



Manzanas con moteado y pedrisco.

El uso de modelos para la previsión de enfermedades en los cultivos

El CIDA trabaja para integrar en la web un sistema de avisos al agricultor para optimizar el momento y la eficacia en la aplicación de tratamientos fitosanitarios

Texto y fotografías:

Silvia Gallo, Joaquín Huete y Vanessa Tobar

SIAR. Sección de Tecnología Agrícola y Experimentación

Juan M. Rodríguez

Sección de Protección de Cultivos

Elisa Baroja

Sección de Viticultura y Enología

Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico Agroalimentario (CIDA)



Estación agrometeorológica en una parcela de control de mildiu en Bañares.



Primeras manchas de mildiu detectadas en una parcela de patata en Berceo.

Introducción

El progreso experimentado en los últimos años en patología y fisiología vegetal, así como en el tratamiento y difusión de la información, ha hecho posible que los modelos de predicción de plagas y enfermedades en los cultivos se hayan convertido en una herramienta más en la consecución de una agricultura sostenible. De modo paralelo, hemos asistido al desarrollo de redes de estaciones agrometeorológicas automáticas distribuidas en muchas áreas agrícolas del mundo.

Un modelo de predicción de plagas y/o enfermedades es una representación de los riesgos de ataque en el tiempo, y que, por tanto, permite minimizar los daños ante cualquier eventualidad con un cierto grado de confianza.

El desarrollo de los modelos de predicción del riesgo de infección por una enfermedad se fundamenta en la biología del parásito y en factores ambientales que determinan su desarrollo. Por ejemplo, en la figura 1 se representa el ciclo de desarrollo del mildiu de la patata, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, así como las condiciones ambientales óptimas para su desarrollo. En términos generales, la biología de cada

patógeno está estrechamente vinculada a unas determinadas condiciones ambientales en cada fase de su ciclo y serán éstas las que favorezcan o no su desarrollo y/o multiplicación.

Un modelo puede prever el comportamiento de un patógeno en condiciones de campo utilizando los datos meteorológicos que precise, registrados en unas determinadas condiciones locales.

Por otro lado, la actual tendencia hacia una agricultura más sostenible, con especial consideración y respeto al medio ambiente, está provocando cambios en los métodos y estrategias de control de las enfermedades. Los modelos de predicción permiten mejorar la programación habitual de tratamientos basados en un calendario fijo y cuyo objetivo es mantener el cultivo permanentemente protegido, sin considerar otros factores que pueden hacer innecesarios estos tratamientos.

