Factores climáticos asociados con la mancha negra de los cítricos causada por *Phyllosticta citricarpa* en Sudáfrica

Joaquín Martínez-Minaya y Antonio Vicent (Centro de Protección Vegetal y Biotecnología, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada, Valencia).
David Conesa y Antonio López-Quílez (Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat de València, Burjassot, Valencia).

La mancha negra o 'black spot' causada por *Phyllosticta citricarpa* (McAlpine) Van der Aa (sin. *Guignardia citricarpa* Kiely) es la principal enfermedad fúngica de los cítricos a nivel mundial. El patógeno se detectó por primera vez en Australia y actualmente está presente en las principales regiones citrícolas del África subsahariana, Sudamérica y Asia. La mancha negra se detectó por primera vez en EE.UU. en 2010 en el estado de Florida (EFSA, 2014).

Descripción de la enfermedad

La mancha negra provoca la aparición de lesiones necróticas en la corteza de los frutos, que reducen su calidad comercial para el mercado en fresco (Figura 1). En determinadas situaciones la enfermedad induce también la caída prematura del fruto, reduciendo la cosecha hasta a la mitad. Aunque el hongo infecta las hojas de los cítricos, las lesiones foliares son poco habituales y aparecen únicamente en variedades muy sensibles como los limones o en árboles sometidos a factores de estrés. Todas las variedades cultivadas de naranjas, mandarinas, limones y pomelos son sensibles a la enfermedad (Kotzé, 1981; 2000).

El patógeno se reproduce en las hojas infectadas caídas al suelo, donde forma unos cuerpos fructíferos denominados pseudotecios que contienen en su interior esporas sexuales (ascosporas). En Sudáfrica la liberación de las ascosporas suele comenzar con las lluvias de primavera, tras un proceso de maduración de los pseudotecios en la hojarasca estimulado por la temperatura y la humedad (Fourie y col. 2013). Las ascosporas se diseminan por el aire infectando a las hojas, brotes y frutos en condiciones adecuadas de temperatura y humedad.

Las hojas son susceptibles a la infección durante los primeros diez meses de desarrollo y los frutos entre cuatro y siete meses después del cuajado (EFSA, 2014). Las infecciones de *P. citricarpa* se caracterizan por un largo período de incubación y los síntomas en frutos no son visibles hasta transcurridos de dos a cuatro meses desde la infección. En las lesiones de frutos y brotes *P. citricarpa* se reproduce mediante otro tipo de cuerpos fructíferos denominados picnidios, que contienen esporas asexuales (conidias) diseminadas por salpicaduras de lluvia (Whiteside, 1967).

Figura 1. Lesiones de mancha negra causada por *Phyllosticta citricarpa* en frutos de naranja.

En las zonas afectadas por la mancha negra se aplican medidas agronómicas para el control integrado de la enfermedad como son la eliminación de la hojarasca afectada, el manejo de la cubierta vegetal del suelo, la sincronización de la floración mediante riegos y la recolección temprana de los frutos antes de la aparición de los síntomas. No obstante, para el control económico de la enfermedad es necesario realizar varias aplicaciones fungicidas por campaña. Actualmente existen programas de tratamientos muy efectivos para el control de la mancha negra (EFSA, 2014), pero su aplicación a nivel comercial supone un incremento de los costes de producción (Gebrehiwet y col., 2007).

Contexto fitosanitario

Los mecanismos que determinan la diseminación natural de *P. citricarpa* son poco conocidos. Se sabe que las ascosporas se dispersan por el aire, pero no hay datos concretos que permitan determinar cual es la máxima distancia efectiva que pueden alcanzar. Estudios recientes han demostrado que las conidias que se forman en las lesiones de los frutos pueden diseminarse al menos ocho metros en condiciones de lluvia y viento (Perryman y col., 2014). En cualquier caso, el movimiento de material vegetal afectado se considera por lo general como el principal mecanismo de diseminación de *P. citricarpa*.

Todas las regiones citrícolas de la cuenca del Mediterráneo están consideradas actualmente como zonas libres de mancha negra. La Directiva 2000/29/CE establece unas medidas fitosanitarias específicas para evitar la entrada de *P. citricarpa* en el territorio de la Unión Europea (UE). Como la mayoría de los países citrícolas libres de *P. citricarpa*, la UE prohíbe la importación de material propagativo de cítricos procedente de regiones afectadas de mancha negra. A diferencia de otros países como EE.UU., que también prohíben la importación de frutos de zonas afectadas, la UE permite la entrada de frutos cítricos procedentes de regiones con mancha negra, pero exige el cumplimiento de unos requisitos fitosanitarios específicos. En las parcelas destinadas a la exportación a la UE deben aplicarse tratamientos apropiados para el control de la enfermedad y es obligatorio realizar inspecciones oficiales para garantizar que los frutos recolectados no presentan síntomas de mancha negra.

