

## USO DE SISTEMAS DE ALARMA EN MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN HORTALIZAS.

Diego C. Maeso

INIA Las Brujas. Ruta 48 km. 10. Rincón del Colorado. CP 90200. Canelones. Uruguay.  
Tel. 367-7641/2. Fax 367-7609. dmaeso@inia.org.uy

### 1) Introducción

El uso abusivo a nivel mundial de pesticidas incentivó el desarrollo de una producción muy dependiente de agrotóxicos, aparición de patógenos resistentes, destrucción de organismos diferentes a la plaga o patógeno, surgimiento de nuevas plagas o enfermedades y problemas secundarios, contaminación ambiental, y problemas de salud humana. Sumado a eso, el público y las autoridades a nivel mundial se preocupan cada vez más por la existencia de residuos de pesticidas en los alimentos y su efecto nocivo contra el medio ambiente por lo que las regulaciones internacionales hacen cada vez más difícil en el registro de nuevos pesticidas o el mantenimiento de los vigentes.

Como una forma de contribuir a solucionar algunos de esos limitantes ha surgido el manejo integrado de plagas (aquí consideraremos las plagas en su sentido amplio incluyendo enfermedades, MIP) como una alternativa en el control de los problemas sanitarios. Entre otras cosas el MIP busca:

- 1) Optimizar el control en una manera razonablemente económica y ecológica.
- 2) Enfatizar en el uso coordinado de múltiples técnicas para aumentar la producción estable de los cultivos (control biológico, químico, legal, genético y cultural)
- 3) Mantener el daño de la plaga o enfermedad en niveles bajos pero minimizando los peligros para humanos, animales, planta y ambiente.

En nuestro país, a partir de 1997 entran en funcionamiento los programas pilotos de producción integrada de hortalizas en base a un esfuerzo conjunto de PREDEG-GTZ, JUNAGRA, Facultad de Agronomía e INIA. Actualmente se certifican cultivos de ajo, cebolla, tomate (invernadero y campo), lechuga y frutilla, existiendo proyectos de futuro en maíz dulce y boniato, comprendiendo a más de 100 productores.

La meta de esos programas es la producción mediante el uso de métodos respetuosos del ambiente que contemplen los recursos naturales y la salud humana y logrando a la vez un producto natural diferenciado con mejor comercialización siendo uno de los principales componentes el MIP.

Para el manejo de enfermedades, si bien las medidas culturales son muy útiles, retardando o inhibiendo parcialmente la evolución de la enfermedad, sino se tienen cultivares comerciales con resistencia satisfactoria, nunca logran sustituir completamente el uso de fungicidas.

Todos sabemos que una enfermedad es el resultado de la interacción: patógeno-huésped - condiciones ambientales. Por lo tanto, una buena estrategia es aplicar los agroquímicos cuando las condiciones ambientales son favorables para los procesos por los cuales el patógeno produce la enfermedad (esporulación, germinación de esporas, infección). Esa estrategia permite el ahorro de aplicaciones y el posicionamiento de las mismas cuando realmente son necesarias. Es con esa finalidad que se desarrollan los llamados "Sistemas de Alarma o Pronóstico de Enfermedades".

## 2) Sistemas de pronóstico de enfermedades.

El pronóstico de enfermedades es la habilidad de predecir cuando una enfermedad va a ocurrir a niveles importantes antes de que ésta lo haga, basándose en información climática, del cultivo o del patógeno. Esa predicción permite a los productores desarrollar estrategias e implementar tácticas de manejo de manera rápida y eficiente.

Muchos de los sistemas de pronóstico en realidad no "pronostican" sino que identifican cuando ya se han registrado períodos de infección y por ello muchos autores prefieren llamarlos "sistemas de alarma".

Para que un sistema de pronóstico sea exitoso debe reunir ciertas características:

- 1) **Confiabilidad.** Basado en información biológica y ambiental sólida, y adecuadamente probado en la región donde se aplica.
- 2) **Simplicidad.** Cuanto más simple, mejor será su aceptación.
- 3) **Importancia.** La enfermedad deberá ser importante económicamente y también lo deberán ser los beneficios en el control.
- 4) **Utilidad.** La enfermedad pronosticada deberá contar con métodos efectivos de manejo.
- 5) **Disponibilidad.** Se deberá contar con equipo adecuado para realizar el pronóstico y comunicarlo al usuario.
- 6) **Aplicación múltiple.** Que el equipo usado sirva también para otros fines (enfermedades, plagas o registro de clima).
- 7) **Costo razonable.** Los costos incurridos deberán estar en concordancia con los beneficios logrados.

