

Control de la mancha marrón de las mandarinas causada por *Alternaria*

Evaluación de tres sistemas de ayuda en la toma de decisiones

A. Vicent¹, D.D.M. Bassimba² y J.L. Mira¹.

¹ Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA), Moncada (Valencia).

² Instituto de Investigação Agronómica (IIA), Chianga, 2104 Huambo, Angola.

La enfermedad de la mancha marrón, causada por un patotipo del hongo *Alternaria alternata*, provoca la aparición de lesiones necróticas y pústulas suberosas en determinadas variedades de mandarinas. Para el control de la enfermedad es necesario adoptar prácticas agronómicas que favorezcan la ventilación de la parcela y realizar aplicaciones fungicidas. Los sistemas de ayuda en la toma de decisiones permiten reducir la frecuencia de las aplicaciones fungicidas, pero antes de su puesta en servicio deben validarse en la zona donde van a implementarse.



Frutos de tangelo Minneola con lesiones suberosas en la corteza.

La mancha marrón de las mandarinas se citó por primera vez en Australia a principios del siglo XX. Actualmente, la enfermedad está presente en los cinco continentes, causando daños de gravedad tanto en las áreas citrícolas de clima húmedo y otras, como la cuenca mediterránea, de condiciones áridas y semi-áridas (Timmer *et al.*, 2003). En España, la enfermedad se detectó por primera vez en Alzira (Valencia) y rápidamente se extendió a todas las áreas citrícolas del país.

Los síntomas de la enfermedad se caracterizan por la aparición de lesiones necróticas en las brotaciones jóvenes, que avanzan siguiendo las nervaduras de las hojas (**foto 1**). Las hojas afectadas caen de forma prematura y aquellas que permanecen en la copa, siguen su desarrollo de forma anormal con áreas necróticas y clorosis. En los frutos, la enfermedad se caracteriza por la aparición de lesiones necróticas deprimidas y pústulas suberosas en la corteza (**foto 2**). Aunque estas lesiones no alcanzan a los lóculos, los

daños en la corteza reducen la calidad de la fruta para su comercialización en fresco. La enfermedad puede afectar también al rendimiento de la cosecha, ya que las infecciones a los frutos jóvenes inducen su abscisión de forma casi inmediata.

La mandarina Dancy y sus híbridos cultivados, como Fortune, Nova, Minneola, Page, Orlando, Lee y Sunburst, son sensibles a la mancha marrón. Sin embargo, la enfermedad se desarrolla también en otras variedades no derivadas de Dancy, como Murcott, Primosole, Ponkan, Emperor y Tangfang. Dentro del grupo de variedades afectadas, el grado de susceptibilidad a la enfermedad es muy variable. En algunas muy sensibles, como Fortune y Minneola, los daños ocasionados por la mancha marrón han provocado la reconversión varietal de numerosas parcelas. En cambio, en otras menos sensibles como Nova, es posible controlar la enfermedad mediante la adopción de una estrategia de control adecuada.

La mancha marrón de las mandarinas está causada por un patotipo del hongo *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. Los aislados de este patotipo poseen un pequeño cromosoma adicional que les permite sintetizar la toxina ACT, capaz de afectar selectivamente a las variedades de mandarina susceptibles. *Alternaria* se reproduce mediante esporas (conidias) que forma sobre las lesiones de hojas, brotes y frutos. Estudios realizados en nuestro país han demostrado que este patógeno puede reproducirse además sobre la hojarasca y algunas malas hierbas (Bassimba *et al.*, 2014). Bajo condiciones adecuadas, la esporulación sobre los tejidos afectados puede durar entre 10 y 40 días. Las esporas de *Alternaria* se diseminan principalmente a través de corrientes de aire y salpicaduras de lluvia. Para la germinación de las esporas y la infección es necesaria la presencia de agua líquida sobre la planta (humectación) y temperaturas adecuadas. Las esporas de *Alternaria* emiten la toxina



Foto 1. Lesión de mancha marrón, causada por *Alternaria alternata*, en una hoja de mandarina Fortune.