Durante los últimos años, Sudáfrica y otros países exportadores afectados por la mancha negra han cuestionado la necesidad de las medidas fitosanitarias establecidas por la UE para evitar la entrada de *P. citricarpa*. Su principal argumento es que el clima de la cuenca del Mediterráneo no es favorable para el establecimiento y diseminación de la enfermedad, por lo que la entrada de frutos infectados por *P. citricarpa* no supondría en realidad ningún riesgo. Algunos estudios publicados por Sudáfrica parecen avalar esta teoría (Paul y col., 2005; Yonow y col., 2013). Sin embargo, los estudios climáticos realizados por otros autores y los análisis de riesgos realizados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria apuntan precisamente en sentido contrario (Vicent y García-Jiménez, 2008; Er y col., 2013; EFSA, 2014).

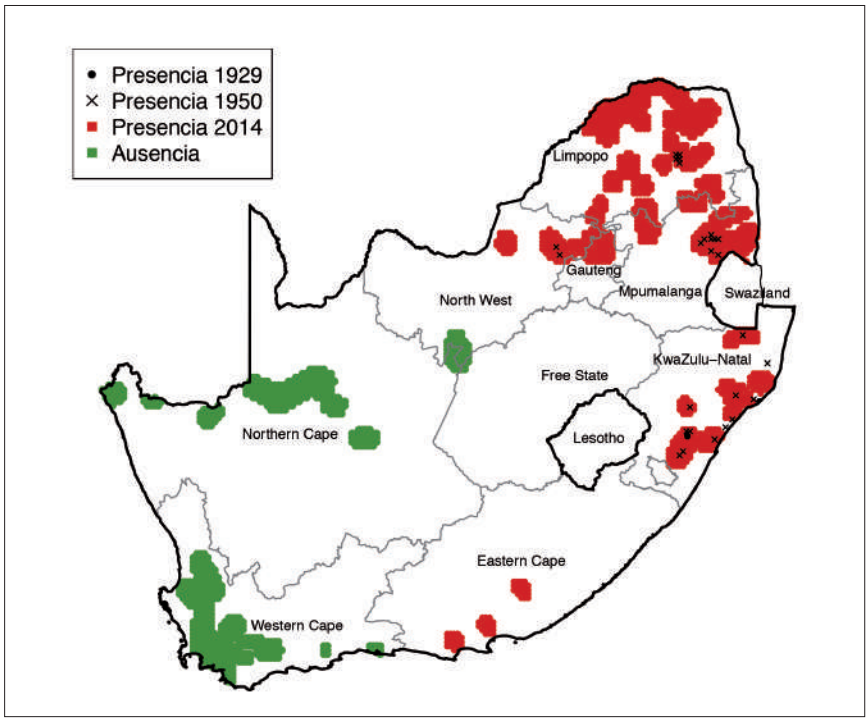

Figura 2. Evolución de la distribución geográfica de la mancha negra de los cítricos causada por *Phyllosticta citricarpa* en Sudáfrica (Wager, 1952; Paul y col., 2005; Yonow y col., 2013, Anónimo, 2014).

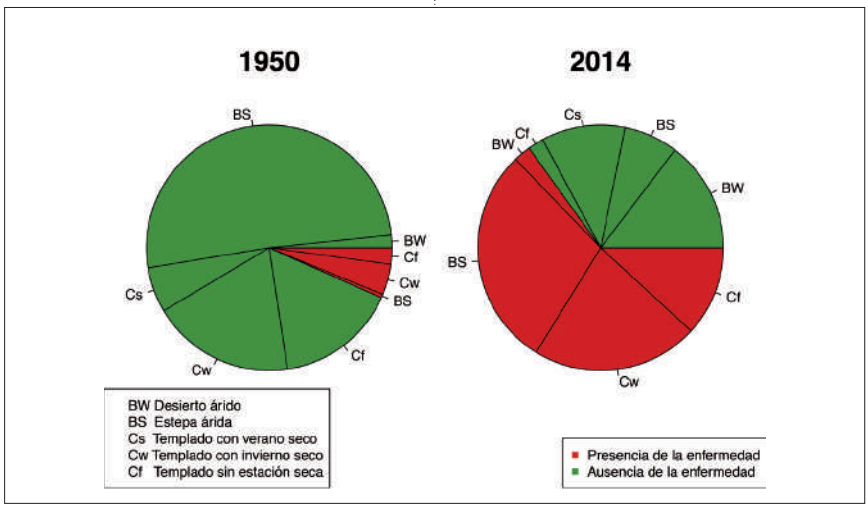

Figura 3. Distribución climática de las zonas citrícolas de Sudáfrica en función de la distribución de la mancha negra causada por *Phyllosticta citricarpa*. (Proporciones respecto a la superficie citrícola total del país).

