

Powdery Mildews in Agricultural Crops of Sinaloa: Current Status on their Identification and Future Research Lines

Las Cenicillas en Cultivos Agrícolas de Sinaloa: Situación Actual sobre su Identificación y Líneas Futuras de Investigación

Rubén Félix-Gastélum, Ignacio Eduardo Maldonado-Mendoza, Hugo Beltran-Peña, Miguel Ángel Apodaca-Sánchez, Silvia Espinoza-Matías, María del Carmen Martínez-Valenzuela, Rosa María Longoria-Espinoza, Noel Gerardo Olivas-Peraza, Universidad de Occidente, Unidad Los Mochis, Departamento de Ciencias Biológicas, Blvd. Macario Gaxiola y Carretera Internacional s/n, CP 81223. Los Mochis, Sinaloa, México; Instituto Politécnico Nacional (IPN), Departamento de Biotecnología Agrícola, CIIDIR-Sinaloa. Blvd. Juan de Dios Bátiz Paredes N° 250, CP 81101. Guasave, Sinaloa, México; 3 Universidad de Occidente, Unidad Guasave, Departamento de Ciencias Biológicas, Av. Universidad s/n, CP 81120. Guasave, Sinaloa, México; 4 Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. CP 04510, Coyoacán, D.F., México. Correspondencia: ruben.felix@udo.mx *Autor para correspondencia: E-mail: despinos@colpos.mx

Recibido: 16 de julio 2016. Aceptado: 20 de octubre 2016.

Félix-Gastélum R, Maldonado-Mendoza IE, Beltran-Peña H, Apodaca-Sánchez MA, Espinoza-Matías S, Martínez-Valenzuela MC, Longoria-Espinoza RM, Olivas-Peraza NG. 2016. Powdery Mildews in Agricultural Crops of Sinaloa: Current Status on their Identification and Future Research Lines. *Revista Mexicana de Fito patología*. 34:13 p.
DOI: 10.18781/R.MEX.FIT.1607-4

RESUMEN

La presente revisión tiene como objetivo abordar la evolución de los procedimientos para identificar los agentes causales de las cenicillas. Las características morfométricas que se descifran mediante la utilización de microscopía de luz y

ABSTRACT

The present review aims to discuss the evolution of the procedures for the identification of the powdery mildew pathogens. The morphometric characteristics deciphered by light microscopy and scanning electron microscopy, and the availability of molecular tools have contributed to the identification of the anamorph in different species of Erysiphales in various regions around the world. In Sinaloa, the identification of these plant pathogens started in 2005. Applying morphometric studies to the teleomorph and anamorph of the powdery mildew fungus in squash and cucumber allowed the identification of *Podosphaera xanthii* as the causal agent; the anamorph of the same species was also identified in melon, watermelon, bottlegourd, and

microscopía electrónica de barrido, así como el rango de hospedantes y herramientas moleculares han permitido la identificación del anamorfo en diferentes especies de Erysiphales, en diversas regiones del mundo. En Sinaloa, México, la identificación de este tipo de patógenos inició en 2005. Los estudios morfométricos del teleomorfo y anamorfo en calabaza y pepino permitieron la identificación de *Podosphaera xanthii* en estos hospedantes; el anamorfo del mismo hongo se identificó en melón, sandía, bule y tomatillo recurriendo a las mismas técnicas. En estudios subsiguientes, además de la morfometría se recurrió a los espaciadores transcritos internos (ITS; por su abreviatura en inglés) para la identificación de los anamorfos de *Erysiphe diffusa*, *Erysiphe quercicola* y *Podosphaera pannosa*. Las especies de Erysiphales conocidas a la fecha en Sinaloa son sólo un segmento de muchas de ellas que actualmente atacan a plantas cultivadas y silvestres; por lo que existe espacio para el surgimiento de líneas de investigación direccionadas hacia la etiología, epidemiología y el manejo de este tipo de enfermedades.

Palabras clave adicionales: Anamorfo, teleomorfo, microscopía de luz, microscopía electrónica de barrido, morfometría.

En México, Sinaloa es el principal estado productor de hortalizas. En Sinaloa, durante el 2014, la superficie de siembra de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), tomate (*Solanum lycopersicum* L.), tomatillo (*Physalis philadelphica* Lam.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) fue de 31,716 ha mientras que la de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y mango (*Mangifera indica* L.) fue de 122,412 ha y 31,180 ha, respectivamente (SAGARPA, 2014). Aun cuando Sinaloa no se ubica como uno de los principales estados productores de rosas, la superficie de siembra se ha

husk tomato. In subsequent studies, in addition to the morphometric characteristics, the ITS of rDNA was used for the identification of the anamorph of *Erysiphe diffusa*, *Erysiphe quercicola*, and *Podosphaera pannosa* on bean, mango, and roses, respectively. The known species of Erysiphales at the present time in Sinaloa might be only a segment of many of them infecting cultivated and wild species of plants; thus, there is an immense opportunity to focus research lines on the etiology, epidemiology, and control of this type of diseases.

Additional keywords: Anamorph, teleomorph, light microscopy, scanning electron microscopy, morphometry.

In Mexico, Sinaloa is the main vegetable-producing state. In Sinaloa, during 2014, the surface dedicated to the planting of zucchini (*Cucurbita pepo* L.), tomato (*Solanum lycopersicum* L.), Mexican husk tomato (*Physalis philadelphica* Lam.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) was 31,716 ha, whereas the surface for beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and mango (*Mangifera indica* L.) was 122,412 ha and 31,180 ha, respectively (SAGARPA, 2014). Although Sinaloa is not one of the main producers of roses, the surface planted has increased due to the demand for this ornamental plant. In Sinaloa, fungal diseases constitute one of the main limiting factors in these crops (León-Gallegos, 1988; Cruz-Ortega *et al.*, 1998; Ramírez-Villapudúa *et al.*, 2006; Ramírez-Villapudúa and Sáinz-Rodríguez, 2006) and among the diseases that affect foliage, powdery mildew stands out, since it appears in every agricultural cycle, and its incidence and severity vary with the prevalent weather conditions. Powdery mildew is caused by a group of diverse fungi, complex in shape, reproductive structures, range of hosts, and geographic distribution

incrementado por la demanda que esta ornamental representa. En Sinaloa, las enfermedades de origen fúngico constituyen uno de los principales factores limitantes en estos cultivos (León-Gallegos, 1988; Cruz-Ortega *et al.*, 1998; Ramírez-Villapudúa *et al.*, 2006; Ramírez-Villapudúa y Sáinz-Rodríguez, 2006) y entre aquellas que afectan al follaje resaltan las cenicillas, las cuales invariablemente se presentan en todos los ciclos agrícolas y su incidencia y severidad varían con las condiciones ambientales prevalentes.

Las cenicillas, también llamadas cenicillas polvorientas o mildiu polvorientos, son causadas por un grupo de hongos diversos, complejos en su forma, en sus estructuras reproductivas, rango de hospedantes y distribución geográfica (Bélanger y Labbé, 2002). Se ubican en la familia Erysiphaceae del orden Erysiphales; son parásitos obligados (biótropos) y parasitan alrededor de 9,838 especies de plantas que pertenecen sólo a las angiospermas (Amano, 1986). El 93% de las plantas hospedantes son dicotiledóneas, mientras que el 7 % son monocotiledóneas (Takamatsu, 2013).

Los Erysiphales producen ascocarpos esféricos llamados casmotecios (previamente denominados cleistotecios) así como conidióforos e hifas hialinas, septadas uninucleadas, y conidios que al desarrollarse en grandes cantidades sobre las superficies afectadas de la planta forman un polvillo blanco a manera de ceniza, lo que las hace fáciles de reconocer. Dichas estructuras se producen principalmente sobre las hojas, yemas, flores y frutos, y producen haustorios en las células epidermales de sus hospedantes (Boesewinkel, 1980). Su daño en las plantas es lento y son vulnerables a los fungicidas debido al hábito epífita en su interacción con el hospedante (Yarwood, 1973). Aunque las cenicillas son comunes y causan daños considerables en áreas frescas, son aún más comunes y severas en lugares con clima cálido y seco, porque en estas condiciones

(Bélanger and Labbé, 2002). They are found in the family Erysiphaceae of the order Erysiphales; they are obligate parasites (biotrophes) and they parasitize around 9,838 species of plants that belong only to angiosperms (Amano, 1986). 93 % of host plants are dicotyledons, while 7 % are monocotyledons (Takamatsu, 2013).

Erysiphales produce spherical asci called chasmothecia (previously called cleistothecia), as well as conidiophores and hyaline hyphae, uninuclear septate hyphae, and conidia that form a white ash-like powder when developing in large amounts, making them easily recognizable. These structures are mainly produced on the leaves, buds, flowers, and fruits, and produce haustoria on the epidermal cells of their hosts (Boesewinkel, 1980). They damage plants slowly and are vulnerable to fungicides, due to the epiphytic habit in its interaction with the host (Yarwood, 1973). Although mildew is common and causes considerable damage in cool areas; they are even more common and severe in areas with warm, dry climates, because in these conditions the wind easily detaches and spreads the conidia (Romero-Cova, 1988); also, it has been established that mildew presents itself in the succulent tissue of the host in cool, shady areas (Yarwood, 1973). The lives of conidia are brief and they are favored by high relative humidity, but not by rain and immersion in water (Sivapalan, 1993a; Sivapalan, 1993b). In general, the mycelium is epiphytic, except in genera *Leveillula*, *Phyllactinia*, *Pleochaeta* where the mycelium is hemi-endophytic, and occasionally in species of *Cystotheca*; in this case, hyphae penetrate the leaves through the stomata and form mycelia inside, although the mycelia of the species of *Leveillula* are more abundant inside the leaf of the host (Braun *et al.*, 2002).

The development of the taxonomy of Erysiphales is vast and controversial and has been

el viento fácilmente desprende y disemina los conidios (Romero-Cova, 1988); además se ha establecido que, las cenicillas se presentan en tejido succulento del hospedante en ambientes sombreados y frescos (Yarwood, 1973). La vida de los conidios es corta y les favorecen altos niveles de humedad relativa, pero no son favorecidos por lluvia e inmersión en agua (Sivapalan, 1993a; Sivapalan, 1993b). En general, el micelio es epifítico excepto en los géneros *Leveillula*, *Phyllactinia*, *Pleochaeta* el micelio es hemioendofítico y ocasionalmente en especies de *Cystotheca*; en este caso, las hifas penetran las hojas a través de los estomas y forman micelio en el interior, sin embargo, el micelio de las especies de *Leveillula* es más abundante en el interior de la hoja del hospedante (Braun *et al.*, 2002).

El desarrollo de la taxonomía de los Erysiphales es basta y controversial y ha sido ampliamente discutida en un gran número de publicaciones (Braun, 1999; Braun *et al.*, 2002; Braun y Cook, 2012). En años recientes, con base en filogenia molecular, se ha demostrado que los Erysiphales pertenecen a los Leotiomycetes (Discomycetes inoperculados) y no a los Pirenomyces como se consideró durante muchos años (Glawe, 2008). Con los trabajos clásicos sobre los Erysiphales (Yarwood, 1957), era imposible referirse al anamorfo de los agentes causales de la cenicilla; sin embargo, el surgimiento de trabajos como los de Boesewinkel (1980) y Braun y Cook (2012) contribuyó al conocimiento del anamorfo y la relación de éste con el teleomorfo; estos autores introdujeron nuevos caracteres y un concepto de especie más amplio y natural; al mismo tiempo demostraron que muchas especies de cenicillas tienen un rango de hospedantes más amplio que el que se conoce.

Como lo establece Boesewinkel (1980), en la naturaleza las cenicillas se encuentran principalmente en su fase asexual. En ocasiones los investigadores subestiman una amplia variedad de

widely discussed in many publications (Braun, 1999; Braun *et al.*, 2002; Braun y Cook, 2012). In recent years, based on molecular phylogenetics, it has been shown that Erysiphales belong to the Leotiomycetes (unoperculated Discomycetes) and not to the Pirenomyces, as believed for many years (Glawe, 2008). With the classical works on the Erysiphales (Yarwood, 1957), it was impossible to refer to the anamorph of the causal agents of powdery mildew; however, research carried out by Boesewinkel (1980) and Braun and Cook (2012) contributed to the knowledge of the anamorph and its relation with the teleomorph; these authors introduced new characteristics and a wider and more natural concept of species, while showing that many powdery mildew species have a wider range of hosts than is known.

