

Response of ten yellow mango cultivars to powdery mildew (*Erysiphe quercicola*) damage in Mexico

Respuesta de diez cultivares de mango amarillo al daño por cenicilla (*Erysiphe quercicola*) en México

Amado Pérez-Rodríguez, José Antonio Mora-Aguilera*, Carlos De León-García de Alba, José Sergio Sandoval-Islas, Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados, km 36.5, Carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP. 56230, México; Elías Hernández-Castro, Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Autónoma de Guerrero, Carretera Iguala-Tuxpan km 2.5, CP. 40101, Iguala, Guerrero, México; Alfonso Vásquez-López, Laboratorio de Fitopatología, Instituto Politécnico Nacional-CIIDIR, Calle Hornos 1003, Colonia Noche Buena, Municipio Santa Cruz Xoxocotlán, CP. 71230, Oaxaca, Oaxaca, México. *Autor para correspondencia: aguilera@colpos.mx.

Recibido: 30 de Noviembre, 2017.

Aceptado: 28 de Enero, 2018.

Pérez-Rodríguez A, Mora-Aguilera JA, De León-García de Alba C, Sandoval-Islas JS, Hernández-Castro E, Vásquez-López A. 2018. Response of ten yellow mango cultivars to powdery mildew (*Erysiphe quercicola*) damage in México. Revista Mexicana de Fitopatología 36(2): 196-214.

DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1711-5

Primera publicación DOI: 06 de Marzo, 2018.

First DOI publication: March 06, 2018.

Resumen. La cenicilla del mango (*Erysiphe quercicola*) causa pérdidas de producción de hasta 90%, por lo que es necesario estimar la tolerancia a este patógeno en el nuevo germoplasma introducido o generado recientemente para incrementar el potencial de exportación de México. El objetivo de este estudio fue determinar la respuesta al daño por cenicilla mediante una técnica de inoculación optimizada para inducir la enfermedad en hojas adheridas de

Abstract. Mango powdery mildew (*Erysiphe quercicola*) causes up to 90% production losses, so it is necessary to estimate the tolerance to this pathogen of the new germplasm introduced or recently generated to increase the export potential of Mexico. The objective of this study was to determine the response to powdery mildew damage by means of an optimized inoculation technique to induce the disease in attached leaves of 10 new yellow mango cultivars for Mexico. Two inoculation methods were evaluated. The best was to spray conidia at 4.6×10^5 spores mL⁻¹ on the adaxial and abaxial leaves surfaces, at $\pm$ 300-450 lux and suspended in polysorbate 20 + surfactant based on ethoxilate alcohols at 2%. The inoculation test showed that the cv. Alphonso was moderately tolerant and Neelum and Fairchild were slightly tolerant. In contrast, Nam Doc Mai, Rosigold, Ataulfo Zafiro, Cotaxtla and Kesar were susceptible and Mallika and Ivory were highly susceptible. The most tolerant cultivars had lower

10 cultivares de mango amarillo nuevos para México. Se evaluaron dos métodos de inoculación. El mejor fue por aspersión de conidios a una concentración de 4.6×10^5 esporas mL^{-1} , en las superficies adaxial y abaxial de las hojas, a $\pm 300 - 450$ lux y suspendidos en polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes etoxilados al 2%. La prueba de inoculación mostró que el cv. Alphonso fue moderadamente tolerante y Neelum y Fairchild ligeramente tolerantes. En contraste, Nam Doc Mai, Rosigold, Ataúlfo Zafiro, Cotaxtla y Kesar fueron susceptibles y Mallika e Ivory altamente susceptibles. Los cultivares más tolerantes presentaron valores menores de incidencia, severidad máxima, área bajo la curva del progreso de la enfermedad, tasa de infección aparente y densidad de conidios por cm^2 de área foliar dañada.

Palabras clave: hojas, susceptibilidad, germoplasma, severidad.

México representa el séptimo país productor de mango (*Mangifera indica* L.) con un volumen anual superior a 1.8 Mt y es el principal exportador con el 24% del volumen exportado global (FAO, 2016). Entre 1992 y 2006 México perdió competitividad en aproximadamente 27.6% en la exportación de mango a EE.UU., debido al incremento de la participación comercial de India, Tailandia, Perú, Brasil y Ecuador (Hernández y Martínez, 2009). Este problema creciente está asociado a la oferta limitada de mango amarillo en el mercado internacional, ya que México comercializa únicamente frutos del cv. Ataúlfo y este presenta baja productividad debido principalmente a presencia de enfermedades, frutos partenocárpicos, mezclas genéticas y marcada estacionalidad y alternancia de cosecha (Villegas y Mora, 2011). Para mitigar estas limitantes, el Colegio de Postgraduados introdujo

values of incidence, maximum severity, area under the disease progress curve, apparent infection rate and conidia density per cm^2 of damaged leaf area (LSD, $P \leq 0.05$).

Key words: leaves, susceptibility, germplasm, severity.

Mexico is the seventh largest mango (*Mangifera indica* L.) producing country in the world, with an annual volume of more than 1.8 Mt, and is the main exporter, accounting for 24% of global mango exports (FAO, 2016). Between 1992 and 2006, Mexico lost approximately 27.6% of its competitiveness as a mango exporter to the United States due to the increased commercial share of India, Thailand, Peru, Brazil and Ecuador (Hernández and Martínez, 2009). This growing problem is associated with the limited supply of yellow mangoes on the international market, since Mexico trades only Ataulfo cv. fruits, whose productivity is low mainly due to diseases, parthenocarpic fruits, genetic mixtures, as well as marked seasonality and alternate bearing (Villegas and Mora, 2011). To mitigate such limitations, in 2011 and 2012, the Colegio de Postgraduados introduced eight new yellow mango cultivars from Florida, USA, that have export potential. Also, the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) registered two new local cultivars of the Ataulfo clone in 2009 (A. Diamante) and 2012 (A. Zafiro).

Mango powdery mildew caused by *Erysiphe quercicola* (anamorph: *Pseudoidium anacardii*) (Braun and Cook, 2012; Félix *et al.*, 2013; Tam, 2017) is one of the most important diseases that affects mango because of its high level of severity, endemism and cosmopolitan distribution (Raheel *et al.*, 2008) that cause 80-90% of the mango

en 2011 y 2012 ocho nuevos cultivares de mango amarillo con potencial de exportación procedentes de Florida, EE.UU. Además, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) registró dos nuevos cultivares locales del clon Ataúlfo en 2009 (A. Diamante) y 2012 (A. Zafiro).

La cenicilla del mango, causada por *Erysiphe quercicola* (anamorfo: *Pseudoidium anacardii*) (Braun y Cook, 2012; Félix *et al.*, 2013; Tam, 2017) es una de las enfermedades más importantes de este frutal por su alta severidad, endemismo, distribución cosmopolita (Raheel *et al.*, 2008) y causar pérdidas de cosecha de 80-90% (Gupta, 1989b; Shoeman *et al.*, 1995; Nasir *et al.*, 2014). En entidades federativas exportadoras de mango como Michoacán puede afectar el 60% de los árboles comerciales, representando 30-50 mil ton de fruta (Arias *et al.*, 2004) y en Sinaloa ocasionar pérdidas de 70% durante floración (Félix *et al.*, 2017). El hongo ataca hojas, inflorescencias y frutos juveniles. El tejido infectado se cubre con un polvo blanco debido al crecimiento micelial y esporulación. Las lesiones iniciales en follaje son de coloración rojiza, el daño avanzado causa deformación de lámina foliar con esporulación abundante, necrosis y defoliación severa. En tejido reproductivo induce caída de flores, necrosis extensiva de inflorescencias y aborto de frutos pequeños (Sinha *et al.*, 2001; 2002; Nasir *et al.*, 2014).

La relevancia de la infección foliar en la recurrencia y severidad de epidemias en inflorescencias está ampliamente documentada, ya que el hongo sobrevive como micelio en yemas y hojas de la estación de crecimiento o de años previos, cuando las condiciones ambientales a la infección son desfavorables o en ausencia de tejido reproductivo (Schoeman *et al.*, 1995; Misra, 2001; Nasir *et al.*, 2014). Cuando las flores aún están ausentes, la infección temprana en hojas juveniles perpetúa la

production losses (Gupta, 1989b; Shoeman *et al.*, 1995; Nasir *et al.*, 2014). In mango exporting states such as Michoacan, it may affect 60% of commercial trees, the equivalent of 30,000 to 50,000 tons of fruit (Arias *et al.*, 2004); in Sinaloa, the disease causes 70% losses during the flowering stage (Félix *et al.*, 2017). The fungus damages leaves, flowers and young fruits. The infected tissue is covered with white powder due to mycelial growth and sporulation. The first lesions on leaves are reddish in color, but at advanced stages, the fungus deforms the leaf lamina and produces abundant sporulation, necrosis and severe defoliation. In the reproductive tissue, it causes fall of flowers, extensive necrosis of inflorescences and abortion of young fruits (Sinha *et al.*, 2001; 2002; Nasir *et al.*, 2014).

