



Figura 1. Olivar severamente afectado por Verticilosis causada por *Verticillium dahliae* en la provincia de Córdoba. Foto: Juan A. Navas-Cortés

El cambio climático en enfermedades de cultivos en ambientes mediterráneos

Juan A. Navas-Cortés

Instituto de
Agricultura Sostenible,
Consejo Superior
de Investigaciones
Científicas, Córdoba.

La Cuenca mediterránea presenta un clima caracterizado por inviernos suaves y lluviosos con veranos secos y temperaturas altas. El Mediterráneo es considerado uno de los puntos clave en relación al cambio climático. Así, la temperatura media en la región se ha incrementado en 1,5°C en los últimos cien años, y la precipitación en la mayor parte de la región presenta una tendencia descendente en los últimos cincuenta años (Dubrovský y col., 2014). Las proyecciones de cambio climático para el Mediterráneo estiman un descenso pronunciado en la precipitación, especialmente en la estación cálida, a excepción de las áreas del norte del Mediterráneo en invierno. Asimismo, se proyecta un incremento de las temperaturas, en particular en verano. La variación interanual tenderá a incrementarse, especialmente en verano, lo que unido al calentamiento medio general, puede conducir a una mayor ocurrencia de eventos extremos, en especial de temperaturas altas (Giorgi y Lionello, 2008).

Cambio climático y enfermedades

Las enfermedades, junto a las plagas y malas hierbas, juegan un importante papel en la agricultura. Sin embargo, aún es limitada la información disponible sobre el impacto potencial del cambio climático en las enfermedades de cultivos (Jiménez Díaz, 2008). Los fitopatólogos hemos considerado siempre la influencia del ambiente en el desarrollo de las enfermedades tal como se expresa en el triángulo de enfermedad que enfatiza la interacción del huésped, patógenos y ambiente (Grulke, 2011). El cambio climático presenta por tanto una de las vías en las que el ambiente puede condicionar el desarrollo de las enfermedades (Fuhrer, 2003). Así, se ha sugerido que éstas pueden ser utilizadas como indicadores del cambio climático (Garrett y col., 2009). Las bases de datos de larga duración en el desarrollo de enfermedades bajo condiciones ambientales cambiantes son raras (Schern, 2004), pero, cuando existen, demuestran el papel clave de los cambios ambientales para la sanidad de los cultivos (Fabre y col., 2011).

En general, la sanidad de los cultivos sufrirá bajo el cambio climático a través de una serie de mecanismos diversos, de una aceleración de la evolución del cultivo y períodos de incubación más cortos a un mayor estrés abiótico debido a la falta de ajuste entre los ecosistemas y su clima y la mayor frecuencia en la ocurrencia de eventos climáticos extremos (Sutherst, y col., 2011). La sequía se espera conduzca a una mayor frecuencia de patógenos de especies leñosas, principalmente debido a un efecto indirecto en la fisiología del huésped (Desprez-Loustau y col., 2006). Las condiciones secas pueden tener asimismo un efecto en los patógenos, como se ha demostrado para la especie invasiva exótica *Heterobasidium irregulare* en el centro de Italia, que parece mejor adaptada las condiciones de clima Mediterráneo que la especie autóctona *H. annosum* (Garbelotto y col., 2010). Por el contrario, para patógenos que se aprovechan de heridas provocadas por las heladas como *Seiridium cardinale* en cipreses, un descenso en la frecuencia de heladas puede



Figura 2. Síntomas causados por *Xylella fastidiosa* en almendro en la isla de Mallorca. Foto: Juan A. Navas-Cortés.

conducir a una reducción en su incidencia (Garbelotto, 2008).

