INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
Centro regional de Investigación Raihuén

"Control de tizón en tomate industrial mediante un sistema de alerta temprana"

Editora:
Marisol Reyes Muñoz

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Villa Alegre, 2016.

ISSN 0717- 4829

BOLETÍN INIA - N° 338

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
Centro regional de Investigación Raihuén

"Control de tizón en tomate industrial mediante un sistema de alerta temprana"

Editora:
Marisol Reyes Muñoz

Ministerio de Agricultura
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Villa Alegre, 2016.

BOLETÍN INIA - N° 338

Autores y coautores de capítulos:
Susana Arredondo Sepúlveda, Ingeniero Agrónomo. Máster en Sistemas Agroforestales.
Fernanda Nuñez Abarca, Ingeniero Agrónomo. Magister en Ciencias Agrarias
Claudio Sandoval Briones. Master of Science, Doctor.
Francisco Perez Galarce. Ingeniero Civil Industrial, Magister en Gestión de Operaciones.

Revisores Técnicos:
Rodrigo Bravo, Ingeniero Agrónomo, Magister en Economía y Gestión Regional, INIA Carillanca.
Sylvana Soto, Ingeniero Agrónomo, Magister en Ciencias Agrarias, Dr., Laboratorio de Fitopatología, INIA La Platina.

Editora:
Marisol Reyes Muñoz. Ingeniero Agrónomo, Dr. en Ciencias Agrarias.

Director Responsable:
Director Regional INIA
Rodrigo Avilés Rodriguez

Boletín INIA Nº 338

Cita bibliográfica correcta:
Reyes, M. (Eds.). 2016. "Control de Tizón en Tomate Industrial Mediante un Sistema de Alerta Temprana". Villa Alegre, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA Nº338, 71p.

Permitida su reproducción total o parcial citando la fuente y los autores.

Diseño y Diagramación: Marketing & Comunicación.

Impresión: Imprenta Gutenberg.

Cantidad de ejemplares: 500.

Villa Alegre, 2016.

ÍNDICE

PRÓLOGO 7

INTRODUCCIÓN 9

CAPÍTULO I
CULTIVO DE TOMATE INDUSTRIAL EN CHILE 11

1.1 Características botánicas 13
1.2 Morfología 14
1.3 Etapas fenológicas 16
1.4 Cultivo 18
1.5 Principales enfermedades 24
1.6 Principales plagas 26
1.7 Control de malezas 26
1.8 Industria nacional 27

CAPITULO II
BIOLOGÍA DE LA ENFERMEDAD 31

2.1 Tizón temprano 33
2.2 Cancro del tallo y pudrición negra 36
2.3 Importancia para la industria de tomate procesado de la Región del Maule. 37

CAPITULO III
CONTROL QUÍMICO DE TIZÓN TEMPRANO Y PUDRICIÓN DE FRUTO 39

3.1 Opciones de control 41
3.2 Experiencia práctica en pronóstico, Temporada 15-16, Localidades de Yerbas Buenas y San Clemente. 49
3.3 Conclusiones 56

CAPITULO IV
SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA PARA EL CONTROL DE ALTERNARIA EN TOMATE 59

4.1 Funcionamiento de un sistema de alerta como apoyo al tratamiento fitosanitario 62
4.2 Experiencia en sistemas de alerta para enfermedades fungosas 64
4.3 Sistema de alerta para el control de alternaría en tomate industrial 65
4.4 Tendencias de los sistemas de alerta temprana agrícola 67

PRÓLOGO

En Chile el uso de modelos de pronóstico para la detección de enfermedades agrícolas ha sido, más que nada, desarrollado en el rubro frutícola. Sin embargo, en los últimos años también se ha incorporado otro tipo de cultivos, como la papa, donde un trabajo conjunto entre INIA e instituciones públicas y privadas, ha logrado implementar un sistema de manejo integrado para el Tizón tardío, basado en el uso de pronosticadores. El sistema se complementó con el desarrollo de un programa asociado a un sitio web que envía a productores, profesionales y técnicos mensajes de texto a sus celulares, o correos electrónicos, la información de alerta de tizón tardío para apoyar la toma de decisiones en el manejo integrado de la enfermedad.

Basados en esa experiencia y contando con el soporte financiero de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), durante casi tres temporadas INIA Raihuén trabajó en 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", estudio desarrollado conjuntamente con el Centro de Alimentos Procesados (CEAP) y la empresa SUGAL Chile Ltda.

El trabajo se enfocó en la construcción de una plataforma de evaluación de los modelos predictivos existentes, la construcción de curvas de desarrollo del hongo Alternaria bajo condiciones de producción en la Región del Maule, y la evaluación de alternativas de control basadas en las alertas emitidas por los modelos predictivos.

El presente Boletín INIA entrega los avances obtenidos en la etapa piloto y plantea la necesidad de seguir trabajando en el desarrollo de la plataforma que, tal como en el caso del tizón de la papa (tizon.inia.cl), requerirá un tiempo mayor para ajustar la precisión del modelo predictivo y adecuar los programas de control de la enfermedad. Todo esto en aras de contribuir al desarrollo de una agricultura más limpia y sostenible.