The effect of foliar infections on the frequency and severity of epidemics on inflorescences is widely documented, because the fungus survives in the form of mycelium in buds and leaves during the growth season, or from previous years, when environmental conditions do not favor infection, or when there is no reproductive tissue (Schoeman *et al.*, 1995; Misra, 2001; Nasir *et al.*, 2014). When there are no flowers, early infection on young leaves perpetuates inoculum availability and favors the beginning of the infection on panicles (Munshi *et al.*, 1988; Misra *et al.*, 2012). Also, during flowering, sporulation on leaves (with conidia attached to conidiophores) increases inoculum development and preserves its viability from 10 to 19 (Gupta, 1989a; Nelson, 2008) or 40 more days (Khalid *et al.*, 2000) compared with free conidia deposited on other susceptible host organs, which favors longer lasting and more intense epidemics, given that conidia require only from 5 to 7 h to germinate, and from 5 to 8 days to induce the first symptoms (Misra, 2001). In turn, the multiple vegetative and floral flows that are simultaneously formed during the same growth season also

disponibilidad de inóculo y favorece el inicio de la infección en panículas (Munshi *et al.*, 1988; Misra *et al.*, 2012). Adicionalmente, durante la floración, la esporulación sobre las hojas (con los conidios adheridos a conidióforos) incrementa el inóculo y preserva su viabilidad de 10–19 (Gupta, 1989a; Nelson, 2008) o 40 días más (Khalid *et al.*, 2000), en comparación con los conidios libres depositados sobre otros órganos susceptibles del hospedante, lo cual favorece la mayor duración e intensidad de epidemias debido a que los conidios sólo requieren de 5–7 h para germinar y 5–8 días para inducir los primeros síntomas (Misra, 2001). A su vez, los múltiples flujos vegetativos y florales que se forman simultáneamente durante una misma estación de crecimiento también estimulan el incremento y dispersión masiva del inóculo y mayor frecuencia de epidemias (Misra, 2001; Guillén *et al.*, 2003). En Tecpan de Galeana, México, Pérez *et al.* (2017a) reportaron tres épocas de desarrollo de epidemias vegetativas en igual número de flujos de crecimiento durante un ciclo de cultivo en el cv. Manillila. Aunque la incidencia final fue menor (1.65-1.80%) que la observada en inflorescencias (6.15-6.90%), los autores mostraron la relevancia de la infección vegetativa en inducir la aparición de epidemias en tejido reproductivo.

En cultivares altamente susceptibles, los flujos vegetativos juveniles son severamente afectados por *E. quercicola*, por lo que usar cultivares tolerantes constituye la mejor alternativa de manejo de este patógeno (Nelson, 2008). En los actuales programas de mejoramiento de mango se estima la tolerancia varietal a patógenos con base en la infección natural registrada en campo. Con este enfoque, Galli *et al.* (2009) y (2012) caracterizaron la tolerancia de 17 cultivares a la cenicilla y antracnosis con cinco clases de severidad en Pindorama, Brasil. Similarmente, Nelson (2008) encontró que los cvs. Alphonso, Zill y Kent fueron altamente susceptibles; Rosa y Haden fueron moderadamente

stimulate massive inoculum increase and dispersion, and the frequency of epidemics (Misra, 2001; Guillén *et al.*, 2003). In Tecpan de Galeana, Mexico, Pérez *et al.* (2017a) reported three periods of vegetative epidemic development with the same number of growth flows during a Manillila cv. crop cycle. Although the final incidence was lower (1.65-1.80%) than that registered on inflorescences (6.15-6.90%), the authors showed the relevance of plant infections for inducing epidemics in reproductive tissue.

Since young vegetative flows in highly susceptible cultivars are severely affected by *E. quercicola*, using tolerant cultivars is the best management option for this pathogen (Nelson, 2008). In current mango breeding programs, varietal tolerance to pathogens is estimated based on natural infection recorded in the field. Using this approach, Galli *et al.* (2009) and (2012) characterized 17 cultivars for tolerance to powdery mildew and anthracnose using five severity classes in Pindorama, Brazil. Similarly, Nelson (2008) found that Alphonso, Zill and Kent cvs. were highly susceptible; Rosa and Haden moderately susceptible, and Sensation and Tommy Atkins, slightly susceptible to *O. mangiferae* in Hawaii, USA. Other similar studies to estimate powdery mildew tolerance were conducted by Palti *et al.* (1974), (1976), Peterson (1984), Akhtar *et al.* (1999), Galli *et al.* (2008), Nofal and Haggag (2006) and Naqvi *et al.* (2014). However, these methodological approaches have serious drawbacks, since the level of incidence and severity of powdery mildew in the field depends on factors such as seasonality, distribution and density of inoculum, availability of susceptible tissue and environmental conditions (Nasir *et al.*, 2014) or inductive management conditions such as frequency and intensity of irrigation (Guillén *et al.*, 2003).

To prevent infection escape and ensure the pathogen's optimal parasitic expression, it is

susceptibles, y Sensation y Tommy Atkins ligeramente susceptibles a *O. mangiferae* en Hawái, EE.UU. Otros estudios de este tipo para estimar la tolerancia a cenicilla fueron realizados por Palti *et al.* (1974), Gupta (1976), Peterson (1984), Akhtar *et al.* (1999), Galli *et al.* (2008), Nofal y Haggag (2006) y Naqvi *et al.* (2014). Sin embargo, estos enfoques metodológicos presentan inconvenientes severos, ya que la incidencia y severidad de cenicilla en campo dependerá de factores como la estacionalidad, distribución y densidad de inóculo, disponibilidad de tejido susceptible y de condiciones ambientales (Nasir *et al.*, 2014) o de manejo inductivos como la frecuencia e intensidad de riego (Guillen *et al.*, 2003).

Para evitar el escape a la infección y asegurar una óptima expresión parasítica del patógeno, es necesario utilizar técnicas estandarizadas de inoculación que reproduzcan con eficiencia la enfermedad. Debido a que *E. quercicola* es un parásito obligado, la mayoría de los estudios realizados para documentar su distribución, importancia, biología, epidemiología, manejo y resistencia genética se han basado en plantas infectadas naturalmente (Nasir *et al.*, 2014), por lo que existe escasa información referente a la inducción artificial de cenicilla del mango. Adikaram *et al.* (2002) documentaron que la deposición de esporas de *O. mangiferae* con pincel sobre hojas de *Pedilanthus tithymaloides* generó infecciones exitosas y promovió la esperada síntesis de nuevas antocianinas y degradación de clorofila. En estudios previos realizados en hojas de mango se observó que la mayor infección por *O. mangiferae* se registró en hojas de 8–12 días de edad, inoculadas al atardecer (300–350 Lux) con una concentración de 4.6×10^5 esporas mL⁻¹ (Pérez, 2017).

Con base en la susceptibilidad diferenciada que presentan todos los cultivares de mango a cenicilla (Palti *et al.*, 1974; Nasir *et al.*, 2014), la relevancia alta que tiene la infección foliar por *E. quercicola*

necesario to use standardized techniques that efficiently reproduce the disease. Given that *E. quercicola* is an obligate parasite, most of the studies conducted to document its distribution, importance, biology, epidemiology, management and genetic resistance have been based on naturally infected plants (Nasir *et al.*, 2014), and for this reason there is little information about the artificial induction of mango powdery mildew. Adikaram *et al.* (2002) reported that by depositing *O. mangiferae* spores on *Pedilanthus tithymaloides* leaves using a paint brush, they produced successful infections and promoted the expected synthesis of new anthocyanins and chlorophyll degradation. In previous studies conducted on mango leaves, the highest levels of *O. mangiferae* infection were observed in leaves of 8–12 day-old that were inoculated at dusk (300–350 Lux) at 4.6×10^5 spores mL⁻¹ (Pérez, 2017).

Based on the different susceptibility to powdery mildew that all mango cultivars shows (Palti *et al.*, 1974; Nasir *et al.*, 2014), the great influence of *E. quercicola* foliar infection on the disease cycle and epidemic development (Misra, 2001; Pérez *et al.*, 2017a), as well as the need to promote adequate selection and agronomic use of the new cultivars introduced or developed in Mexico, according to their sanitary reaction to the pathogen, this study was conducted to determine the response to *E. quercicola* at the vegetative stage of ten new yellow mango cultivars that have export potential using nursery plants and an optimized inoculation technique.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study was conducted in 2015 and 2016 at the laboratory and greenhouse of the Postgrado de

en el ciclo de la enfermedad y desarrollo epidémico (Misra, 2001; Pérez *et al.*, 2017a), así como la necesidad de apoyar la adecuada selección y uso agronómico de los nuevos cultivares introducidos o desarrollados en México acorde a su reacción sanitaria a este patógeno, se desarrolló este estudio con el objetivo de determinar la respuesta a *E. quercicola* en la etapa vegetativa de diez nuevos cultivares de mango amarillo con potencial de exportación en plantas de vivero con base en una técnica optimizada de inoculación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó durante 2015 y 2016 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 msnm). Se usaron plantas de mango de 18 meses de edad injertadas con los cultivares Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Alphonso, Ivory, Ataúlfo Zafiro y Manililla, establecidas en macetas de plástico de 18 L en un vivero cubierto con plástico transparente calibre 600 y malla-sombra de polipropileno al 50%. Las plantas se fertilizaron cada cinco días con 1.0 g de la fórmula 100-60-60 (NPK) y regaron a saturación cada tercer día. La temperatura, humedad relativa y fotoperiodo en el vivero se registraron cada dos horas con un datalogger Hobo® U12.