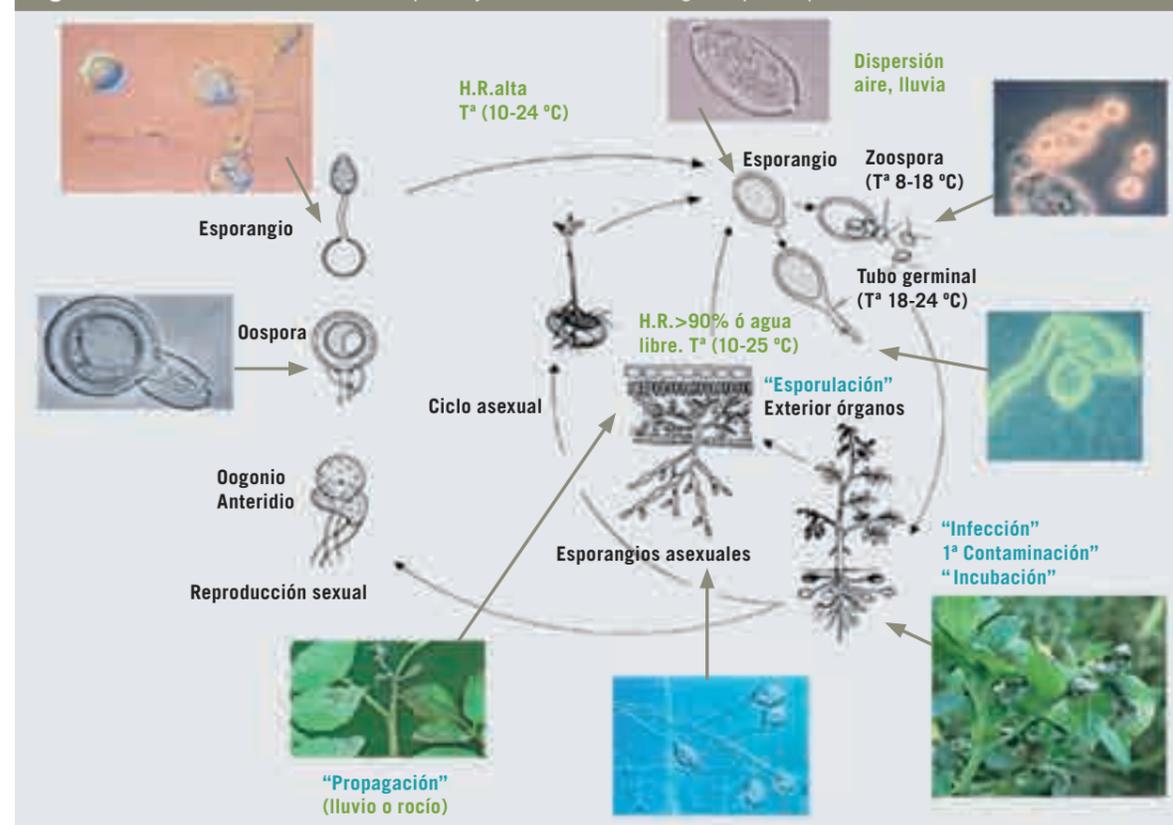
El uso de estos modelos permite ofrecer información periódica sobre el riesgo, optimizando el momento y número de aplicaciones fitosanitarias. Como consecuencia, es posible reducir los costes, contribuyendo a la vez a la mejora de aspectos medioambientales. Esta información también facilita la to-

ma de decisiones para realizar los tratamientos desde un punto de vista preventivo, cuestión de gran importancia debido a la dificultad que supone erradicar completamente una enfermedad, una vez establecida ésta en el campo.

En La Rioja, desde hace más de treinta años, la Sección de Protección de Cultivos está utilizando con éxito el modelo de Goidanich para la previsión del mildiu en viñedo, manteniendo una estrecha colaboración con los agricultores en la detección de la primera mancha.

Con estos antecedentes, y a través de la información recogida de sus colaboradores y usuarios, el Servicio de Información Agroclimática de La Rioja (SIAR) valoró el interés suscitado por esta línea de trabajo y fue consciente de que la red de estaciones agrometeorológicas existente era un soporte muy adecuado para la generación de este tipo de alertas o avisos, que permitiesen a los agricultores, cooperativas y usuarios en general conocer con antelación los posibles riesgos y actuar en consecuencia. Por ello, desde hace unos años se está trabajando en la validación de modelos de predicción para las enfermedades de los cultivos con mayor interés en La Rioja, y que mayores pérdi-

Figura 1. Ciclo de desarrollo del mildiu de patata y condiciones meteorológicas óptimas para su desarrollo



das económicas pueden ocasionar. Estas enfermedades son: mildiu en patata, *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, y en viñedo, *Plasmopara viticola* (Berk & Curt.) Berl. y de Toni, moteado en manzano, *Venturia inaequalis* (Cke.) y mancha negra en peral, *Stemphylium vesicarium* (Wallr.).

Los modelos necesitan de una validación, es decir, verificar que sus resultados son adecuados a las diferentes zonas de producción de cada cultivo en La Rioja. Para ello, es necesario un ajuste local de los parámetros climáticos implicados, como son, por ejemplo, los umbrales de humedad relativa, factores que dependen de las condiciones locales, ya sea debido a la zona geográfica o a la intensidad de cultivo (fuente de inóculo del patógeno). Los datos meteorológicos pueden ser tomados en las propias parcelas del cultivo, o bien proceder de la red general de estaciones del SIAR. En la validación de los modelos se utilizan ambas fuentes de datos. De esta manera podemos determinar si los datos de la red general son adecuados para su utilización en los modelos.