As established by Boesewinkel (1980), powdery mildews in nature are mainly found in their asexual phase. Occasionally, researchers underestimate a wide variety of morphological characteristics in the anamorphs, which are useful for identifying species. The structures considered include: the location of the mycelium in the host; the diameter and color of the hyphae; the characteristics of the haustoria, appressoria and their location in the mycelium; simple or branched conidiophores; individual conidia production or in chain; characteristics of the basal cell of the conidiophores; the shape of the conidia which varies from oval to cylindrical or lanceolated; as well as the presence of fibrosin bodies in the conidia (Boesewinkel, 1980). In most species, conidia are monomorphic, although the species *Leveillula*, *Pleochaeta* (Braun *et al.*, 2002) and *Phyllactinia* (Liberato, 2007) produce dimorphic conidia.

In Erysiphales, many species are related to certain plant families and genera, which is also useful in the process of identifying anamorphs. The morphological characteristics were combined

características morfológicas en los anamorfos, las cuales son útiles para la identificación a nivel especie. Las estructuras que se consideran, entre otras son: la ubicación del micelio en el hospedante; el diámetro y coloración de las hifas; las características de los haustorios, apresorios y su ubicación en el micelio; los conidióforos simples o ramificados; la producción individual o en cadena de conidios; las características de la célula basal del conidióforo; la forma de los conidios que varía desde ovoides a cilíndricos o lanceolados; así como, la presencia de cuerpos de fibrosina en los conidios (Boesewinkel, 1980). En la mayoría de las especies los conidios son monomórficos, aunque las especies de *Leveillula*, *Pleochaeta* (Braun *et al.*, 2002) y *Phyllactinia* (Liberato, 2007) producen conidios dimórficos.

En los Erysiphales, muchas especies están asociadas a ciertas familias y géneros de plantas lo que también es de utilidad en el proceso de identificación del anamorfo. Las características morfológicas se conjugaron y se elaboraron claves para la identificación de miembros de la familia Erysiphaceae (Boesewinkel, 1980). Posteriormente, el microscopio electrónico de barrido mostró que la pared de los conidios turgentes presenta una amplia variación (desde lisos hasta con diversas ornamentaciones) y cuando están deshidratados sus patrones de arrugamiento sinuoso, pueden ser longitudinales o transversales, reticulados, lineales, rectangulares, entre otros (Braun *et al.*, 2002). De igual manera, se encontraron diferentes patrones en la ornamentación del extremo del conidio, las cuales difieren de aquellas del resto del conidio (Cook *et al.*, 1997; Braun *et al.*, 2002; Braun y Cook, 2012). Algunos autores sostienen que las características de la pared celular son constantes pues se forman desde las capas interiores de la misma (Plumb y Turner, 1972), lo que contrasta con los apéndices del casmotecio, los cuales son modificables por la edad y factores ambientales (Cook *et al.*, 1997).

and codes were created to identify members of the family Erysiphaceae (Boesewinkel, 1980). Later, the scanning electron microscope showed that the wall of the turgid conidia presents a wide variation (from smooth to diversely ornamented) and when they are dehydrated their sinuous wrinkling patterns can be longitudinal or transverse, reticulated, linear, or rectangular, among others (Braun *et al.*, 2002). Likewise, different patterns were found in the ornamentations of the end of the conidia, which differ from those of the rest of the conidia (Cook *et al.*, 1997; Braun *et al.*, 2002; Braun and Cook, 2012). Some authors claim that the cell wall characteristics are constant, since they form from its inner layers (Plumb and Turner, 1972), which contrasts with the appendices of the chasmothecium, which are modifiable by age and environmental factors (Cook *et al.*, 1997).

The Erysiphales taxonomy manual (Braun and Cook, 2012) locates tribes and genera and considers the morphology of the teleomorph, conidial germination and the characteristics of their walls under the electron microscope; it contains codes based on the characteristics of the anamorph, as well as codes for the anamorph only. In an orderly fashion, it shows codes for species in each genus, as well as tabular codes for species based on the families and genera of the hosts. The location of the tribes and genera is based on the recent phylogenetic classification of Erysiphales and describe 873 species that include 853 figures. This work undoubtedly contributes to the identification of the causal agents of mildew.

Identifying Powdery mildews can be difficult, depending on the reproductive state of the fungus (Braun and Cook, 2012), making molecular tools very useful, particularly if applied to specimens in which the teleomorph is not observed, as well as in herbarium material (Cunnington *et al.*, 2003). In taxonomical studies at a molecular

El manual de taxonomía de los Erysiphales (Braun y Cook, 2012) ubica las tribus y géneros, y considera la morfología del teleomorfo, la germinación de los conidios y las características de la pared de éstos bajo el microscopio electrónico; contiene claves con base en las características del anamorfo y teleomorfo, y presentan claves adicionales únicamente para el anamorfo. De manera ordenada muestra claves para especies en cada género, así como claves tabulares para especies con base en las familias y géneros de los hospedantes. La ubicación de las tribus y géneros se basa en la clasificación filogenética molecular reciente de los Erysiphales y se describen 873 especies que incluyen 853 figuras. Esta obra sin duda contribuye a la identificación de los agentes causales de las cenicillas.

La identificación de las cenicillas resulta difícil dependiendo del estado reproductivo del hongo (Braun y Cook, 2012), de ahí que las herramientas moleculares sean de gran utilidad, particularmente si se aplican a especímenes donde no se presenta el teleomorfo, así como en material de herbarios (Cunnington *et al.*, 2003). En los estudios taxonómicos a nivel molecular, la región de los espaciadores transcritos internos (ITS; por su abreviatura en inglés) del ADN ribosomal (ADNr) pueden ser de utilidad para relacionar el anamorfo de los especímenes con su respectivo teleomorfo. Estudios al respecto indican que al secuenciar las regiones del ITS de 25 especímenes anamorfos y al compararse con el ITS de sus potenciales teleomorfos, en la mayoría de los casos arrojaron similitudes mayores de 99 %; aun cuando el estudio no fue concluyente para algunos especímenes, esta técnica provee información que al complementarse con morfología y rango de hospedantes, contribuye a la identificación de agentes causales de cenicillas, tal como se indica en trabajos previos (Cunnington, *et al.*, 2003; Monkhang *et al.*, 2011). Los sistemas

level, the region of the internal transcript spacers (ITS) of the ribosomal DNA (rDNA) can be very useful to relate the anamorph of the specimens with their respective teleomorphs. Studies on this indicate that sequencing the regions of the ITS in 25 anamorphic specimens, and comparing them with the ITS of their potential teleomorphs gave, in most cases, similarities of over 99 %; although the study was not conclusive for some specimens, this technique provides information that, when complemented with the morphology and range of hosts, contributes to the identification of causal agents of mildew, as indicated in previous studies (Cunnington, *et al.*, 2003; Monkhang *et al.*, 2011). The current taxonomical systems resort to the morphological characteristics, the range of hosts, and to the molecular phylogenetic information (Glawe, 2008). The use of ITS and 18S sequences of the rDNA to infer phylogenetic relations of Erysiphales began in the 1990's (Saenz *et al.*, 1994; Saenz and Taylor, 1999).

On the other hand, as in the fungal taxonomy, the nomenclature codes have also changed. In the symposium "One fungus = which name" in Amsterdam in 2012, changes in the nomenclature of pleomorphic fungi were addressed; the conclusion reached was that this type of fungi will be treated as plants and other types of organisms (Braun, 2012), and therefore, the principle "one fungus = one name" is valid as specified in the new Melbourne Code (ICN), Art. 59 (McNeill *et al.*, 2012). This principle is applicable to the nomenclature of the species that cause mildew and the assignment of only the teleomorph in the species of Erysiphales (Braun, 2013) is proposed, implying that only one name will be assigned to each species.

Below is an analysis of the information available on the current situation of mildew in economically important crops in Sinaloa, and we propose lines of investigation on this type of diseases.

taxonómicos actuales recurren a las características morfológicas, al rango de hospedantes, así como a la información filogenética molecular (Glawe, 2008). El uso de secuencias ITS y 18S del ADNr para inferir relaciones filogenéticas de Erysiphales inició en los años 90 (Saenz *et al.*, 1994; Saenz y Taylor, 1999).

Por otro lado, al igual que en la taxonomía de los hongos, los códigos de nomenclatura también han cambiado. En el simposio “Un hongo = Que nombre” con sede en Amsterdam en 2012, se abordaron cambios en la nomenclatura de los hongos pleomorfos; se concluyó que los hongos de este tipo serán tratados como plantas y otros grupos de organismos (Braun, 2012); por lo tanto, el principio “un hongo = un nombre” es válido como se especifica en el nuevo Código de Melbourne (ICN), Art. 59 (McNeill *et al.*, 2012). Dicho principio es aplicable a la nomenclatura de las especies causantes de cenicilla y se propone asignar únicamente el nombre del teleomorfo en las especies de los Erysiphales (Braun, 2013), lo que implica que se asignará sólo un nombre para cada especie.

A continuación se hace un análisis de la información disponible sobre la situación actual de las cenicillas en cultivos económicamente importantes en Sinaloa y se proponen líneas de investigación sobre este tipo de enfermedades.

ETIOLOGÍA DE LAS CENICILLAS EN CULTIVOS DE SINALOA

Cenicilla de las cucurbitáceas

Aun cuando estudios previos habían consignado a *Erysiphe cichoracearum* como agente causal de la cenicilla de las cucurbitáceas (Alvarez, 1976; Cebreros *et al.*, 1991), la primer publicación en la que se incluyó morfometría del anamorfo y el teleomorfo para la identificación de la cenicilla de

ETHIOLOGY OF MILDEW IN PLANTATIONS IN SINALOA

Cucurbit Powdery Mildew

Although previous studies had confirmed *Erysiphe cichoracearum* as a causal agent of the cucurbit powdery mildew (Alvarez, 1976; Cebreros *et al.*, 1991), the first paper that included morphometry and the teleomorph for the identification of cucurbit mildew in Sinaloa was published in 2005. Using the signs of the pathogen collected from various types of pumpkin, melon, watermelon, and gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standley), a morphometric analysis was carried out on both the anamorph and teleomorph, resorting to light microscopes and scanning electron microscopes (Figure 1. A-F). The images of *Euoidium* conidia under the scanning electron microscope, the type of host, and the characteristics of the anamorph helped obtain a preliminary identification of *Podosphaera* (sect. *Sphaerotheca*) *xanthii* (Castagne) U. Braun and N. Shishkoff, (*sin. Sphaerotheca fuliginea* (Schelechtend.:Fr.) Pollacci) as the species related to cucurbit mildew (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Studies on the teleomorph of different types of pumpkin helped confirm the identity of the fungus, as performed in California, U.S.A (Kontaxis, 1978), although this phase of the organism was not found in melon, gourd, or watermelon, even though commercial plantations of these crops were damaged by mildew and were sometimes adjacent to cucumber or pumpkin plantations where the teleomorph was found (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Later studies on the cucumber mildew in the Valley of Culiacán, Sinaloa helped identify the anamorph and teleomorph of *P. xanthii* in cucumbers, by means of morphological and molecular studies. Also, the presence of physiological breeds 1, 2F, 4, and

las cucurbitáceas en Sinaloa, se publicó en 2005. De los signos del patógeno colectados en varios tipos de calabaza, melón, sandía y bule (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standley), se realizó un análisis morfológico tanto del anamorfo como del teleomorfo, recurriendo a microscopía de luz y microscopía electrónica de barrido (Figura 1. A-F). Las imágenes de los conidios tipo *Euoidium* bajo el microscopio electrónico de barrido, el tipo de hospedante y las características del anamorfo permitieron la identificación preliminar de *Podosphaera* (sect. *Sphaerotheca*) *xanthii* (Castagne) U. Braun y N. Shishkoff, (sin. *Sphaerotheca fuliginea* (Schelechtend.:Fr.) Pollacci) como la especie asociada a la cenicilla de las cucurbitáceas (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Estudios del teleomorfo en diferentes tipos de calabaza permitieron confirmar la identidad del hongo, tal como se realizó en California, EUA (Kontaxis, 1978), pero esta fase del organismo no se encontró en melón, bule y sandía aun cuando plantaciones comerciales de estos cultivos se encontraban dañados por cenicilla y en ocasiones colindaban con lotes de pepino o calabaza donde se encontraba el teleomorfo (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Estudios posteriores sobre la cenicilla del pepino en el Valle de Culiacán, Sinaloa, permitieron la identificación del anamorfo y teleomorfo de *P. xanthii* en pepino, mediante estudios morfológicos y moleculares. Se consignó además, la presencia de las razas fisiológicas 1, 2F, 4, y 5 (Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012). De acuerdo a Ballantyne (1975) *Erysiphe cichoracearum* (sin. *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) V.P. Heluta), *Leveillula taurica* (Lév.) G. Arnaud, *Erysiphe communis* (Wallr.) Schltdl., *Erysiphe polygoni* DC. y *Erysiphe polyphaga* Hammarl. se han encontrado asociadas a la enfermedad en otras partes del mundo; sin embargo, estas especies no se encontraron en las diferentes cucurbitáceas estudiadas durante

5 were also confirmed (Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012). According to Ballantyne (1975) *Erysiphe cichoracearum* (sin. *Golovinomyces cichoracearum* (DC.) V.P. Heluta), *Leveillula taurica* (Lév.) G. Arnaud, *Erysiphe communis* (Wallr.) Schltdl., *Erysiphe polygoni* DC. and *Erysiphe polyphaga* Hammarl. have been found to be related to the disease in other parts of the world; however, these species were not found in the different cucurbits studied in four agricultural cycles (2000 to 2004) in northern Sinaloa (Félix-Gastélum *et al.*, 2005), which coincides with studies on cucumber mildew in the Valley of Culiacán (Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012). However, in the Czech Republic *P. xanthii* and *G. cichoracearum* were found in one species of cucurbit (Lebeda *et al.*, 2004).