Inóculo experimental

Se recolectaron hojas e inflorescencias colonizadas por *E. quercicola* en huertos de mango cv. Manililla de 20 años de edad en Guerrero, México

la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias of the Universidad Autónoma de Guerrero, Iguala, Guerrero, México (18°20'39.505" N; 99°29'52.796" O; 738 masl). For the experiment, 18-month old mango plants grafted with Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Alphonso, Ivory, Ataúlfo Zafiro and Manililla cultivars were placed in 18 L plastic pots in a nursery covered with 600-gauge transparent plastic and polypropylene mesh-shade at 50%. The plants were fertilized every five days using 1.0 g of a 100-60-60 (NPK) formulation and watered to the point of saturation every other day. Readings of temperature, relative humidity and photoperiod in the nursery were recorded every two hours using a datalogger Hobo® U12.

Experiment inoculum

Leaves and inflorescences colonized by *E. quercicola* were collected from 20 year-old Manililla cv. mango orchards in Guerrero, Mexico, and placed in paper bags for temporary conservation and transportation. Tissue was dehydrated for seven days under laboratory conditions (470 ± 10 lux, 24–26°C and 30% HR). One portion of dehydrated tissue was kept in paper bags as inoculum reservoir. From the remaining tissue, conidia were recovered using a fine hair paint brush (Rodin® No. 5). Then, they were suspended in glass tubes containing 30 mL of sterile distilled water and kept at 24 ± 2°C for later use as an inoculum source.

Inoculation treatments

Vegetative sprouts with initial disease development were identified on Manililla cv. plants highly susceptible to *E. quercicola* and with similar growth and vigor characteristics. When leaves were 8-12 days-old, they were disinfected with NaClO

y depositaron en bolsas de papel para su conservación temporal y traslado. El tejido se deshidrató por siete días en condiciones de laboratorio (470 ± 10 lux, $24\text{--}26^\circ\text{C}$ y 30% HR). 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 30 mL de agua destilada estéril para su conservación a $24 \pm 2^\circ\text{C}$ y uso posterior como fuente de inóculo.

Tratamientos de inoculación

Se identificaron brotes vegetativos con desarrollo inicial de la enfermedad en plantas del cv. Manililla, altamente susceptibles a *E. quercicola* y con características similares de crecimiento y vigor. Cuando las hojas tuvieron 8–12 días de edad se desinfestaron con un aspersor manual con NaClO (0.5%) durante 30 s, se enjuagaron tres veces con agua destilada y dejaron secar durante 10 min. Se evaluaron tres tratamientos de inoculación: T1) aspersión de conidios en suspensión 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 (Rennet Casein® 90 mesh, Charotar Casein Company, IndiaMart™), y T3) aspersión de agua destilada estéril (control). De cada tratamiento se preparó una mezcla base; para el T1 se utilizó 1 g de inóculo (micelio, conidios y conidióforos) en 2 mL^{-1} de la solución y para el T2 se usó 1 g de inóculo en 2 g de caseína y ambos se ajustaron a una concentración de 4.6×10^5 esporas mL^{-1} en una cámara de Neubauer. La inoculación se realizó a las 18:00 h ($\pm 300\text{--}450$ lux) en las superficies adaxial y abaxial de las hojas desinfestadas que permanecieron adheridas a la

(0.5%) for 30 s using a manual sprayer, rinsed three times with distilled water and dried for 10 min. Three inoculation treatments were evaluated: T1) spraying conidia suspended in polysorbate 20 (Tween 20®) at 5% + surfactant based on ethoxylated alcohols (Inex-A®) at 2%; T2) spraying a conidia mixture containing calcium caseinate (Rennet Casein® 90 mesh, Charotar Casein Company, IndiaMart™); and T3) spraying sterile distilled water (control). A base mixture was prepared from each treatment. For T1, we used 1 g of inoculum (mycelium, conidia and conidiophores) in 2 mL^{-1} of the solution; for T2, 1 g of inoculum in 2 g of casein, and then both were adjusted to a concentration of 4.6×10^5 spores mL^{-1} in a Neubauer chamber. Inoculation was done at 18:00 h ($\pm 300\text{--}450$ lux) on the adaxial and abaxial areas of disinfested leaves that remained attached to the plant. Fifty (50) leaves per treatment were inoculated (5 leaves per plant; 10 plants per treatment). The experiment was replicated three times in 2015.

Varietal tolerance

For this experiment, 18 month-old mango plants grafted with Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Ivory, Alphonso and Ataulfo Zafiro cultivars were used. To replicate the symptoms, the most effective inoculation treatment from previous experiments, adjusted to 4.6×10^5 spores mL^{-1} , was applied to the adaxial and abaxial areas of leaves at a range of $\pm 300\text{--}450$ lux. Fifty (50) 8-12 day-old leaves attached to the plant were inoculated per cultivar (5 leaves per plant; 10 plants per cultivar). The experiment was replicated three times a year in 2015 and 2016.

planta. Se inocularon 50 hojas por tratamiento (5 hojas por planta; 10 plantas por tratamiento). El experimento se replicó tres veces en 2015.

Tolerancia varietal

Se evaluaron plantas de mango de 18 meses de injertadas con los cultivares Nam Doc Mai, Rosigold, Neelum, Mallika, Cotaxtla, Kesar, Fairchild, Ivory, Alphonso y Ataúlfo Zafiro. Se utilizó el tratamiento de inoculación más eficiente para reproducir síntomas derivado de experimentos previos, ajustado a 4.6×10^5 esporas mL^{-1} e implementado en las superficies adaxial y abaxial de las hojas, en el rango de ± 300 –450 lux. Se inocularon 50 hojas adheridas a la planta de 8–12 días de edad por cultivar (5 hojas por planta; 10 plantas por cultivar). El experimento se replicó tres veces por año durante 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) a severidad máxima (Y_{max}). Con los valores progresivos de Y_{max} se calculó la tasa de infección aparente (b^{-1}) mediante el modelo de regresión lineal (Achicanoy, 2000) y el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con el método de integración trapezoidal (Campbell y Benson, 1994). Adicionalmente, en el experimento de tolerancia varietal se cuantificó la concentración de conidios (Cc) por cm^2 de área foliar infectada según Sholberg *et al.* (2001) y estimó la tolerancia con una escala de cinco clases basada en el patrón

Variables and statistical analysis

The development of lesions on leaves, with and without sporulation, was observed every 24 h in both experiments (inoculation and varietal tolerance treatments), and this information was used to determine the incidence (Inc) and incubation period (Pi) to maximum severity (Y_{max}). Based on the progressive Y_{max} values, the apparent infection rate (b^{-1}) was calculated using the lineal regression model (Achicanoy, 2000), as well as the area under the disease progress curve (AUDPC) using the trapezoidal integration method (Campbell and Benson, 1994). Also, in the varietal tolerance experiment, the conidia concentration (Cc) per cm^2 of infected leaf area was quantified according to Sholberg *et al.* (2001), and the tolerance was estimated using a five-class scale based on the symptom pattern and degree of severity observed in commercial mango orchards located in Iguala and Huamuxtitlan, Guerrero, Mexico, as follows: 1) healthy leaf or with lesions ≤ 1.0 mm without mycelial colonization (resistant), 2) reddish lesions with little mycelium and 5.0 mm maximum diameter (moderately tolerant), 3) reddish to dark lesions 5–10 mm in diameter, and white mycelium (slightly tolerant), 4) reddish to dark lesions 10–15 mm in diameter, and abundant mycelium (susceptible), 5) coalescing dark lesions >15 mm in diameter and abundant mycelium (highly susceptible) (Figure 1). A completely randomized design with 10 replications was used in each experiment. Calculations of b^{-1} , AUDPC, variance analyses (Proc GLM) and mean comparisons (LSD, 5%) for Pi, Inc, Y_{max} , Cc, AUDPC and b^{-1} were performed using the SAS software v.9.4 (SAS Institute Inc., 2016).

de síntomas y grado máximo de severidad observados en huertos comerciales de mango localizados en Iguala y Huamuxtitlán, Guerrero, México, como sigue: 1) hoja sana o con lesiones ≤ 1.0 mm sin colonización micelial (resistente), 2) lesiones rojizas, con micelio escaso y diámetro máximo de 5.0 mm (moderadamente tolerante), 3) lesiones rojizas a oscuras con diámetro de 5–10 mm y micelio blanco (ligeramente tolerante), 4) lesiones rojizas a oscuras con diámetro de 10–15 mm y micelio abundante (susceptible), 5) lesiones oscuras que coalescen con diámetro >15 mm y micelio abundante (altamente susceptible) (Figura 1). En cada experimento se utilizó un diseño completamente al azar con 10 repeticiones. Los cálculos de b^{-1} , AB-CPE, análisis de varianzas (Proc GLM) y comparación de medias (DMS, 5%) para Pi, Inc, Y_{max} , Cc, ABCPE y b^{-1} se realizaron con el programa SAS System v.9.4 (SAS Institute Inc, 2016).