ACT durante su germinación, necrosando los tejidos en unas pocas horas. Estos tejidos muertos son posteriormente colonizados por el hongo (Timmer *et al.*, 2003).

Epidemiología y control

En las zonas donde la mancha marrón es endémica la presencia de inóculo no suele ser un factor limitante para su desarrollo epidémico. Este aspecto se ha comprobado tanto en regiones de clima húmedo subtropical (Florida, EE.UU.) como en las de clima semi-árido tipo mediterráneo (España) (Timmer *et al.*, 2000; Bassimba *et al.*, 2014). Los períodos críticos de infección están, por lo tanto, determinados fundamentalmente por la presencia de tejido vegetal susceptible y condiciones climáticas favorables. Las hojas de las variedades sensibles sólo se ven afectadas por la enfermedad durante sus primeras fases de desarrollo. En cambio, en nuestras condiciones los frutos son siempre susceptibles a la infección (Vicent *et al.*, 2004).

Estudios realizados en Florida indican que en esta región la mayor parte de las

infecciones se dan durante el verano, coincidiendo con lluvias abundantes y altas temperaturas estivales típicas del clima húmedo subtropical. En cambio, bajo nuestras condiciones semi-áridas, los principales períodos de infección son en primavera y finales de verano-otoño, coincidiendo con lluvias y temperaturas suaves (Bassimba *et al.*, 2014). No obstante, debido a la irregularidad característica del clima mediterráneo, los períodos de infección pueden variar según las condiciones propias de cada año.

Para el control de la mancha marrón es necesario adoptar prácticas agronómicas que favorezcan la ventilación y reduzcan la humedad ambiental en la parcela. En este sentido, hay que evitar el cultivo de variedades sensibles en zonas húmedas y poco ventiladas. Tampoco bajo umbráculos de malla o cortavientos que dificulten la circulación de aire. El diseño de la plantación debe favorecer la ventilación, con las filas orientadas a los vientos dominantes y marcos de plantación amplios. Para reducir la presencia continuada de tejido foliar susceptible hay que evitar los patrones vi-

gorosos y los excesos de abonado nitrogenado. Las prácticas de cultivo orientadas a reducir el inóculo en la parcela son en general poco efectivas, ya que el patógeno está distribuido en la copa de los árboles, la hojarasca y las malas hierbas.

Además de unas prácticas agronómicas adecuadas, las aplicaciones fungicidas son necesarias para el control económico de la mancha marrón. Actualmente, en nuestro país estas aplicaciones se basan fundamentalmente en fungicidas a base de cobre y mancozeb. Durante los últimos años se ha autorizado de forma excepcional el uso del fungicida piraclostrobin, bajo unas condiciones de aplicación determinadas.

Sistema de ayuda en la toma de decisiones

Con cerca de un 44% de cuota de mercado, los fungicidas son el principal grupo de fitosanitarios en la UE. España es el país que más fungicidas utiliza de toda la Unión Europea, con unas ventas anuales de aproximadamente 39.000 toneladas (Eurostat, 2018). La Directiva 2009/128/EC para el uso sostenible de los plaguicidas (fitosanitarios) establece un marco de actuación para reducir el uso de estos productos en la UE, adoptando de forma general los principios de la gestión integrada. En el caso de los cítricos, durante los últimos años se han realizado avances importantes en lo que respecta a la reducción de las dosis y la mejora en la eficiencia de las técnicas de aplicación (Vicent *et al.*, 2009; Garcerá *et al.*, 2017). No obstante, para conseguir una disminución sustancial en el uso de fungicidas es imprescindible reducir también la frecuencia de las aplicaciones. La Directiva 2009/128/EC establece diversos métodos para conseguir esta reducción, como son monitorizar la evolución de los patógenos, emplear sistemas de avisos y adoptar umbrales de intervención. Todos estos métodos conver-

gen en lo que se denominan sistemas de ayuda en la toma de decisiones, que permiten programar las aplicaciones basándose en unos criterios técnicos objetivos (Rossi *et al.*, 2012).