The absence of the teleomorph in melon, gourd, and watermelon in Sinaloa is difficult to explain; however, the fungus could be heterotallic, as is the case in *P. xanthii* (McGrath, 1994) and other mildew-causing species (Yarwood, 1935; Schnathorst, 1959; Smith, 1970; Coyier, 1972). Chasmothecia are not formed in all the species and varieties of cucurbitáceas (Khan and Khan, 1970), and in Sinaloa these were found in different types of pumpkins and cucumbers at the end of the cycle (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Previous studies indicate that the formation of chasmothecia begins when the formation of conidia decreases or stops due to the presence of the host, or otherwise by environmental and handling factors, such as limited nourishment conditions, low humidity levels and low temperatures (Yarwood, 1935). Environmental conditions that promote the development of mildew also influence the development of the teleomorph, since a greater foliar area covered by the fungus increases the probabilities of reproduction, and therefore the formation of chasmothecia (Schnathorst, 1965).

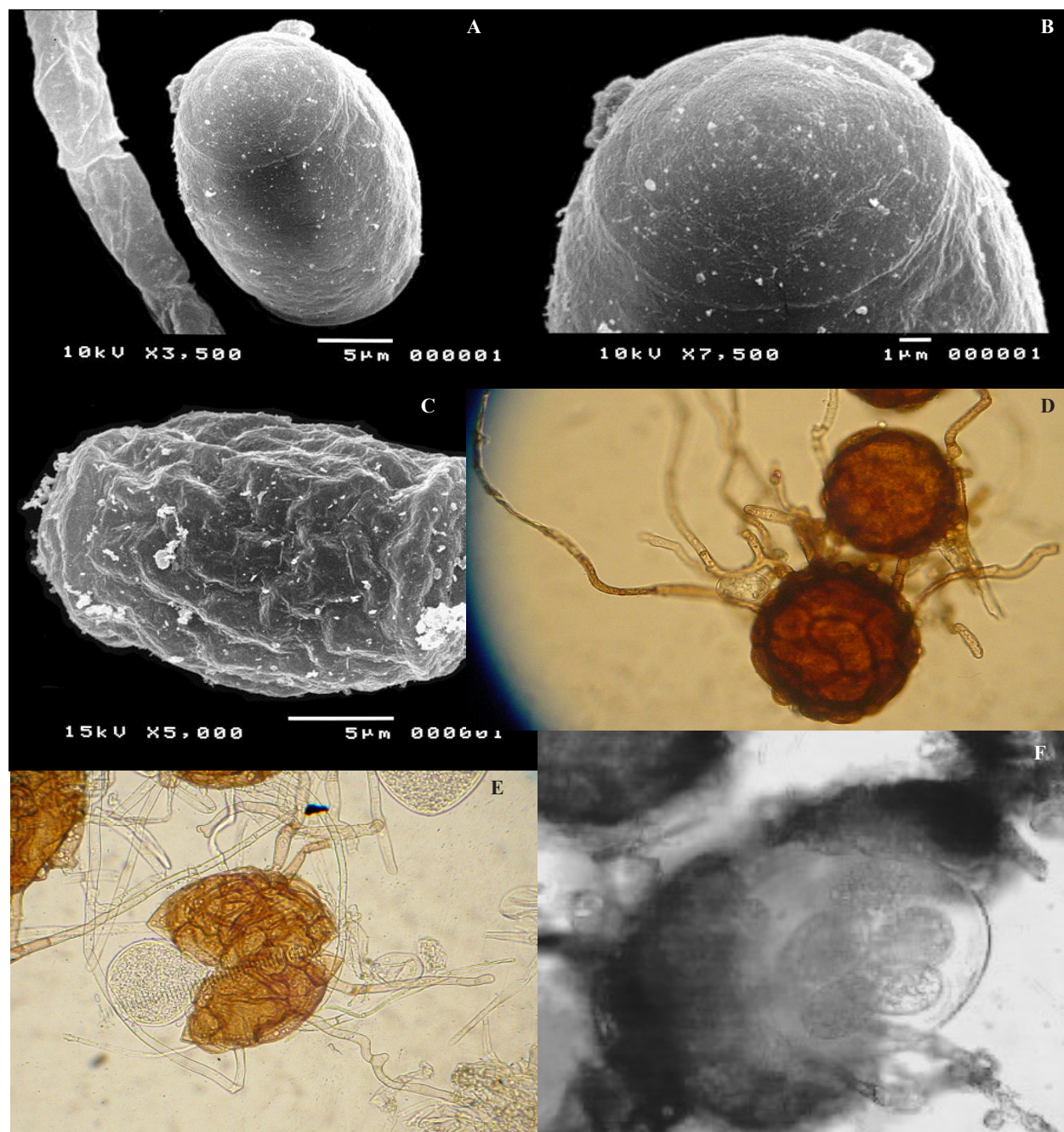


Figura 1. Micrografía con microscopía electrónica de barrido de *Podosphaera xanthii* en calabaza: A) Pared lisa del conidio, B) Parte terminal del mismo con anillos concéntricos tenues y proyecciones lobulares, C) Conidio parcialmente deshidratado con ondulaciones longitudinales y transversales. D) Casmotecios con apéndices miceliales septados. E) Asca hialina inmadura en un casmotecio parcialmente abierto. F) Asca con ascosporas en su interior.

Figure 1. Micrography with a scanning electron microscope of *Podosphaera xanthii* in pumpkin: A) Smooth conidium wall, B) Terminal part of the same structure with faint concentric rings and lobular projections, C) Partially dehydrated conidium with longitudinal and transversal wrinkles. D) Casmotecios with mycelial appendices with septa. E) Immature hyaline ascus in a partially open casmotecio. F) Ascus with ascospores inside.

cuatro ciclos agrícolas (2000 a 2004) en el norte de Sinaloa (Félix-Gastélum *et al.*, 2005), lo cual coincide con estudios sobre la cenicienta del pepino en el Valle de Culiacán (Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012). Sin embargo, en la República Checa se encontró a *P. xanthii* y *G. cichoracearum* en una misma especie de cucurbitácea (Lebeda *et al.*, 2004).

La ausencia del teleomorfo en plantas de melón, bule y sandía en Sinaloa resulta difícil de explicar; sin embargo, puede ser que el hongo sea heterotálico tal como sucede en *P. xanthii* (McGrath, 1994) y otras especies causantes de cenicientas (Yarwood, 1935; Schnathorst, 1959; Smith, 1970, Coyier, 1972). Los casmotecios no se forman en todas las especies y variedades de cucurbitáceas (Khan y Khan, 1970); y en Sinaloa éstos se encontraron en los diferentes tipos de calabaza y pepino, al final del ciclo de cultivo (Félix-Gastélum *et al.*, 2005). Estudios previos indican que la formación de casmotecios inicia cuando la formación de conidios disminuye o cesa por la senescencia del hospedante, o bien por factores ambientales y de manejo tales como las condiciones de nutrición limitadas, bajos niveles de humedad y baja temperatura (Yarwood, 1935). Las condiciones ambientales altamente favorables para el desarrollo de las cenicientas también influyen en el desarrollo del teleomorfo, pues a mayor área foliar cubierta por el hongo las probabilidades de apareamiento de los diferentes tipos de compatibilidad se incrementan y con ello la formación de casmotecios (Schnathorst, 1965).

Cenicienta del tomatillo

(*Physalis philadelphica* Lam.). El agente causal de la cenicienta del tomatillo se identificó como *P. xanthii* mediante el estudio de las características morfológicas del anamorfo e imágenes de los conidios bajo el microscopio compuesto (Figura 2 A y B) y el microscopio electrónico de barrido (Figura

Mildew in tomatillo

(*Physalis philadelphica* Lam.). The causal agent of mildew in tomatillo was identified as *P. xanthii* with a study on the morphometric characteristics of the anamorph and images of the conidia under the compound microscope (Figure 2 A and B) and the scanning electron microscope (Fig. 2 C); no structures were found that revealed the presence of the teleomorph of the fungus in infected plants (Félix-Gastélum *et al.*, 2007). Once again it was proven that the characteristics of the anamorph contributed towards the preliminary identification of mildew in tomatillo, as mentioned by other authors (Boesewinkel, 1980; Braun *et al.*, 2002; Braun y Cook, 2012). It is worth pointing out that in the bibliography there are only two reports of this disease: one in California, U.S.A. (Koike and Smith, 1988) and another in Taiwan (Cheng *et al.*, 2006). Preliminary results indicate that the causal agent of pumpkin mildew does not attack tomatillo, nor does mildew in tomatillo attack pumpkin (Félix-Gastélum, results not published), which corresponds with previous studies, which mention that most species that cause powdery mildew are specific to certain hosts; however, there are various species of this group of fungus that have a wide range of hosts, such as *Erysiphe quercicola* S. Takam. and U. Braun, which attacks temperate climate plants and some species of tropical trees (Takamatsu *et al.*, 2007).

Mildew in beans (*Phaseolus vulgaris* L.)

Regional literature has referred to *E. polygoni* as a causal agent of the bean plant (León-Gallegos, 1988). The first study to mention the morphometry of the anamorph and de molecular identification of the causal agent of the disease in Sinaloa was published recently (Félix-Gastélum *et al.*, 2011).