RESULTS

Inoculation treatments

The conidia suspension in polysorbate 20 + surfactant based on ethoxylated alcohols, sprayed at a concentration of 4.6×10^5 spore mL^{-1} on both surfaces of 8–12 day-old leaves and incubated at ± 300 –450 lux induced higher incidence, severity and AUDPC values with the shortest incubation period in Manila cv., which is highly susceptible to powdery mildew (Table 1) ($\text{LSD}, P \leq 0.05$).

Varietal tolerance

Based on Y_{max} , AUDPC and b^{-1} parameters, the infected cultivars by *E. quercicola* were grouped into four levels of susceptibility. Alphonso was moderately tolerant (MT) followed by Neelum

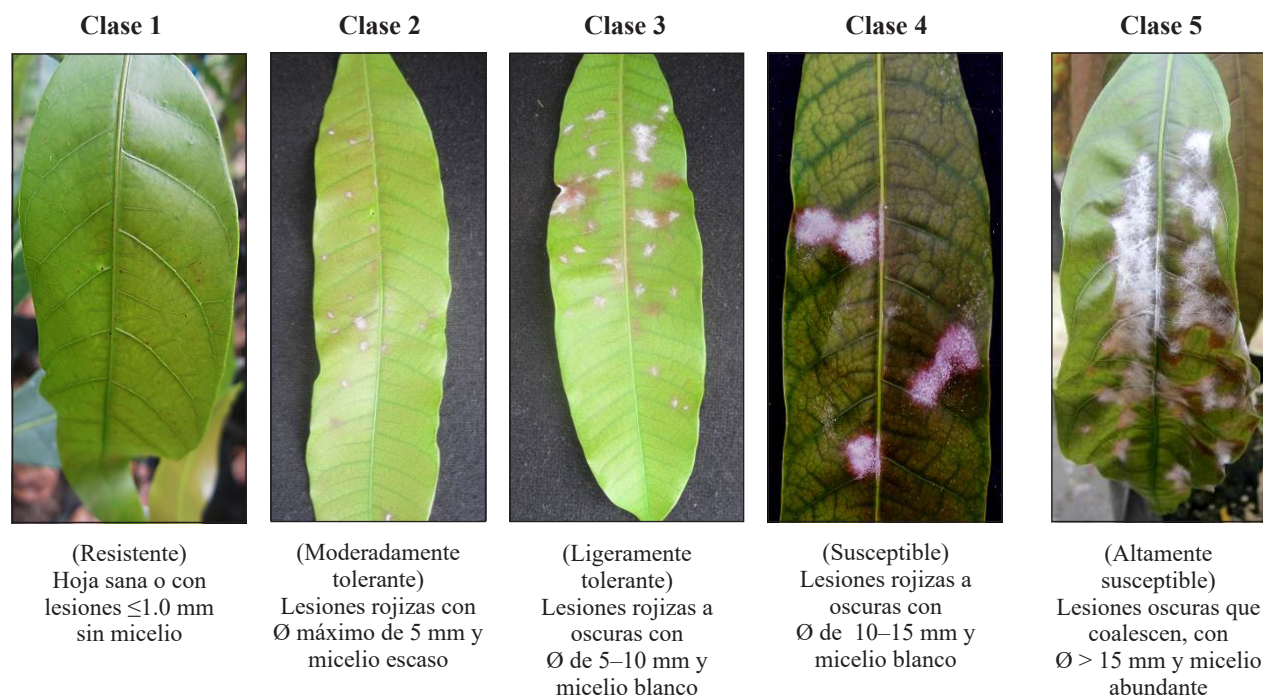


Figura 1. Diagrama de severidad de cenicilla causada por *Erysiphe quercicola* en hojas de mango (*Mangifera indica*) con base en el patrón de colonización observado en huertos comerciales de Guerrero, México. 2015.

Figure 1. Severity diagram of powdery mildew caused by *Erysiphe quercicola* in mango (*Mangifera indica*) leaves based on the colonization pattern observed in commercial orchards in Guerrero, México. 2015.

RESULTADOS

Tratamientos de inoculación

La suspensión de conidios en polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados, asperjados a una concentración de 4.6×10^5 esporas mL⁻¹ sobre ambas superficies de hojas de 8 – 12 días de edad e incubadas a ± 300 –450 lux, indujo los valores mayores de incidencia, severidad y ABCPE con el menor periodo de incubación en el cv. Manilla, altamente susceptible a cenicilla (Cuadro 1) (DMS, $P \leq 0.05$).

Tolerancia varietal

Con base en los parámetros Y_{max} , ABCPE y b^{-1} , los cultivares infectados por *E. quercicola* se

and Fairchild, which were slightly tolerant (LT). Nam Doc Mai, Rosigold, Ataulfo Zafiro, Cotaxtla and Kesar were susceptible (S), and Ivory and Mallika, highly susceptible (AS) (Figure 2). Although none of the cultivars was resistant, the least susceptible ones (MT and LT) consistently showed lower incidence, Y_{max} , AUDPC, b^{-1} and Cc values. P_i ranged between 4 and 6 days, a period that did not show a pattern consistent with the level of susceptibility of the evaluated cultivars. The most susceptible cultivars (S and AS) showed 20.6–22.0% higher incidence, 33–38% higher Y_{max} , 95.5–140% higher AUDPC, 183–223% higher development rates (b^{-1}) and conidial concentration per damaged area (cm²) that was 226–300% higher compared to cultivars from the MT and LT groups. In this study, the polyembryonic cultivars Nam Doc Mai, Kesar, Cotaxtla, Ivory and Ataulfo Zafiro

Cuadro 1. Periodo de incubación, incidencia y severidad de cenicilla causada por *E. quercicola* en hojas de mango (*Mangifera indica* L.) de 8-12 días de edad del cv. Manilla infectadas mediante dos métodos de inoculación. Iguala, Guerrero, México. 2015.

Table 1. Incubation period, incidence and severity of powdery mildew caused by *E. quercicola* in 8-12 day-old mango (*Mangifera indica* L.) leaves Manilla cv. infected using two inoculation methods. Iguala, Guerrero, Mexico. 2015.

Tratamiento ^w	Parámetros fitosanitarios ^x				
	P_i (ddi)	Inc (%)	Y_{max}	ABCPE	b^{-1}
T1	5.0 ^z	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 ^y	1.8	17.5	0.9	17.6	0.0973
R ²	88	90	90	91	89

^wT1= Polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados, T2= caseína, T3= agua destilada estéril (control). ^x P_i = periodo de incubación, Inc= incidencia, Y_{max} = severidad máxima, ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad, b^{-1} = tasa de infección aparente; ^yDMS= Diferencia mínima significativa de acuerdo con la prueba de Fischer ($P \leq 0.05$); ^zValores promedio de 50 hojas por tratamiento en tres réplicas experimentales / ^wT1= Polysorbate 20 + surfactant based on ethoxylated alcohols, T2= casein, T3= sterile distilled water (control). ^x P_i = incubation period, days after inoculation, Inc= incidence, Y_{max} = maximum severity, ABCPE = area under the disease progress curve (AUDPC), b^{-1} = apparent infection rate; ^yDMS= Least Significant Difference (LSD), according to Fischer's Test ($P \leq 0.05$); ^zAverage values of 50 leaves per treatment in three experiment replications.

agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad. Alphonso fue moderadamente tolerante (MT) seguido de Neelum y Fairchild, los cuales fueron ligeramente tolerantes (LT). Entretanto, Nam Doc Mai, Rosigold, Ataúlfo Zafiro, Cotaxtla y Kesar se comportaron como susceptibles (S) e Ivory y Mallika fueron altamente susceptibles (AS) (Figura 2). Aun cuando ningún cultivar fue resistente, los menos susceptibles (MT y LT) presentaron valores consistentemente menores de incidencia, Y_{max} , ABCPE, b^{-1} y Cc . El Pi osciló entre 4 y 6 días y su duración no mostró un patrón concordante con el grado de susceptibilidad de los cultivares evaluados. Los cultivares más susceptibles (S y AS) mostraron de 20.6–22.0% mayor incidencia, de 33–38% mayor Y_{max} , de 95.5–140% más ABCPE, tasas de desarrollo (b^{-1}) más altas de 183–223% y concentración conidial por área dañada (cm^2) de 226–300% superiores respecto a cultivares de los grupos MT y LT. En este estudio, los cultivares poliembriónicos Nam Doc Mai, Kesar, Cotaxtla, Ivory y Ataúlfo Zafiro fueron más susceptibles que los monoembriónicos (Cuadro 2) (DMS, $P \leq 0.05$).

