DISTRIBUCIÓN CLIMÁTICA DEL 'CITRUS BLACK SPOT' CAUSADO POR EL HONGO *Phyllosticta citricarpa*. UN ANÁLISIS HISTÓRICO DE LA EXPANSIÓN DE LA ENFERMEDAD EN SUDÁFRICA

Joaquín Martínez-Minaya [1], Conesa D.[2], López-Quílez A.[2], Vicent A.[1]

[1] Centro de Protección Vegetal y Biotecnología, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), Moncada, 46113 Valencia, España.
[2] Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat de València, C/Dr.Moliner 50, Burjassot, 46100 Valencia, España.

INTRODUCCIÓN

- Citrus black spot (CBS) es una enfermedad causada por el hongo fitopatógeno *Phyllosticta citricarpa (*McAlpine) Van der Aa (syn. *Guignardia citricarpa* Kiely).
- El patógeno se describió por primera vez en Australia, y, actualmente está extendido en las principales zonas citrícolas del Sur y Centro de África, América del Sur y Asia.
  La Unión Europea está exenta de la enfermedad y *P. citricarpa* está considerado como organismo de cuarentena (Directiva 2000/29/CE).
- La enfermedad causa la aparición de lesiones necróticas en la corteza de los frutos, depreciándolos por completo para su comercialización en fresco (Fig. 1).
- Uno de los temas más controvertidos en la actualidad es si los climas de las zonas citrícolas de la cuenca del Mediterráneo son o no favorables para el desarrollo de la enfermedad.

Fig. 1: Naranjas infectadas por CBS. Imagen tomada por el Dr. Antonio Vicent.

OBJETIVOS

- Describir las variables climáticas asociadas con la distribución geográfica del CBS durante su expansión en Sudáfrica desde el primer foco hasta la actualidad.
- Estudiar la presencia de autocorrelación espacial en la distribución del CBS en Sudáfrica.

MATERIAL Y MÉTODOS

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA ENFERMEDAD

- Se preparó un banco de datos georeferenciado con 54 localizaciones donde se detectó la enfermedad entre 1929 y 1950 (Wager, 1952) (Fig. 2A).
- Se obtuvieron áreas georeferenciadas de la distribución de las zonas citrícolas y de la enfermedad en la actualidad a partir de los mapas publicados por Paul *et al.* (2005) y Yonow *et al.* (2013) (Fig. 2B).

AUTOCORRELACIÓN ESPACIAL

- Para contrastar la existencia de autocorrelación espacial en los datos, se calcularon los índices de Moran y Geary.

$$I = \frac{n\sum_i\sum_j w_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{S_0\sum_i(x_i-\bar{x})^2} \qquad C = \frac{(n-1)\sum_i\sum_j w_{ij}(x_i-x_j)^2}{2S_0\sum_i(x_i-\bar{x})^2} \qquad \text{donde} \qquad S_0 = \sum_i\sum_j w_{ij}$$

VARIABLES Y CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

- Se obtuvieron los valores de las variables climáticas asociadas con la distribución de la enfermedad en Sudáfrica a partir de los bancos de datos georeferenciados indicados anteriormente y la plataforma WorldClim.
- Para obtener la clasificación climática de las zonas de estudio se desarrolló un algoritmo para implementar los sistemas de clasificación de Köppen-Geiger. (Peel *et al* . 2007).
- El procesado de los datos georeferenciados se realizó mediante capas ráster. (Hijmans, 2014).