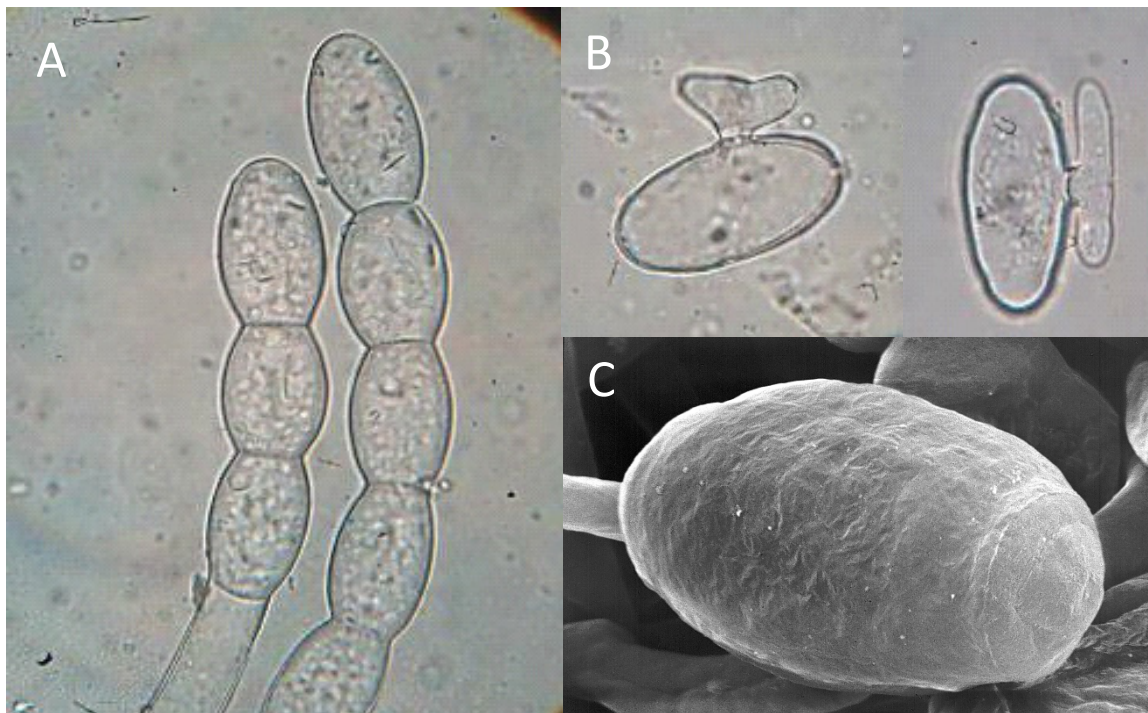


Figura 2. A) Conidióforos tipo *Euoidium* de cenicilla de tomatillo con conidios inmaduros y márgenes crenados característicos de *Podosphaera* (sect. *Sphaerotheca*) *xanthii*. B) Conidios con tubo germinativo bifurcado originándose en la parte media del conidio. C) Micrografía con microscopía electrónica de barrido de conidio maduro con pared lisa.

Figure 2. A) Mildew *Euoidium* conidiophora in tomatillo mildew with immature conidia and crenellated edges, typical of *Podosphaera* (sect. *Sphaerotheca*) *xanthii*. B) Conidia with forked germinative tube originating in the middle section of the conidium. C) Micrography with a scanning electron microscope of a mature conidium with a smooth wall.

2 C); no se encontraron estructuras que revelaran la presencia del teleomorfo del hongo en plantas infectadas (Félix-Gastélum *et al.*, 2007). De nuevo, se demostró que las características del anamorfo contribuyeron en la identificación preliminar de la cenicilla del tomatillo, tal como se menciona por otros autores (Boesewinkel, 1980; Braun *et al.*, 2002; Braun y Cook, 2012). Es importante señalar que, en la literatura sólo existen dos reportes de esta enfermedad: uno en California, EUA (Koike y Smith, 1988) y otro en Taiwán (Cheng *et al.*, 2006). Resultados preliminares indican que el agente causal de la cenicilla de la calabaza no ataca al tomatillo y la de tomatillo no ataca a calabaza (Félix-Gastélum, resultados no publicados), lo cual coincide

Faced with the absence of the teleomorph, we resorted to morphometric studies of the anamorph, which was complemented with images of conidia under a scanning electron microscope (Figure 3. A and B). In addition, the ITS amplification of the rDNA confirmed the causal agent as *Pseudoidium* (Cook *et al.*, 1997), anamorph of *Erysiphe diffusa* (Cooke and Peck) U. Braun and S. Takam. (Takamatsu *et al.*, 2007).

Fortunately, mildew is not an important disease in Azufrado Higuera, the predominant bean variety in the region, but it is severe in creeping bean varieties, which account for less than 10% of the surface planted in Sinaloa. As in Brazil (Almeida *et al.*, 2008), the *E. diffusa* teleomorph has been

con estudios previos donde se menciona que la mayoría de las especies causantes de cenicillas son específicas para ciertos hospedantes; sin embargo, existen varias especies de este grupo de hongos que poseen un amplio rango de hospedantes, como el caso de *Erysiphe quercicola* S. Takam. y U. Braun el cual ataca a plantas de climas templados y algunas especies de árboles tropicales (Takamatsu *et al.*, 2007).

Cenicilla del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

La literatura regional se ha referido a *E. polygoni* como agente causal de la cenicilla del frijol (León-Gallegos, 1988). El primer estudio donde se aborda la morfometría del anamorfo y la identificación molecular del agente causal de la enfermedad en Sinaloa se publicó en años recientes (Félix-Gastélum *et al.*, 2011). Ante la ausencia del teleomorfo del hongo, se recurrió a estudios morfométricos del anamorfo, lo cual se complementó con imágenes de conidios al microscopio electrónico de barrido (Figura 3. A y B). Adicionalmente, la amplificación de ITS del ADNr confirmó al agente causal como *Pseudoidium* (Cook *et al.*, 1997), anamorfo de *Erysiphe diffusa* (Cooke y Peck) U. Braun y S. Takam. (Takamatsu *et al.*, 2007).

Afortunadamente, la cenicilla no es una enfermedad importante en frijol Azufrado Higuera, la variedad predominante en la región, pero es severa en variedades de frijol de hábito prostrado, los cuales representan menos del 10 % de la superficie sembrada en Sinaloa. Al igual que en Brasil (Almeida *et al.*, 2008), el teleomorfo de *E. diffusa* no se ha observado en Sinaloa, por lo que se infiere que algunos hospedantes alternos podrían representar un papel importante en el ciclo de vida y supervivencia del patógeno. Algunas leguminosas silvestres podrían actuar como puente para la sobrevivencia del patógeno en ausencia de frijol. Esta

observada en Sinaloa, therefore some alternate hosts are inferred to play an important part in the life cycle and survival of the pathogen. Some wild legumes could act as a bridge for the survival of the pathogen in the absence of bean plants. This line of investigation, once explored, will surely contribute to understanding the biology of the pathogen and the epidemiology of the disease.

Mildew in mango

(*Mangifera indica* L.). Mildew in mango is one of the most common and widespread diseases in the world (Nasir *et al.*, 2014), causing losses of up to 90 % when it appears during flowering (Misra, 2001). In Sinaloa, although sometimes underestimated by producers, this disease can cause losses of up to 70 % when it occurs at the beginning of the flowering period, during the months of January and February. The fungus attacks young tissues, mainly, including leaves, petioles, flower scales, flower buds, and fruits in initial development stages (Singh, 1960), symptoms which have also been observed in Sinaloa for decades. Regional literature referred to *Oidium mangiferae* Berthet as a causal agent of the disease for many years (Ramírez-Villapudúa *et al.*, 2006).

Based on morphometric studies, images of conidia under a scanning electron microscope (Figure 4 A y B), as well as molecular studies and phylogenetic analyses of the anamorph, the causal agent of the disease in Sinaloa was established to be *Pseudoidium anacardii* (F. Noack) U. Braun and R.T.A. Cook with *E. quercicola* as a teleomorph (Félix-Gastélum *et al.*, 2013). As in other mango-producing areas of the world (Nasir *et al.*, 2014), in northern Sinaloa the teleomorph was not found in specimens collected in mango vars. Kent and Keith in commercial or backyard orchard trees (Félix-Gastélum *et al.*, 2013). In other parts of

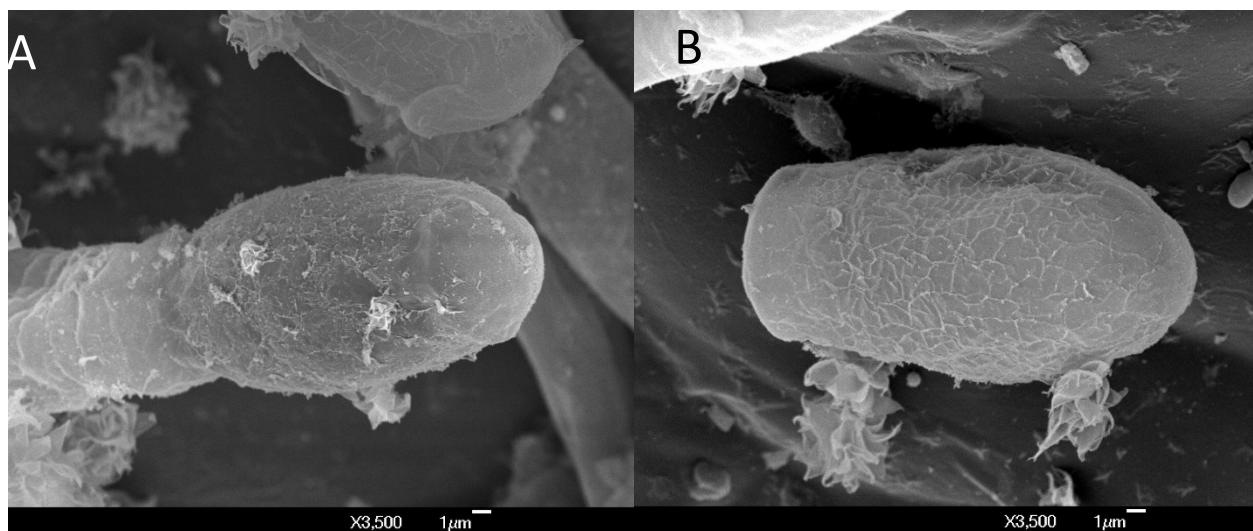


Figura 3. Micrografía con microscopía electrónica de barrido de *Erysiphe diffusa* en frijol: A) Conidio inmaduro unido al conidióforo tipo *Pseudoidium* y B) Conidio maduro, con reticulación en su pared.

Figure 3. Micrography with a scanning electron microscope of *Erysiphe diffusa* in bean plants: A) Immature conidium joined to the *Pseudoidium* conidium, and B) Mature conidium, with a cross-link on its wall.

línea de investigación, una vez explorada, seguramente contribuirá al entendimiento de la biología del patógeno y a la epidemiología de la enfermedad.

Cenicilla del mango (*Mangifera indica* L.).

La cenicilla del mango es una de las enfermedades más comunes y más ampliamente diseminadas en el mundo (Nasir *et al.*, 2014), causando pérdidas hasta del 90 % cuando se presenta en floración (Misra, 2001). En Sinaloa, aunque en ocasiones subestimada por los productores, esta enfermedad puede causar hasta 70 % de pérdidas cuando ocurre al inicio de la floración durante los meses de enero y febrero. El hongo ataca principalmente al tejido joven incluyendo hojas, peciolo, escamas florales, yemas florales, y frutos en estados iniciales de desarrollo (Singh, 1960), síntomas que también se han observado en Sinaloa desde hace décadas. La literatura regional se refirió a *Oidium mangiferae* Berthet

the world, the fungus hibernates as mycelia or haustoria in buds or where it can remain in the dense tree canopies (Nasir *et al.*, 2014); its form of survival during the summer in Sinaloa is unknown. Dilucidating the form of survival of the *P. anacardii* anamorph remains as a future line of research. On the other hand, studies carried out in Guerrero and Michoacan indicated that the maximum severity of mildew in mango coincided with periods with temperatures of 20 °C and a relative humidity of 22-60 % in the first two flowering flushes; however, the third flush coincided with temperatures of 20-25 °C and a relative humidity of 60-80 %. Phenological stages 1 to 6 (swollen bud and elongation of panicles) behaved as tolerant, whereas stages 7 and 8 (floral opening) were considered susceptible and 9, 10 and 11 (full bloom and fruit growth) as highly susceptible (Guillen-Sánchez *et al.*, 2004). The efficient handling of powdery mildew in mango in Sinaloa requires the implementation of this type of studies, which integrate the relationship

como agente causal de la enfermedad durante muchos años (Ramírez-Villapudúa *et al.*, 2006).

Con base en estudios morfométricos, imágenes de conidios al microscopio electrónico de barrido (Figura 4 A y B), así como estudios moleculares y análisis filogenéticos del anamorfo, se determinó que el agente causal de la enfermedad en Sinaloa es *Pseudoidium anacardii* (F. Noack) U. Braun y R.T.A. Cook con *E. quercicola* como teleomorfo (Félix-Gastélum *et al.*, 2013). Al igual que en otras zonas productoras de mango en el mundo (Nasir *et al.*, 2014), en el Norte de Sinaloa no se encontró el teleomorfo en especímenes colectados en mangos vars. Kent y Keith en árboles de huertas comerciales y de traspatios (Félix-Gastélum *et al.*, 2013). En otras partes del mundo el hongo inverna como micelio o haustorios en yemas o puede permanecer en el follaje denso de los árboles (Nasir *et al.*, 2014); se desconoce la forma de supervivencia durante el verano en Sinaloa. El dilucidar la forma de supervivencia del anamorfo de *P. anacardii* permanece como futura línea de investigación. Por otro lado,

between relative humidity, temperature and the phenology of the host with the severity of the disease. Also, the factor inherent to the varieties should be contemplated, since although the Kent variety is predominant, other cultivars such as Ataulfo, Haden, Keith and Tommy Atkins have been included in the production of mango in recent years.