Recientemente, la Comisión Europea ha publicado un informe donde concluye que, aunque la monitorización es una práctica relativamente habitual, todavía son pocos los productores que basan sus programas de aplicaciones en sistemas de avisos y umbrales de intervención (DG SANTE, 2017). El coste económico de una aplicación fungicida es trivial cuando lo comparamos con las pérdidas que puede causar la enfermedad. Un programa fijo de aplicaciones fungicidas suele transmitir una sensación de mayor seguridad respecto a otro donde hay que ir tomando decisiones en función, por ejemplo, de la meteorología. Los productores son, por lo general, reacios a asumir riesgos, lo que explicaría en parte el insuficiente grado de adopción de los sistemas de ayuda en la toma de decisiones.

Para reducir la frecuencia de las aplicaciones fungicidas, los sistemas de ayuda en la toma de decisiones deben minimizar la proporción de falsos positivos. Es decir, cuando el sistema predice que hay riesgo de infección, sin que esta se produzca y recomendamos por lo tanto una aplicación fungicida innecesaria. No obstante, para que los productores adopten el sistema es esencial minimizar la proporción de falsos negativos. Cuando el sistema predice que no hay riesgo de infección, pero esta se produce sin que hayamos recomendado una aplicación fungicida, con los consiguientes daños de la enfermedad.

En el caso de la mancha marrón de las mandarinas los falsos negativos son, si cabe, todavía más peligrosos. Por una parte, los criterios de calidad para la comercialización en fresco de frutos cítricos son extremadamente exigentes. Con unas pocas lesiones de mancha marrón

en la corteza, el fruto pasa a considerarse directamente como destrío (OECD, 2010). Por otra parte, debido a la acción de la toxina ACT que produce el patógeno durante la germinación de las esporas, el período de incubación entre la infección y la aparición de síntomas es tan solo unas pocas horas. Esto implica que en la práctica no es posible actuar con fungicidas de forma curativa (después de la infección) siendo la estrategia de aplicaciones básicamente preventiva (antes de la infección). Por lo tanto, los sistemas de ayuda en la toma de decisiones para el control de la mancha marrón deben garantizar una muy baja proporción de falsos negativos.

Evaluación de tres sistemas de ayuda

Con el fin de mejorar la eficiencia de los programas de aplicaciones fungicidas para el control de la mancha marrón se

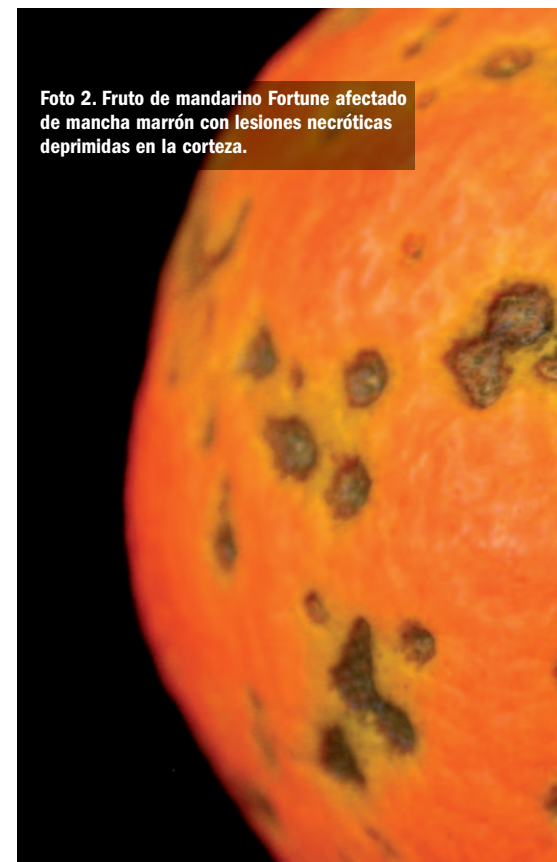
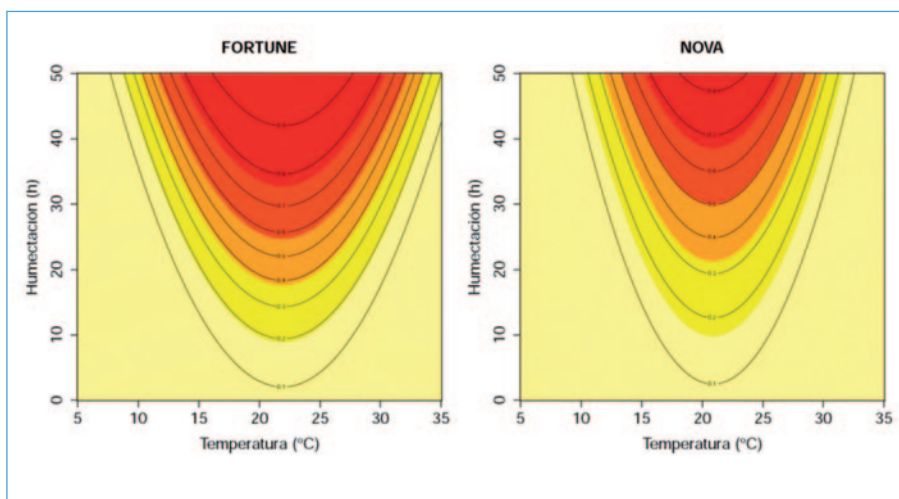