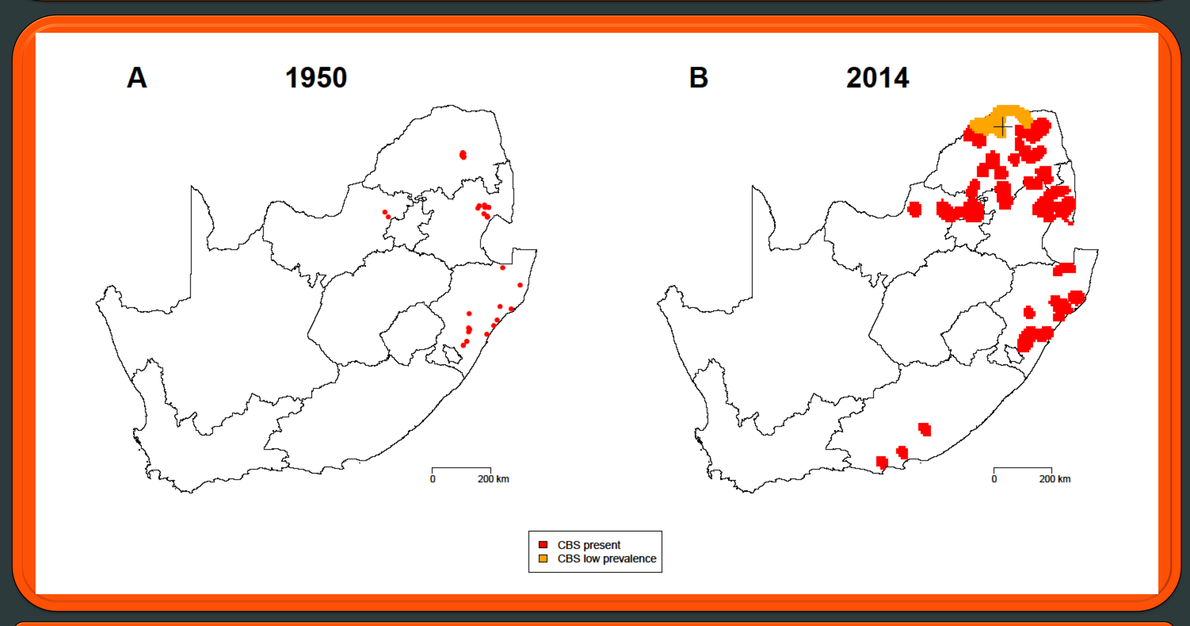

Fig. 2: Distribución de CBS causado por *Phyllosticta citricarpa* en Sudáfrica. A. año 1950, B. año 2014.

RESULTADOS

- Actualmente, el 65.1 % de las zonas citrícolas están afectadas por CBS.
- Los datos de distribución de la enfermedad presentan una fuerte autocorrelación espacial, detectada por ambos índices: una estimación del índice de Moran igual a 1, con un p-valor < 0.0001, y una estimación del índice de Geary igual a 0, con un p-valor < 0.0001.
- Los primeros datos de CBS en Sudáfrica aparecieron en zonas de clima húmedo subtropical (Cw), caracterizado por veranos lluviosos. Sin embargo, en la actualidad la enfermedad se desarrolla principalmente en zonas de clima árido (Bs), que representa el 29 % del total de zonas afectadas (Fig. 3 y 4).
- Las zonas citrícolas de la cuenca del Mediterráneo se caracterizan principalmente por climas áridos (Bs) (Fig. 5)
- Los rangos de la temperatura y lluvia asociados con la distribución geográfica del CBS en Sudáfrica han ido aumentando desde los inicios de la epidemia hasta la actualidad (Fig. 6).

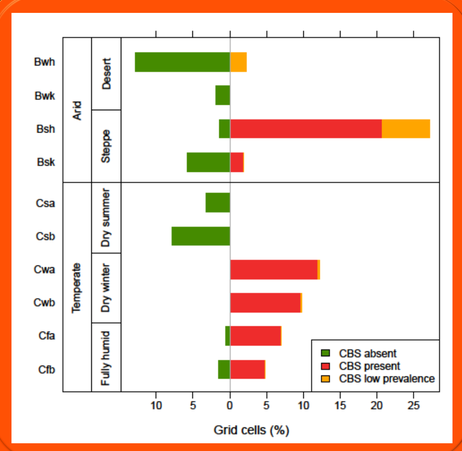

Fig. 3: Proporción de zonas afectadas, no afectadas, y de low pest prevalence, en función de cada tipo de clima según la clasificación de Köppen.

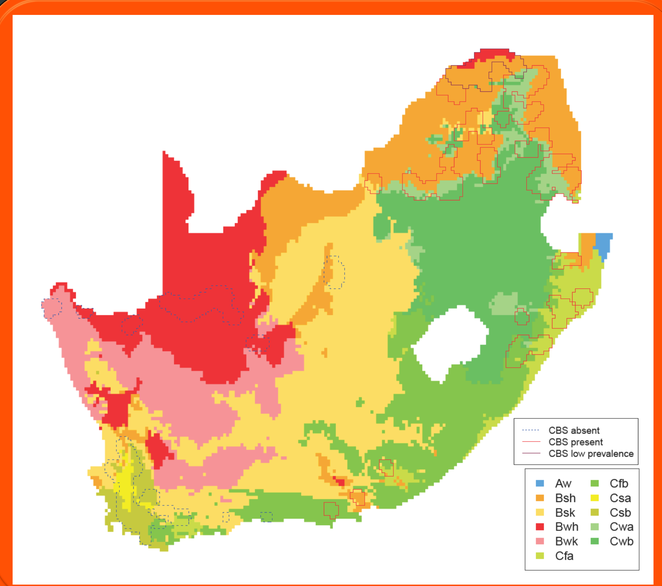

Fig. 4: Representación de la clasificación climática Köppen en Sudáfrica y zonas citrícolas tanto afectadas como no afectadas por CBS