Mildew in rosebushes

(*Rosa* spp.). On a global scale, mildew is the most common and important disease in rosebushes (Leus *et al.*, 2006) in greenhouses and in open fields (Hosseini *et al.*, 2014). However, no studies had been carried out in Sinaloa to elucidate the identity of the causal agent. Faced with the absence of the teleomorph, the anamorph was identified using morphometry, light microscopes, and scanning electron microscopes, as well as the amplification of the ITS region of the rDNA. The conclusion was that the causal agent of the disease is *Oidium*

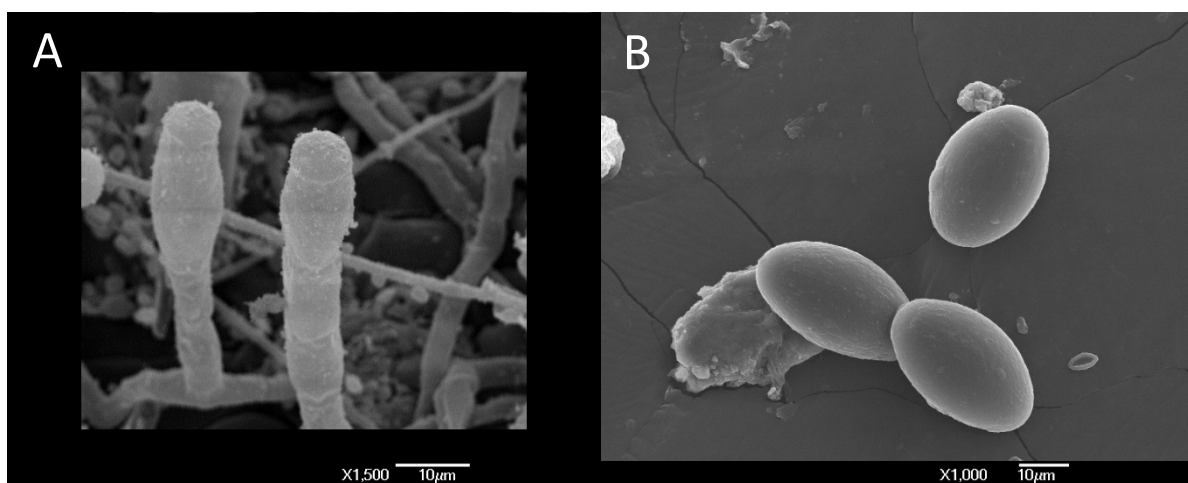


Figura 4. Micrografía con microscopía electrónica de barrido de *Pseudoidium anacardii* en mango: A) Conidióforo tipo *Pseudoidium* con conidio inmaduro y B) Conidios maduros ovoides con pared lisa.

Figure 4. Micrography with a scanning electron microscope of *Pseudoidium anacardii* in mango: A) *Pseudoidium* conidiophore with immature conidium, and B) Oval mature conidia with smooth wall.

estudios realizados en Guerrero y Michoacán indicaron que la severidad máxima de la cenicilla del mango coincidió con períodos de temperatura de 20 °C y humedad relativa de 22-60 % en los dos primeros flujos de floración; sin embargo, el tercer flujo de floración coincidió con temperaturas de 20-25 °C y humedad relativa de 60-80 %. Las etapas fenológicas 1 a 6 (yema hinchada y elongación de panículas) se comportaron como tolerantes, mientras que las etapas 7 y 8 (apertura floral) se consideraron susceptibles y la 9, 10 y 11 (floración plena e inicio del desarrollo del fruto) como muy susceptibles (Guillen-Sánchez *et al.*, 2004). El manejo eficiente de la cenicilla del mango en Sinaloa requiere de la implementación de este tipo estudios, en los que se integren la relación entre la humedad relativa, la temperatura y la fenología del hospedante con la severidad de la enfermedad. Además, deberá contemplarse, el factor inherente a las variedades, pues aunque predomina la variedad Kent, otros cultivares como Ataulfo, Haden, Keith y Tommy Atkins, se han incluido en la producción de mango en años recientes.

Cenicilla del rosal (*Rosa* spp.).

A nivel mundial, la cenicilla es la enfermedad más común e importante en rosas (Leus *et al.*, 2006) en invernadero y a campo abierto (Hosseini *et al.*, 2014). Sin embargo, en Sinaloa no se habían realizado estudios para dilucidar la identidad del agente causal. Ante la ausencia del teleomorfo, la identificación del anamorfo se logró mediante la aplicación de morfometría, microscopía de luz y microscopía electrónica de barrido, así como la amplificación de la región ITS del ADNr. Se concluyó que el agente causal de la enfermedad es *Oidium* (= *Euoidium*) *leucoconium* con *Podosphaera pannosa* (Wallr.) de Bary como teleomorfo (Félix-Gastélum *et al.*, 2014). Aun cuando el teleomorfo no

(= *Euoidium*) *leucoconium* with Bary *Podosphaera pannosa* (Wallr.) as a teleomorph (Félix-Gastélum *et al.*, 2014). Although the teleomorph has not been observed in Sinaloa, it has been confirmed in Korea (Shin, 1999; Lee *et al.*, 2011) and Yugoslavia (Ranković and Čomić, 1997). In other latitudes, in rosebushes planted in the open, the fungus hibernates as a mycelium in leaf bud primordia; in the spring, when the new tissue emerges from the buds, the fungus produces plenty of inoculant, which is dispersed and infects healthy tissue. Although chasmothecia have been found on damaged tissue, its presence is erratic, therefore its efficiency as a means of survival is unlikely (Horst, 1983). In Sinaloa, the survival of the fungus in the summer could take place in bud primordia or leaves which remain attached after trimming, in such a way that in the winter and spring, the disease presents itself again in the rosebushes.

Mildew in tomato

(*Solanum lycopersicum* L.). This disease was first reported in Sinaloa in the 1979-1980 cycle (Sánchez-Castro, 1983). The causal agent was identified as *Oidiopsis taurica* (Lév.) E.S. Salmon, which was only supported using a morphometry of the anamorpha, since the teleomorph was not found in the mentioned cycle or in the following ones. According to Hirata (quoted by Correl *et al.*, 1987) the pathogen infects 710 plant species included in 290 genera of 59 families, predominantly annual, although it also infects perennial plants such as olives and others. The disease has also been found in eggplant in the Valley of Culiacán where it is considered less important, since it presents itself sporadically, and because the damages it causes are not significant (Cebreros-Sánchez and Sánchez-Castro, 1998). It is worth pointing out that the symptoms of mildew, similar to those observed

se ha observado en Sinaloa, éste se ha consignado en Korea (Shin, 1999; Lee *et al.*, 2011) y Yugoslavia (Ranković y Čomić, 1997). En otras latitudes, en rosales cultivados en campo abierto, el hongo inverna como micelio en primordios de yemas de las hojas; en primavera, cuando el nuevo tejido emerge de las yemas el hongo produce abundante inóculo el cual se dispersa e infecta el tejido sano. Aun cuando se han encontrado casmotecios sobre el tejido dañado, su presencia es errática, por lo que su eficacia como medio de supervivencia es poco probable (Horst, 1983). En Sinaloa, la supervivencia del hongo durante el verano podría ocurrir en primordios de yemas o en hojas que permanecen adheridas después de las podas, de tal manera que durante el invierno y primavera, la enfermedad se presenta de nuevo en los rosales.

Cenicilla del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

Esta enfermedad se reportó por primera vez en Sinaloa en el ciclo hortícola 1979-1980 (Sánchez-Castro, 1983). El agente causal se identificó como *Oidiopsis taurica* (Lév.) E.S. Salmon, lo cual sólo se sustentó con morfometría del anamorfo, pues el teleomorfo no se encontró en dicho ciclo agrícola ni en los subsiguientes. De acuerdo a Hirata (citado por Correl *et al.*, 1987) el patógeno infecta a 710 especies de plantas incluidas en 290 géneros de 59 familias, predominantemente anuales, aunque también infecta a plantas perennes como el olivo y otras plantas perennes. La enfermedad también ha sido consignada en berenjena en el Valle de Culiacán donde se le considera de menor importancia, debido a que se presenta en forma esporádica y porque los daños que ocasiona no son de trascendencia (Cebrenros-Sánchez y Sánchez-Castro, 1998). Es importante señalar que los síntomas de cenicilla, similares a los observados en tomate y berenjena, también se han observado en la planta ornamental

in tomato and eggplant, have also been observed in the ornamental plant known as the Jerusalem cherry (*Solanum pseudocapsicum* L.) and the ruderal plant known as the silverleaf nightshade (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) (Félix-Gastélum, not published). Although mildew has appeared at epidemic levels in tomato, there are no studies that support the identification of the pathogen in plants cultivated plants, as well as in the ornamental and ruderal plants mentioned above; also, its role in the ecology of the pathogen and the epidemiology of the disease are unknown.

FUTURE LINES OF INVESTIGATION ON POWDERY MILDEW IN SINALOA

The knowledge of mildew in Sinaloa and the rest of Mexico is limited. Even after having identified the anamorph of some species, considering their morphometry, including images of conidia under the scanning electron microscope, as well as molecular studies in some of them, there is much room for exploration in regards to identifying the causal agents of this type of diseases; for example, in melon, watermelon, gourd, and tomatillo, the fungus related to mildew was identified preliminarily as the anamorph of *P. xanthii*. However, additional studies that include molecular and phylogenetic analyses are justified as support elements for the identification of the pathogen.

In virtue of the fact that the teleomorph of the causal agent of mildew in bean, mango, and rosebush has not been described, either, the identity of a broader group of specimens related to their respective hosts must be developed in Sinaloa, since preliminary works included an average of ten specimens in northern Sinaloa. Also, it is important to research its alternate potential hosts or other forms of survival in the absence of economically

denominada cereza de Jerusalén (*Solanum pseudocapsicum* L.) y la planta ruderal conocida como trompillo (*Solanum elaeagnifolium* Cav.) (Félix-Gastélum, no publicado). Aun cuando la cenicilla del tomate se ha presentado en niveles epidémicos, no existen estudios que sustenten la identificación del patógeno en plantas cultivadas así como en la ornamental y en la ruderal antes mencionadas, además de que su papel en la ecología del patógeno y la epidemiología de la enfermedad se desconoce.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN SOBRE LAS CENICILLAS EN SINALOA

El conocimiento de las cenicillas en Sinaloa y el resto de México es limitado. Aun cuando se ha identificado el anamorfo de algunas especies, considerando su morfometría, incluyendo imágenes de conidios al microscopio electrónico de barrido, así como estudios moleculares en algunas de ellas, existe un amplio espacio por explorar en lo relativo a la identificación de los agentes causales de este tipo de enfermedades; por ejemplo, en melón, sandía, bule y tomatillo el hongo asociado a la cenicilla se identificó preliminarmente como el anamorfo de *P. xanthii*; sin embargo, se justifican estudios adicionales donde se incluyan análisis moleculares y filogenéticos como elementos de soporte para la identificación del patógeno.

En virtud de que el teleomorfo del agente causal de la cenicilla del frijol, mango y rosal tampoco se ha descrito, la identidad de un grupo más amplio de especímenes asociados a sus respectivos hospedantes se deberá desarrollar en Sinaloa, pues en trabajos preliminares se incluyeron en promedio diez especímenes del norte de Sinaloa. Además, es importante el desarrollo de investigación sobre sus potenciales hospedantes alternos u otras formas de supervivencia en ausencia de los hospedantes económicamente importantes, ya que esto contribuirá

important hosts, since this will contribute to the knowledge on the life cycle of these pathogens, crucial for the design of disease management strategies.