Javier Chilian
INIA - Quilamapu / INIA - Raihuén

INTRODUCCIÓN

La pasta de tomate es uno de los principales productos hortofrutícolas exportado por Chile, siendo la región del Maule la mayor zona productora. La pudrición negra causada por el hongo Alternaria alternata es la enfermedad más importante del cultivo de tomate industrial. Al ser éste un hongo muy polífago, comúnmente hay presión de inóculo, sumado a que el hongo encuentra un ambiente favorable en las zonas productoras. En Chile el control se realiza mediante un calendario de aplicaciones de fungicidas; pudiendo no coincidir con las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del hongo, quedando el cultivo desprotegido. Aún bajo control químico las pérdidas pueden variar de 19 a 50 mil toneladas por temporada lo que implica mermas del orden de 2 a 4 millones de dólares. Además, es la principal causa de descuento a los productores, que puede llegar al valor de un 2% de la producción; y de rechazo de tomates en las plantas procesadoras, que significa la pérdida total. El nivel de pudrición de la materia prima se refleja también en la pasta, existiendo límites de tolerancia en las normas sanitarias de los mercados de destino.

Bajo esta problemática, el proyecto que dio origen a este boletín se propuso el desarrollo de una estrategia para el control del hongo Alternaria alternata en tomate industrial, distinta a la utilizada actualmente en Chile, basada en un sistema de pronóstico y alerta temprana de riesgo de infección. Esto unido a un programa de control químico eficaz, con la finalidad de mejorar la sostenibilidad y competitividad de la producción de tomate industrial regional. Para lograrlo se planteó:

- Evaluar el comportamiento de distintos modelos de pronóstico,
- Calibrar y validar el modelo seleccionado,
- Desarrollar una estrategia de control químico basada en el modelo de seleccionado,
- Diseñar y desarrollar una plataforma de gestión y transmisión de la información generada por el modelo,
- Finalmente, implementar y validar a escala piloto un sistema de pronóstico y alerta temprana para el control de A. alternata, en tomate industrial en la región del Maule.

La evaluación, desarrollo y validación de esta tecnología es un primer paso para, en el mediano plazo, poner a disposición de los productores de tomate industrial un sistema de información para apoyar la toma de decisiones respecto a la aplicación de pesticidas y al manejo integrado de esta enfermedad. Todo esto apuntando a minimizar las pérdidas debidas a la enfermedad, permitiendo además una reducción de las pérdidas de rendimiento, una disminución en los descuentos por defectos de calidad y una baja en el número de rechazos por temporada. Esto colaborará a aumentar la productividad del cultivo y mejora de la calidad de los tomates utilizados como materia prima para la agroindustria, favoreciendo así la sostenibilidad y competitividad de este importante sector de la región del Maule.

CAPÍTULO I

CULTIVO DE TOMATE INDUSTRIAL EN CHILE

Susana Arredondo Sepúlveda
Ingeniero Agrónomo, Máster en Sistemas Agroforestales
Centro de Estudios en Alimentos Procesados CEAP

El tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) es la principal hortaliza cultivada en el mundo y también en Chile. Posee una gran diversidad, hay variedades con distinto aspecto exterior (forma, tamaño, color) e interior (sabor, textura, dureza), existen variedades destinadas para consumo fresco y otras para procesado industrial y dentro de este grupo, muchas especializaciones del producto. A nivel mundial se producen 40 millones de toneladas de tomate industrial en materia fresca, de los cuales Chile genera cerca de un millón, es decir, solo el 2,5% de la producción global.

Es una hortaliza que debido a la creación de nuevas variedades ha adquirido gran incremento en los últimos años, como resultado de nuevas técnicas, exigencias agrícolas e industriales y de problemas derivados de la presencia de nuevas enfermedades y plagas.

En la década de los 80´s se produce un aumento en el consumo de pasta de tomate, producto del aumento de las comidas fuera del hogar, en especial en establecimientos de comida rápida, y la difusión de la comida italiana en el mundo, principalmente pizzas y pastas. Estos cambios en el consumo convierten al procesamiento de tomate en una industria de gran dinamismo y niveles crecientes de consumo.

Para elaborar la pasta, los tomates son molidos para extraer la pulpa, la que es concentrada en evaporadores. Se le añaden aditivos y saborizantes, es homogeneizada y pasteurizada, para finalmente ser envasada. En este proceso muchos de los componentes son concentrados, lo que hace de este producto una excelente fuente de licopeno y otros nutrientes. Este pigmento le otorga el característico color rojo y que es un poderoso antioxidante que contribuye a reducir la incidencia de enfermedades cancerosas, como las de pulmón, próstata y tracto digestivo, además de enfermedades cardiovasculares y otras asociadas al envejecimiento. El tomate es también rico en vitaminas A, C y minerales.

1.1 Características botánicas

1.1.1 Origen

El tomate industrial pertenece a la familia de las solanáceas y tiene su origen en Sudamérica en las zonas andinas de Perú, Bolivia, Ecuador y en el norte de Chile (Nuez, 1995), la que se distribuyó por todo el continente a través de sucesivas migraciones. Probablemente desde estas zonas fue llevado a Centroamérica y México donde se domesticó y ha sido por siglos parte básica de la dieta. Luego, fue llevado por los conquistadores a Europa. Durante el siglo XVI se consumían en México tomates de distintas formas y tamaños e incluso rojos y amarillos. Para entonces ya habían sido llevados a España y se utilizaba como alimento como también en Italia. En otros países europeos solo se utilizaban en farmacia y así se mantuvieron en Alemania hasta comienzos del siglo XIX.