Con este mismo objetivo de validación, se realiza un seguimiento de la incidencia de la enfermedad en los cul-

tivos en cada zona de producción. Se recogen las fechas de aparición de los síntomas de la enfermedad, para contrastarlas con las fechas de condiciones favorables para su desarrollo o de riesgo, proporcionadas con la aplicación de los modelos. Para ello se dispone de campos de control con agricultores colaboradores, en los que se mantiene una "parcela testigo" donde no se realiza ningún tratamiento, con el objetivo de observar la incidencia de la enfermedad, y una "parcela guiada", en la que se establece el programa de tratamientos que recomienda el modelo. A su vez, se realiza un seguimiento de parcelas en las que se realiza la aplicación de un calendario habitual de tratamientos.

Como ejemplo de todo lo expuesto anteriormente, a continuación se muestran algunos resultados parciales, obtenidos mediante modelos de predicción de mildiu de patata y de moteado en manzano.

Mildiu de patata

Desde el año 2003, en distintas localidades de Rioja Alta, se han realizado ensayos para comprobar el funcionamiento del modelo de Beaumont y del

programa NegFry, desarrollado por el Instituto Danés para las Ciencias Agrícolas.

El programa informático NegFry utiliza dos submodelos, a partir de los cuales proporciona avisos de tratamientos fitosanitarios:

- Con el primer submodelo se calcula el riesgo diario de mildiu, para determinar así la fecha de un primer tratamiento (contaminación primaria).
- El segundo submodelo realiza un seguimiento para fijar el aviso de posibles aplicaciones fungicidas a lo largo del cultivo, calculando unidades de desarrollo de mildiu diarias (infecciones secundarias).

Una vez se establecen las condiciones óptimas para que comience la reproducción asexual de este hongo, la repetición de ciclos (contaminaciones secundarias) puede darse muy rápidamente, llegando a mostrar valores de infección muy elevados por superficie y día.

Este programa permite variar los parámetros de entrada del modelo para cada zona de estudio, y para las condiciones en que se tomen los datos meteorológicos. De este modo se puede ajustar el modelo.

El modelo de Beaumont modificado permite la identificación de periodos favorables para el desarrollo de la enfermedad, después de sobrevenir un periodo de 48 horas con unas condiciones meteorológicas determinadas y ajustadas localmente, previendo un riesgo de infección con unos 7-15 días de antelación.

En ambos modelos se han procesado datos horarios de temperatura, humedad relativa y precipitación. Los datos meteorológicos registrados procedían de estaciones y sensores situados en las condiciones del cultivo, así como de las estaciones de la red SIAR, considerando en cada caso la más cercana a la parcela de control.

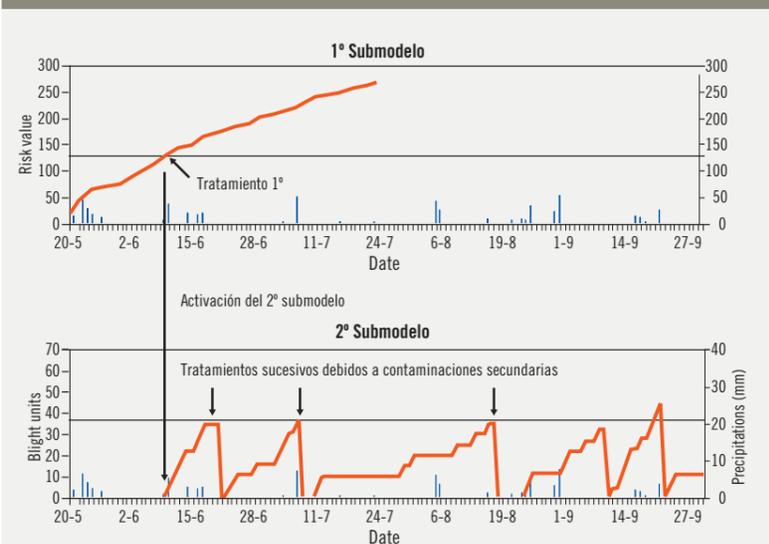
La figura 2 muestra un gráfico con la previsión realizada en la localidad de Leiva por el programa NegFry durante la campaña 2007. En él se observa cómo el primer submodelo proporciona un aviso inicial de tratamiento, y cómo se activa el segundo submodelo, dando lugar a tres avisos más, todos ellos obtenidos al superar unos determinados umbrales que han sido establecidos localmente.