DISCUSIÓN

La aspersión del inóculo conidial de *E. quercicola*, en suspensión con una mezcla de polisorbato 20 (5%) + surfactante a base de alcoholes detoxificados (2%) superó a la caseína en inducir la enfermedad con mayor incidencia (90.1%), severidad ($Y_{max} = 4.8$, ABCPE = 107) y rapidez ($Pi = 5$ ddi) en el cv. Manilla (Cuadro 1). Dada su mayor eficacia, este método de inoculación se utilizó para evaluar la respuesta a la infección en los cultivares considerados en este estudio. No se encontraron estudios relativos al efecto del polisorbato 20 en la germinación conidial de *E. quercicola*. Sin embargo, por sus características tensioactivas, adherentes

were more susceptible than the monoembryonic types (Table 2) (LSD, $P \leq 0.05$).

DISCUSSION

Spraying conidial inoculum of *E. quercicola* suspended in a mixture of polysorbate 20 (5%) + surfactant based on ethoxylated alcohols (2%) was more effective than casein to induce the disease with a higher level of incidence (90.1%), severity ($Y_{max} = 4.8$, AUDPC = 107) and speed ($Pi = 5$ ddi) in the Manilla cv. (Table 1). Since it proved to be more effective, this inoculation method was used to evaluate the response of cultivars to infection in this study. No studies were found on the effect of polysorbate 20 on *E. quercicola* conidial germination. However, because of its surfactant, adherent and dispersant properties, polysorbate 20 has been used in some studies to prevent spore agglutination and enable uniform spore dispersion. For example, Jansen *et al.* (2005) achieved 100% successful infections by inoculating wheat caryopses with *Fusarium graminearum* at a concentration of 1500 macroconidia mL^{-1} suspended in polysorbate 20. Similarly, Frias *et al.* (1995) favored germination and obtained from 97 to 100% infection by inoculating cacao (*Theobroma cacao*) seedlings with *Crinipellis perniciosus* basidiospores suspended in a polysorbate 20 solution containing 3% glycerol. Similarly, Jia *et al.* (2003) observed that polysorbate 20 (0.25%) combined with 16 and 18 h light-darkness periods increased the levels of expected spores adherence and maximum severity of *Magnaporthe grisea* inoculated on rice (*Oryza sativa*) leaves.

In this study, we evaluated the reaction of 10 mango cultivars inoculated with *E. quercicola* using an optimized technique that included the control of inoculum density and effective deposition on foliar

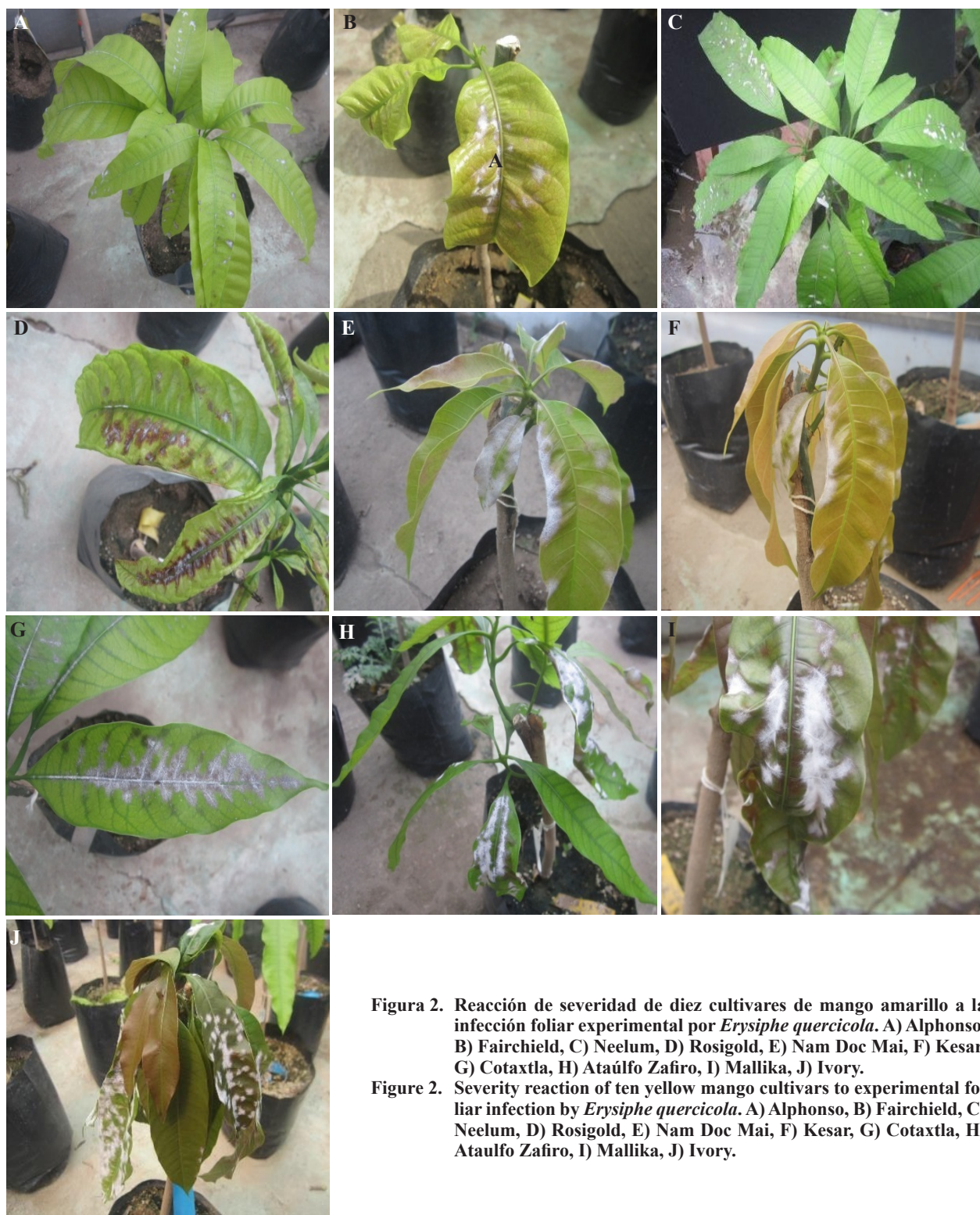


Figura 2. Reacción de severidad de diez cultivares de mango amarillo a la infección foliar experimental por *Erysiphe quercicola*. A) Alphonso, B) Fairchild, C) Neelum, D) Rosigold, E) Nam Doc Mai, F) Kesar, G) Cotaxtla, H) Ataulfo Zafiro, I) Mallika, J) Ivory.

Figure 2. Severity reaction of ten yellow mango cultivars to experimental foliar infection by *Erysiphe quercicola*. A) Alphonso, B) Fairchild, C) Neelum, D) Rosigold, E) Nam Doc Mai, F) Kesar, G) Cotaxtla, H) Ataulfo Zafiro, I) Mallika, J) Ivory.

Cuadro 2. Tolerancia de diez cultivares de mango inoculados con *Erysiphe quercicola* en hojas de 8-12 días de edad con base en algunos parámetros fitosanitarios en Iguala, Guerrero, México, durante los ciclos 2015 y 2016.

Table 2. Tolerance of 10 mango cultivars inoculated with *Erysiphe quercicola* in 8-12 day-old leaves based on some phytosanitary parameters in Iguala, Guerrero, Mexico, during the 2015 and 2016 cycles.

Cultivar	Parámetros fitosanitarios ^w							Semilla ^x
	Pi (ddi)	Inc (%)	Y_{max}	Cc (10 ⁴ /cm ²)	ABCPE	b^{-1}	Reacción	
Alphonso	6.3 ^z	70.1	2.7	1213.5	38.1	0.121	MT	M
Fairchild	4.7	75.3	3.0	1305.1	43.7	0.132	LT	M
Neelum	4.6	83.1	3.4	3685.2	50.2	0.265	LT	M
Rosigold	6.1	86.2	3.6	3961.4	74.5	0.347	S	M
Nam Doc Mai	5.3	84.0	3.8	4283.6	83.4	0.305	S	P
Kesar	4.2	91.0	4.1	4600.3	90.3	0.368	S	P
A. Zafiro	4.8	90.8	4.3	5221.4	96.1	0.378	S	P
Cotaxtla	4.9	91.2	4.4	5183.6	97.5	0.371	S	P
Mallika	5.1	90.5	4.7	5981.7	100.6	0.389	AS	M
Ivory	4.6	93.3	4.7	6321.6	105.8	0.423	AS	P
DMS ^y	1.1	9.3	0.9	1115.8	17.7	0.101	-	-
R ²	91	89	90	88	89	87	-	-

^wPi= período de incubación, Inc= incidencia, Sev= severidad, Cc= concentración de conidios por área dañada, Y_{max} = severidad máxima, ABCPE= área bajo la curva del progreso de la enfermedad, b^{-1} = tasa de infección aparente; ^xM= monoembrionaria, P= poliembrionaria; ^yDMS=Diferencia mínima significativa de acuerdo con la prueba de Fischer ($P \leq 0.05$); ^zMedia de 50 hojas por tratamiento en seis réplicas experimentales / ^wPi= incubation period, days after inoculation, Inc= incidence, Sev= severity, Cc= conidia concentration per damaged area, Y_{max} = maximum severity, ABCPE = area under the disease progress curve (AUDPC), b^{-1} = apparent infection rate; ^xM= monoembryonic, P= polyembryonic; ^yDMS= Least Significant Difference (LSD), according to Fischer's Test ($P \leq 0.05$); ^zaverage of 50 leaves per treatment in six experiment replications.