### 2.1) Desarrollo de sistemas

La primer etapa en el proceso de un sistema de pronóstico es su desarrollo, es decir su creación. En base al tipo de información que se maneja en el desarrollo, los sistemas pueden clasificarse en: 1) si usan información sobre el cultivo, la enfermedad, el patógeno, el ambiente o combinaciones de éstos; 2) si las advertencias son pre o post- plantación; 3) si para el desarrollo del sistema se usó información empírica o "fundamental" y 4) de acuerdo a las características epidemiológicas usadas.

#### 2.1.1) Sistemas de pronóstico "fundamentales" y "empíricos".

Un sistema de pronóstico se considera "fundamental" si fue desarrollado en base a experimentos en laboratorio, cámaras de crecimiento, invernaderos o campo y describe uno o más aspectos de la relación huésped-parásito influenciados por el ambiente. Se trata de relaciones causa-efecto determinadas experimentalmente y toman en cuenta la influencia sobre los componentes del ciclo de la enfermedad, p.ej. infección, esporulación, dispersión de inóculo, etc. El componente más estudiado es la infección, determinándose "períodos de infección" en base a p.ej. temperaturas y duración de follaje mojado. En algunas enfermedades ese dato aislado sirve de poco (p.ej. esas condiciones se registran durante prácticamente toda la temporada) y se utiliza además la probabilidad relativa de ocurrencia del evento que se busca predecir.

Un sistema de pronóstico se considera "empírico" cuando fue desarrollado en base a la observación y análisis de información histórica de niveles de enfermedad y factores bióticos y abióticos. En este caso, las relaciones entre los parámetros son simultáneas pero a veces se observan relaciones directas causa-efecto.

Los sistemas empíricos pueden clasificarse en: 1) aquellos que realizan una única predicción por estación o 2) que involucran predicciones múltiples.

1) En el primer caso los sistemas son útiles para realizar predicciones del inóculo inicial o el nivel temprano de la enfermedad o cuando sólo una intervención es económicamente viable. Pueden ser cualitativos (Si/No) o cuantitativos.

En los cualitativos, los pronósticos pueden ser realizados en base a datos climáticos (enfermedades cuya supervivencia entre temporadas depende de condiciones climáticas) o en base a la intensidad de la enfermedad en etapas tempranas (determinación de "nivel crítico de enfermedad" adecuado para realizar la primer aplicación de fungicidas, por ej. para controlar botritis en cebolla (10). Algo similar se ha tratado de hacer en nuestro país para realizar la primer aplicación contra roya del ajo (Fernández, Maeso y Campelo, en prensa). En los cuantitativos, los pronósticos están basados en ecuaciones de regresión múltiple que involucran numerosas técnicas de estadística y se definen rangos de condiciones climáticas que desembocarán en grados de la enfermedad graves, medios o leves para esa temporada.

2) Los sistemas con predicciones múltiples se adecuan a cultivos que son manejados intensivamente y reciben numerosas aplicaciones de agroquímicos por temporada. También pueden ser de desarrollo cualitativo o cuantitativo.

En los sistemas de desarrollo cualitativo la información climática histórica es simplificada por el investigador en un damero de contingencias en las que se asignan valores ordinales (valores de severidad) que expresan lo favorable de las condiciones ambientales. Las aplicaciones se hacen cuando la acumulación de esos valores de severidad llega a un nivel crítico. Ese nivel crítico puede derivar del análisis histórico o de experimentos posteriores de ajuste. Ejemplos de este tipo lo constituyen los programas TOMCAST para pronóstico de tizón temprano en tomate (6), BLITECAST para tizón tardío en papa (2), etc.

En los sistemas de desarrollo cuantitativo de predicción múltiple se aplican las descripciones realizadas en los de predicción única cuantitativos con la diferencia que se realizan varias predicciones por temporada. Ejemplos de este tipo son BLIGHT-ALERT (13) o el Spore Index Predictive System para pronóstico de botritis en cebolla (5). Generalmente el manejo con tipo de sistemas es vinculado con el poder residual de los productos empleados.

#### 2.1.2) Sistemas de pronóstico de acuerdo a las características epidemiológicas.

Los sistemas de pronóstico pueden clasificarse de acuerdo a las características epidemiológicas usadas en si prestan atención al inóculo primario, al secundario o a ambos. En el caso de enfermedades monocíclicas (un solo ciclo de producción de inóculo por temporada) o en aquellas en que el inóculo inicial es más importante que los ciclos secundarios de producción de inóculo (baja tasa de aumento de enfermedad) la **predicción se realiza en base a la cantidad o eficiencia del inóculo inicial.**

La estimación del nivel de inóculo a ser usado en la predicción puede ser indirecta (condiciones ambientales propicias para su supervivencia) o directa (midiendo el nivel de propágulos en muestras)

Algunos de estos sistemas también toman en cuenta las condiciones ambientales que afectan la eficacia del inóculo inicial (P.ej. sistemas que identifican períodos de infección por ascosporas de *Venturia inaequalis* basados en períodos de hoja mojada y temperatura con modificaciones de las tablas de Mills).

