



CAPITULO IV

## SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA PARA EL CONTROL DE ALTERNARIA EN TOMATE

Francisco Perez Galarce  
Ingeniero Civil Industrial, Magister en Gestión de Operaciones  
Centro de Estudios de Alimentos Procesados CEAP



**E**n términos generales, un sistema de alerta temprana se puede definir como un mecanismo capaz de detectar eventos de interés de forma anticipada, con el objetivo de generar planes de contingencia vinculados al impacto del evento.

En el contexto agrícola los eventos de interés generalmente están vinculados a variables climáticas (lluvias o heladas) y a la aparición de enfermedades en los cultivos. En relación a las enfermedades, los sistemas de alerta temprana son una alternativa a los mecanismos de control tradicional, que se basan en calendarios de aplicaciones, las que pueden no coincidir con las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de las enfermedades, quedando en ocasiones el cultivo desprotegido o en otras realizando aplicaciones innecesarias. El avance tecnológico, ha permitido incorporar a la producción agrícola sistemas de alerta temprana basados en modelos que integran datos climáticos y del desarrollo del patógeno afectando un hospedero susceptible, para predecir el nivel de riesgo de condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad. Este tipo de herramientas han sido aplicadas a varias especies vegetales en el mundo, mostrando ser efectivas para mejorar el control de las enfermedades, permitiendo, en muchos casos, reducir el número de aplicaciones de fungicidas realizadas por temporada.

El siguiente documento tiene por objetivo entregar una mirada general del desarrollo de métodos de alerta temprana para apoyar el control de enfermedades fungosas, presentando sus componentes principales y una recopilación de casos exitosos tanto a nivel nacional como internacional.

La estructura del presente apartado se compone de la siguiente manera, en la sección 2, se presenta el funcionamiento tradicional de un sistema de alerta temprana de enfermedades en la agricultura, mostrando la interacción requerida entre los capturadores de información, los medios de comunicación y los tomadores de decisión. En la sección 3, se hace una recopilación de algunos sistemas de alerta operativos a nivel nacional e internacional y, finalmente, en la sección 4 se muestra el sistema de alerta para la prevención de alternaria en tomate industrial, desarrollado en el marco del proyecto financiado por FIA "Nueva estrategia de control para pudrición negra (alternaria alternata) en tomate industrial: desarrollo de sistema de pronóstico y alerta temprana para la región del Maule".

#### **4.1 Funcionamiento de un sistema de alerta como apoyo al tratamiento fitosanitario**

Antes de profundizar en la descripción de sistemas de alerta temprana de enfermedades de cultivos, es necesario mencionar que estos no tienen efectos significativos sino son utilizados mediante una estrategia de control integrado. De acuerdo a investigadora de amplia experiencia en estrategias de control integrado para el tizón tardío, estas estrategias deben considerar los siguientes aspectos: (i) prevenir la enfermedad eliminando toda posible fuente del hongo, (ii) establecer un programa de manejo cultural que no favorezca las condiciones para el desarrollo de la enfermedad, (iii) considerar las características de acción del fungicida, (iv) realizar aplicaciones de químicos en el momento oportuno. En el último punto, es de vital importancia tener un conocimiento acabado del comportamiento de la enfermedad, en relación a las variables climáticas que condicionan su aparición y el patrón de desarrollo que estas tienen, dicha información permite desarrollar y/o implementar modelos de alerta temprana.

Un sistema de alerta temprana eficiente, debe ser capaz de detectar con anticipación un brote o cambio en el riesgo de incidencia de una enfermedad, para ello típicamente es utilizada información de las condiciones ambientales, del cultivo y del patógeno.

Dentro de los principales beneficios obtenidos por la incorporación de sistemas de alerta se encuentran:

- Contar con una alternativa a los sistemas de aplicación basados en calendarios.
- Mejorar la efectividad de la aplicación en relación a la existencia o inexistencia de la enfermedad.
- Beneficios económicos (evitar pérdidas de rendimiento y/o reducción de aplicaciones)
- Beneficios ambientales (uso racional de pesticidas)

El desarrollo de un sistema de alerta debe considerar una serie de componentes que demandan competencias multidisciplinares, tales como: fitopatología, meteorología, matemáticas, ciencias de la computación y agronomía. Los componentes asociados se muestran en la Figura 4.1.