Además de exigir un formato de entrada de datos climáticos muy específico, este programa presenta como inconveniente la consideración de una serie de factores relacionados con el manejo de cada finca, fecha de tratamientos, riegos, etc., que complica su manejo y la generalización del aviso a toda una zona de cultivo después de producirse el primero.

Los cuadros 1 y 2 representan los resultados y la comprobación del funcionamiento del programa NegFry y del modelo de Beaumont empleados en la previsión del mildiu de la patata para cada zona de cultivo a lo largo del periodo 2003-2008.

En el 50% de los casos, la aplicación del programa NegFry (cuadro 1), ha proporcionado una previsión correcta, es decir, dentro de los 16 días anteriores a la enfermedad, o adelantada, antes de los 16 días anteriores a la enfermedad. En un 45% de los casos, el modelo previó la enfermedad, pero no se observaron síntomas (ausencia). El modelo detectó el riesgo después de que los síntomas se manifestasen en el 5% de las ocasiones.

Figura 2. Ejemplo gráfico de los resultados de riesgo ofrecidos por el software NegFry para el mildiu de la patata en Leiva en 2007 y mediante la estación del SIAR situada en la misma localidad

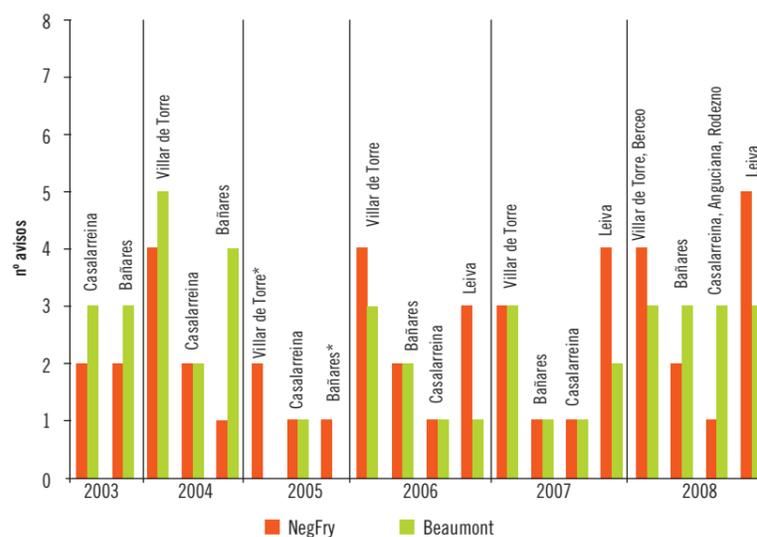


Cuadro 1. Resultados de primer riesgo de mildiu de patata obtenidos mediante las estaciones agroclimáticas (SIAR) con el programa NegFry

Año	Localidad	1º aviso modelo	1ºs síntomas cultivo	Pronóstico*
2003	Casalarreina	24 junio	Ausencia	Adelantado
	Bañares	24 junio	Ausencia	Adelantado
2004	Villar de Torre	25 junio	13 julio	Adelantado
	Casalarreina	19 junio	16 agosto	Adelantado
	Bañares 1	19 junio	14 junio	Atrasado
2005	Bañares 2	19 junio	03 julio	Correcto
	Bañares 3	19 junio	03 julio	Correcto
2006	Villar de Torre	15 junio	Ausencia	Adelantado
	Bañares	13 junio	Ausencia	Adelantado
	Casalarreina	21 junio	Ausencia	Adelantado
2007	Villar de Torre	19 junio	Ausencia	Adelantado
	Bañares	20 junio	Ausencia	Adelantado
	Casalarreina	24 junio	24 julio	Adelantado
	Leiva	24 junio	Ausencia	Adelantado
2008	Villar de Torre	06 junio	18 junio	Correcto
	Bañares	02 junio	18 junio	Correcto
	Casalarreina	12 junio	Ausencia	Adelantado
	Leiva	10 junio	Ausencia	Adelantado
2008	Villar de Torre Berceo	28 mayo	11 junio	Correcto
	Bañares	31 mayo	11 junio	Correcto
	Rodezno Casalarreina Anguciana	10 junio	11 junio	Correcto
	Leiva	28 mayo	19 junio	Adelantado

* Adelantado: el primer aviso se produce antes de los 16 días anteriores a la aparición de la enfermedad o, si en ausencia de ésta, el programa produce aviso.
Correcto: el primer aviso se produce en los 16 días anteriores a la aparición de la enfermedad.
Atrasado: el aviso se produce después del síntoma.