Si el patógeno tiene la capacidad de realizar varios ciclos secundarios de producción de inóculo durante una estación y elevar rápidamente el nivel de éste, los sistemas de pronóstico **análizan las condiciones ambientales que afectan a los ciclos secundarios de producción de inóculo**. También en este caso se pueden separar aquellos que realizan la advertencia en base a condiciones climáticas (la mayoría de los pronósticos disponibles) o aquellos que miden el nivel de inóculo (p. ej. pronósticos en base a captura de esporas).

### 2.2) Validación

Tan importante como el desarrollo del sistema de pronóstico es su validación a campo, nunca deben ser utilizados en una región sin una validación previa en diferentes microclimas y temporadas, de forma de diferentes alternativas de advertencia. La validación deberá incluir sistemas alternativos (standard del productor) y de ser posible parcelas sin control ya que deberá evaluarse en relación a las alternativas vigentes. Deberá prestarse suma atención a aspectos prácticos como fungicidas usados, aplicaciones apropiadas, reiteración de éstas por lavado por lluvias, etc.

De ser preciso se podrán hacer ajustes ya sea para disminuir aplicaciones excesivas o para corregir defectos.

En nuestro caso, en el período 1994- 2002, en INIA Las Brujas se han realizado validaciones de diferentes sistemas para el pronóstico de enfermedades foliares de cebolla tales como BLIGHT-ALERT (13), Spore Index Predictive System (5), y DOWNCAST (4) proponiéndose algunas variantes para nuestras condiciones.

### 2.3) Implementación

De nada sirve contar con múltiples programas y de buena calidad si no son utilizados por los productores, por ello esta etapa es crítica y ha significado el fracaso de excelentes programas del punto de vista biológico.

Muchas veces la no adopción de un sistema de pronósticos puede explicarse: por la tendencia de los productores a no aceptar riesgos (que son mayores comparados con calendarios fijos), porque se requieren ajustes en la operativa del predio (en el caso de predios grandes la aplicación a todo el predio deberá ser hecha rápidamente), por aumento de costos derivados de la compra de equipos, la operativa diaria puede ser alterada por un aviso de aplicación, la aplicación no puede realizarse a pesar de la advertencia pues el tiempo o el terreno no lo permiten, y por último al disminuir las aplicaciones de fungicidas pueden emerger problemas menores que eran controlados con el esquema anterior.

### 3) Algunos ejemplos de sistemas de pronóstico aplicados a horticultura.

En el cuadro 1 se muestran los sistemas de pronóstico de enfermedades de hortalizas en estudio en el estado de California, EEUU, información disponible en California PestCast, (<http://www.cdpr.ca.gov/docs/ipminov/pestcast/models.htm>),

Un ejemplo especial de aplicación de sistemas de pronóstico lo constituye el cultivo de papa donde esa misma fuente menciona 16 sistemas diferentes con sus referencias.

Cuadro 1. Modelos de pronóstico de enfermedades de hortalizas en California

Cultivo	Enfermedad	Patógeno	Estado del modelo
Zanahoria	Tizón	<i>Alternaria dauci</i>	Desarrollo
Apio	Viruela	<i>Septoria apiicola</i>	Validación
Lechuga	Mildiú	<i>Bremia lactucae</i>	Validación
Lechuga	Tumbado	<i>Sclerotinia spp.</i>	Desarrollo
Papa	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Validación
Tomate industria	Moho negro	<i>Alternaria alternata</i>	Validación- implementación
	Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	
Tomate industria	Tizón tardío	<i>Phytophthora infestans</i>	Validación
Tomate industria	Oidio	<i>Leveillula taurica</i>	Validación
Frutilla	Botritis	<i>Botrytis cinerea</i>	Desarrollo
Frutilla	Oidio	<i>Sphaeroheca macularis</i>	Desarrollo

En el cuadro 2 se muestran algunos de los programas de pronóstico de enfermedades en hortalizas con información experimental en Uruguay.

Cuadro 2. Sistemas de pronóstico para hortalizas recientemente evaluados o en evaluación en Uruguay.