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 *Fusarium graminearum* a concentración de 1500 macroconidios mL⁻¹ suspendidos en polisorbato 20. Similarmente, Frias *et al.* (1995) favorecieron la germinación y lograron 97 – 100% de infección al inocular plántulas de cacao (*Theobroma cacao*) con basidiosporas de *Crinipellis perniciosus* suspendidas en una solución de polisorbato 20 con glicerol al 3%. Similarmente, Jia *et al.* (2003) observaron que el polisorbato 20 (0.25%), combinado con periodos de luz-oscuridad por 16 y 8 h, incrementaron la adherencia y severidad máxima esperada de

tissue, moisturizing additives to prevent conidia dehydration, as well as susceptible host phenology stages and optimal incubation conditions. The lack of this kind of studies limits the precise estimation of varietal tolerance to *E. quercicola*, since evaluating tolerance based on natural epidemics, as it is usually done (Akthar *et al.*, 1999; Galli *et al.*, 2008; Nelson, 2008), may lead to wrong conclusions because the occurrence and intensity will be affected by the presence, density and variable distribution of the inoculum, heterogeneous environmental conditions and the availability of susceptible tissue, among other factors (Shoeman *et al.*, 1995; Nasir *et al.*, 2014).

Our results indicated that all the cultivars were susceptible to *E. quercicola* and grouped into

Magnaporthe grisea inoculado en hojas de arroz (*Oryza sativa*).

En este estudio se evaluó la reacción de diez cultivares de mango inoculados con una técnica optimizada que consideró el control de la densidad inóculo y deposición eficiente en el tejido foliar, aditivos humectantes para evitar la deshidratación de conidios, así como la fenología del hospedante asociada a la susceptibilidad y condiciones óptimas de incubación. La carencia de este tipo de estudios limita la estimación precisa de tolerancia varietal a *E. quercicola*, ya que evaluar este comportamiento con base en epidemias naturales, como comúnmente se realiza (Akthar *et al.*, 1999; Galli *et al.*, 2008; Nelson, 2008), puede llevar a conclusiones equivocadas debido a que la ocurrencia e intensidad estarán afectadas por la presencia, densidad y distribución variable del inóculo, condiciones ambientales heterogéneas y disponibilidad de tejido susceptible, entre otros factores (Shoeman *et al.*, 1995; Nasir *et al.*, 2014).

Nuestros resultados indicaron que todos los cultivares fueron susceptibles a *E. quercicola* y se agruparon en cuatro niveles de susceptibilidad como fue reportado por Naqvi *et al.* (2014), quienes encontraron que de un total de 25 cultivares de mango, ninguno fue resistente, pero si exhibieron gradientes de tolerancia. En nuestro estudio, el cv. Alphonso mostró la mayor tolerancia a *E. quercicola*, en contraste con Nofal y Haggag (2006), quienes documentaron una susceptibilidad alta de este cultivar. Sin embargo, Neelum y Fairchild presentaron ligera tolerancia como fue documentado por Nasir *et al.* (2014). Los cultivares más susceptibles fueron Mallika e Ivory, coincidiendo con lo observado por Palti *et al.* (1974) y Nofal y Haggag (2006). Adicionalmente, la presente investigación consigna por primera vez el grado de susceptibilidad del follaje a *E. quercicola* en cultivares de mango nuevos para México (Nam Doc Mai, Rosigold, Ataúlfo

four susceptibility levels as reported by Naqvi *et al.* (2014), who tested 25 mango cultivars and found that although none of them was resistant, they exhibited levels of tolerance. In our study, cv. Alphonso showed the highest tolerance to *E. quercicola*, in contrast to Nofal and Haggag (2006), who indicated that this cultivar was highly susceptible. However, Neelum and Fairchild showed slight tolerance, as reported by Nasir *et al.* (2014). The most susceptible cultivars were Mallika and Ivory, and this result coincides with that obtained by Palti *et al.* (1974) and Nofal and Haggag (2006). Also, the present study reports for the first time the degree of vegetative susceptibility to *E. quercicola* in new mango cultivars for Mexico (Nam Doc Mai, Rosigold, Ataúlfo Zafiro and Kesar), which have export potential. It is important to consider that the cultivars with the lowest susceptibility consistently showed lower incidence, Y_{max} , accumulated severity (AUDPC), rate of disease development and sporulation density, and that the ranges of magnitude of those values were in agreement with each susceptibility group (MT, LT, S and AS) (Table 2).

It is important to note that the previously cited tolerance comparisons were based on natural epidemics (Galli *et al.*, 2008, 2009; Naqvi *et al.*, 2014), in which conditions to promote the maximum expression of the pathogen virulence and disease development were not controlled, so the level of severity may have been underestimated or overestimated. Nasir *et al.*, (2014) documented the differentiated virulence of *O. mangiferae* in terms of the level of environmental humidity and length of the driest environmental periods. For this reason, it is important to use effective and standardized methods to reproduce the disease under controlled conditions (laboratory, glass houses or other protected spaces), as well as integrate the greater number of phytosanitary variables and use severity

Zafiro y Kesar) y con potencial de exportación. Es relevante considerar que los cultivares con menor susceptibilidad presentaron consistentemente menor incidencia, Y_{max} , severidad acumulada (ABC-PE), tasa de 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) (Cuadro 2).

Es importante señalar que las comparaciones de tolerancia previamente citadas se han basado en epidemias naturales (Galli *et al.*, 2008, 2009; Naeqi *et al.*, 2014), en donde no se controlaron las condiciones para promover la óptima expresión de virulencia del patógeno y el desarrollo de la enfermedad, por lo que la severidad pudo ser subestimada o sobreestimada. Nasir *et al.* (2014) documentaron la virulencia diferenciada de *O. mangiferae* en función del grado de humedad ambiental y duración de los periodos ambientales más secos. 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 para lograr resultados más consistentes y usar una escala de severidad diseñada acorde al patrón de síntomas y grado máximo de severidad observado en huertos comerciales de mango (Figura 1) de las regiones productoras de cada país en particular.

Todos los cultivares poliembriónicos (Nam Doc Mai, Kesar, Cotaxtla, Ivory y Ataulfo Zafiro) mostraron mayor susceptibilidad al agruparse como S y AS; sin embargo, como en estas categorías también se agruparon cultivares monoembriónicos (Rosigold y Mallika) (Cuadro 2), esta relación debe verificarse en futuros estudios comparativos con mayor número de cultivares de cada tipo embrionario. Aportar evidencias de la participación de

scales based on the symptomatic pattern and maximum severity degree observed in commercial orchards (Figure 1) located in particular mango-producing regions to estimate the varietal tolerance more accurately.

All the polyembryonic cultivars (Nam Doc Mai, Kesar, Cotaxtla, Ivory and Ataulfo Zafiro) showed greater susceptibility when they grouped as S and AS. However, since monoembryonic cultivars (Rosigold and Mallika) were also grouped into those categories (Table 2), this relationship must be verified when doing future comparative studies on a greater number of cultivars of each embryonic type. It is important to provide evidence of the participation of this factor, since it suggests that polyembryony in mango promotes susceptibility to foliar diseases because it causes peroxidase activity and ethylene synthesis to decrease (Campbell, 1961) in contrast to soil pathogens, where the resistance increases (Pinto *et al.*, 2002).

Powdery mildew develops in a wide temperature range (10-31 °C) (Ploetz and Freeman, 2009), although it is more severe in dry and cold environments (50-70% RH, $\approx$ 20-22°C) (Gupta, 1989b; Schoeman *et al.*, 1995). Conidia can germinate in a range from 9 to 32°C (being the optimum 23°C) with relative humidity as low as 20%, so disease development does not usually depend on environmental moisture (Ploetz and Freeman, 2009). Mango-producing areas in the Mexico's Pacific basin have climatic gradients (dry, humid and subhumid tropics) with different inductivity to powdery mildew. For example, in dry tropical regions such as the Apatzingan Valley (Michoacan, Mexico), powdery mildew shows high levels of severity, damages leaves and reproductive tissue, and causes up to 80% of fruits to fall. In this region, Arias *et al.* (2004) classified as high-risk areas for this disease those at altitudes higher than 550 m where night temperatures can reach <17 °C.

este factor es relevante, ya que se sugiere que la poliembrionía en mango promueve susceptibilidad a enfermedades foliares al originar baja actividad de peroxidasas y síntesis de etileno (Campbell, 1961), en contraste con patógenos del suelo donde incrementa la resistencia (Pinto *et al.*, 2002).