1.2 Morfología

Es una planta dicotiledónea perenne, que se planta de forma anual. Ésta presenta porte arbustivo y se desarrolla de forma rastrera, semi erecta o erecta, en ocasiones. El cultivo de crecimiento limitado cuando se trata de variedades determinadas e ilimitado cuando son variedades indeterminadas, pudiendo llegar estas últimas a alcanzar 10 metros de altura en un año (Foto 1.1).

Foto 1.1 Planta de Tomate

En plantas de crecimiento limitado se pueden observar características claras de su condición ya que los tallos de estas presentan en su término, un ramillete floral, siendo este el punto de término del crecimiento. En cambio, en plantas de crecimiento indeterminado se puede observar que presentan solamente inflorescencias laterales ya que sus ápices presentan la particularidad de poseer siempre un meristema de crecimiento, lo que provoca el alargamiento del tallo.

1.2.1 Sistema radicular: uede alcanzar los dos metros de profundidad, desarrollando una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. La raíz pivotante bajo algunas condiciones del cultivo se daña, lo que provoca que la planta tenga que desarrollar un sistema radicular fasciculado, en el cual dominaran raíces adventicias que se concentran en los primeros 30 cm de profundidad.

Tallo principal: son ligeramente angulosos, semileñosos, de grosor mediano y con tricomas (pilosidades), simples y glandulares. El eje central presenta un grosor que oscila entre 2-4 cm en su base, sobre el que se van desarrollando las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los nuevos primordios foliares y florales.

1.2.2 Hojas: presenta hojas compuestas y con folíolos dentados con bordes lobulados y peciolados, sus hojas se disponen de forma alterna sobre el tallo y presentan pelos glandulares.

1.2.3 Flor: presenta 5 ó más sépalos y la misma cantidad de pétalos de color amarillo que están dispuestos en forma helicoidal. También presentan el mismo número de estambres que se alternan con los pétalos. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como racimos. La primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas.

1.2.4 Fruto: se caracteriza por ser más pulposo que el tomate tradicional, más concentrado y con mayor cantidad de sólidos solubles. Su color es intenso, más firme que las variedades de consumo fresco y de menor tamaño. Las variedades son "determinadas", o sea, la planta tiende a desarrollarse en una forma bastante homogénea y con una cuaja bastante uniforme, lo que es ideal para la cosecha mecanizada (Foto 1.2).

Foto 1.2 Fruto de tomate.

1.3 Etapas fenológicas

El tomate tiene varias etapas de desarrollo en su ciclo de crecimiento. Cada etapa es diferente con respecto a sus necesidades nutritivas, además, el tiempo de desarrollo de cada etapa dependerá de la variedad, condiciones medioambientales y manejo del cultivo (SQM, 2006).

Se planta, dependiendo de la zona, desde mediados de septiembre a fines de noviembre, ya que es un cultivo que requiere que no haya heladas ni lluvias en la cosecha. Esto genera un poco la limitación de su cultivo hacia el sur, donde las ventanas de producción son más cortas, pues para escapar de las heladas se debe plantar desde fines de octubre en adelante, sin sobrepasar mediados de noviembre, dado los mayores riesgos de lluvias a principios de abril.

1.3.1 Establecimiento de la planta: Se enfoca en el desarrollo firme de la raíz y la formación inicial de las partes aéreas de la planta (Foto 1.3).

Foto 1.3 Raíz de planta de tomate invernadero.

Crecimiento vegetativo: ocurre los primeros 40-45 días, después de lo cual los frutos empiezan a desarrollarse continuamente. Este período es seguido por otras 4 semanas de crecimiento rápido, mientras la planta está floreciendo y está desarrollando los frutos. Después de 70 días, no hay casi ningún desarrollo vegetativo, ni acumulación de materia seca en hojas y tallos (Foto 1.4).

Foto 1.4 Crecimiento vegetativo.

1.3.2 Floración y cuaja: Dependiendo de la variedad, las condiciones medioambientales y manejo del cultivo, la floración y cuaja empiezan alrededor de 20-40 días después del trasplante y continúan durante el resto del ciclo de crecimiento. La polinización se efectúa por medio de abejas, viento y aplicación de hormonas (auxinas) para promover la cuaja.

1.3.3 Desarrollo de fruta: después de la floración y cuaja, la fruta empieza a desarrollarse y crecer y logra en este período la mayor acumulación de materia seca en la fruta, a un ritmo relativamente estable.
Madurez fisiológica y cosecha: la madurez fisiológica de la fruta se logra a los 80 DDT (días después de trasplante). La cosecha continúa permanentemente, a menos que se detenga por razones climáticas (heladas, lluvia).

1.4 Cultivo

1.4.1 Elección del terreno

Prefiere los suelos francos, de buen drenaje (porque es una planta algo sensible a enfermedades radiculares), y un suelo que permita regar bien, ya que requiere de un buen abastecimiento hídrico.

Este es un paso fundamental para el éxito del sistema, y tiene varias aristas importantes que se deben considerar:

1.4.1.1 Nivelación: debe ser un terreno lo más nivelado posible, de lo contrario debe ser corregido. El riego es muy importante en este sistema, por lo tanto, debe ser fácil de implementar.