Modelo	Todo sistema de alerta temprana precisa de un modelo explicativo de la dinámica de reproducción del patógeno en función de variables ambientales. Los modelos pueden estar asociados a reglas, tablas o algoritmos de inteligencia artificial que permitan capturar patrones relacionados con la reproducción del patógeno.
Capturadores de información	Todo modelo requiere de inputs para su ejecución, típicamente estos inputs están asociados a variables climáticas. Esta información puede ser generada a través de sensores puntuales o por una red de estaciones meteorológicas.
Sistema computacional	Es necesario contar con un programa computacional que integre el modelo explicativo con la base de datos asociada a la información meteorológica y el usuario final. Dentro de las funciones del sistema computacional deben estar: el almacenamiento de la información capturada, la ejecución del modelo utilizado y la generación de la alerta cuando el nivel de riesgo llega a un umbral definido.
Tratamientos	Un factor fundamental es la asociación del modelo a una alternativa de tratamiento químico que permita indicar qué fungicida aplicar en caso de alerta.

Figura 4.1. Componentes asociados a un sistema de alerta.

En la Figura 4.2 se presenta el flujo de información presente en los sistemas de alerta, considerando la captura de variables climáticas, la ejecución del modelo matemático, la recomendación del sistema y finalmente la aplicación por parte del usuario final.

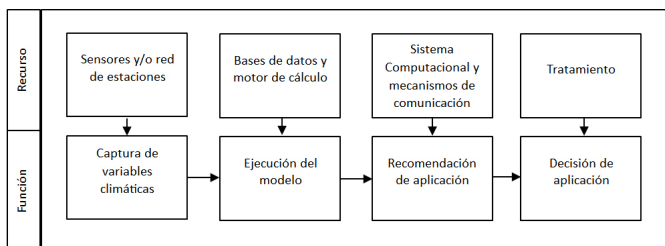


Figura 4.2. Flujos de información en un sistema de alerta.

## 4.2 Experiencia en sistemas de alerta para enfermedades fungosas

A nivel mundial los esfuerzos para desarrollar sistemas de alerta de enfermedades fungosas de tomate industrial y consumo fresco, se iniciaron hace varias décadas como parte del cambio en las estrategias de control utilizadas hasta entonces. A continuación, se presenta una breve reseña de los tres modelos más utilizados a la fecha.

**4.2.1 FAST:** Una de las primeras aproximaciones para modelar el comportamiento de *Alternaria solani* fue presentando por Madden et al. (1978), quien creó un modelo de pronóstico denominado FAST (Forecaster of *Alternaria Solani* on Tomato), cuyo propósito principal es identificar los períodos favorables para el desarrollo de la enfermedad utilizando datos meteorológicos y así recomendar cuándo una aplicación de fungicida es más útil para su control. El sistema FAST incorpora dos modelos empíricos basados en relaciones entre la severidad de la enfermedad y las tasas de infección aparente, ambas vinculadas a parámetros ambientales. Los parámetros ambientales utilizados por los modelos son: (i) valores máximos y mínimos de temperatura del ambiente, (ii) las horas de la humedad de la hoja, (iii) temperatura máxima y mínima durante las horas de humedad de las hojas, (iv) registro de precipitaciones y (v) horas de humedad relativa mayor al 90%.

Durante su primera década de operación FAST fue modificado año a año, gracias a la retroalimentación recibida por los investigadores, de los productores de tomate y de sus propios ensayos de campo. Al 1995, un 20% de los productores de tomate de Pensilvania declaraban usar y confiar en el sistema.

**4.2.2 TOMCAST:** Después de una serie de temporadas agrícolas de experimentos, Pitblado (1992) propone un sistema modificado a partir de FAST que se denominó TOMCAST (TOMato disease foreCASTer.), este modelo fue propuesto para controlar septoria, antracnosis y tizón temprano. Fue probado desde 1989 para un conjunto amplio de productores.

Este modelo se basa en la acumulación de grados de severidad diarios. Los grados de severidad diarios están dados por niveles de temperatura promedio y horas de humedad de hoja. Para definir los experimentos se debe definir el umbral de grados de severidad para la primera aplicación y los grados de severidad que se acumularán antes de cada una de las posteriores aplicaciones.