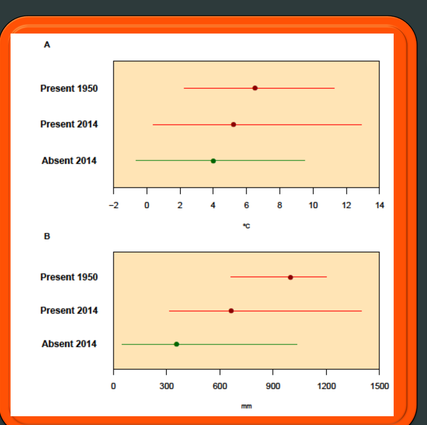

Fig. 6: Mediana, mínimo y máximo de las variables: Mínima temperatura del mes más frío (A), y Precipitaciones anuales (B).

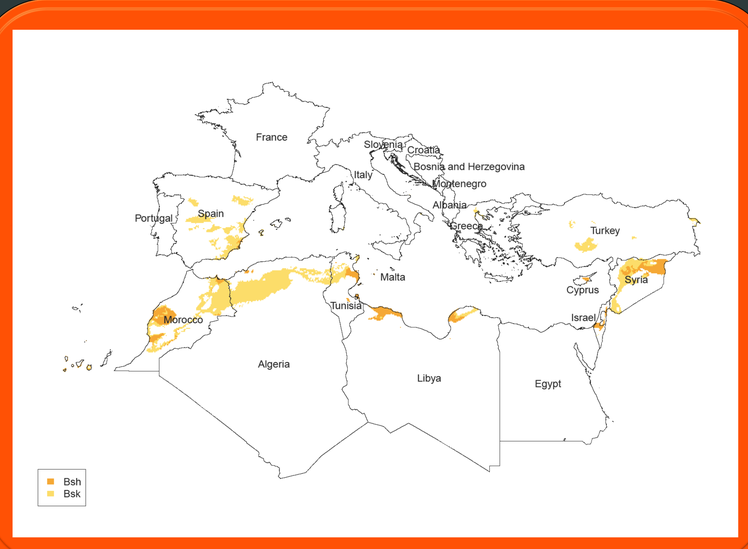

Fig. 5: Climas Bs según la clasificación climática de Köppen en la cuenca del Mediterráneo

DISCUSIÓN

- Los resultados demuestran que la enfermedad ha conseguido adaptarse para desarrollarse epidémicamente en zonas de clima árido.
- La fuerte autocorrelación detectada en la distribución de la enfermedad sugiere que los mecanismos de dispersión de la enfermedad, como el movimiento de material vegetal entre regiones próximas, podrían jugar un papel clave en la expansión del CBS más allá de las propias condiciones climáticas.

LÍNEAS FUTURAS

- Determinar la importancia de los factores climáticos y espaciales en la distribución geográfica del CBS en Sudáfrica, con el fin de estimar el riesgo de establecimiento de la enfermedad en las zonas citrícolas de la Comunitat Valenciana.
- La resolución de este problema se está abordando desde una perspectiva Bayesiana, mediante INLA (Integrated Nested Laplace Approximation). Los modelos en los que se está trabajando actualmente son:

$$Z_i \sim Ber(\pi_i),$$
$$\log\left(\frac{\pi_i}{1-\pi_i}\right) = X_i\beta + W_i,$$
$$\beta_j \sim N(0,10^{-5}),$$
$$W \sim N(0, Q(\kappa,\tau)),$$
$$2\log\kappa \sim N(m_\kappa, q_\kappa^2),$$
$$\log\tau \sim N(m_\tau, q_\tau^2).$$

AGRADECIMIENTOS: Ministerio de Economía y Competividad (Proyecto MTM2013-42323-P)

BIBLIOGRAFÍA

- Hijmans, R. J. (2014). raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.2-31. *http://CRAN.R-project.org/package=raster.*
- 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.
- 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.
- 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.