1.4.1.2 Piedras: no debe presentar piedras en toda la superficie, esto es limitante tanto para los equipos encamadores como posteriormente para la trasplantadora y la cosechadora.

1.4.1.3 Dimensiones: debe ser un potrero relativamente proporcionado, y que en lo posible la parte más larga sea coincidente con la dirección del riego.

1.4.1.4 Textura: de preferencia debe ser un suelo franco, no es recomendable elegir suelos con mucho contenido de arena, porque se dificulta el manejo del riego, ni con mucho contenido de arcillas, porque son difíciles de manejar los terrones, limitantes para una buena cosecha mecánica.

1.4.1.5 Malezas: en lo posible que no tenga mucha presión de malezas, de lo contrario se deben tomar las precauciones como se indica más adelante.

1.4.2 Preparación de suelos

La preparación de suelos es una de las labores más importantes en el éxito del cultivo. El objetivo preparar un perfil donde, en profundidad, no existan restricciones físicas al desarrollo de las raíces del cultivo y donde se pueda maximizar la aireación del suelo.

Para preparar el perfil del suelo, donde se va a desarrollar la planta, es necesario efectuar una serie de labores que vamos a denominar "Laboreo primario" (donde se trabaja en profundidad) y "Laboreo secundario" (donde se nivela, se reducen terrones y se afina la superficie para plantación).
Laboreo primario

La realización del laboreo primario puede efectuarse por medio de labores horizontales (con inversión del suelo) y/o verticales (sin inversión del suelo).

1.4.3 Labores Horizontales

Esta labor se realiza cuando tenemos residuos en superficie, que se necesitan incorporar, de manera que no interfieran en las posteriores labores de cultivo.

También se pueden realizar cuando no tengamos residuos por incorporar, y el efecto buscado sea trabajar en profundidad. El único equipo recomendado para esta labor es el arado de vertedera, el cual, hace una labor de inversión parcial del suelo.

La profundidad de trabajo debe ser de 30 a 35 cm, la que se mide desde el corte del arado vertedera hasta el fondo del surco. Tener precaución en suelos delgados, procurando invertir sólo la capa vegetal. Hay que observar en terreno la buena regulación del implemento, que se debe encontrar horizontal respecto al suelo.

1.4.4 Labores Verticales

Las labores primarias con equipos verticales tienen como función el fragmentar el perfil sin producir incorporación de residuos. Los equipos recomendados para estas labores son los subsoladores (Jympa, escarificadores y otros) y, en menor medida, los cinceles (pata fija).

Los subsoladores deben penetrar según la profundidad de las capas endurecidas entre 40 a 60 cm. El espaciamiento entre las patas del subsolador va a depender del nivel de humedad del suelo al momento de la labor, de manera que se produzca una buena fracturación del perfil.

Con un suelo seco y en la medida que se pueda lograr la profundidad deseada, se pueden separar las patas a 60 cm., pero con un suelo con algo de humedad, no deben estar a más de 50 cm (situación ideal en toda condición). El mejor resultado de este trabajo se obtiene con suelo semiseco a semifriable.

Dada la profundidad y fracturación del suelo deseada, es muy importante que el tractor sea de una potencia adecuada.

Los cinceles de pata fija, trabajan a una profundidad bastante menor que los subsoladores (entre 25 a 30 cm como máximo).

Los cinceles de pata flexible (o resorte), tienen una profundidad de trabajo efectiva de no más de 20 cms., por lo que no se deben considerar para este objetivo. Sí se pueden considerar para labores secundarias o de cultivo entre hileras.

Cabe recordar, que las raíces del tomate, en condición de suelo sin compactaciones limitantes, pueden llegar a más de 1 m. de profundidad. El mayor porcentaje de raíces efectivas, se encuentran, sin embargo, en los primeros 50 cms.

El momento de la realización del laboreo primario va a depender principalmente del objetivo que tendremos de plantación la próxima temporada, además del tipo de suelo.

En general se recomienda realizar labores en otoño en suelos arcillosos, ya que al tener buena estructura, ésta no se perdería por el efecto de las lluvias de invierno. Si el objetivo principal es romper una capa dura (compacta) en profundidad, sin lugar a dudas e independiente de la textura de los suelos, el mejor resultado se obtiene con laboreo en suelo seco (otoño).

1.4.5 Laboreo secundario

El objetivo del laboreo secundario es reducir el tamaño de los terrones, nivelar y afinar la cama para la plantación. Para conseguir el primer y segundo objetivo, se pueden recomendar vibrocultivadores, los cuales contienen escardillas y rodillos que van asentando el suelo y rastras de discos, las cuales con una pasada, debieran dejar el suelo mullido y algo asentado.

También se pueden utilizar aperos accionados por la toma fuerza del tractor como rotofresadoras (grada rotativa). Estas, idealmente debieran poseer incorporados unos rodillos packer (compactadores), para que se produzca una leve compactación del suelo.

En la preparación de suelos es importante tener presente cuáles son los objetivos que se quieren lograr y, en base a ello, definir una buena estrategia a desarrollar para cada caso específico.

En la plantación mecánica, y dada la formación de mesas para el trasplante, se logra una mayor profundidad efectiva para el crecimiento radicular.
Sin embargo, es igualmente importante, partir con un suelo trabajado con la profundidad adecuada, ya que los melgadores y perfiladores, no logran corregir una deficiente preparación de suelos.