De acuerdo a experimentos realizados entre 1989 y 1991 los productores que usaron TOMCAST hicieron en promedio 2,75 aplicaciones menos por temporada que las consideradas en el programa tradicional, lo que significó un 34% menos. Este sistema ha evolucionado desde esta experiencia inicial, algunas aplicaciones y validaciones pueden ser encontradas en (Hill and Hausbeck 2008; Bounds et al. 2007; Batista et al. 2006).

**4.2.3 CU-FAST:** El sistema CU-FAST (Cornell University Forecaster of Alternaria Solani on Tomato) fue desarrollado a partir del modelo de FAST. La principal diferencia de este modelo con FAST radica en el cálculo de las horas de humedad y en el criterio utilizado para realizar las aplicaciones posteriores a la inicial. En este modelo, la humedad se calculó mediante un método que utiliza la lluvia, humedad en horas mayor que 90% y una humedad relativa mínima de dos días consecutivos. En relación a la efectividad del modelo, se puede comentar que entre 1989 y 1992 el sistema fue usado en 405 ha de tomate, reduciendo entre 20 y 30% las aplicaciones al compararlo con el esquema tradicional. Por otra parte, desde 1992, la U. de Cornell vende el software a consultores privados, que cobran a los agricultores por el servicio. Detalles de este modelo y de otras variantes menos masificadas para el control de hongos en tomate pueden ser encontradas en Cowgill et al. (2005).

#### **4.2.4 Casos de éxito en Chile**

En Chile, el proyecto “Nueva estrategia de control para pudrición negra (alternaria alternata) en tomate industrial: desarrollo de sistema de pronóstico y alerta temprana para la región del Maule” co financiado por FIA, CEAP, INIA y Sugal Chile constituye la primera aplicación de sistemas de alerta para el control de hongos en tomate industrial, no obstante, existen casos de éxito en otras áreas. En fruticultura existen pronosticadores para oídio y venturia en manzano y oídio y botrytis en vides; todas enfermedades fungosas.

Por otra parte INIA desde 2003, en asociación con instituciones públicas y privadas, ha realizado estudios para implementar estrategias de manejo integrado de tizón tardío de la papa, basadas en el uso de pronosticadores. Para determinar las condiciones ambientales favorables a la enfermedad se han evaluado, calibrado y validado diferentes modelos, entre ellos Blitecast, Negfry y Dacom Plant plus online. Con el sistema de alerta de INIA se han logrado niveles de control similares a un calendario de aplicación, disminuyendo la cantidad de aplicaciones de fungicida en un 40 y 15% para cultivo de secano y riego, respectivamente con un cultivar susceptible.

### **4.3 Sistema de alerta para el control de alternaria en tomate industrial**

El prototipo de sistema de alerta resultante del proyecto FIA “Nueva estrategia de control para pudrición negra (alternaria alternata) en tomate industrial: desarrollo de sistema de pronóstico y alerta temprana para la región del Maule” fue testeado durante las temporadas 2015 y 2016 en las localidades de Yerbas Buenas y San Clemente, en colaboración con técnicos de la empresa Sugal Chile. El sistema de alerta utiliza los datos de las estaciones meteorológicas ubicadas en las localidades en estudio. La información fue consolidada en un sistema web donde se ejecutan diferentes configuraciones de los modelos TOMCAST y P-days. A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los modelos.

El Cuadro 4.1 presenta los grados de severidad diarios de acuerdo al modelo TOMCAST, en dicha tabla se asocian rangos de temperatura con rango de horas de humedad en hoja.

Para la generación de las alertas de este modelo se debe asociar dos parámetros; el índice de severidad acumulado para primera aplicación y el índice de severidad acumulado para aplicaciones posteriores. Luego, el modelo debe volver a 0 el índice de severidad acumulado cada vez que se aplica.

