango de cada país en particular. Está documentado que *O. mangiferae* presenta virulencia diferenciada en función del grado de humedad ambiental y la duración de los periodos ambientales más secos (Nasir *et al.*, 2014).

En esta investigación se observó mayor susceptibilidad en las variedades poliembriónicas (Nam Doc Mai, Cotaxtla, Ivory y A. Zafiro) al agruparse como S y AS; sin embargo, considerando que en estos grupos también se encontraron variedades monoembriónicas, esta relación debe verificarse en estudios futuros de contraste incrementando la proporción de variedades poliembriónicas o el número de variedades de cada tipo embrionario. Aportar evidencias de la participación de este factor es relevante ya que se ha sugerido que la poliembriónia en mango origina baja actividad de peroxidasas y síntesis de etileno causando susceptibilidad a agentes infecciosos en enfermedades foliares (Campbell, 1961), pero no así con patógenos del suelo donde puede incrementar la resistencia (Pinto *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista tecnológico, para el caso del mango mexicano, este estudio aporta elementos para apoyar la selección respecto a las regiones agroecológicas más adecuadas para el cultivo de las nuevas variedades de mango amarillo emergentes para el mercado de exportación. Por ejemplo, variedades altamente demandadas por el mercado exportación de EE.UU y Canadá, como Nam Doc Mai y Kesar, debe cultivarse preferentemente en las regiones del trópico húmedo o subhúmedo de México, donde *O. mangiferae* muestra menor aptitud parasítica y los costos financieros por mantenimiento fitosanitario serán menores.

## CONCLUSIONES

- La mejor técnica de inoculación fue por aspersión de conidios suspendidos en polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados al 2%.
- Todas las variedades fueron susceptibles a *O. mangiferae* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad. Alphonse mostró la mayor tolerancia, Mallika e Ivory fueron las más susceptibles.
- Se encontró que poliembrionía confiere susceptibilidad a *O. mangiferae*.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adikaram, N. K. B., Mailewa, G., and Weerahewa, D. 2002. Changes in pigment composition, acid metabolism, etc. In *Pedilanthus tithymaloides* leaf following powdery mildew infection. Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka 30: 1-11.
- Braun, U. y Cook, R. T. A. 2012. CBS Biodiversity Series. Vol. 11, 497 p.
- Campbell, C. W. 1961. Comparison of yield of poliembrionic and monoembrionic mangos. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 74: 363-365.
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Available at <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es> (Accessed June 21, 2016).
- Galli, J. A., Silveira, L. C. P., Michelotto, M.D., Y Martins, A.L.M. 2008. Powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.) infection in mango varieties. Bioscience Journal 24 (2): 43-46.
- Galli, J. A., Silveira, L. C. P., Michelotto, M.D., Y Martins, A.L.M. 2009. Avaliação da incidência de antracnose, do desempenho e estado nutricional de variedades de mangueira, para cultivo orgânico, na região centro-norte do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Fruticultura 31 (3): 701-709.
- Galli, J. A., Fischer, I. H., y Palharini, M. C. Arruda. 2012. Doenças pré e pós-colheita em variedades de manga cultivadas em sistema orgânico. Revista Brasileira de Fruticultura 34 (3): 734-743.
- Gupta, J. H. 1976. Reaction of mango varieties to powdery mildew (*Oidium mangiferae*) in Uttar Pradesh. Progressive Horticulture 8: 63-64.
- Gupta, J. H. 1989. Perpetuation and epidemiology of powdery mildew of mango. Acta Horticulture 231: 528-533.

- Hernández, S. D., y Martínez, M. Á. 2009. Procedimiento para el análisis de equilibrio parcial de las exportaciones mexicanas de mango (*Mangifera indica*) A EE. UU. Revista Fitotecnia Mexicana 32 (3): 251-256.
- Mukherjee, S. K. 1997. Introduction: botany and importance. In: Litz, R.E. (Ed.), The Mango, Botany, Production and Uses. CAB International, Wallingford, UK.
- Naqvi, S. A. H., Perveen, R., Manzoor, S. A., Umar, H. M. I., Iqbal, M. T, Liaquat, F., Majid, T., and Irshad, A. 2014. Evaluation of various mango varieties against the infection dynamics of powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.). American Journal of Plant Sciences 5: 2372-2377.
- Nasir, M., Mughal, S. M., Mukhtar, T., and Awan, M. Z. 2014. Powdery mildew of mango: A review of ecology, biology, epidemiology and management. Crop Protection 64: 19-26.
- Nelson, S. C. 2008. Mango powdery mildew. In: College of Tropical Agriculture and Human Resources. Department of Plant and Environmental Protection Sciences. University of Hawaii at Manoa, Plant Disease: 46 p.
- Nofal, M. A., and Haggag, W. M. 2006. Integrated management of powdery mildew of mango in Egypt. Crop Protection 25: 480-486.
- Palti, J., Pinkays, Y., and Chorin, M. 1974. Powdery mildew of mango. Plant Disease Report 58: 45-49.
- Prakash, O., and Raoof, M. A. 1994. Studies on powdery mildew (*Oidium mangiferae*) disease of mango: distribution, perpetuation, losses and chemical control. Biol Mem 20: 31-45.
- Peterson, R.A., 1984. Mango diseases. In: Proceedings of the First Australian Mango Research Workshop, Cairns, Queensland. CSIRO: 233-247 p.