1.4.6 Trasplante

En esta labor se utilizan máquinas trasplantadoras de tres hileras con estanque de agua. Todas las maquinas utilizadas son de distribuidor giratorio (carrusel) de cuatro a ocho cavidades, la planta cae por gravedad. Son máquinas semiautomáticas para plantas de cubo cónico y piramidal de hasta 6 cm. de diámetro, accionada por las ruedas motrices de goma. Son adecuadas para plantas con tamaño foliar particularmente desarrollado. Las unidades de trasplante son independientes y modulares. Su rendimiento aproximado es de 10.000 a 12.000 plantas $hora^{-1}$ (Foto 1.5).

Foto 1.5. Trasplante.

Si es necesario, dependiendo de la temperatura y el porcentaje de humedad que tenga el suelo a transplantar, se debe realizar un riego de pre-transplante. Este se realiza normalmente con equipos por aspersión y debe ir avanzando en el campo a la velocidad de la plantación para evitar pérdidas de humedad por la alta temperatura, esta labor se realiza normalmente en las plantaciones tardías.
Primera labor

Se realiza a los 20-25 días después del transplante mono hilera el cual tiene un rendimiento diario de 5 has/días. Su función es cultivar la superficie da la mesa, lo más próximo a la planta, y los costados de los surcos solo 2 a 3 cm de profundidad, para lo cual cuenta con sistemas de cuchillas ajustables.

Adicionalmente se fertiliza con la mezcla cultivo la cual será ubicada en el borde de la hilera a 25 cm de la planta y a no menos de 20 cm de profundidad. En la medida que la disponibilidad de los equipos y el desarrollo del cultivo lo permita haremos una segunda cultivada, la cual se realiza a los 35-40 días después de plantado y tiene por finalidad tanto el control de las malezas como la descompactación del surco de riego provocada tanto por el laboreo como por el agua de riego.

Es muy importante la calibración y el control de la aplicación de fertilizantes, para lograr una buena distribución de este en el cultivo y no tener deficiencias.

1.4.7 Cosecha mecánica

El programa del cultivo mecanizado finaliza con la cosecha mecánica, sin embargo, la cosecha es uno de los puntos fundamentales en la toma de decisión al momento de definir la superficie de tomate a contratar por parte del agricultor, debido a que la cosecha mecánica es la labor en la que se puede disminuir la mayor cantidad de jornadas hombre dentro del cultivo, facilitando el manejo y acortando el periodo de la cosecha.

Al momento de considerar una cosecha mecánica el productor debe tener en cuenta los siguientes puntos:

- No se puede considerar los potreros con piedras.
- Mantener la plantación con las condiciones adecuadas para realizar una buena labor de cosecha, esto es, mesa plana, sin terrones y libre de malezas hasta la cosecha.
- Deberá eliminar las acequias regadoras y desagües con anticipación a la llegada de las máquinas cosechadoras al terreno.
- Aportar la mano de obra necesaria para realizar una adecuada labor de selección en la máquina (6 personas como mínimo).
- Despejar y rastrear las cabeceras de los potreros (como mínimo 14 metros libres).
- Hacer los caminos necesarios dentro de la plantación para ejecutar la cosecha en forma ordenada. Para ello se deberán cosechar 4 hileras o lo que indique el personal técnico.
- Tener expeditos los accesos al potrero antes de iniciar la cosecha.

1.4.8 Fumigaciones

Se realizan de acuerdo al calendario de aplicaciones y al monitoreo de plagas. Fundamental es respetar los volúmenes de agua para cada estado de cultivo (Foto 1.6).

Foto 1.6. Fumigaciones en tomate

1.4.9 Riego

Las plantas en general, necesitan de un suministro de agua para su desarrollo, generado a partir de la evapotranspiración donde se incluyen dos fenómenos, evaporación y transpiración.

Foto 1.7. Riego en tomate.

En general el tipo de riego determinará el consumo de agua. En un riego por goteo, el consumo de agua es de alrededor de 5.000 a 5.500 metros cúbicos por hectárea por temporada, en cambio en un riego por surco tradicional, con todas las pérdidas e ineficiencias, es alrededor de 11.500 m^3 ha^{-1}. Esto lleva a que los requisitos del suelo tengan también relación con el riego, es decir, que tenga un buen abastecimiento de agua, sea un suelo parejo que permita regar bien, de buen drenaje, etc.

Alrededor de un 20% de las hectáreas cultivadas están contratadas bajo sistema de riego por goteo (Foto 1.7), permite importantes ventajas en la producción, y en términos de mecanización del cultivo se planta y cosecha en forma mecanizada. La empresa se encarga de gestionar toda la maquinaria necesaria con los prestadores de servicios respectivos.

El cultivo del tomate industrial es altamente exigente en requerimientos hídricos, desde la plantación en adelante.

Con una buena programación de riego, es decir, buen manejo de frecuencias (días entre riegos) y tiempo de riegos, se pueden aumentar los rendimientos y lograr una óptima calidad de frutos. Para esto se deben conocer las necesidades de agua del cultivo, de acuerdo a su nivel de desarrollo y los momentos críticos.