Foto 2. Fruto de mandarina Fortune afectado de mancha marrón con lesiones necróticas deprimidas en la corteza.

evaluaron diferentes sistemas de ayuda en la toma de decisiones. Por una parte, se evaluó el modelo Alter-Rater, desarrollado en Florida para el control de la mancha marrón. El modelo asigna valores de riesgo en función de diferentes umbrales de pluviometría, duración de la humectación y temperatura (Timmer *et al.*, 2000). Este sistema se ha validado en Florida y Brasil, bajo unas condiciones de clima húmedo subtropical muy diferentes a las de las zonas de clima Mediterráneo.

Por otra parte, se realizaron inoculaciones artificiales en plántones de Nova y Fortune bajo diferentes combinaciones de temperatura (8-35°C) y duración de la humectación (8-48 h). Sobre los datos obtenidos se aplicó un modelo aditivo generalizado (GAM) que relaciona la incidencia de la enfermedad con estas dos variables meteorológicas (**figura 1**) (Bassimba *et al.*, 2017).

FIG. 1 Probabilidad de infección obtenida mediante un modelo aditivo generalizado (GAM) a partir de los valores de incidencia obtenidos en plantas de Fortune y Nova inoculadas bajo diferentes combinaciones de temperatura y humectación.



Por último, se evaluó también un modelo empírico denominado *symple rule system* (SRS) desarrollado a partir de estudios epidemiológicos previos (Bassimba *et al.*, 2014). Estos estudios previos indican que, en nuestras condiciones, son necesarios al menos 2,5 mm de pluviometría semanal y 12,5°C de temperatura media para que se produzca una infección. Una vez rebasadas estas condiciones mínimas, el modelo SRS considera un mayor riesgo de infección a medida que aumenta la pluviometría y la temperatura (Bassimba *et al.*, 2017).

Antes de su puesta en servicio, los sistemas de ayuda en la toma de decisiones deben validarse en la zona donde van a implementarse. Aunque esté desarrollado correctamente, un modelo que no cuente con una validación adecuada puede resultar en una elevada proporción de predicciones erróneas (falsos positivos y/o falsos negativos), mermando la confianza en el sistema. Los modelos de predicción de enfermedades pueden validarse principalmente de dos formas.

En la validación biológica se evalúa si el modelo predice correctamente la progresión/riesgo de enfermedad en campo. En cambio, en la validación comercial se evalúa si el modelo permite predecir actuaciones concretas de control, como las aplicaciones fungicidas.

La exposición de plantas trampa es una de las técnicas más utilizadas para validación biológica de los modelos. Para la validación comercial suelen realizarse ensayos de campo comparando un programa de aplicaciones fungicidas a calendario respecto a otro dirigido según el modelo (Magarey y Sutton, 2007).