Los efectos del cambio climático en la incidencia de enfermedades se ha constatado en diversos patosistemas, incluyendo la muerte extensa de especies forestales en Norte América debido al incremento de la temperatura, precipitación y humedad (Van Mantgem y col., 2009; Sturrock y col., 2011); la ocurrencia de severas epidemias de *Phaeocryptopus gaeumannii* en Douglas-fir en Oregón (Estados Unidos) asociada al incremento de temperaturas invernales y el incremento del período de humectación en primavera y otoño (Manter y col., 2005); el incremento de severidad y rango geográfico del pie negro de la colza causado por *Lepthosphaeria maculans* en el sur del Reino Unido debido fundamentalmente al incremento de las temperaturas invernales (Sun y col., 2000); la mayor incidencia hacia el norte en Alemania para *Cercospora beticola*, causante de la Cercosporiosis de la remolacha azucarera, ocasionada por un incremento en la temperatura media anual (Richerzhagen y col., 2011); el incremento de riesgo de Mildiu de la patata causada por *Phytophthora infestans* en el Norte de Europa debido al incremento de temperatura invernal y la incidencia de precipitación, que ha hecho que se

hayan registrado ataques de Mildiu de severidad inusual en cultivos de patata en Finlandia (Hannukkala y col., 2007); la aparición en Estados Unidos de poblaciones de *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*, causante de la roya estriada del trigo, adaptadas a temperaturas más cálidas (Mboup y col., 2012).

Los estudios sobre el cambio climático en patógenos de suelo son más escasos, probablemente debido a que las interacciones con factores climáticos sean más complejos y por tanto sus impactos más difíciles de predecir (Pritchard, 2011; Juroszek & von Tiedemann, 2013; Chakraborty, 2013). Un caso bien documentado es el incremento en la incidencia de podredumbres de raíz en especies forestales en centro Europa causadas por especies de *Phytophthora* como consecuencia del incremento de las temperaturas medias invernales, el cambio en el patrón de precipitación de invierno a verano y la tendencia a lluvias más intensas (Jung, 2009); o la adecuación de condiciones climáticas favorables para *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*, actualmente presente en la Cuenca del Mediterráneo a centro de Europa (Landa y Navas-Cortés, 2013). Finalmente, nuestras investigaciones en la Verticilosis del olivo causada por *Verticillium dahliae* (Figura 1) indican que el incremento de temperatura (Calderón y col., 2014) y de CO₂ conllevará una reducción

en la incidencia y severidad de esta enfermedad; no obstante, el efecto neto de esta reducción dependerá en gran medida del nivel de virulencia del patógeno y la susceptibilidad del cultivar de olivo (J.A. Navas-Cortes, datos no publicados).

Cambio climático y enfermedades emergentes

Las enfermedades emergentes son aquellas causadas por patógenos que: (i) han incrementado su incidencia, rango geográfico o de plantas huésped; (ii) han cambiado su patogénesis; (iii) han surgido "de Novo"; o (iv) han sido reconocidas nuevamente. La modificación de las condiciones ambientales, en gran medida inducidos por el cambio climático, se asocian con el 25% de las enfermedades emergentes en un macro estudio basado en las alertas en la red "Pro-MED" entre 1996-2002. El cambio climático puede contribuir a la emergencia de enfermedades consecuencia de cambios graduales en el clima y mayor frecuencia de eventos climáticos extremos que, por una parte, conduzca a la emergencia de patógenos presentes en un territorio que encuentren condiciones óptimas para su desarrollo, o bien proporcione ambientes favorables para el establecimiento de patógenos exóticos en un nuevo territorio. Uno de los ejemplos más alarmantes lo constituye la ocurrencia de la bacteria *Xylella fastidiosa*, afectando a numerosas plantas huésped en el sur de Europa (Figura 2). Otros factores implicados en la emergencia de fitopatógenos incluyen, de mayor a menor importancia: (i) la introducción de patógenos exóticos en nuevas áreas en las que no están presentes (57%); (ii) las tecnologías de producción (9%); (ii) los cambios en las poblaciones de vectores transmisores de patógenos (7%); y, en menor medida, la ocurrencia de recombinación o mutación en los agentes, o alteraciones del hábitat (Anderson y col., 2004).

Cambio climático y manejo de enfermedades

La información disponible indica que el cambio climático puede alterar los estados y tasas de desarrollo de los

patógenos, modificar la resistencia del huésped y resultar en cambios en la fisiología de las interacciones huésped-patógeno. Las consecuencias más probables son la modificación en la distribución geográfica del huésped y patógeno y la alteración de las pérdidas debidas a enfermedades, causadas en parte por cambios en la eficacia de las medidas de control utilizadas para el manejo de las enfermedades (Coakley y col., 1999).