En este artículo se presentan de forma sintética los resultados de un análisis climático de la expansión de la mancha negra en Sudáfrica, desde su primera detección hasta alcanzar la distribución geográfica actual. Este país presenta una situación única a nivel mundial para este tipo de análisis, ya que cuenta con zonas citrícolas que abarcan hasta diez tipos de clima diferentes y existen datos históricos bastante detallados de la distribución de la enfermedad.

Análisis climático

Se generaron mapas climáticos georeferenciados

(resolución 5 arc min) de Sudáfrica y la cuenca del Mediterráneo a partir de la base de datos WorldClim (Hijmans y col., 2005), que incluye un total de 19 variables basadas en los promedios de temperatura y pluviometría durante el período 1950-2000. Se utilizó la clasificación climática de Köppen-Geiger (Peel y col., 2007), que establece un total de 29 tipos de clima definidos en función de umbrales de temperatura y pluviometría.

Se prepararon también mapas con la distribución de la enfermedad en Sudáfrica en 1950 y 2014 a partir de las publicaciones científicas y textos legislativos disponibles (Wager, 1952; Paul y col., 2005; Yonow y col., 2013, Anónimo, 2014). Los mapas de distribución de la mancha negra en Sudáfrica se combinaron con los de las variables climáticas para obtener los rangos de valores (media, mínimo y máximo) de cada una de ellas en las zonas afectadas y libres de la enfermedad en 1950 y 2014. Todos los análisis se realizaron con el programa R v.3.1.2 (R-Core-Team, 2013).

La mancha negra se detectó por primera vez en Sudáfrica en 1929, en una zona cerca de Pietermaritzburg en la provincia de KwaZulu-Natal. La enfermedad permaneció confinada en esta región y en aquel momento se consideraba una patología poco importante (Doidge, 1929). La intensidad de la enfermedad se incrementó durante los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial y en 1946 se expandió hacia el norte en las provincias de Limpopo, Mpumalanga y North West (Wager, 1950). No se han encontrado documentos que permitan verificar cuando se produjo la expansión de la enfermedad hacia el sur en la provincia del Eastern Cape, pero por las referencias consultadas podría situarse entre los años 1981 y 1998 (Figura 2).

En 2002 Sudáfrica incluye a *P. citricarpa* en la lista de patógenos regulados y se publican mapas detallados de su distribución en el país (Paul y col. 2005; Yonow y col., 2013). Se incluye también una pequeña región al norte de la provincia de Limpopo, en la frontera con Botswana y Zimbabwe, considerada como de baja prevalencia de la enfermedad. Prospecciones recientes consideran a las provincias del Western Cape, Northern Cape y Free State como zonas libres de mancha negra (Carstens y col., 2012; Anónimo, 2014).

Los datos históricos de la expansión de la mancha negra en Sudáfrica ilustran claramente el lento desarrollo epidémico característico de esta enfermedad (Kotzé, 1981). Fueron necesarias varias décadas desde su primera detección en el país hasta que alcanzó una amplia distribución