En ambos casos, es esencial que la validación se realice en varias localizaciones y durante varias campañas. De esta forma se evalúa el modelo bajo diferentes condiciones climatológicas y de cultivo, que pueden variar según la zona y el año. Es importante también que la validación se



Foto 3. a) Plantas trampa y b) estación meteorológica de las parcelas de mandarina afectadas por la mancha marrón donde se realizó la validación de los modelos.

realice a partir de datos que no se hayan utilizado en el desarrollo del modelo.

Para la validación de los modelos se eligieron tres parcelas de mandarina afectadas por la mancha marrón en la provincia de Valencia, donde se instalaron estaciones meteorológicas automáticas. Durante dos campañas se llevaron semanalmente plantas trampa de Nova y Fortune (foto 3).

Después de cada exposición semanal, las plantas se llevaron a un invernadero donde se evaluó la incidencia de la enfermedad. De esta forma, cada semana se disponía del dato de incidencia de la mancha marrón en las plantas trampa y los valores correspondientes a los tres modelos (Alter-Rater, GAM y SRS). Estos datos se analizaron mediante una técnica denominada curva característica operativa del receptor, o curva ROC.

Este método estadístico se utiliza habitualmente para la evaluación de modelos de predicción, ya que permite obtener la proporción de falsos positivos y falsos negativos para cada uno de los posibles valores del modelo (Bassimba *et al.*, 2017).

Se obtuvo la curva ROC de cada uno de los tres modelos, representando gráficamente la proporción de falsos positivos en el eje horizontal y falsos negativos en el eje vertical (figura 2). A partir de ahí, se calculó el umbral de corte óptimo de cada modelo con el índice de Youden, garantizando que la proporción de falsos negativos fuera siempre inferior a 0,1 (10%). Como se observa en la figura 2, en los tres modelos se pudo definir un umbral de corte óptimo con una proporción de falsos negativos inferior a 0,1. Sin embargo, la proporción de falsos positivos obtenida con los modelos Alter-Rater (76%) y GAM (53%) fue excesivamente elevada.

En la práctica, estos falsos positivos implicarían la realización de un número inadmisiblemente de aplicaciones fungicidas innecesarias. Alter-Rater asigna valores de riesgo muy bajos con temperaturas inferiores a 20°C, poco habituales en las regiones de clima húmedo subtropical donde se desarrolló y validó este modelo. Sin embargo, estudios epidemiológicos realizados en nuestras zonas de cultivo de clima mediterráneo indican que la mayoría

FIG. 2 Curvas ROC obtenidas a partir de la proporción de falsos negativos y falsos positivos de los modelos Alter-Rater, GAM y SRS en mandarina Nova.