**Cuadro 4.1.** Categorías del modelo Tomcast para determinar el nivel de severidad.  
T(°C)

T(°C)	Índice de severidad diario				
	0	1	2	3	4
13-17	<6	7-15	16-20	>21	
18-20	<3	4-8	9-15	16-22	>23
21-25	<2	3-5	9-12	13-20	>21
26-29	<3	4-8	9-15	16-22	>23

Respecto al modelo P-Days, este fue utilizado para apoyar la primera aplicación en algunos tratamientos experimentales, este modelo determina un umbral de días fonológicos acumulados, donde existen condiciones para la proliferación de la enfermedad, de acuerdo al comportamiento real de esta misma. Para operar el modelo se requiere calcular el valor P-Days diario y su acumulación, el cálculo considera como temperatura óptima para el desarrollo del patógeno 21°C, como temperatura mínima 7°C y como temperatura máxima es de 30°C. El valor P-Days se calcula de acuerdo a la función (1), luego dependiendo del nivel de temperatura es necesario recurrir a las funciones (1.1), (1.2) y (1.3) para el cálculo de P].

$$P - days = \frac{1}{24} 5P(T_{min}) + 8P\left(\frac{2T_{min} + T_{max}}{3}\right) + 8P\left(\frac{T_{min} + 2T_{max}}{3}\right) + 3P(T_{max}) \quad (1)$$

$$P = 0, \text{ si } T < 7 \text{ o } T \geq 30 \quad (1.1)$$

$$P = k \left[ 1 - \frac{(T-21)^2}{(21-7)^2} \right], \text{ si } 7 \leq T < 21 \quad (1.2)$$

$$P = k \left[ 1 - \frac{(T-21)^2}{(30-21)^2} \right], \text{ si } 21 \leq T < 30 \quad (1.3)$$



La configuración de cada modelo tiene asociado un tratamiento químico y parcelas experimentales. En tanto, se generan las alertas a las parcelas en función de su configuración, dicha información se proporciona vía correo electrónico al usuario final. Los detalles de los modelos y tratamientos químicos asociados fueron presentados en el capítulo de control químico.

Es importante mencionar que, de acuerdo a la experiencia nacional e internacional, la madurez de un sistema de alerta temprana es un proceso lento, ya que se requiere de varias temporadas de validación y ajuste de los modelos para llegar a recomendaciones de aplicaciones eficientes, en tanto, el sistema se encuentra en un proceso de evaluación y mejora.

Dentro de los espacios de mejora al sistema de alerta se pueden identificar dos caminos complementarios, por un lado, ajustes a los modelos tradicionales antes presentados y, por otro, el uso de modelos matemáticos más sofisticados que permitan utilizar mayor cantidad de información disponible en las bases de datos de la red meteorológica. Esta última línea de mejora es presentada a continuación.

#### **4.4 Tendencias de los sistemas de alerta temprana agrícola**

La disponibilidad de información en tiempo real y la capacidad de procesamiento de las computadoras han dado paso a un creciente uso de la información para apoyar la toma de decisiones, a través del descubrimiento de patrones ocultos "no triviales" dentro de las bases de datos. La agricultura no está fuera de este desarrollo tecnológico: cada día existe una mayor disponibilidad de información agroclimática en tiempo real. Producto de esto, un área de trabajo que ha ido incorporándose rápidamente en las operaciones agrícolas en la última década es la minería de datos. Técnicas de minería de datos son ampliamente utilizados en diversos sectores de la economía tales como el retail y la industria financiera.

En un contexto amplio, se denomina minería de datos al proceso de encontrar patrones y/o correlaciones útiles ocultas dentro de los datos. Estos patrones, asociaciones o relaciones entre los datos, pueden proporcionar información acerca de un problema específico en estudio, luego, dicha información puede ser utilizada para mejorar el conocimiento sobre un problema en estudio.

La idea de utilizar la información oculta entre los datos inspiró a investigadores en los campos agrícolas a aplicar estas técnicas para predecir las tendencias futuras de los procesos agrícolas. Buenas referencias de este campo de trabajo pueden ser encontradas en Mucherino et al. 2009a; Mucherino et al. 2009b; Ramesh and Vardhan 2010. Dos modelos de minería de datos con potencial de uso en sistemas de alerta temprana son Redes Neuronales, las que se pueden utilizar en la predicción de la liberación de esporas o como apoyo a la generación de alertas directamente.