- Pinto, A. C. de Q., Costa, J. G., y Santos, C. A. F. 2002. Principais cultivares. In: GENÚ, P.J. de C.; Pinto, A.C. de Q. (Ed.). A cultura da mangueira. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica: 93-116 p.
- Raheel, M., Anwar, S. A., Javed, N., Ilyas, M. B., Iqbal, M., and Zia, A. 2008. Management of powdery mildew of mango by foliar spray fungicides. *Pakistan Journal of Phytopathology* 21: 173-174.
- SAS Institute Inc. 2016. System Options: Refence, Fifth Edition. SAS Institute. Cary, North Caroline, USA.
- Sholberg, P. L., Lane, W. D., Haag, P., Bedford, K. and Lashuk, L. 2001. A novel technique for evaluation of apple (*Malus domestica* Borkh) cultivars for susceptibility to powdery mildew. *Canadian Journal of Plant Science* 81: 289-296.
- Schoeman, M. H., Manicom, B. Q., and Wingfield, M. J. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. *Plant Disease* 79: 524-528.
- Sinha, P., Prajneshu, R., and Varma, A. 2001. Studies on determining favourable factors for the germination of conidia of *Oidium mangiferae*. *Indian Phytopathology* 54(2): 197-200.
- Sinha, P., Prajneshu, R., and Varma, A. 2002. Growth models for powdery mildew development of mango. *Annals of Plant Protection Sciences* 10: 84-87.
- Villegas, M. A., y Mora, A. A. 2011. Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura* Vol. Especial: 179-186.

## DISCUSIÓN GENERAL

En este estudio se determinó el período que tarda en formarse la primera hoja medible desde que inicia la brotación de la yema apical, la cual se observó entre 14 y 20 días dependiendo de la variedad. En su formación se identificaron cuatro etapas fenológicas: yema hinchada, separación de escamas con ápice de primordio foliar visible, primordio foliar sésil y primera hoja medible, en esta última los primordios foliares ya tienen peciolo visible y la lámina presenta exposición extendida por lo que ya pueden ser medidos. Posteriormente se determinaron tres etapas adicionales para el desarrollo de la hoja madura: hoja flácida hoja con 80% de desarrollo y hoja madura. A partir de la primera hoja medible, formada a 17-20 días de la brotación, pueden registrarse sus dimensiones con mayor precisión y sin deterioro del tejido. La hoja flácida se alcanzó a 24 días de la brotación de primordios foliares, exhibe poca turgencia, coloración propia del tejido juvenil (tonos café-claro, bronceado o verde-claro) y frecuentemente son translúcidas. Esta etapa es una de las más importante desde el punto de vista fitosanitario ya que presenta la mayor susceptibilidad a *Oidium mangiferae*, un patógeno endémico y severo del mango (Lonsdale y Kotze (1993; Sinha *et al.*, 2001); como sucedió en este estudio, donde el grado de madurez de las hojas modificó la eficiencia de la técnica de inoculación de *O. mangiferae* y expresión de los niveles de tolerancia. Se encontró que la hoja joven (flácida) observada a 8-12 días de formada la primera hoja medible fue más susceptible que la hoja >20 días (hoja con 80 % de desarrollo). De igual forma, Doster y Schnathorst (1992), registraron que las hojas jóvenes de *Vitis vinifera* fueron más susceptibles a *U. necator* al estimular mayor proporción de conidios germinados (87.8%) y que la germinación y longitud de lesiones con esporulación decrecieron linealmente ( $R^2=0.81$  y  $R^2=0.98$ ) con el grado de madurez, en contraste con la hoja >20 días que presentó menor infección, lo cual indica cambios fisiológicos o anatómicos que la hacen más tolerante a patógenos; como se observó en la presente investigación con la hoja al 80% de desarrollo que ya puede ser autosuficiente, como fue indicado por Kennedy y Johnson (1981) en manzano y Whiley (1990) en aguacate. Es importante documentar la fenología foliar del mango ya que es uno de los principales factores que intervienen en la producción del árbol, además de ser esencial en el comportamiento epidémico de las principales enfermedades