/ Los efectos del cambio climático en la incidencia de enfermedades se ha constatado en diversos patosistemas /

Mientras que los cambios fisiológicos en las plantas huésped pueden resultar en mayor resistencia del huésped en escenarios de cambio climático, ésta puede ser superada más rápidamente por ciclos de desarrollo de enfermedad más cortos, resultando en una mayor probabilidad de evolución de sus poblaciones que superen la resistencia del huésped. La eficacia de fungicidas y bactericidas puede cambiar por el incremento de CO₂, humedad y temperatura. La mayor frecuencia de eventos de lluvia estimados por los modelos de cambio climático puede provocar un mayor lavado de los productos que resulte en una mayor frecuencia de aplicaciones de productos de contacto. La eficacia de los productos sistémicos puede verse afectada negativamente por los cambios fisiológicos en el huésped que reduzcan la tasa de absorción como una menor apertura estomática o un mayor grosor de las ceras epicuticulares en plantas creciendo en condiciones de alta temperatura. No obstante, estos mismos productos pueden verse afectados positivamente por el incremento de las tasas metabólicas de la planta, que incrementaría su tasa de absorción. No está aún bien entendi-

do como los agentes de control biológico pueden verse afectados, ya que dependerá de cómo las nuevas condiciones ambientales favorezcan a éstos en mayor medida que los patógenos (Juroszek y von Tiedemann, 2011).

La regulación de medidas de exclusión y cuarentena de patógenos serán más complejas ya que patógenos no habituales pueden aparecer en mayor frecuencia en productos y cultivos importados (Chakraborty y Datta, 2003).

Conclusiones

La mejor comprensión del efecto potencial de cambio climático en la agricultura, en términos de su impacto en la severidad e incidencia de enfermedades, es un aspecto esencial. El cambio climático afectará las enfermedades, productividad y calidad de los cultivos. Nuestro conocimiento sobre cómo los cambios en el clima de carácter multifactorial afectarán a la sanidad de los cultivos es aún limitado. No obstante, hay que tener muy en cuenta la imposibilidad de generalizar en cual podrá ser el efecto del cambio climático en los patosistemas, que podrá ser positivo, negativo o neutro en patosistemas individuales debido a la naturaleza específica de las interacciones del huésped y el patógeno. El cambio climático opera a escala global; sin embargo, falta una comprensión de los procesos epidémicos a diversas escalas temporales y/o espaciales. Desde el punto de vista del manejo de enfermedades, la información se requiere a escala local, por tanto, los datos del impacto potencial del cambio climático se requieren a un nivel de detalle que permita capturar los mecanismos y dinámicas que conducen las epidemias y que permitan el diseño de medidas adecuadas para su manejo.

Agradecimientos:

Financiación: proyecto P08-AGR-035 28 de la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia de la Junta de Andalucía y el Fondo Social Europeo, y los proyectos AGL-2012-37521 y AGL2016-75606-R del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad y el Fondo Social Europeo.