Although the teleomorph in many species of Erysiphales is unknown, mainly in tropical and subtropical areas (Monkhung *et al.*, 2011), the characteristics of the anamorph, as described by Boesewinkel (1980), as well as the images of conidial walls under the scanning electron microscope (Cook *et al.*, 1997; Braun *et al.*, 2002), the range of hosts (Cook *et al.*, 1997), as well as molecular and phylogenetic analyses (Cunnington *et al.*, 2003) are elements that contribute thoroughly to the identification of species that cause mildew, which is important for the management of this type of diseases and in the genetic breeding programs aimed at obtaining hybrids and resistant varieties.

The host range of Erysiphales has been studied broadly and it is known that a limited number of species hold a wide range of hosts, such as in the cases of *L. taurica* (Braun and Cook, 2012; Palti, 1988) and *E. polygoni* (Salmon, 1900). Based on these precedents, it is important to determine the pathogenicity of *tomatillo P. xanthii* in cucurbits and vice-versa, since both hosts present symptoms of the disease in the autumn-winter agricultural cycle in northern Sinaloa. Usually, a plant species is only host to one species of mildew, but *Erysiphe trina* Harkn., *Microsphaera alni* (DC.) G. Winter, and *Phyllactinia corylea* (Pers.) P. Karst. were identified in species of *Quercus* (Yarwood, 1973).

In Sinaloa in the two only studies in several species of cucurbits, only *P. xanthii* is found (Félix-Gastélum *et al.*, 2005; Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012), although for many years *G. cichoracearum* was mentioned as a causal agent of the disease (León-Gallegos, 1988). Nowadays, the reason for, and ways in which, *P. xanthii* displaced *G. cichoracearum* in the region are unknown, or

al conocimiento del ciclo de vida de estos patógenos, aspecto esencial para diseñar estrategias de manejo de la enfermedad.

Aun cuando el teleomorfo de muchas especies de Erysiphales se desconoce, principalmente en áreas tropicales y subtropicales (Monkhung *et al.*, 2011), las características del anamorfo tal como lo describe Boesewinkel (1980), así como imágenes de la pared de los conidios al microscopio electrónico de barrido (Cook *et al.*, 1997; Braun *et al.*, 2002), el rango de hospedantes (Cook *et al.*, 1997), además de análisis moleculares y filogenéticos (Cunnington *et al.*, 2003) son elementos que de manera integral contribuyen a la identificación de las especies causantes de cenicillas, lo cual es importante en el manejo de este tipo de enfermedades y en los programas de mejoramiento genético orientados hacia la obtención de híbridos y variedades resistentes.

El rango de hospedantes de los Erysiphales se ha estudiado ampliamente y se sabe que un número limitado de especies poseen un amplio rango de hospedantes como en los casos de *L. taurica* (Braun y Cook, 2012; Palti, 1988) y *E. polygoni* (Salmon, 1900). Con base a estos antecedentes, es importante determinar la patogenicidad de *P. xanthii* de tomatillo en cucurbitáceas y viceversa, pues ambos hospedantes presentan síntomas de la enfermedad durante el ciclo agrícola otoño-invierno en el Norte de Sinaloa. Por lo general, una especie de planta sólo es hospedante de una especie de cenicilla pero en especies de *Quercus* se identificaron *Erysiphe trina* Harkn., *Microsphaera alni* (DC.) G. Winter y *Phyllactinia corylea* (Pers.) P. Karst. (Yarwood, 1973).

En Sinaloa en los dos únicos estudios en varias especies de cucurbitáceas, sólo se encuentra *P. xanthii* (Félix-Gastélum *et al.*, 2005; Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012), aun cuando por muchos años se mencionó a *G. cichoracearum* como agente causal de

perhaps previous efforts were not made to correctly identify the pathogen. The presence of *P. xanthii* as the only species related to cucurbits in Sinaloa (Félix-Gastélum *et al.*, 2005; Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012) coincides with earlier reports that record its presence in Spain, Israel, and Turkey as the only species present in cucurbits, whereas in some countries *G. cichoracearum* and *P. xanthii* were found in coinfections or individually (Křístková *et al.*, 2009).

Although *P. xanthii* chasmothecia have been found in diverse types of pumpkin and cucumber in Sinaloa, there is no knowledge on its potential as a source of primary inoculant for the outbreak of epidemics in cucurbits in the following agricultural cycle. There are few species of causal agents of mildew in which the infection process of ascospores has been determined (Jarvis *et al.*, 2002), as in the case of *Erysiphe necator* Schwein., the ascospores of which germinated, produced appressoria 12 h after inoculation at 20 °C, and immediately afterwards, somatic structures typical of the pathogen appeared on the inoculated leaves (Pearson and Gadoury, 1987). The survival of the chasmothecia during the summer after its incorporation with the stubble that takes place in postharvest is questionable in Sinaloa, since unlike sclerotia, such structures of sexual origin are not capable of surviving on the ground in summer, although its survival in wild cucurbits must also be taken into account. In this sense, in Sinaloa mildew symptoms have been observed in buffalo gourd (*Cucurbita foetidissima* Kunth.), as in the Czech Republic (Lebeda *et al.*, 2004). Studies on its role and that of other wild cucurbits as potential sources of inoculants are worthy of attention, since *P. xanthii* has been found to infect species of the families Asteraceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae and Solanaceae (Pérez-García *et al.*, 2009). In recent years, the fungus has been found in association with

la enfermedad (León-Gallegos, 1988). Actualmente se desconocen las razones y cuándo *P. xanthii* desplazó a *G. cichoracearum* en la región o quizás no se realizaron esfuerzos previos para la identificación correcta del patógeno. La presencia de *P. xanthii* como única especie asociada a las cucurbitáceas en Sinaloa (Félix-Gastélum *et al.*, 2005; Bojórquez-Ramos *et al.*, 2012) coincide con reportes previos que la registran en España, Israel y Turquía como la única especie presente en cucurbitáceas; mientras que, en algunos países *G. cichoracearum* y *P. xanthii* se encontraron en coinfecciones o en forma individual (Křístková *et al.*, 2009).

Aun cuando los casmotecios de *P. xanthii* se han encontrado en diversos tipos de calabaza y pepino en Sinaloa, se desconoce su potencial como fuentes de inóculo primario para el brote de epidemias en cucurbitáceas en el ciclo agrícola siguiente. Son pocas las especies de agentes causales de cenicilla en las que se ha determinado el proceso de infección de las ascosporas (Jarvis *et al.*, 2002), tal es el caso de *Erysiphe necator* Schwein. cuyas ascosporas germinaron, produjeron apresorios 12 h después de la inoculación a 20°C y enseguida se observaron estructuras somáticas típicas del patógeno sobre las hojas inoculadas (Pearson y Gadoury, 1987). La supervivencia de los casmotecios durante el verano después de su incorporación junto con los residuos de cultivos que ocurre en postcosecha, en suelos de Sinaloa es cuestionable, pues a diferencia de los esclerocios, dichas estructuras de origen sexual no poseen la capacidad de sobrevivir en el suelo durante el verano; aunque también se debe considerar su supervivencia en cucurbitáceas silvestres. En este sentido, en Sinaloa se han observado síntomas de cenicilla en meloncillo (*Cucurbita foetidissima* Kunth.), como ocurre en la República Checa (Lebeda *et al.*, 2004). Estudios sobre el papel de ésta y otras cucurbitáceas silvestres como potenciales fuentes de inóculo merecen atención, pues *P. xanthii*

papaya and bitter melon (*Momordica charantia* L.) (Huang and Wuang, 2007; Tsay *et al.*, 2011; Joa *et al.*, 2013; Liu and Kirschner, 2015), as well as with members of Solanaceae which include *Petunia* (Kiss *et al.*, 2008; Brielmaier-Liebetanz *et al.*, 2015) and eggplant (Liu *et al.*, 2015). By virtue of the fact that several *P. xanthii* hosts, recorded in other parts of the world, are found in Sinaloa, the association of the pathogen with such hosts must be determined in this region.

Basic molecular biology studies involving pathogenesis processes in powdery mildew deserve attention in Sinaloa; for example, the pre-penetration and post-penetration of the fungus into the host requires high-level de novo protein biosynthesis (Both 2005). In this case specific proteomic aspects in the formation of haustoria and other phases of pathogenesis should be included (Noir *et al.*, 2009).

On the other hand, studies on mildew in zucchini caused by *P. xanthii* indicate that the combination of high concentrations of CO₂ (800 ppm) and high temperatures (28 °C in the day and 22 °C at night) stimulate the development and severity of the pathogen (Pugliese *et al.*, 2012). Studies of this type in Sinaloa could explain if the increase in temperature derived from climate change could be the cause of the presence of *P. xanthii* instead of *G. cichoracearum*, as it occurred in some regions of the Czech Republic (Lebeda *et al.*, 2009).

The spatial and temporary distribution of species and breeds that cause mildew and their respective virulence in different cucurbit hybrids and other crops in Sinaloa should also be determined. This is essential in studies on ecology, epidemiology, and particularly in the development of hybrids resistant to this disease (Coffey *et al.*, 2006).

Considering that the studies on the biological effectiveness of mildew control-friendly substances have taken place mainly in greenhouse conditions

se ha encontrado infectando a especies de las familias Asteraceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae y Solanaceae (Pérez-García *et al.*, 2009). En años recientes, el hongo se ha encontrado asociado a papaya y melón amargo (*Momordica charantia* L.) (Huang y Wuang, 2007; Tsay *et al.*, 2011; Joa *et al.*, 2013; Liu y Kirschner, 2015), así como a miembros de Solanaceae que incluyen a *Petunia* (Kiss *et al.*, 2008; Brielmaier-Liebetanz *et al.*, 2015) y berenjena (Liu *et al.*, 2015). En virtud de que varios de los hospedantes de *P. xanthii*, consignados en otras partes del mundo, se encuentran en Sinaloa, la asociación del patógeno con dichos hospedantes debe determinarse en esta región.

Estudios básicos de biología molecular que involucren procesos de la patogénesis en las cenicillas merecen atención en Sinaloa; por ejemplo, la pre-penetración y pos-penetración del hongo al hospedante requiere biosíntesis de altos niveles de proteínas de novo (Both 2005); en este caso, se deberían incluir aspectos de proteómica específicos en la formación de haustorios y otras fases de la patogénesis (Noir *et al.*, 2009).

Por otro lado, estudios sobre la cenicilla de la calabaza zucchini causada por *P. xanthii* indican que la combinación de alta concentración de CO₂ (800 ppm) y altas temperaturas (28 °C durante el día y 22 °C durante la noche) estimulan el desarrollo y severidad del patógeno (Pugliese *et al.*, 2012). Estudios de este tipo en Sinaloa podrían explicar si el incremento de temperatura derivado del cambio climático podría ser la causa de la presencia de *P. xanthii* en lugar de *G. cichoracearum*, como ha ocurrido en algunas regiones de la República Checa (Lebeda *et al.*, 2009).

También se debería determinar la distribución espacio temporal de especies y razas causantes de cenicilla y su respectiva virulencia en diferentes híbridos de cucurbitáceas y otros cultivos en Sinaloa, lo cual es esencial en estudios sobre ecología,

(Pérez-Ángel *et al.*, 2010; Yáñez *et al.*, 2012), it is important to carry out investigations aimed at the search of endemic antagonistic organisms and determine their biological effectiveness in greenhouse and open fields and that these studies be used to determine the effect of climatic parameters that affect the control of the disease.

CONCLUSIONS

Powdery mildews (Ascomycota, Erysiphales) are diseases that appear frequently in cultivated and wild plants worldwide. Although these diseases affect the yield and quality of crops such as tomato, *tomatillo*, chili, cucurbits, and others, knowledge on their ethiology, epidemiology, and control in and the rest of Mexico is limited. The appearance of molecular tools and the use of light microscopy and scanning electron microscopy have contributed significantly to identifying the anamorph of the causal agents of mildew in regions where the fungal teleomorph is not found. There are several lines of investigation that need to be explored regarding this type of diseases in Sinaloa. For example, the search for potential teleomorphs of mildew in tomato, *tomatillo*, chili, mango, rosebush, and some cucurbits such as watermelon, melon, and gourd will contribute to the knowledge of the life cycle of these pathogens in these crops. The determination of the host of range of the causal agents of this type of disease also requires special attention, since this will contribute to the knowledge of the ecology and epidemiology of mildews, which would support more efficient measures for their control, in which the use of environment-friendly measures, such as organic and inorganic products, as well as biocontrol agents, endemic of Sinaloa.