A partir de los 40 días después de trasplante y en la medida que aumenta la floración, las necesidades de agua por parte del cultivo aumentan fuertemente, llegando a un peak a los 60 días, el cual se mantiene prácticamente hasta los 110 días posteriores al trasplante.

Durante este período los requerimientos hídricos de las plantas deben suplirse óptimamente con riego para alcanzar altos potenciales de rendimiento.

1.4.10 Fertilización

El manejo de la nutrición del tomate es muy importante, ya que influye fuertemente en el rendimiento, en las características físico químicas de los frutos, y en los costos de producción.

Dado los altos niveles de extracción que tiene este cultivo, normalmente las reservas de nutrientes en el suelo no alcanzan a cubrir la demanda. Por esto, es necesario corregir con la aplicación de fertilizantes minerales.

Para establecer un programa de fertilización, idealmente se debería contar con un análisis de suelo, como herramienta de diagnóstico que permita estimar la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas.

Los elementos que las plantas requieren en grandes cantidades (macronutrientes) son: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Estos normalmente, se presentan en cantidades insuficientes en el suelo.

Otros macronutrientes son los secundarios (Azufre, Magnesio, Calcio), que las plantas requieren en menor cantidad, y normalmente se encuentran en cantidades suficientes en el suelo. Solo en algunos casos, es necesario aplicarlos correctivamente.

Los nutrientes que las plantas requieren en muy baja cantidad, son conocidos como micronutrientes (Boro; Manganeso, Zinc, etc.). Se aplican sólo si su contenido en suelos es muy bajo o si las plantas presentan síntomas de deficiencias.

Para una alta producción de tomates, es necesario que la planta tenga a disposición nutrientes suficientes, ya que en un corto período de cultivo la planta produce una gran cantidad de fruta.

La disponibilidad de nutrientes, debe ir además acompañada de un correcto balance entre ellos y una adecuada oportunidad de acuerdo a sus requerimientos para mejorar tanto calidad como rendimiento.

1.5 Principales enfermedades

Los hongos en general presentan un ciclo de vida que tiene las siguientes etapas:
- Germinación de las esporas (elementos de reproducción de estos).
- Infección con penetración en el organismo hospedero.
- Diseminación dentro y fuera del mismo mediante micelios.
- Formación de estructuras reproductivas.
- Producción de nuevas esporas para cerrar el ciclo.

Los distintos funguicidas químicos utilizados habitualmente en la agricultura actúan con mayor o menor eficacia, en cada una de estas etapas.

Los funguicidas de contacto en general actúan bien en la etapa de germinación de las esporas previamente a la infección, por lo que son más bien preventivos. Los fungicidas sistémicos, pueden actuar preventivamente y/o post ocurrencia de la infección.

Por ejemplo y para el caso del control de *Alternaria alternata*, las estrobirulinas (como el azoxistrobin y trifloxistrobin), son eficaces en controlar la germinación y la infección del patógeno, perdiendo eficacia una vez que el micelio está presente.

Por último, los triazoles como el difenoconazole presentan su mejor performance en las etapas de crecimiento de micelio y esporulación.

1.5.1 Enfermedades producidas por hongos

Nombre: Pudrición negra; Moho negro; Cancro del tallo > Agente Causal: Alternaria alternata
Nombre: Tizón temprano; Alternariosis > Agente Causal: *Alternaria solani*
Nombre: Pudrición gris, tizón de la flor, Botritis > Agente Causal: *Botrytis cinerea*
Nombre: Cancro del tallo, Pudrición del cuello > Agente Causal: *Phytophthora nicotíanae* var. parasítica

1.5.2 Enfermedades producidas por bacterias

Nombre: Cancro Bacteriano > Agente Causal: *Clavibacter michiganensis*
Nombre: Mancha bacteriana > Agente Causal: *Xanthomonas campestris* pv. Vesicatoria
Nombre: Peca Bacteriana > Agente Causal: *Pseudomonas syringae*

1.5.3 Enfermedades producidas por virus

Las enfermedades producidas por virus no son curables por lo que una vez que el virus ingresa a la planta no hay nada que hacer. Existen algunas cultivares con resistencia a determinados virus como el del Mosaico del Tomate (Tomato Mosaic Virus, ToMV).

Los virus son transmitidos por vectores ya que por sí solos no pueden ingresar a las plantas. Los principales vectores de virosis son los áfidos, los trips y el hombre. En el primer grupo el que se destaca es el pulgón verde del Duraznero (*Myzus persicae*), que transmite el Virus del Mosaico del Pepino (Cucumber Mosaic Virus, CMV) y el Virus del Mosaico de la Alfalfa (Alfalfa Mosaic Virus, AMV).

Entre los trips el Thrips tabaci, *Frankliniella occidentalis* y *Frankliniella fusca* , son vectores del Virus del Bronceado del Tomate o peste negra(Tomato Spotted Wilt Virus, TSWV), mientras que el hombre transmite el Virus del Mosaico de la Tomate (ToMV), mediante herramientas de poda, manos y ropas en labores de cosecha deshoje y poda.