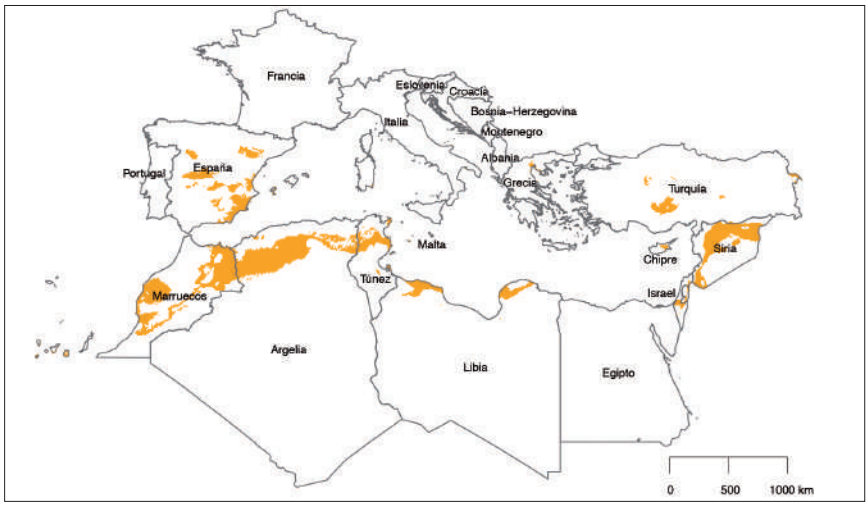

Figura 4. Distribución geográfica en la cuenca del Mediterráneo de los climas de estepa árida (BS) de la clasificación de Köppen-Geiger.

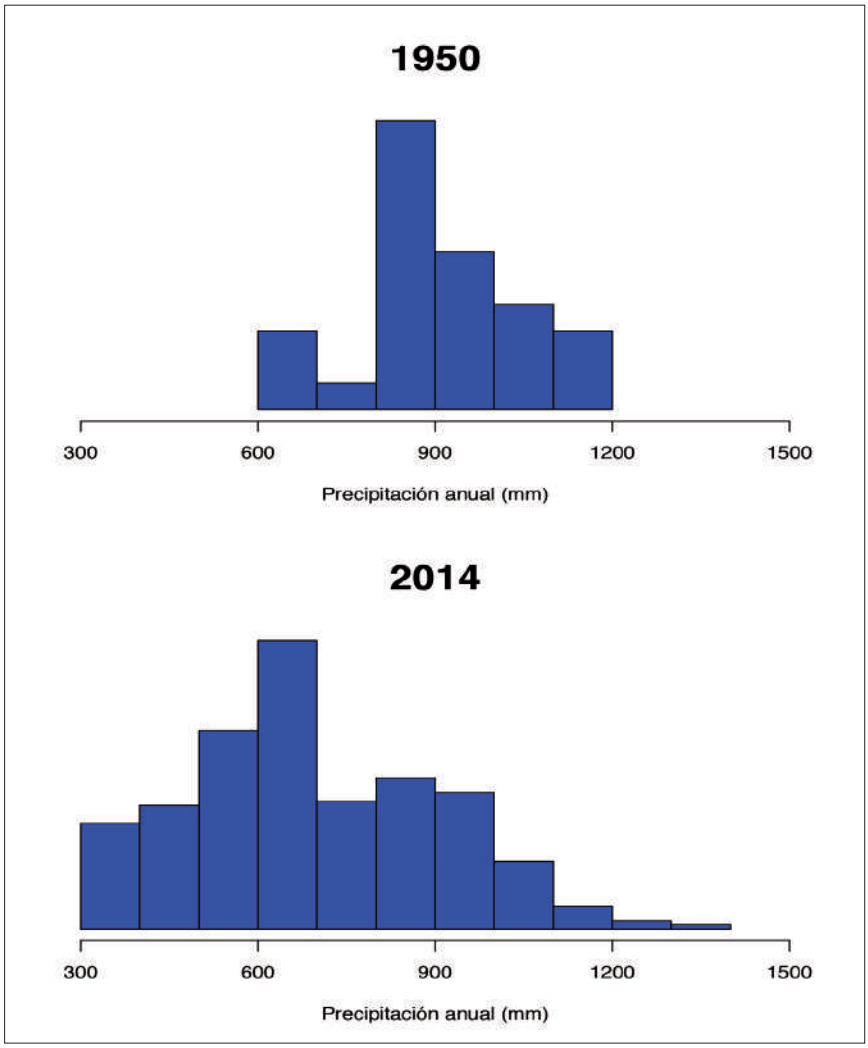

Figura 5. Pluviometría media anual en las zonas afectadas por la mancha negra (*Phyllosticta citricarpa*) en Sudáfrica en 1950 y 2014.

geográfica (Figura 2). En 1950 las zonas afectadas por la mancha negra representaban tan sólo un 7% del total de las áreas citrícolas del país (Figura 3). Tras la expansión de la enfermedad hacia las provincias del norte y del sur, las zonas afectadas suponen en la actualidad un 65% del total del área citrícola, con tan sólo un 9% de áreas de baja prevalencia.