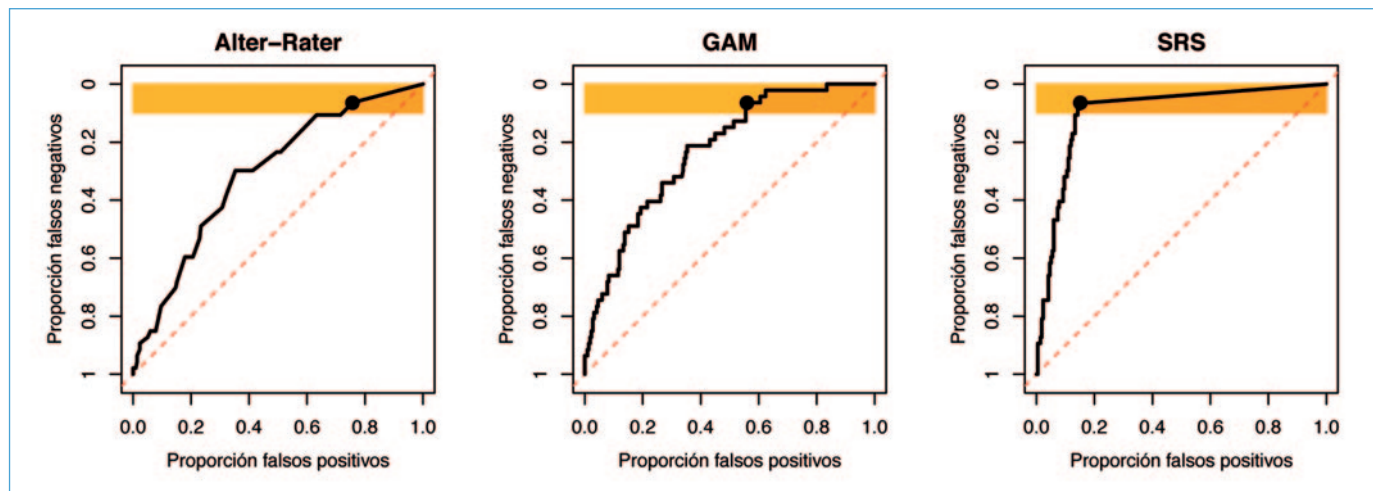
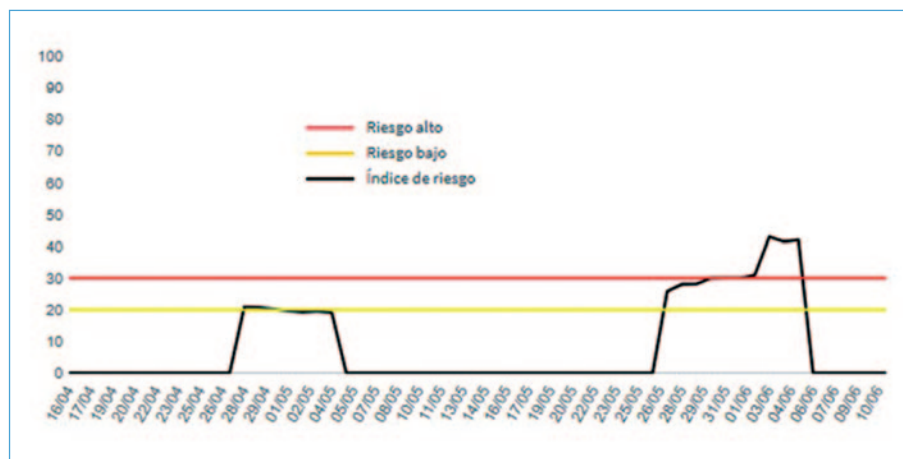


FIG. 3 Vista del modelo SRS para la mancha marrón de las mandarinas en la página web de Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades en Cítricos del IVIA: <http://gipcitricos.ivia.es/avisos-alternaria>. La línea de color negro indica la evolución del índice de riesgo de la enfermedad. Umbrales de riesgo: línea de color amarillo para riesgo bajo y color rojo para riesgo alto.



de las infecciones se producen con temperaturas subóptimas de 15-25°C (Bassimba *et al.*, 2014).

Por su parte, el modelo GIM considera únicamente la temperatura y la duración de la humectación. Sin embargo, estos mismos estudios epidemiológicos indican que en nuestras condiciones la lluvia es un

factor determinante para las infecciones.

El modelo empírico SRS, basado en estudios epidemiológicos previos, presentó una proporción de falsos negativos de 0,06 (6%) y una proporción de falsos positivos de 0,15 (15%) (figura 3). Estos valores lo sitúan dentro del rango de los mejores modelos de predicción de enfermedada-

des de plantas. Basándonos en los resultados de la validación, finalmente se optó por implementar el modelo SRS como sistema de ayuda en la toma de decisiones para optimizar el control de la mancha marrón de las mandarinas. Además de su fiabilidad, otra ventaja del modelo SRS es que necesita únicamente registros de temperatura y pluviometría, disponibles en la red de estaciones agroclimáticas del Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR).

El sistema está disponible de forma gratuita en la página web de Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades en Cítricos del IVIA: <http://gipcitricos.ivia.es/avisos-alternaria>. Los resultados de este trabajo ponen de manifiesto la importancia de realizar una validación adecuada de los modelos de predicción antes de su puesta en servicio. ■

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por el proyecto INIA RTA2010-00105-00-00-FEDER.

BIBLIOGRAFÍA

Existe una amplia bibliografía a disposición de nuestros lectores que pueden solicitar a través del e-mail: redaccion@eumedia.es