El desarrollo de cenicilla ocurre en un rango amplio de temperatura (10-31 °C) (Ploetz y Freeman, 2009), aunque es más severa en ambientes secos y fríos (50-70% RH, $\approx$ 20-22°C) (Gupta, 1989b; Schoeman *et al.*, 1995). Los conidios pueden germinar en un rango de 9-32°C (con un óptimo de 23°C) con humedad relativa tan baja como 20%, por lo que el desarrollo de la enfermedad es usualmente independiente de la humedad ambiental (Ploetz y Freeman, 2009). Las zonas de producción de mango de la cuenca pacífico de México presentan gradientes climáticos (trópico seco, húmedo y subhúmedo) con distinta inductividad a cenicilla. Por ejemplo, en regiones de trópico seco como el Valle de Apatzingán (Michoacán, México), la cenicilla se presenta con alta severidad, ataca hojas y tejido reproductivo y causa caída de frutos de hasta 80%; en esta región, Arias *et al.* (2004) clasificaron como zonas de alto riesgo para esta enfermedad las ubicadas a una altitud mayor a 550 m y expuestas a temperatura nocturna $<$ a 17 °C. En concordancia con este supuesto, Pérez *et al.* (2017b) reportaron el desarrollo de epidemias de baja severidad (2.98%) y únicamente en inflorescencias en huertos de Arcelia, Gro., (trópico seco), municipio ubicado a 330 m, con temperatura $\geq$ 30 °C y RH $\leq$ 60% durante el estudio. En contraste, en zonas de trópico subhúmedo, como Tecpan de Galeana (Guerrero, México), la presencia recurrente de vientos marinos fríos favorece la aparición de flujos vegetativos y florales múltiples que prolongan las etapas fenológicas de mayor susceptibilidad y también promueven epidemias múltiples de cenicilla (Pérez *et al.*, 2017a) con distinta intensidad. Con base en

In agreement with this assumption, Pérez *et al.* (2017b) reported the development of low-severity epidemics (2.98%) and only on inflorescences in orchards located in Arcelia, Guerrero (dry tropics), a municipality located at 330 masl, with $\geq$ 30 °C temperature and $\leq$ 60% RH during the study. In contrast, in subhumid tropical areas such as Tecpan de Galeana (Guerrero, Mexico), the recurrent presence of cold sea winds favors the appearance of multiple vegetative and floral flows that extend the phenological stages of higher susceptibility, and promote multiple powdery mildew epidemics (Pérez *et al.*, 2017a) of varying intensity. In view of the above, this study supports the selection of agroecological regions that are more adequate for growing new yellow mango cultivars for the export market. For example, cultivars in high demand in the US and Canadian markets, such as Nam Doc Mai, Alphonso and Kesar, will have a better productive performance and higher profitability in regions where *E. quercicola* shows less parasitic aptitude and the financial costs for phytosanitary maintenance will be lower. However, the farmer should consider factors such as the susceptibility of the new cultivars to other important pathogens and their agronomic adaptation to weather and soil types when making his decision.

Except for Cotaxtla, the other cultivars evaluated in this study were recently established in experimental orchards in Guerrero, Oaxaca and Chiapas, Mexico, so they are at a young stage. Once they mature, we will continue our studies on varietal response to *E. quercicola* infection in reproductive tissues.

CONCLUSIONS

In this study, it was determined that the best method for inoculating *E. quercicola* in mango was

lo anterior, este estudio permite apoyar la selección de regiones agroecológicas más adecuadas para los nuevos cultivares de mango amarillo emergentes para el mercado de exportación. Por ejemplo, cultivares altamente demandados por los mercados de EE.UU. y Canadá, como Nam Doc Mai, Alphonso y Kesar, tendrán mejor comportamiento productivo y mayor rentabilidad en las regiones donde *E. quercicola* muestra menor aptitud parasítica y los costos financieros por mantenimiento fitosanitario serán menores. Sin embargo, el productor deberá considerar factores como la susceptibilidad de los nuevos cultivares a otras limitantes parasíticas importantes y adaptación agronómica a tipos de clima y suelo para ponderar mejor su decisión.

Con excepción de Cotaxtla, el resto de los cultivares evaluados en este estudio se establecieron recientemente en huertos experimentales ubicados en Guerrero, Oaxaca y Chiapas, México, por lo que se encuentran en etapa juvenil. Una vez que alcancen la madurez continuarán los estudios de respuesta varietal a la infección por *E. quercicola* en tejidos reproductivos

CONCLUSIONES

En este estudio se determinó que el mejor método de inoculación de *E. quercicola* en mango fue por aspersión de conidios a una concentración de 4.6×10^5 esporas mL^{-1} , en ambas superficies de las hojas, al anochecer y suspendidos en polisorbato 20 + surfactante a base de alcoholes detoxilados al 2% para favorecer su dispersión, adherencia y evitar su deshidratación. Además, aun cuando los 10 cultivares de mango evaluados en este estudio fueron susceptibles a *E. quercicola*, Alphonso, Neelum y Fairchild fueron los más tolerantes a la infección foliar. Mientras que Mallika e Ivory fueron los más susceptibles.