Figura 3. Resultados de avisos de riesgo de mildiu de patata obtenidos con el modelo de Beaumont y NegFry, por localidades y años



* Localidades en que no se produjeron condiciones de riesgo de mildiu con el modelo de Beaumont.

Cuadro 2. Resultados de primer riesgo de mildiu de patata obtenidos mediante las estaciones agroclimáticas (SIAR) con el modelo de Beaumont modificado

Año	Localidad	1º aviso modelo	1ºs síntomas cultivo	Pronóstico*
2003	Casalarreina	16 junio	Ausencia	Adelantado
	Bañares	07 junio	Ausencia	Adelantado
2004	Villar de Torre	07 junio	13 julio	Adelantado
	Casalarreina	19 junio	16 agosto	Adelantado
	Bañares 1	01 junio	14 junio	Correcto
	Bañares 2	01 junio	03 julio	Adelantado
2005	Bañares 3	01 junio	03 julio	Adelantado
	Villar de Torre	Ausencia	Ausencia	Correcto
	Bañares	Ausencia	Ausencia	Correcto
2006	Casalarreina	03 junio	Ausencia	Adelantado
	Villar de Torre	16 junio	Ausencia	Adelantado
	Bañares	16 junio	Ausencia	Adelantado
	Casalarreina	26 junio	24 julio	Adelantado
2007	Leiva	26 junio	Ausencia	Adelantado
	Villar de Torre	03 junio	18 junio	Correcto
	Bañares	02 junio	18 junio	Correcto
	Casalarreina	02 junio	Ausencia	Adelantado
2008	Leiva	09 junio	Ausencia	Adelantado
	Villar de Torre Berceo	01 junio	11 junio	Correcto
	Bañares	01 junio	11 junio	Correcto
	Casalarreina Rodezno Anguciana	01 junio	11 junio	Correcto
2008	Leiva	01 junio	19 junio	Correcto

* Adelantado: el primer aviso se produce antes de los 16 días anteriores a la aparición de la enfermedad o, si en ausencia de ésta, el programa produce aviso.
Correcto: el primer aviso se produce en los 16 días anteriores a la aparición de la enfermedad.
Atrasado: el aviso se produce después del síntoma.

El modelo de Beaumont (cuadro 2) ha proporcionado una estimación correcta o adelantada en un 64% de las ocasiones y, en el 36% restante, el modelo avisó del riesgo, pero no se observaron síntomas de la enfermedad.

Aquellos casos en los que no se observan síntomas, aunque el modelo así los prediga, quizá se deba al pequeño tamaño de las parcelas testigo no tratadas y a estar rodeadas por áreas con tratamiento, lo que dificulta la manifestación del mildiu, sobre todo en años poco favorables al desarrollo de la enfermedad. No obstante, es un resultado aceptable ya que el cultivo quedaría protegido.

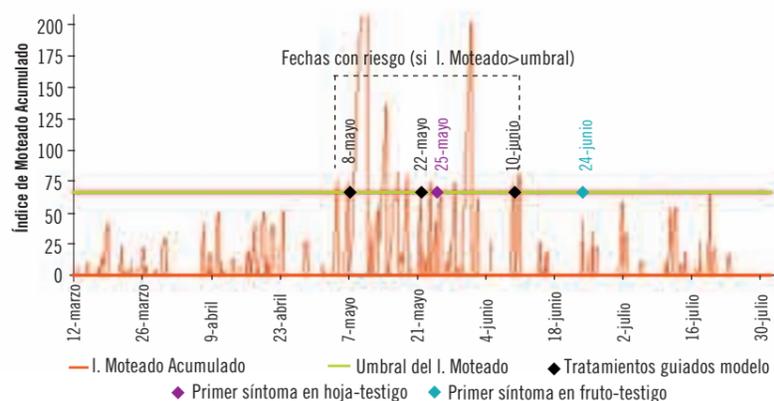
El programa NegFry ha mostrado un funcionamiento aceptable en el 95% de los casos y el modelo de Beaumont, en un 100%.