Cultivo	Enfermedad	Nombre	Cond. Climáticas consideradas	Responsables, período de evaluación:
Tomate	T. temprano y pod. de frutos por alternaria	TOMCAST	Horas hoja mojada y temperatura prom. en el período	A. Fernández, D. Maeso y J. Paullier. 2002
Tomate	Moho gris (botritis)	BOTMAN	Pronósticos de lluvia, temperatura, días nublados, días secos.	A. Fernández, D. Maeso y J. Paullier (zona Sur) 2002R. Bernal (zona Norte)
Cebolla	Botritis	BLIGHT ALERT	Temperatura	D. Maeso 2000-2003
Cebolla	Botritis	SIPS (ENVIROCASTER)	Temperatura y déficit de presión de vapor	D. Maeso (zona Sur) 1996-2003R. Bernal (zona Norte)
Cebolla	Mildiú	DOWNCAST	Temperatura, horas HR > 95%.	D. Maeso (zona Sur) 1999-2003R. Bernal (zona Norte)
Papa	Tizón tardío	SISTEMAVIGILANTE (Modificación de BLITECAST)	Temperatura, horas de hoja mojada (horas HR > 90%)	D. Maeso, F. Vilaró, J. Orrico Prim. 2002
Papa	Tizón temprano	SISTEMA VIGILANTE (TOMCAST)	Temperatura, horas de hoja mojada	D. Maeso, F. Vilaró, J. Orrico Prim. 2002

#### 4) Perspectivas futuras

Un aspecto en el cual se ha evolucionado mucho es en la tecnología disponible para ser aplicada en los sistemas de pronóstico. En un principio éstos se basaban en elementos mecánicos de registro (termohidrógrafos, pluviómetros, sensores de hoja mojada) ubicados en el cultivo o por lo menos en lugares definidos de los cuales había que copiar la información para luego realizar los cálculos en calculadoras personales o en computadora central (mainframe). Actualmente se cuentan con equipos comerciales que realizan los cálculos y simplemente dan un pronóstico (p. ej. Unidad Envirocaster) o estaciones meteorológicas cuyos datos pueden ser leídos a distancia (telemetría) sin realizar grandes labores.

Sin embargo, los grandes desafíos continúan y la tendencia actual en el tema es avanzar en dos aspectos:

1) Creación de sistemas expertos o sistemas de ayuda a la toma de decisiones (decision support systems) (9) que involucran también no solo otros problemas sanitarios (plagas, malezas, nemátodos) sino otras labores a realizar en el cultivo dependientes del clima (p.ej. riego). Ya existen algunos ejemplos como el programa WISDOM o Potato Disease Management de la Universidad de Wisconsin que cubre tizón temprano y tizón tardío y a su vez es uno de los cinco componentes del "University of Wisconsin Potato Crop Management System" (12).

2) Toma de datos climáticos del cultivo sin la presencia de sensores en el mismo mediante interpolación entre estaciones, modelos de simulación y técnicas de agricultura de precisión (8).

#### Bibliografía

1. Campbell, C.L. & Madden, L.V. 1990. Introduction to plant disease epidemiology. John Wiley & Sons Inc. New York. pp 423-452.
2. Fry, W.E., Apple, A.E. & Bruhn, J.A. 1983. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. *Phytopathology* 73:1054-1059.
3. Fry, W.E. & Fohner, G. R. 1985. Construction of predictive models. I. Forecasting disease development. *Advances in Plant Pathology*, Vol 3: Mathematical modelling of crop diseases (C.A. Gilligan, ed.). Academic, New York, pp 161-178. Shoemaker, P.B. & Lorbeer J.W. 1977. Timing the initial fungicide application to control *Botrytis* leaf blight epidemics of onion. *Phytopathology* 67:409-414.
4. Hildebrand, P.D. & Sutton, J.C. 1982. Weather variables in relation to an epidemic of onion downy mildew. *Phytopathology* 72:219-224.
5. Lacy, M.L. & Pontius, G.A. 1983. Prediction of weather mediated release of conidia of *Botrytis squamosa* from onion leaves in the field. *Phytopathology* 73:670-676.
6. Madden, L. Pennypacker, S.P. & McNab A.A. 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68:1354-1358.
7. Madden, L.V. & Ellis, M.A. 1988. How to develop plant disease forecasters. *Experimental Techniques in Plant Disease Epidemiology* (J. Kranz & J. Rotem. eds.) Springer-Verlag, Berlin, pp 191-208.
8. Magarey, R.D. et. al. 2001. Site-specific weather information without on-site sensors. *Plant Disease* 85: 1216-1226.
9. Magarey, R.D. et. al. 2002. Decision support systems: Quenching the thirst. *Plant Disease* 86: 4-14.
10. Shoemaker, P. B. & Lorbeer, J.W. 1977. Timing initial fungicide applications to control *Botrytis* leaf blight epidemics on onion. *Phytopathology* 67:409-414.
11. Shtinberg, D. & Elad, Y. 1997. Incorporation of weather forecasting in integrated, biological-chemical management of *Botrytis cinerea*. *Phytopathology* 87:332-340
12. Stevenson, W.R. 1993. IPM for potatoes: a multifaceted approach to disease management and information delivery. *Plant Disease* 77:309-311.
13. Vincelli, P.C. & Lorbeer, J.W. 1988. BLIGHT-ALERT: a weather based predictive system for timing fungicide applications on onion before infection periods of *Botrytis squamosa*. *Phytopathology* 79:493-498.