Bibliografía

- Anderson, P.K., Cunningham, A.A., Patel, N.G., Morales, F.J., Epstein, P.R., Daszak, P. 2004. Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers. *Trends in Ecology & Evolution* 19: 535-544.
- Calderón, R., Lucena, C., Trapero-Casas, J.L., Zarco-Tejada, P.J., Navas-Cortés, J.A. 2014. Soil temperature determines the reaction of olive cultivars to *Verticillium dahliae* pathotypes. *PLoS ONE* 9: e110664.
- Chakraborty, S., Datta, S. 2003. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO₂ under a changing climate?. *New Phytologist* 159: 733-742.
- Coakley, S.M, Scherm, H., Chakraborty, S. 1999. Climate change and plant disease management. *Annual Review of Phytopathology* 37: 399-426.
- Desprez-Loustau, M.L., Marçais, B., Nageleisen, L.M., Piou, D., Vannini, A. 2006. Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. *Annals Forest Science* 63: 597-612.
- Dubrovský, M., Hayes, M., Duce, P., Trnka, M., Svoboda, M., Zara, P. 2014. Multi-GCM projections of future drought and climate variability indicators for the Mediterranean region. *Regional Environmental Change* 14: 1907-1919.
- Fabre, B., Piou, D., Desprez-Loustau, M.L., Marçais, B. 2011. Can the emergence of pine *Diplodia* shoot blight in France be explained by changes in pathogen pressure linked to climate change? *Global Change Biology* 17: 3218-3227.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture Ecosystems and Environment* 97: 1-20.
- Garbelotto, M. 2008. Molecular analysis to study invasions by forest pathogens: examples from Mediterranean ecosystems. *Phytopathologia Mediterranea*, 47: 183-203.
- Garbelotto, M., Linzer, L., Nicolotti, G., Gonthier, P. 2010. Comparing the influences of ecological and evolutionary factors on the successful invasion of a fungal forest pathogen. *Biological Invasions* 12: 943-957.
- Garrett, K. A., Nita, M., DeWolf, E. D., Gomez, L., Sparks, A. H. 2009. Plant pathogens as indicators of climate change. In: *Climate Change: Observed Impacts on Planet Earth*, Letcher, T. (ed.), Elsevier, Dordrecht, pp. 425-437.
- Giorgi, F., Lionello, P. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change* 63:90-104.
- Gulke, N.E. 2011. The nexus of host and pathogen phenology: Understanding the disease triangle with climate change. *New Phytologist* 189: 8-11.
- Hannukkala, A.O., Kaukoranta, T., Lehtinen, A., Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. *Plant Pathology* 56: 167-176.
- Jiménez Díaz, R.M. 2008. Impactos del cambio climático en las enfermedades de las plantas. p. 143-162. En: *Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura y la Alimentación Mundial*. J. Lamo de Espinosa, R.M. Jiménez Díaz (Coordinadores). Eumedia S.A. 190 pp.
- Jung, T. 2009. Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes. *Forest Pathology* 39: 73-94.
- Juroszek, P., von Tiedemann, A. 2011. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology* 60: 100-112.
- Juroszek, P., von Tiedemann, A. 2013. Plant pathogens, insect pests and weeds in a changing global climate: a review of approaches, challenges, research gaps, key studies and concepts. *The Journal of Agricultural Science* 151: 163-188.
- Landa, B.B., Montes-Borrego, M., Navas-Cortés, J.A. 2013. Use of PGPR for controlling soilborne fungal pathogens: Assessing the factors influencing its efficacy. p. 259-292. En: *Series Microbiology Monographs. Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management*. Edited by: D. K. Maheshwari, Ed. Springer, Heidelberg, Germany.
- Manter, D.K., Reeser, P.W., Stone, J.K. 2005. A climate-based model for predicting geographic variation in Swiss needle cast severity in the Oregon coast range. *Phytopathology* 95: 1256-1265.
- Mboup, M., Bahri, B., Leconte, M., De Vallavieille-Pope, C., Kaltz, O., Enjalbert, J. 2012. Genetic structure and local adaptation of European wheat yellow rust populations: the role of temperature-specific adaptation. *Evolutionary Applications* 5: 341-352.
- Pritchard, S.G. 2011. Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology* 60: 82-99.
- Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B., Hau, B. 2011. Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of *Cercospora* leaf spot in lower Saxony. *Journal of Plant Diseases and Plant Protection* 118: 162-177.
- Scherm, H. 2004. Climate change: Can we predict the impacts on plant pathology and pest management?. *Canadian Journal of Plant Pathology* 26: 267-273.
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J., Woods, A.J. 2011. Climate change and forest diseases. *Plant Pathology* 60:133-149.
- Sun, P., Fitt, B.D.L., Gladders, P., Welham, S.J. 2000. Relationships between *Phoma* leaf spot and development of stem canker (*Leptosphaeria maculans*) on winter oilseed rape (*Brassica napus*) in southern England. *Annals of Applied Biology* 137: 113-125.
- Sutherst, R.W., Constable, F., Finlay, K.J., Harrington, R., Luck, J., Zalucki, M.P. 2011. Adapting to crop pest and pathogen risks under a changing climate. *Wiley Interdisciplinary Reviews - Climate Change* 2: 220-237.
- Van Mantgem, P.J., Stephenson, N.L., Byrne, J.C., Daniels, L.D., Franklin, J.F., Fulé, P.Z., Harmon, M.E., Larson, A.J., Smith, J.M., Taylor, A.H., Veblen, T.T. 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science* 323:521-524.