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

epidemiología y particularmente en el desarrollo de híbridos resistentes a la enfermedad (Coffey *et al.*, 2006).

En vista de que los estudios de efectividad biológica de sustancias amigables para el control de cenicilla se han llevado a cabo principalmente en condiciones de invernadero (Pérez-Ángel *et al.*, 2010; Yáñez *et al.*, 2012), es importante desarrollar investigación orientada a la búsqueda de organismos antagónicos endémicos y determinar su efectividad biológica en invernadero y en campo abierto y que a través de estos estudios se determine el efecto de parámetros climáticos que afecten el control de la enfermedad.

## CONCLUSIONES

Las cenicillas (Ascomycota, Erysiphales) son enfermedades que se presentan con frecuencia en plantas cultivadas y silvestres a nivel mundial. Aun cuando estas enfermedades afectan rendimiento y calidad en cultivos como tomate, tomatillo, chile, cucurbitáceas, entre otros, su conocimiento sobre etiología, epidemiología y control en Sinaloa y el resto de México es limitado. El advenimiento de herramientas moleculares, y la utilización de microscopía de luz y microscopía electrónica de barrido han contribuido de manera significativa en la identificación del anamorfo de los agentes causales de las cenicillas en regiones donde no se encuentra el teleomorfo del hongo. Existen varias líneas de investigación en las que se debe de incursionar en este tipo de enfermedades en Sinaloa. Por ejemplo, la búsqueda de los potenciales teleomorfos de la cenicilla del tomate, tomatillo, chile, mango, rosál y algunas cucurbitáceas como sandía, melón y bule contribuirá al conocimiento del ciclo de vida de estos patógenos en dichos cultivos. Atención especial merece también la determinación del rango

de hospedantes de los agentes causales de este tipo de enfermedades, pues esto contribuirá al conocimiento de la ecología y la epidemiología de las cenicillas, en lo que sustentarán medidas más eficaces para su control, donde se deberá privilegiar el uso de medidas amigables con el ambiente tales como productos orgánicos e inorgánicos, así como agentes de biocontrol endémicos de Sinaloa.

## LITERATURA CITADA

- Almeida AMR, Binneck E, Piuga FF, Marin SSR, Ribeiro do Valle PRZ and Silveira CA. 2008. Characterization of powdery mildews strains from soybean, bean, sunflower and weeds in Brazil using rDNA-ITS sequences. *Tropical Plant Pathology* 33:20-26. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-56762008000100004>
- Amano K. 1986. Host range and geographical distribution of the powdery mildew fungi. Japan Scientific Societies Press, Tokyo. 741p. Disponible en línea: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19861318791>
- Ballantyne BJ. 1975. Powdery Mildew, of Cucurbitaceae: Identity, Distribution, host range and source Resistance. Proceedings of the Linnean Society of New South Wales 99:100-120.
- Bélanger RR and Labbé C. 2002. Control of powdery mildews without chemicals: Prophylactic and biological alternatives for horticultural crops. Pp. 256-267. In: Bélanger RR, Bushnell WR, Dik AJ, and Carver TLW (eds.) The powdery mildews: a comprehensive treatise. Academic Press. American Phytopathological Society. St. Paul Mn, USA. 292 p.
- Boesewinkel HJ. 1980. The morphology of the imperfect stages of powdery mildews (Erysiphaceae). *Bot Rev (Lancaster)* 46: 167-224. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02860869>
- Bojórquez-Ramos C, León-Félix J, Allende-Molar R, Murrillo-Rangel MD, Carrillo-Facio JA, Valdez-Torres JB, López-Soto FSM and García-Estrada RS. 2012. Characterization of powdery mildew in cucumber plants under greenhouse conditions in the Culiacan Valley, Sinaloa, Mexico. *African Journal of Agricultural Research* 7:3237-3248. <http://dx.doi.org/10.5897/AJAR11.2093>
- Both M, Eckert SE, Csukai M, Müller E, Dimopoulos G and Spanu PD. 2005. Transcript profiles of *Blumeria graminis* development during infection reveal a cluster of genes that are potential virulence determinants. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 18:125-133. <http://dx.doi.org/10.1094/MPMI-18-0125>
- Braun U. 1982. Taxonomic notes on some powdery mildews. *Mycotaxon* 15:138-154. Disponible en línea: <http://www.mycotaxon.com/vol/abstracts/109/109-21.html>
- Braun U. 1999. Some critical notes on the classification and the generic concept of the Erysiphaceae. *Schlechtendalia* 3:48-54.

- Braun U, Cook RTA, Inman AJ and Shin HD. 2002. The taxonomy of the powdery mildew fungi. Pp. 13- 55. In: Bélanger RR, Bushnell WR, Dik AJ and Carver TLW (eds.) The powdery mildews: a comprehensive treatise. American Phytopathological Society Press. St. Paul Mn., USA. 292 p.
- Braun U. 2012. The impact of the discontinuation of dual nomenclature of pleomorphic fungi: the trivial facts, problems and strategies. IMA fungus 3:81-86. <http://dx.doi.org/10.5598/imafungus.2012.03.01.08>
- Braun U and Cook RTA. 2012. Taxonomic manual of the *Erysiphales* (powdery mildews). CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, the Netherlands. 707 p.
- Braun U. 2013. (2210–2232) Proposals to conserve the teleomorph-typified name *Blumeria* against the anamorph-typified name *Oidium* and twenty-two teleomorph typified powdery mildew species names against competing anamorph-typified names (Ascomycota: Erysiphaceae). Taxon 62:1328-1331. <http://dx.doi.org/10.12705/626.20>
- Brielmaier-Liebetanz U, Field AE, Warfield CY and Braun U. 2015. Powdery mildew Erysiphaceae on *Calibrachoa* hybrids in Germany, Nicaragua and the USA. Plant Pathology and Quarantine 5: 1-5. Disponible en línea: <http://www.plantpathologyquarantine.org/volume-5/issue-1.html>
- Catlin N. 2012. Powdery mildew on Petunia. E-Gro Alert 1(12), 1–2. Disponible en línea: [http://www.e-gro.org/pdf/Petunia\\_Powdery\\_Mildew.pdf](http://www.e-gro.org/pdf/Petunia_Powdery_Mildew.pdf)
- Cabreros-Sánchez F, Sánchez-Castro MA y Acosta-M. I. 1991. Supervivencia de *Erysiphe cichoracearum* De Candolle causante de la cenicienta de las cucurbitáceas en el Valle de Culiacán. Memorias del XVIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Puebla, Puebla, México. 120 p.
- Cabreros-Sánchez F y Sánchez-Castro MA. 1998. Enfermedades de la berenjena. P. 161-175. In: Cruz-Ortega JE, García-Estrada RS y Carrillo-Facio JA (coordinadores). Enfermedades de las hortalizas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Rosales, Sinaloa, México. 234 p.
- Chávez-Solis AL, Pedrosa-Sandoval A, Nava-Díaz C, Cano-Ríos P y Castro-Franco R. 2014. Control de la cenicienta del melón (*Podosphaera xanthii*) mediante el uso de extracto de *Larrea tridentata* (D.C.) Coville (L.). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 13:103-113. <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.08.038>
- Cheng CW, Chen RS, Chang WH and Tsay JG. 2006. The occurrence of powdery mildew on *Physalis angulata* caused by *Podosphaera xanthii*. Plant Protection Bulletin 48:41-51. Disponible en línea: <https://www.cabdirect.org/?target=%2f2f2cabdirect%2fabstract%2f20063166427>
- Coffey MD, McCreight JD and Miller T. 2006. New races of the cucurbit powdery mildew *Podosphaera xanthii* present in California. Phytopathology 96:S25 (Abstr.). Disponible en línea: <http://apsjournals.apsnet.org/doi/pdf/10.1094/PHYTO.2006.96.6.S1>
- Cook RTA, Inman AJ and Billings C. 1997. Identification and classification of powdery mildew anamorphs using light and scanning electron microscopy and host range data. Mycological Research 101:975-1002. <http://dx.doi.org/10.1017/S095375629700364X>
- Coyier DL. 1972. Heterothalms in the apple powdery mildew, *Podosphaera leucotricha*. Phytopathology 62:1102. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-64-246>
- Cruz-Ortega JE, García-Estrada RS y Carrillo-Facio JA. 1998. Enfermedades de las hortalizas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Rosales, Sinaloa, México. 234 p.
- Cunnington JH, Takamatsu S, Lawrie AC and Pascoe IG. 2003. Molecular identification of anamorphic powdery mildews (Erysiphales). Australasian Plant Pathology 32:421-428. <http://dx.doi.org/10.1071/AP03045>
- Félix-Gastélum R, Apodaca-Sánchez MA, Martínez-Valenzuela MC y Espinosa-Matías S. 2005. *Podosphaera* (sect. *Sphaerotheca*) *xanthii* (Castagne) U. Braun & N. Shishkoff en Cucurbitáceas en el Norte de Sinaloa, México. Revista Mexicana de Fitopatología 23:162-168. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61223209>
- Félix-Gastélum R, Ávila-Díaz JA, Valenzuela-Cota BO, Trigueros-Salmerón JA y Longoria-Espinoza RM. 2007. Identificación y control químico de los agentes causales de la mancha foliar y la cenicienta del tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot.) en el Norte de Sinaloa México. Revista Mexicana de Fitopatología 25:1-10. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v25n1/v25n1a1.pdf>
- Félix-Gastélum R, Maldonado-Mendoza IE, Herrera-Rodríguez G, Martínez-Valenzuela C, Espinosa-Matías S, Cordero-Ramírez JD and Martínez-Álvarez JC. 2011. Powdery mildew on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northern Sinaloa, Mexico. Sydowia 63:169-182.
- Félix-Gastélum R, Herrera-Rodríguez G, Martínez-Valenzuela C, Longoria-Espinoza RM, Maldonado-Mendoza IE, Quiroz-Figueroa FR, Martínez-Álvarez JC, García-Pérez LM and Espinosa-Matías S. 2013. First report of powdery mildew (*Pseudoidium anacardii*) of mango trees in Sinaloa, Mexico. Plant Disease 97:994. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-11-12-1014-PDN>
- Félix-Gastélum R, Herrera-Rodríguez G, Martínez-Valenzuela C, Maldonado-Mendoza IE, Quiroz-Figueroa FR, Brito-Vega H and Espinosa-Matías S. 2014. First report of powdery mildew (*Podosphaera pannosa*) of roses in Sinaloa, Mexico. Plant Disease 98:1442. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-06-14-0605-PDN>
- Glawe DA. 2008. The powdery mildews: A review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. Annual Review of Phytopathology 46:27-61. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.phyto.46.081407.104740>
- Guillen-Sánchez D, Téliz-Ortiz D, Mora-Aguilera A, Nieto-Angel D, Cárdenas-Soriano E, Siebe-Grabach C y Villanueva-Jiménez JA. 2004. La severidad de la cenicienta (*Oidium mangiferae* Berthet) del mango (*Mangifera indica* L.) y su relación con las emisiones de ceniza de una central termoeléctrica. Revista Mexicana de Fitopatología 2:90-99. Disponible en línea: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61222112>
- Horst RK. 1983. Compendium of rose diseases. American Phytopathological Society Press. St. Paul, Minnesota, USA. 50 p.
- Hosseini MH, Dewitte A, Van Bockstaele E, Van Huylbroeck J and Leus L. 2014. Roses exhibit pathotype-specific resistance responses to powdery mildew. Journal