to spray conidia at 4.6×10^5 spore mL^{-1} on both leaf areas, at dusk and suspended in polysorbate 20 + surfactant based on 2% ethoxylated alcohols to favor its dispersion and prevent dehydration. Although the 10 mango cultivars evaluated in this study were susceptible to *E. quercicola*, Alphonso, Neelum and Fairchild were the most tolerant to foliar infection, while Mallika and Ivory were the most susceptible.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank to the authorities of the Postgrado de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma de Guerrero for the facilities provided to carry out this work.

~~~~~ End of the English version ~~~~~

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de Postgrado de la Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Guerrero por las facilidades otorgadas para realizar el presente trabajo.

## LITERATURA CITADA

- Achicanoy LH. 2000. Descripción cuantitativa de epidemias de plantas. Revista de la Facultad Nacional de Agricultura de Medellín 53(1):941-968. Disponible en línea: <http://www.bdigital.unal.edu.co/26473/1/24069-84222-1-PB.pdf>
- Adikaram NKB, Mlewa 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. DOI: 10.4038/jnsf.v30i1-2.2556
- Akhtar KP, Khan MA, Kazmi MR, Hussain RI and Fatima B. 1999. Preventive control of powdery mildew disease of mango. Agricultural Sciences 4(1):23-28. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/289519342\\_Preventive\\_control\\_of\\_powdery\\_mildew\\_of\\_mango](https://www.researchgate.net/publication/289519342_Preventive_control_of_powdery_mildew_of_mango)



- Arias SJF, Espinosa AJ, Rico PHR, Miranda SMA y Chávez CX. 2004. La cenicilla *Oidium mangiferae* Berthet del mango en Michoacán. INIFAP, CIRPAC. Campo Experimental Valle de Apatzingán. Folleto Técnico Núm. 1. Apatzingán, Michoacán, México. Disponible en línea: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1288/cenicilla\\_1288.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1288/cenicilla_1288.pdf?sequence=1)
- Braun U and Cook RTA. 2012. Taxonomic manual of the *Erysiphales* (Powdery Mildews). CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands. 707 p. Disponible en línea: <https://www.nhbs.com/taxonomic-manual-of-the-erysiphales-powdery-mildews-book>
- Campbell CW. 1961. Comparison of yield of poliembryonic and monoembryonic mangos. Proceedings of the Florida State Horticultural Society 74: 363-365. Disponible en línea: [http://fshs.org/proceedings-o/1961-vol-74/363-365%20\(CAMPBELL\).pdf](http://fshs.org/proceedings-o/1961-vol-74/363-365%20(CAMPBELL).pdf)
- Campbell CL and Benson DM. 1994. Spatial aspects of the development of root disease epidemics. Pp. 195-243. In: Campbell CL and Benson DM. (eds.). Epidemiology and management of root diseases. Berlin: Springer-Verlag. 339p. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-85063-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85063-9_7)
- FAO. 2016. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en línea: <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=es>
- Félix GR, Herrera RG, Martínez VC, Longoria ERM, Maldonado MIE, Quiroz FFR, Martínez AJC, García PLM and Espinoza MS. 2013. First report of powdery mildew (*Pseudoidium anacardii*) of mango trees in Sinaloa, Mexico. Plant Disease 97(7):994. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1014-PDN>
- Félix GR, Maldonado MIE, Beltrán PH, Apodaca SMA, Espinoza MS, Martínez VMC, Longoria ERM and Olivas PNG. 2017. Powdery mildews in agricultural crops of Sinaloa: Current status on their identification and future research lines. Revista Mexicana de Fitopatología 35:106-129. DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1607-4
- Frias GA, Purdy LH and Schmidt RA. 1995. An inoculation method for evaluating resistance of cacao to *Crinipellis pernicioso*. Plant Disease 79:787-791. Disponible en línea: [http://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1995Articles/PlantDisease79n08\\_787.PDF](http://www.apsnet.org/publications/PlantDisease/BackIssues/Documents/1995Articles/PlantDisease79n08_787.PDF)
- Galli JA, Fischer IH and Palharini MCA. 2012. Pre and post-harvest diseases in mango varieties cultivated in organic system. Revista Brasileira de Fruticultura 34(3):734-743. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000300012>
- Galli JA, Silveira LCP, Michelotto MD and Martins ALM. 2008. Powdery mildew (*Oidium mangiferae* Bert.) infection in mango varieties. Bioscience Journal 24(2):43-46. Disponible en línea: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6744/4451>
- Galli JA, Silveira LCP, Michelotto MD and Martins ALM. 2009. Evaluation of anthracnose incidence, development and nutritional status of mango trees varieties for organic cultivation in north center region of São Paulo state. Revista Brasileira de Fruticultura 31(3):701-709. Disponible en línea: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v31n3/a12v31n3.pdf>
- Guillén SD, Téliz OD, Mora AG, Mora AA, Sánchez GP y González HV. 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(2):181-188. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/html/612/61221213/index.html>
- Gupta JH. 1976. Reaction of mango varieties to powdery mildew (*Oidium mangiferae*) in Uttar Pradesh. Progressive Horticulture 8:63-64.
- Gupta JH. 1989. Longevity of conidia of *Oidium mangiferae* causing powdery mildew of mango. Indian Journal Mycology and Plant Pathology 19:123-124.
- Gupta JH. 1989b. Perpetuation and epidemiology of powdery mildew of mango. Acta Horticulture 231:528-533. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1989.231.4>
- Hernández SD y Martínez DMA. 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. Disponible en línea: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/32-3/10a.pdf>
- Jansen C, Wettstein D, Schäfer W, Kogel KH, Felk A and Maier FJ. 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. Disponible en línea: <http://www.pnas.org/content/102/46/16892.full.pdf>
- Jia Y, Valent B and Lee FN. 2003. Determination of host responses to *Magnaporthe grisea* on detached rice leaves using a spot inoculation method. Plant Disease 87:129-133. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/249303304\\_Determination\\_of\\_Host\\_Responses\\_to\\_Magnaporthe\\_grisea\\_on\\_Detached\\_Rice\\_Leaves\\_Using\\_a\\_Spot\\_Inoculation\\_Method](https://www.researchgate.net/publication/249303304_Determination_of_Host_Responses_to_Magnaporthe_grisea_on_Detached_Rice_Leaves_Using_a_Spot_Inoculation_Method)
- Khalid P, Akhtar and Alam SS. 2000. Powdery mildew of mango: a review. Pakistan Journal of Biological Sciences 3 (7):1119-1122. Disponible en línea: <http://scialert.net/qredirect.php?doi=pjbs.2000.1119.1122&linkid=pdf>
- Misra AK. 2001. Powdery mildew - A serious disease of mango. Journal of Applied Horticulture 3(1):63-68. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/281590887\\_Powdery\\_mildew\\_-\\_A\\_serious\\_disease\\_of\\_mango](https://www.researchgate.net/publication/281590887_Powdery_mildew_-_A_serious_disease_of_mango)
- Misra AK, Shukla PK and Pandey BK. 2012. Diseases of Mango. Pp. 278-335. In: Diseases of fruit crops. Misra AK, Chowdappa P, Sharma P and Khetrapal RK. (eds.). Indian Phytopathological Society. New Delhi. 342p. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/311886856\\_Diseases\\_of\\_Mango](https://www.researchgate.net/publication/311886856_Diseases_of_Mango)
- Munshi GD, Jhooty JS and Jasmit K. 1988. Perennation of powdery mildew of mango as leaf infections. Indian Journal Mycology and Plant Pathology 18: 68-69.
- Naqvi SAH, Perveen R, Manzoor SA, Umar HMI, Iqbal MT, 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. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2014.515250>
- Nasir M, Mughal SM, Mukhtar T and Awan MZ. 2014. Powdery mildew of mango: a review of ecology, biology,

- epidemiology and management. *Crop Protection* 64:19-26. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.003>
- Nelson SC. 2008. Mango powdery mildew. Cooperative Extension Service. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii at Manoa. Plant Disease: PD-46. Disponible en línea: <https://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/PD-46.pdf>
- Nofal MA and Haggag WM. 2006. Integrated management of powdery mildew of mango in Egypt. *Crop Protection* 25:480-486. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.08.003>
- Palti J, Pinkays Y and Chorin M. 1974. Powdery mildew of mango. *Plant Disease Report* 58:45-49.
- Pérez RA. 2017. Tolerancia de cultivares de mango (*Mangifera indica* L.) a la cenicilla (*Oidium mangiferae* Berthet.) en México. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Postgrado de Fitosanidad, Fitopatología. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 78p.
- Pérez RA, Monteon OA, Mora AA, Hernandez CE. 2017a. Epidemiology and strategies for chemical management of powdery mildew in mango. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 52(9):715-723. Disponible en línea: <http://www.scielo.br/pdf/pab/v52n9/1678-3921-pab-52-09-00715.pdf>
- Pérez RA, Pérez RM, Talavera VA, García EP y Durán TY. 2017b. Manejo Químico de la cenicilla del mango y su interacción con factores ambientales. *Revista Mexicana de Fitosanidad* 1(3):30-37. Disponible en línea: [http://revimexfito.com.mx/files1/Remefi%201\\_3/REMEFI\\_30-37\\_2017.pdf](http://revimexfito.com.mx/files1/Remefi%201_3/REMEFI_30-37_2017.pdf)
- Peterson RA. 1984. Mango diseases. Pp: 233-247. In: *Proceedings of the First Australian Mango Research Workshop*, Cairns, Queensland. CSIRO. 392p. Disponible en línea: <http://catalog.lib.msu.edu/record=b1711286~S39a>
- Pinto ACQ, Costa JG and Santos CAF. 2002. Principais cultivares. Pp: 95-116. In: GENUÍ PJ de C and Pinto AC de Q (eds.). *A cultura da mangueira*. Brasília: Embrapa, Informação Tecnológica. 116p. Disponible en línea: <https://www.passeidireto.com/arquivo/1095467/a-cultura-da-mangueira>
- Ploetz RC and Freeman S. 2009. Foliar, floral and Soilborne Diseases. Pp. 231-302. In: *Litz RE (2nd ed.). The mango: botany, production and uses*. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 669p. <https://dx.doi.org/10.1079/%2F9781845934897.0000>
- Raheel M, Anwar SA, Javed N, Ilyas MB, Iqbal M and Zia A. 2008. Management of powdery mildew of mango by foliar spray fungicides. *Pakistan Journal of Phytopathology* 21:173-174. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/235816522\\_Management\\_of\\_powdery\\_mildew\\_of\\_mango\\_by\\_foliar\\_spray\\_fungicides](https://www.researchgate.net/publication/235816522_Management_of_powdery_mildew_of_mango_by_foliar_spray_fungicides)
- SAS Institute. 2016. SAS 9.4 OLAP server: User's Guide, SAS Institute. Fifth Edition. Cary, North Caroline, USA. Disponible en línea: [https://www.sas.com/es\\_mx/software/sas9.html](https://www.sas.com/es_mx/software/sas9.html)
- Schoeman MH, Manicom BQ and Wingfield MJ. 1995. Epidemiology of powdery mildew on mango blossoms. *Plant Disease* 79:524-528. DOI: 10.1094/PD-79-0524
- Sholberg PL, Lane WD, Haag P, Bedford K and Lashuk L. 2001. A novel technique for evaluation of apple (*Malus x domestica* Borkh) cultivars for susceptibility to powdery mildew. *Canadian Journal of Plant Science* 81(2):289-296. <https://doi.org/10.4141/P00-072>
- 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. Disponible en línea: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20013126011>
- Sinha P, Prajneshu R and Varma A. 2002. Growth models for powdery mildew development of mango. *Annals of Plant Protection Sciences* 10(1):84-87. Disponible en línea: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:apps&volume=10&issue=1&article=020>
- Tam LTT. 2017. Identification powdery mildew *Erysiphe quercicola* damaging on mango in Hanoi, Vietnam. *Journal of Bacteriology and Mycology* 4(6):00111. DOI: 10.15406/jbmoa.2017.04.00111
- Villegas MA y Mora AA. 2011. Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura Vol. Especial*: 179-186. Disponible en línea: <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v33nspe1/a21v33nspe1.pdf>