El mayor problema ocurriría como en el ensayo de Bañares (año 2004), en el que el pronóstico de NegFry resultó atrasado. En este caso, hay manifestación de la enfermedad sin que el modelo la detecte. Tal situación podría explicarse por la presencia de alguna partida de simiente infectada, lo que impediría su detección mediante el modelo.

La figura 3 muestra cómo el número de tratamientos recomendados con los modelos difiere por años y localidades. Se observa con claridad que en los años poco favorables para la evolución de la enfermedad se puede reducir considerablemente el número de tratamientos; mientras que, en los años favorables, las recomendaciones no van más allá de cuatro tratamientos. Estos resultados contrastan con la práctica tradicional de mantener el cultivo protegido permanentemente mediante la aplicación de al menos cinco tratamientos en años de bajo riesgo, que se inician habitualmente cuando el follaje de las plantas comienza a cerrar los surcos, siguiendo las recomendaciones de la Organización Europea y Mediterránea de Protección de las Plantas (EPPO Standard).

De igual modo que el número de tratamientos puede verse aminorado con el servicio de avisos, también pueden adecuarse las fechas más idóneas y efectivas de actuación contra la enfer-

Figura 4. Peligro potencial de infección a través del índice de moteado, en una parcela de manzano de Igea en 2008. Se indican las fechas de los primeros síntomas y del aviso de riesgo



Cuadro 3. Número de tratamientos en la campaña y porcentaje de frutos con moteado de manzano en la parcela testigo (sin tratar), la guiada (con los tratamientos recomendados por el modelo) y con la práctica habitual de control (Igea, 2008)

	Nº de tratamientos/campaña	Frutos dañados (%)
Parcela testigo	0	51
Parcela guiada por el modelo	3	3
Parcela con la práctica habitual de tratamientos	9	7

medad, dependiendo del momento en que la meteorología local reúna las condiciones favorables para el patógeno.

Así, conseguido el ajuste de los parámetros para cada zona de cultivo, la red de estaciones con que contamos se convierte en un elemento básico para realizar una recomendación adecuada en cada área de cultivo de La Rioja, sobre todo para el primer tratamiento, esencial para mantener controlada adecuadamente esta enfermedad.

Por otro lado, los primeros riegos suministrados en los días de temperaturas suaves pueden provocar un aumento de la humedad relativa en el cultivo, tanto en valor como en tiempo, lo que favorece el desarrollo de la enfermedad. Por eso se recomienda que estos primeros riegos sean cortos y, si es necesario, más frecuentes. En los meses en los que las temperaturas son suficientemente altas, se ha comprobado que los riegos por sí solos no son capaces de provocar condiciones de mildiu y, por tanto, la previsión que nos ofrece el modelo se ajusta más a las condiciones del cultivo.

Moteado del manzano

A lo largo de 2008, se ha realizado un ensayo de validación de un modelo de previsión de moteado en parcelas de manzano de las variedades Fuji y Golden, en la localidad de Igea.

Durante la primavera, el patógeno, que se mantenía en fase de hibernación, madura, y con la lluvia libera esporas que darán lugar a las primeras infecciones. Esta liberación se produce cuando la disponibilidad de agua (humectación) se mantiene el tiempo suficiente con la temperatura adecuada.



Mildiu de patata en Villar de Torre.

Estación meteorológica en "parcela testigo" de manzano.

Este ciclo se ha modelizado mediante la curva de riesgo de Mills y Laplace, con los ajustes del Instituto de Investigación y Tecnología Agraria (IRTA) de Girona. Este modelo predice, a través del cálculo del denominado "índice de moteado", el peligro potencial de infección en un área determinada, utilizando para ello datos horarios de temperatura, humedad relativa y horas de humectación de hoja.