- of Phytopathology 62:107-115. <http://dx.doi.org/10.1111/jph.12159>
- Huang JH and Wang YH. 2007. The races of *Podosphaera xanthii* causing melon powdery mildew in Taiwan. Journal of Taiwan Agricultural Research 56:307-315. Disponible en línea: <http://ir.tari.gov.tw:8080/bitstream/345210000/323/1/56-4-6.pdf>
- Jarvis WR, Gubler WD and Grove GG. 2002. Epidemiology of powdery mildew in agricultural pathosystems. Pp.169-199. In: Bélanger RR, Bushnell WR, Dik AJ and Carver TLW (eds.) The powdery mildews: a comprehensive treatise. American Phytopathological Society Press. St. Paul Mn., USA. 292 p.
- Joa JH, Chung BN, Han KS, Cho SE and Shin HD. 2013. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* on papaya in Korea. Plant Disease 97:1514. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-06-13-0581-PDN>
- Khan MW and Khan AM. 1970. Studies on the cucurbit powdery mildew. I Perithecial production in cucurbit powdery mildew in northern India. Indian Phytopathology 23:497-502. Disponible en línea: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19711606353>
- Kiss L, Jankovics T, Kovács GM and Daughtrey ML. 2008. *Oidium longipes*, a new powdery mildew fungus on petunia in the USA: A potential threat to ornamental and vegetable solanaceous crops. Plant Disease 92:818-825. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-92-5-0818>
- Koike ST and Smith RF. 1988. First report of powdery mildew caused by *Sphaerotheca fusca* on tomatillo in California. Plant Disease 82:711 <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.6.711C>
- Kontaxis DG. 1978. Cleistothecia of cucurbit powdery mildew in California. A new record. Plant Disease Reporter 63:278.
- Křístková E, Lebeda A and Sedláková B. 2009. Species spectra, distribution and host range of cucurbit powdery mildews in the Czech Republic, and in some other European and Middle Eastern countries. Phytoparasitica 37:337-350. <http://dx.doi.org/10.1007/s12600-009-0045-4>
- Lebeda A, Sedláková B and Křístková E. 2004. Distribution harmfulness and pathogenic variability of cucurbit powdery mildew in the Czech Republic. Acta fytotechnica et zootechnica 7:174-176. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/publication/267785272\\_DISTRIBUTION\\_HARMFULNESS\\_AND\\_PATHOGENIC\\_VARIABILITY\\_OF\\_CUCURBIT\\_POWDERY\\_MILDEW\\_IN\\_THE\\_CZECH\\_REPUBLIC](https://www.researchgate.net/publication/267785272_DISTRIBUTION_HARMFULNESS_AND_PATHOGENIC_VARIABILITY_OF_CUCURBIT_POWDERY_MILDEW_IN_THE_CZECH_REPUBLIC)
- Lebeda A, Sedláková B, Křístková E and Vysoudil M. 2009. Long-lasting changes in the species spectrum of cucurbit powdery mildew in the Czech Republic – influence of air temperature changes or random effect?. Plant Protection Science 45:S41–S47 Disponible en línea: <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/13967.pdf>
- Lee SH, Han KS, Park JH and Shin HD. 2011. Occurrence of *Podosphaera pannosa* teleomorph on *Rosa rugosa* from Korea. The Plant Pathology Journal 27:398. <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.2011.27.4.398>
- León-Gallegos HM. 1988. Enfermedades de cultivos en el Estado de Sinaloa. Tercera Edición. CAEVACU-CIAPAN-INIFAP. Culiacán, Sinaloa, México. 262 p.
- Leus L, Dewitte A, Van Huylenbroeck J, Vanhoutte N, Van Bockstaele E, and Höfte M. 2006. *Podosphaera pannosa* (syn. *Sphaerotheca pannosa*) on *Rosa* and *Prunus* spp.: characterization of pathotypes by differential plant reactions and ITS sequences. Journal of Phytopathology 154:23-28. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.01053.x>
- Liberato JR. 2007. Taxonomic notes on two powdery mildews: *Phyllactinia chorisiae* and *Ovulariopsis wissadulae* (*Erysiphaceae: Phyllactiniaceae*). Mycotaxon 101:29-34. Disponible en línea: <http://www.mycotaxon.com/vol/abstracts/101/101-29.html>
- Liu Sh.-Y, Men X-Y and Li Y. 2015. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* on *Solanum melongena* (Eggplant) in China. Plant Disease 9:1856. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-02-15-0176-PDN>
- Liu WA and Kirschner R. 2015. First report of powdery mildew caused by *Podosphaera xanthii* on wild bitter melon in Taiwan. Plant Disease 9:726. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-09-14-0910-PDN>
- McGrath MT. 1994. Heterothalms in *Sphaerotheca fuliginia*. Mycologia 86:517-523. <http://dx.doi.org/10.2307/3760745>
- McNeill J, Barrie FR, Buck WR, Demoulin V, Greuter W, Hawksworth DL, Herendeen PS, Knapp S, Marhold K, Prado J, Prud'homme Van Reine WF, Smith GF, Wiersma JH and Turland NJ (eds.). 2012. International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (Melbourne Code) adopted by the Eighteenth International Botanical Congress Melbourne, Australia. (Regnum Vegetabile, 154). XXX, 240 p.
- Misra AK. 2001. Powdery mildew - a serious disease of mango. Journal of Applied Horticulture 3:63-68. Disponible en línea: [https://www.researchgate.net/profile/Ak\\_Misra3/publication/281590887\\_Powdery\\_mildew\\_-\\_A\\_serious\\_disease\\_of\\_mango/links/55ef0b5d08ae0af8ee1b0920.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ak_Misra3/publication/281590887_Powdery_mildew_-_A_serious_disease_of_mango/links/55ef0b5d08ae0af8ee1b0920.pdf)
- Monkhung S, To-anun C and Takamatsu S. 2011. Molecular approach to clarify taxonomy of powdery mildew on chilli plants caused by *Oidiopsis sicula* in Thailand. Journal of Agricultural Technology 7:1081-1808 Disponible en línea: [http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v7\\_n6\\_11\\_November/30\\_IJAT%202011\\_7\\_6\\_Dr.%20Chaiwat\\_FX.pdf](http://www.ijat-aatsea.com/pdf/v7_n6_11_November/30_IJAT%202011_7_6_Dr.%20Chaiwat_FX.pdf)
- 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.003>
- Noir S, Colby T, Harzen A, Schmidt J and Panstruga R. 2009. A proteomic analysis of powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) conidiospores. Molecular Plant Pathology 10:223-236. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1364-3703.2008.00524.x>
- Palti J. 1988. The *Leveillula* mildews. Botanical Review 54:423-535. Disponible en línea: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02858418>
- Pearson RC and Gadoury DM. 1987. Cleistothecia, the source of primary inoculum for grape powdery mildew in New York. Phytopathology 77:1509-1514. <http://dx.doi.org/10.1094/Phyto-77-1509>
- Pérez-Ángel R, García-Estrada RS, Carrillo-Fasio JA, Angulo-Escalante MA, Valdez-Torres JB, Muy-Rangel MD, García-López AM y Villarreal-Romero M. 2010. Control de Cenicilla (*Sphaerotheca fuliginosa* Schlechtend.:Fr. Pollaci) con aceites vegetales y sales minerales en pepino



- de invernadero en Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28:17-24. Disponible en línea: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfi/v28n1/v28n1a2.pdf>
- Pérez-García A, Romero D, Fernández-Ortuño D, López-Ruíz F, De Vicente E and Tóres JA. 2009. The powdery mildew fungus *Podosphaera fusca* (synonym *Podosphaera xanthii*), a constant threat to cucurbits. *Molecular Plant Pathology* 10:153-160. <http://dx.doi.org/10.1111/J.1364-3703.2008.00527.X>
- Plump RT and Turner RH. 1972. Scanning electron microscopy of *Erysiphe graminis*. *Transaction of the British Mycological Society* 59:149-150. [http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0007-1536\(72\)80052-4](http://dx.doi.org/doi:10.1016/S0007-1536(72)80052-4)
- Pugliese M, Liu J, Titone P, Garibaldi A and Gullino ML. 2012. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and temperature on interactions of zucchini and powdery mildew. *Phytopathologia Mediterranea* 51:480-487. Disponible en línea: <http://www.fupress.net/index.php/pm/article/download/9801/11450>
- Ramírez-Villapudúa J, Sáinz-Rodríguez RA y Quiñonez-Félix JA. 2006. Cultivo, enfermedades y plagas del mango bajo el sistema convencional y orgánico. Gobierno del Estado de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México. 256 p.
- Ramírez-Villapudúa J y Sáinz-Rodríguez RA. 2006. Manejo integrado de las enfermedades del tomate. 1ª edición. Once ríos editores. Culiacán, Sinaloa. 360 p.
- Ranković B and Čomić L. 1997. Contribution to the knowledge of fungi of the genus *Sphaerotheca* in Yugoslavia. *Mycotaxon* 63:301-305.
- Romero-Cova S. 1988. Hongos fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. México. 347 p.
- Saenz GS, Taylor JW and Gargas A. 1994. 18S rRNA gene sequences and supraordinal classification of the Erysiphales. *Mycologia* 86:212-216. <http://dx.doi.org/10.2307/3760639>
- Saenz GS and Taylor JW. 1999. Phylogeny of the Erysiphales (powdery mildews) inferred from internal transcribed spacer ribosomal DNA sequences. *Canadian Journal of Botany* 77:150-168. <http://dx.doi.org/10.1139/b98-235>
- Salmon ES. 1900. A monograph of Erysiphaceae. *Memoirs of the Torrey Botanical Club* 91:1-292. Disponible en línea: <https://www.jstor.org/stable/pdf/43383647.pdf>
- Sánchez-Castro MA. 1983. La cenicilla del tomate, causada por *Oidiopsis taurica* (Lév.) Salmon, una enfermedad en el Estado de Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 2:3-6.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2014. Anuarios estadísticos de la producción agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México, D. F. Disponible en línea: <http://www.siap.sagarpa.gob.mx> (consultado el 09 de junio de 2016).
- Schnathorst WC. 1959. Heterothallism in the lettuce strain of *Erysiphe cichoracearum*. *Mycologia* 51:708-711. <http://dx.doi.org/10.2307/3755898>
- Schnathorst WC. 1965. Environmental relationships in the powdery mildews. *Annual Review of Phytopathology* 3:343-366. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.03.090165.002015>
- Shin HD. 1999. Teleomorph of *Sphaerotheca pannosa* on Durian Rose in Korea. *Mycotaxon* 72:1-5.
- Singh LB. 1960. The mango: botany, cultivation and utilization. London, L. Hill; New York Interscience Publishers 438 p.
- Sivapalan A. 1993a. Effects of water on germination of powdery mildew conidia. *Mycological Research* 97:71-76. [http://dx.doi.org/10.1016/S0953-7562\(09\)81115-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0953-7562(09)81115-5)
- Sivapalan A. 1993b. Effects of impacting rain drops on the growth and development of powdery mildew fungi. *Plant Pathology* 42:256-263. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3059.1993.tb01498.x>
- Smith CG. 1970. Production of powdery mildew cleistocarps in a controlled environment. *Transactions of the British Mycological Society* 55:355-365. [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80057-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80057-2)
- Takamatsu S, Braun U, Limkaisang S, Kom-Un S, Sato Y and Cunnington JH. 2007. Phylogeny and taxonomy of the oak powdery mildew *Erysiphe alphitoides sensu lato*. *Mycological Research* 111:809-826. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mycres.2007.05.013>
- Takamatsu S. 2013. Origin and evolution of the powdery mildews (Ascomycota, Erysiphales). *Mycoscience* 54:75-86. <http://dx.doi.org/10.1016/j.myc.2012.08.004>
- Tsay JG, Chen RS, Wang HL, Wang WL and Weng BC. 2011. First report of powdery mildew caused by *Erysiphe diffusa*, *Oidium neolycopersici*, and *Podosphaera xanthii* on papaya in Taiwan. *Plant Disease* 95:1188. <http://dx.doi.org/10.1094/PDIS-05-11-0362>
- Yáñez JMG, León RJF, Godoy ATP, Gastélum LR, López MM, Cruz OJE y Cervantes DL. 2012. Alternativas para el control de la cenicilla (*Oidium* sp.) en pepino (*Cucumis sativus* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:259-270. Disponible en línea: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/editorial/index.php/agricolas/article/view/733/704>
- Yarwood CE. 1935. Heterothallism of sunflower powdery mildew. *Science* 82:417-418. <http://dx.doi.org/10.1126/science.82.2131.417>
- Yarwood CE. 1957. Powdery mildews. *Botanical Review* 233:235-301. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02872581>
- Yarwood CE. 1973. Pyrenomycetes: Erysiphales. Pp. 71-86. *In: Ainsworth GC, Sparrow FK and Sussman AS (eds.). The fungi. An advanced treatise. Vol. IV A taxonomic review with keys: ascomycetes and fungi imperfecti.* Academic Press. New York, USA. 621 p.