foliares de mango al determinar la presencia de tejido susceptible, tolerancia a patógenos y fuente o reservorios de inóculo, además de facilitar el análisis nutrimental o contribuir a la caracterización o mejoramiento del mango, entre otros factores. En esta investigación se determinó la fenología foliar en coincidencia parcial con modelos análogos diseñados para describir el desarrollo de inflorescencias (Alonso-Báez *et al.*, 2016; Corredor y García, 2011) que consideran también las condiciones de la yema (reposo o hinchada) y la separación de escamas con la posterior exposición, elongación y diferenciación de meristemas.

El análisis morfológico basado en descriptores para hojas y crecimiento de plantas publicado por el IPGRI permitieron observar diferencias entre variedades, resultados similares a los obtenidos por Jamil *et al.* (2015) y Toili *et al.* (2016) en la caracterización de distintos grupos de variedades de mango con los mismos descriptores. El germoplasma evaluado exhibió diversidad varietal evidente por las variables morfológicas del descriptor seleccionado. Los resultados obtenidos en este ámbito son de gran importancia ya que estas características prevalecen en los árboles y plantas de vivero y hacen posible la caracterización varietal en diferentes etapas de desarrollo como indicaron Toili *et al.* (2016) en la evaluación de 21 variedades de mango.

La técnica más eficiente de inoculación para promover la mayor incidencia y severidad de *O. mangiferae* sugiere considerar una concentración conidial de  $4.6 \times 10^5$  cél/mL, deposición de inóculo mezclado con polisorbato 20 al 5% + surfactante al 2% sobre hojas juveniles de 8-12 días de edad, inoculadas al anochecer. La carencia de este tipo de estudios limita la adecuada caracterización de tolerancia o resistencia varietal a patógenos, ya que evaluar estas respuestas basadas en epidemias naturales con el inóculo presente de campo, como comúnmente han sido realizadas por diversos investigadores (Galli *et al.*, 2008 y 2009; Nelson, 2008), puede llevar a conclusiones equivocadas al estar condicionadas a la ausencia o densidad de inóculo, factores ambientales heterogéneos o disponibilidad de tejido susceptible, entre otros factores que no aseguran condiciones óptimas para la adecuada expresión de virulencia del patógeno o desarrollo de la enfermedad (Naqvi *et al.*, 2014; Nasir *et al.*, 2014; Shoeman *et al.*, 1995).

En esta investigación todas las variedades fueron susceptibles a *O. mangiferae* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad. Alphonse fue moderadamente tolerante seguida de

Neelum y Fairchild (ligeramente tolerantes), Nam Doc Mai, Rosigold, A. Zafiro Cotaxtla y Kesar (susceptibles) e Ivory y Mallika (altamente susceptibles). Por esta razón, es importante usar métodos eficaces y estandarizados para reproducir la enfermedad en condiciones controladas (laboratorio, invernaderos u otros espacios protegidos) para la correcta estimación de tolerancia, además de integrar en el estudio mayor número de variables fitosanitarias con el propósito de lograr resultados más consistentes y usar una escala de severidad (clases) diseñada acorde al patrón de síntomas y grado máximo de severidad observado en huertos comerciales de mango de las regiones productoras de cada país en particular.

## CONCLUSIONES GENERALES

- Se determinaron cuatro etapas fenológicas en el desarrollo de la primera hoja medible: yema hinchada, separación de escamas con ápice de primordio foliar visible, primordio foliar sésil y primera hoja medible. En el desarrollo laminar posterior se identificaron tres etapas adicionales: hoja flácida, hoja con 80% de desarrollo y hoja madura formada a los 70 días.
- La hoja flácida se observó a 8-12 días de formada la primera hoja medible y es una de las etapas fenológicas de la hoja más importantes desde el punto de vista fitosanitario por presentar la mayor susceptibilidad a *Oidium mangiferae* y fue más susceptible que la hoja >20 días (hoja con 80 % de desarrollo)
- El análisis morfológico basado en descriptores para hojas y crecimiento de plantas publicado por el IPGRI permitieron discriminar entre variedades. Los parámetros cualitativos son menos afectados por el ambiente y son inherentes al genotipo de las variedades.
- La técnica más eficiente de inoculación para promover la mayor incidencia y severidad sugiere considerar una concentración conidial de  $4.6 \times 10^5$  cél./mL, deposición de inóculo mezclado con polisorbato 20 al 5% + surfactante al 2% sobre hojas juveniles de 8-12 días de edad, inoculadas al anochecer.
- En el presente estudio, todas las variedades fueron susceptibles a *O. mangiferae* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad. Alphonse fue moderadamente tolerante seguida de Neelum y Fairchild (ligeramente tolerantes), Nam Doc Mai, Rosigold, A. Zafiro Cotaxtla y Kesar (susceptibles) e Ivory y Mallika (altamente susceptibles).
- Para análisis de tolerancia o resistencia se recomienda usar métodos eficaces y estandarizados para reproducir la enfermedad en condiciones controladas (laboratorio, invernaderos u otros espacios protegidos) para la correcta estimación de tolerancia, además de integrar en el estudio mayor número de variables fitosanitarias para obtener resultados más consistentes y usar una escala de severidad (clases) diseñada acorde al patrón de síntomas y grado máximo de severidad observado en huertos comerciales.