1.6 Principales plagas

Nombre: Polilla del Tomate > Agente causal: *Tuta absoluta*
Nombre: Gusano del Fruto > Agente causal: *Heliothis zea*
Nombre: Gusano Cortador > Agente causal: *Agrotis ípsilon*
Nombre: Trips californiano > Agente causal: *Frankliniella occidentalis*
Nombre: Pulgones > Agente causal: *Myzus persicae* y otras especies
Nombre: Minador de las Chacras > Agente causal: *Liriomiza huidobrensis*
Nombre: Acaro del Bronceado > Agente causal: *Aculops lycopersici*

1.7 Control de malezas

Los principales efectos perjudiciales de las malezas en tomate ocurren durante las primeras cinco a seis semanas de desarrollo del cultivo (es decir, hasta los 35-40 días desde trasplante).

Por lo tanto, los enmalezamientos iniciales son los más negativos para el resultado del cultivo.

Pero no solo hay que preocuparse de controlar las malezas en la primera etapa, es importante mantener el cultivo libre de malezas hasta el final del período vegetativo, dado que estas son hospederas de plagas y patógenos que pueden atacar el cultivo. Por esto también es muy importante mantener limpios los alrededores inmediatos (bordes).

Además un cultivo enmalezado es más dificultoso, lento y costoso de cosechar manualmente; y en cosecha mecánica es absolutamente restrictivo, ya que se dificulta el trabajo de las máquinas, perdiéndose eficiencia y productividad.

En general, con un PROGRAMA de control de malezas, se busca lograr los siguientes objetivos:

- Eliminar la competencia (por luz, agua y nutrientes) en los momentos más críticos.
- Conseguir un control eficiente al más bajo costo posible.
- Eliminar las malezas como hospederos de insectos y patógenos.
- Realizar aplicaciones foliares más efectivas.
- Facilitar la labor de cosecha, especialmente la mecánica.

Este programa, a nivel de cada agricultor, se debe planificar en base a:

- Superficie de la plantación.
- Tipo de malezas presentes.
- Equipamiento con que cuente el agricultor.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Tipo de plantación (mecánica o manual).
- Anticipación de labores de preparación de suelo para plantación.

Un programa efectivo de control de malezas siempre debe iniciarse antes de establecer el cultivo, con un barbecho químico.
Esta labor debe ser anticipada al establecimiento del cultivo, para eliminar las malezas presentes y evitar su diseminación.

1.7.1 Uso de herbicidas

Se debe tener claridad que los herbicidas FUNCIONAN. Cuando se tienen deficiencias de control o fitotoxicidad en el cultivo, es debido a problemas en la aplicación; en la dosis, o en el desarrollo de las malezas (o el tomate), al momento de aplicar.

En general y como primera precaución, cualquier aplicación debe realizarse con buenos equipos de pulverización, calibrados, y con la precaución de no aplicar sobre o sub dosis.
Esta es una práctica de indudables beneficios y que se debe masificar.

Se trata de aplicaciones de herbicidas (generalmente sistémicos), con anterioridad a la fecha de plantación (período de otoño – invierno anterior al cultivo).

Objetivos:
- Controlar eficientemente y a bajo costos, las malezas perennes.
- Evitar pérdidas en la estructura del suelo.
- Mejorar condiciones físicas del suelo.
- Evitar procesos de erosión.

1.7.2 Principales productos utilizados

Glifosato: es el herbicida más común en este tipo de aplicaciones. Proporciona un excelente control de malezas gramíneas y también de hoja ancha (según la dosis aplicada).
Hormonales: dado que el control de algunas malezas de hoja ancha no es suficientemente eficiente solo con glifosato, en algunos casos puntuales se podría complementar con herbicidas hormonales tipo MCPA o 2,4D.

1.8 Industria nacional

Chile se ha convertido en un importante actor del comercio internacional de pasta de tomates, en la actualidad, existen dos compañías involucradas en la producción de pasta de tomate en el país (Sugal Group y Agrozzi), que producen alrededor de 85.500 toneladas de tomate, lo que corresponde a una superficie aproximada de 900 has, concentradas principalmente entre la VI y VII regiones.

En Chile el promedio de producción es en torno a las 93 y 95 toneladas por hectáreas, la mano de obra que ocupa es mínima. Se calcula que en la cosecha necesita aproximadamente 2,5 jornadas-hombre por hectárea, lo que es bajo en comparación con las frutas u otros cultivos. La cosecha es entre fines de enero y mediados de abril, dependiendo de la fecha de plantación. Por otra parte, Chile tiene la ventaja de ser el principal productor y exportador del Hemisferio Sur, y eso hace la diferencia, porque si pasa algo en el Hemisferio Norte, podemos reaccionar mejor.

El sector emplea a unas 250 personas de forma permanente, y más de 2.000 durante la temporada. La mayor parte del volumen de tomates que las industrias procesan es adquirido a agricultores mediante contrato, pagándose en promedio ($45.000) pesos por tonelada de tomate fresco (Antonio. Concha, comunicación personal). Las empresas dan a sus proveedores asistencia técnica y apoyo financiero para la realización de labores o el pago de insumos. Alrededor de 40% de la superficie cultivada con tomates industriales es cosechada mecánicamente, servicio que es prestado por empresas especializadas. Igualmente, la mayor parte de la superficie es trasplantada de manera mecanizada. Los costos de producción de los agricultores son de alrededor de $3 millones por hectárea, y varían dependiendo de la mecanización de las labores y la escala del predio, entre otros factores.