Los datos indican que la enfermedad se originó en zonas con climas de veranos lluviosos (Cw, Cf), desde donde se diseminó a las regiones colindantes con climas mucho más secos del tipo estepa árida (BS). En la actualidad, las zonas afectadas por mancha negra con este tipo de clima árido suponen un 29% del total del área citrícola de Sudáfrica (Figura 3). Se han detectado incluso zonas afectadas en regiones de clima desértico (BWh), aunque consideradas todavía como de baja prevalencia.

De las diez zonas climáticas donde se cultivan cítricos en Sudáfrica, la mancha negra está presente en todas excepto en las dos de tipo Mediterráneo (Csa, Csb) y una de tipo desierto frío (BWk). No obstante, estos tres climas en su conjunto suponen tan sólo el 13% de la superficie citrícola del país y están localizados en unas zonas muy concretas de la provincia del Western Cape, a más de 450 km de la zonas afectadas por la mancha negra.

Algunos estudios afirman que la mancha negra no se ha detectado nunca en climas mediterráneos. Esto sería correcto si consideramos únicamente los climas de tipo Mediterráneo definidos por la clasificación de Köppen-Geiger (Csa, Csb), donde hasta la fecha no ha aparecido la enfermedad. Sin embargo, esta afirmación sería incorrecta si dentro de los climas mediterráneos incluimos a todos los de la cuenca del Mediterráneo. Como ya se ha comentado, los climas predominantes en las zonas afectadas por la mancha negra en Sudáfrica son del tipo estepa árida (BS). Estos climas están presentes en varios países de la cuenca del Mediterráneo como España, Grecia, Turquía, Chipre, Siria, Israel, Túnez, Libia, Algeria y Marruecos. Podemos encontrar climas de estepa árida (BS) en las regiones citrícolas de Souss, Haouz y Oriental en Marruecos, la peninsula de Cap Bon en Túnez y las provincias de Castellón, Valencia, Alicante, Murcia y Almería en España (Figura 4).

Algunos de los estudios realizados con el programa CLIMEX señalan que la expansión de la mancha negra a nuevas zonas está limitada fundamentalmente por las bajas temperaturas (Paul y col., 2005; Yonow y col., 2013). Teóricamente, las bajas temperaturas retrasarían la maduración de los pseudotecios de la hojasarasca y las ascosporas se liberarían demasiado tarde para infectar los frutos y las hojas en condiciones adecuadas de temperatura y humedad (Fourie y col., 2013). No obstante, esta hipótesis no ha sido demostrada científicamente para el caso concreto de *P. citricarpa*. De hecho, los resultados obtenidos en el análisis climático indican que la diferencia entre la temperatura media del invierno en las zonas afectadas y las zonas libres de mancha negra en Sudáfrica es de sólo 3,5ºC. Si consideramos la temperatura mínima en invierno esta diferencia se reduce a tan sólo 1ºC.

El cambio más importante en las condiciones climáticas asociadas con la distribución de la enfermedad en Sudáfrica está en la cantidad y estacionalidad de la lluvia. Debido a la expansión de la enfermedad a zonas áridas, la pluviometría anual más baja en las zonas afectadas por la mancha negra pasó de 663 mm en 1950 a tan sólo 339 mm en la actualidad (Figura 5). En las regiones de baja prevalencia de la enfermedad al norte de la provincia de Limpopo con clima desértico (BWh) la pluviometría anual media baja incluso hasta los 317 mm.

En las zonas de Sudáfrica donde la mancha negra es endémica, los valores más bajos de pluviometría estival se registran en las zonas con clima de estepa árida (BS) en la provincia del Eastern Cape. Algunos autores señalan que la incidencia de la enfermedad en estas zonas es muy baja, debido a que el clima no es favorable para su desarrollo (Fourie y col., 2013; Yonow y col., 2013). Estas afirmaciones suscitan ciertas dudas, ya que ninguna de las regiones citrícolas del Eastern Cape está incluida oficialmente dentro de las áreas de baja prevalencia de la enfermedad y además se realizan tratamientos fungicidas para el control de la mancha negra de forma rutinaria (Korf, 1998).

En conclusión, el análisis climático de Sudáfrica indica claramente que la mancha negra de los cítricos apareció en unos primeros focos situados en zonas citrícolas de elevada pluviometría, desde donde se diseminó posteriormente a regiones colindantes de clima árido y seco. Estos resultados contradicen algunas publicaciones que afirman que la mancha negra se desarrolla exclusivamente en zonas citrícolas con una elevada pluviometría estival (Kotzé, 2000; Graham y col., 2014). En cualquier caso, este trabajo es un estudio preliminar que deberá ampliarse con análisis estadísticos más completos, donde se integren conjuntamente las variables climáticas y los factores geográficos asociados a la dispersión de la enfermedad.