Para su comprobación, se ha situado una estación meteorológica en una parcela de control que permitiera ajustar el modelo a las condiciones de campo, comparando los resultados del modelo con los obtenidos a partir de los datos meteorológicos registrados en la estación de la red del SIAR ubicada en la misma localidad. La mencionada parcela se ha dividido en tres zonas: la "subparcela testigo", sin aplicaciones fitosanitarias para el moteado; la "subparcela guiada", que sigue las recomendaciones del modelo en cuanto a tratamientos; y el resto de la parcela, que se trata de manera habitual.

En la figura 4 se presenta la información proporcionada por el modelo sobre el peligro potencial de infección a través del "índice de moteado". En ella se indican también las fechas de los primeros síntomas y de los avisos de riesgo, así como el umbral de riesgo que hemos fijado en 66 como un nivel de riesgo medio.

En base a esta información, desde el mes de marzo se han realizado tres tratamientos fungicidas en la "parcela guiada" en las fechas indicadas en la figura 4. Estos tratamientos han sido suficientes para mantener el cultivo protegido en todos los momentos en que el "índice de moteado" reflejaba riesgos de infección, sucedidos exclusivamente en el mes de mayo y principios de junio. Se puede observar en dicha figura cómo el 25 de mayo aparecen los primeros síntomas de moteado en hoja en la parcela testigo, fecha incluida en el periodo en que el modelo predice riesgos de infección.

Durante el resto de la campaña, esta parcela no ha recibido más tratamientos, situación diferente a las par-

celas que han seguido un programa de tratamientos de calendario fijo, que soportaron nueve tratamientos, aplicados entre el 20 de marzo y el 21 de julio. Por tanto, el ahorro ha sido de seis tratamientos en un año climatológicamente favorable para el desarrollo de esta enfermedad (cuadro 3).

El porcentaje de frutos con moteado en cada parcela del ensayo se ha representado en el cuadro 3, alcanzando un 51% de frutos dañados en la parcela testigo, frente al 3% en la parcela que ha seguido el programa de tratamientos recomendados por el modelo, un porcentaje de daño incluso menor que el obtenido en las parcelas tratadas de manera tradicional (7%). Este hecho demuestra la importancia de realizar los tratamientos en los momentos de verdadera necesidad.



Moteado de las hojas en manzano.

Conclusiones

De los resultados obtenidos se deriva el potencial y la validez de este tipo de modelos para la previsión y el control de las enfermedades en los cultivos, permitiendo optimizar el momento de la aplicación fitosanitaria respecto a la lucha según un calendario preestablecido, sin peligro para el cultivo.

Este sistema de avisos constituye una ayuda a la toma de decisiones. El técnico deberá tomar sus decisiones en base a esta información y otros aspectos, tales como las predicciones meteorológicas, la materia activa de los tratamientos (productos de contacto, penetrantes o sistémicos, posibles resistencias...) o el momento fenológico en que se encuentre el cultivo.

Para el mildiu de la patata, como se ha comentado, el software NegFry presenta una mayor complejidad y, sobre todo, especificidad en la información de partida, lo cual no sucede con el modelo de Beaumont, más independiente desde el punto de vista de ofrecer riesgos de desarrollo de

enfermedad para una amplia zona de cultivo. Tal circunstancia posiblemente nos conduzca a decantarnos por este último modelo.

Si los resultados actuales y los que se obtengan en la red de ensayos continúan siendo positivos, es previsible que en un futuro próximo se integre un servicio de avisos de riesgo en la página web del Gobierno de La Rioja, en el apartado destinado al Servicio de Información Agroclimática de La Rioja, que podrá ser utilizado como herramienta de control en la toma de decisiones de agricultores y técnicos en este ámbito.

Agradecimientos

Hay que agradecer la colaboración prestada para el desarrollo de estos trabajos a los agricultores y técnicos colaboradores pertenecientes a Almacenes Rubio, Cooperativa Rioja Alta, Cooperativa La Riojalteña y a la explotación Agrolayara; y también, al Laboratorio de la Grajera por los análisis realizados y su ayuda en la detección del mildiu.