Es importante mencionar que para aplicar dichas técnicas es necesario contar con una buena base de datos de entrenamiento, que contenga información de los descriptores y de la variable respuesta. En este sentido las redes meteorológicas brindan una excelente oportunidad para el desarrollo y validación de modelos de este tipo que puedan apoyar las labores agrícolas.

## Literatura Consultada

- Madariaga, R., Figueroa, L. y Moore, C. 2006. Alerta temprana de la sarna del manzano (*Venturia inaequalis*) en la zona de los Ángeles, VIII Región de Chile. En: Maldonado, I. y Aravena, R. (Ed.). 2006. Redes de estaciones meteorológicas automáticas y sus aplicaciones productivas. Boletín INIA N°145.
- Krause, R.A., Massie, L.B. and Hyre, R.A. 1975. BLITECAST: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Report* 59: 95-98.
- Hansen, J.G., Anderson, B. and Hermansen, A. 1995. NEGFY, a system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. *Proceedings Phytophthora infestans* 150: 201-208.
- Acuña, I. 2011. Resultados y lecciones en el control del tizón tardío de la papa. 15 p.
- Acuña, I., Sagredo, B., Bravo, R., Gutiérrez, M., Maldonado, I., Gaete, N., Inostroza, J., Secor, G., Rivera, V., Kalazich, J., Solano, J. and Rojas, J. 2007. Using a forecasting system to develop integrated pest management strategies for control of late blight in southern Chile. p: 237-249. In: Schepers, H. T. (Ed). *Proceedings of the tenth Workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Bologna, Italy, 2 to 5 May. 2007. PPO Special report N°12.* 368 p.
- Madden, L., Pennypacker, S.P and MacNab, A. A. 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68: 1354-1358.
- Gleason, M.L., MacNab, A. A., Pitblado, R. E., Ricker, M. D., East, D. A. and Latin, R. X. 1995. Disease-warning systems for processing tomatoes in Eastern North America: Are we there yet?. *Plant Disease* 79 (2): 113-121.
- Mucherino, A., Papajorgji, P. J., & Pardalos, P. M. 2009a. Data mining in agriculture (Vol. 34). Springer Science & Business Media.
- Mucherino, A., Papajorgji, P., & Pardalos, P. M. 2009b. A survey of data mining techniques applied to agriculture. *Operational Research*, 9(2), 121-140.
- Ramesh, D., & Vardhan, B. V. 2013. Data mining techniques and applications to agricultural yield data. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 2(9), 3477-80.
- Šťastný, J., Konečný, V., & Trenz, O. 2011. Agricultural data prediction by means of neural network. *Agricultural Economics*, 2011(7), 356-361.
- Sady, M., Skjøth, C. A., & Kennedy, R. 2016. Forecasting methodologies for *Ganoderma* spore concentration using combined statistical approaches and model evaluations. *International journal of biometeorology*, 60(4), 489-498.

Basak, D., Pal, S., & Patranabis, D. C. 2007. Support vector regression. *Neural Information Processing-Letters and Reviews*, 11(10), 203-224.

Pitblado, R. E. (1992). The Development and Implementation of TOM-CAST a Weather Timed Fungicide Spray Program for Field Tomatoes.

Hill, S. N., & Hausbeck, M. K. (2008). Evaluation of TOM-CAST in timing fungicide sprays for management of *Alternaria* blight on American ginseng. *Plant Disease*, 92(12), 1611-1615.

Bounds, R. S., Podolsky, R. H., & Hausbeck, M. K. (2007). Integrating disease thresholds with TOM-CAST for carrot foliar blight management. *Plant disease*, 91(7), 798-804.

Batista, D. C., Lima, M. A., Haddad, F., Maffia, L. A., & Mizubuti, E. S. G. (2006). Validation of decision support systems for tomato early blight and potato late blight, under Brazilian conditions. *Crop Protection*, 25(7), 664-670.

Cowgill, W. P., Maletta, M. H., Manning, T., Tietjen, W. H., Johnston, S. A., & Nitzsche, P. J. (2005). Early blight forecasting systems: evaluation, modification, and validation for use in fresh-market tomato production in northern New Jersey. *HortScience*, 40(1), 85-93.