Agradecimientos: A Josep Vicent Castelló de la Unidad de Documentación y Biblioteca del IVIA por las referencias históricas de la enfermedad Proyecto MTM-2013- 42323-P.

BIBLIOGRAFÍA

Anónimo (2014). R.442 Agricultural pest act, 1983 (Act 36 of 1983). Control measures: Amendment. *Government Gazette, 37702*, 4-11.

Carstens, E., le Roux, H. F., Holtzhausen, M. A., van Rooyen, L., Coetzee, J., Wentzel, R., Laubscher, W., Dawood, Z., Venter, E., Schutte, G. C., Fourie, P. H., & Hattingh, V. (2012). Citrus black spot is absent in the Western Cape, Northern Cape and Free State Provinces. *South African Journal of Science, 108*, 56-61.

Doidge, E. M. (1929). Some diseases of citrus prevalent in South Africa. *South African Journal of Science, 26*, 320-325.

EFSA, European Food Safety Authority. (2014). Scientific opinion on the risk of *Phyllosticta citricarpa* (*Guignardia citricarpa*) for the EU territory with identification and evaluation of risk reduction options. *EFSA Journal, 12*, 3557.

Er, H. L., Roberts, P. D., Marois, J. J., & van Bruggen, A. H. C. (2013). Potential distribution of citrus black spot in the United States based on climatic conditions. *European Journal of Plant Pathology, 137*, 635-647.

Fourie, P. H., Schutte, G. C., Serfontein, S., & Swart, S. H. (2013). Modeling the effect of temperature and wetness on *Guignardia* pseudothecium maturation and ascospore release in citrus orchards. *Phytopathology, 103*, 281-292.

Gebrehiwet, Y., Ngqangweni, S., & Kirsten, J. F. (2007). Quantifying the trade effect of sanitary and phytosanitary regulations of OECD countries on South African food exports. *Agrekon, 46*, 23-39.

Graham, J. H., Gottwald, T. R., Timmer, L. W., Bergamin Filho, A., Van den Bosch, F., Irey, M. S., Taylor, E., Magarey, R. D., & Takeuchi, Y. (2014). Response to "Potential distribution of citrus black spot in the United States based on climatic conditions", Er et al. 2013. *European Journal of Plant Pathology, 139*, 231-234.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology, 25*, 1965-1978.

Korf, H. J. G. (1998). *Survival of Phyllostica citricarpa, anamorph of the citrus black spot pathogen*. M. Sc. Thesis. Pretoria: University of Pretoria.

Kotzé, J. M. (1981). Epidemiology and control of citrus black spot in South-Africa. *Plant Disease, 65*, 945-950.

Kotzé, J. M. (2000). Black spot. In L. W. Timmer, S. M. Garnsey, & J. H. Graham (Eds.), *Compendium of citrus diseases 2nd ed.* (pp. 10-12). St. Paul, MN: APS Press.

Paul, I., van Jaarsveld, A. S., Korsten, L., & Hattingh, V. (2005). The potential global geographical distribution of citrus black spot caused by *Guignardia citricarpa* Kiely: likelihood of disease establishment in the European Union. *Crop Protection, 24*, 297-308.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences, 11*, 1633-1644.

Perryman, S. A. M., Clark, S. J., & West, J. S. (2014). Splash dispersal of *Phyllosticta citricarpa* conidia from infected citrus fruit. *Scientific Reports, 4*, 6568.

R-Core-Team (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing.Vienna, Austria. http://www.R-project.org/

Vicent, A., & García-Jiménez, J. (2008). Risk of establishment of non-indigenous diseases of citrus fruit and foliage in Spain: An approach using meteorological databases and tree canopy climate data. *Phytoparasitica, 36*, 7-19.

Wager, V. A. (1952). The black spot disease of citrus in South Africa. *Science Bulletin of the Department of Agriculture of the Union of South Africa, 303*, 1-52.

Whiteside, J. O. (1967). Sources of inoculum of the black spot fungus, *Guignardia citricarpa*, in infected Rhodesian citrus orchards. *The Rhodesia, Zambia and Malawi Journal of Agricultural Research, 5*, 171-177.

Yonow, T., Hattingh, V., & de Villiers, M. (2013). CLIMEX modelling of the potential global distribution of the citrus black spot disease caused by *Guignardia citricarpa* and the risk posed to Europe. *Crop Protection, 44*, 18-28.