## BILIOGRAFÍA

- Alonso-Báez, M., Pérez-Barraza, M. H. y Sandoval-Esquivel, A. 2016. Ajuste de las escalas alfa numérica y BBCH a la fenología floral del mango ataulfo (*Mangifera indica* L.). *Agroproductividad* 9(4): 78-85.
- Corredor, P. J. P. y García, L. J. 2011. Fenología reproductiva, biología floral y visitantes florales en los cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) Hilacha y Tommy Atkins en el valle del alto Magdalena (Colombia). *Ecofisiología* 12(1): 21-32.
- Doster, M. A. and Schnathorst, W. C. 1985. Effects of leaf maturity and cultivar resistance on development of the powdery mildew fungus on grapevines. *Phytopathology* 75: 318-321.
- Galli, J. A., Silveira, L. C. P., Michelotto, M.D., Y Martins, A.L.M. 2008. Powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.) infection in mango varieties. *Bioscience Journal* 24 (2): 43-46.
- Galli, J. A., Silveira, L. C. P., Michelotto, M.D., Y Martins, A.L.M. 2009. Avaliação da incidência de antracnose, do desempenho e estado nutricional de variedades de mangueira, para cultivo orgânico, na região centro-norte do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Fruticultura* 31 (3): 701-709.
- IPGRI. International Plant Genetic Resources Institute. Descriptors for mango (*Mangifera indica*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 2006.
- Jamil, W., Ahmad, S., Ahmad, M., Ali, S. and Abbas. M. M. 2015. Morpho-physiological and biochemical profiling of some mango cultivars in Pakistan. *J. Agric. Res.* 53(3):397-412.
- Kennedy, R. A. and D. Johnson. 1981. Changes in photosynthetic characteristics during leaf development in apple. *Photosynth. Res.* 2:213-223.

- Lonsdale, J. H. and Kotze, J. M. 1993. Chemical control of mango blossom diseases and effect on the fruit set and yield. *Plant Dis.* 77, 558e562.
- Naqvi, S. A. H., Perveen, R., Manzoor, S. A., Umar, H. M. I., Iqbal, M. T., Liaquat, F., Majid, T. and Irshad, A. 2014. Evaluation of various mango varieties against the infection dynamics of powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.). *American Journal of Plant Sciences* 5: 2372-2377.
- Nasir, M., Mughal, S. M., Mukhtar, T. and Awan, M. Z. 2014. Powdery mildew of mango: A review of ecology, biology, epidemiology and management. *Crop Protection* 64: 19-26.
- Nelson, S. C. 2008. Mango powdery mildew. In: College of Tropical Agriculture and Human Resources. Department of Plant and Environmental Protection Sciences. University of Hawaii at Manoa, Plant Disease: 46 p.
- Sinha, P., Chakrabarti, U., Anuupam, V. and Varma, A., 2001. Critical factors for mango powdery mildew development. *Ann. Plant Prot. Sci.* 9, 264e267.
- Schoeman, M. H., Manicom, B. Q. and Wingfield, M. J. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. *Plant Disease* 79: 524-528.
- Toili, M., Rimberio, F. K., Nyende, A. B. and Sila, D. 2016. Morphological diversity of mango Eastern Kenya: an analysis based on non-fruit descriptors. *African journal of food, agricultura, nutrition and development* 16(2): 10913-10935.
- Whiley, A. W. 1990. CO<sub>2</sub> assimilation of developing shoots of cv. Hass avocado (*Persea americana* Mill.) a preliminary report. South African Avocado Growers Association. *Yearbook.* 13:28-30.