Chile se ha convertido en el séptimo mayor exportador de pasta de tomate en el mundo y el primero en el hemisferio sur (Figura 1.1), con cantidades exportadas que se han duplicado en los últimos diez años, a partir de USD 47 millones en 2003 a USD 127 millones en 2015.

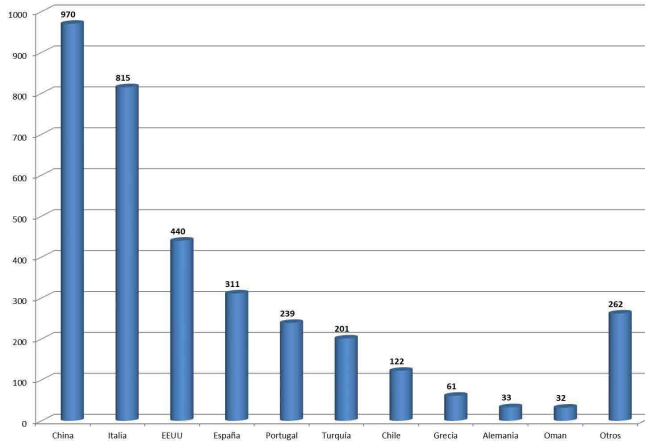


Figura 1.1. Principales Países Exportadores de Pasta de Tomate (2014)

Las empresas exportan entre el 70 y 80% de la producción la cual se comercializa, principalmente, a granel. De estas, la pasta de tomates lidera las ventas al exterior, exportando la temporada 2015 101.000 toneladas, los principales destinos de exportación son Argentina, Venezuela, Brasil y Rusia (Figura 1.2).

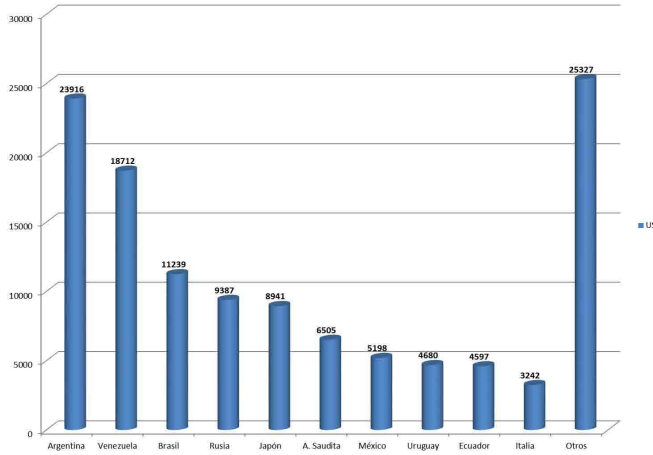


Figura 1.2. Principales destinos de exportación (millones de US$, 2014).

1.8.1 Parámetros de calidad para la industria

Los principales parámetros de calidad de importancia para el proceso, se refieren a las características internas del fruto: color, firmeza, sólidos solubles, pH y viscosidad.

La cantidad de producto que puede ser procesado es directamente dependiente del contenido de sólidos solubles del fruto. Este carácter es muy influenciado por el ambiente ya que existe una relación negativa entre la producción y el contenido de sólidos solubles del fruto.

1.8.2 Color

El color es un factor muy importante en cuanto al tomate para uso industrial. Éste debe ser de un color rojo intenso y uniforme. El color verde en los frutos se debe a la presencia de clorofila. Luego este pigmento se degrada y se sintetizan pigmentos amarillos, principalmente xantofilas y ß-caroteno. A continuación, el tomate adquiere una coloración roja, debido a la rápida acumulación de licopeno. El ß-caroteno contribuye de manera importante en el color del fruto en sus primeras etapas de maduración, alcanzando su valor máximo poco antes del total desarrollo del color.

1.8.3 Acidez y pH

El pH del jugo sitúa normalmente entre 4,2 a 4,4. Si el pH es superior, se pueden presentar problemas en la esterilización. La acidez es esencial para la obtención de frutos de buena calidad para la agroindustria. Su concentración debe ser lo suficientemente alta para tener un pH menor a 4.4, y de esta manera evitar los problemas causados por los organismos termófilos (*Clostridium botulinum*). La elevación de pH hace necesario recurrir a tratamientos térmicos más severos por encima de los 100° C, para obtener una buena esterilización frente a estos organismos termófilos.

Los ácidos más abundantes presentes en la maduración del fruto son el ácido cítrico y málico. Desde que el fruto está verde maduro hasta rojo maduro, la acidez alcanza un máximo, lo cual está marcado con la aparición de la pigmentación amarilla; luego de esto sigue un decrecimiento progresivo en la acidificación mientras dura la maduración.

1.8.4 Sólidos totales y sólidos solubles

El porcentaje de sólidos totales en el fruto de tomate corresponde de 5 a 7,5%. Dentro de los sólidos, el 25% está dado por compuestos insolubles, como celulosa y proteínas; el 75% restante corresponde a sólidos solubles, los cuales son de gran importancia para la calidad industrial del tomate.

En cuanto a la economía, el contenido de sólidos solubles representa el parámetro de mayor importancia en la producción de concentrados, mientras mayor sea el valor de residuo de la materia prima, menor será la cantidad de tomate necesario para la obtención de la misma cantidad de producto final con un menor costo de producción.

Los sólidos solubles de un tomate para proceso pueden variar de 4 a 6 grados Brix.

Literatura consultada

Bezert, J. 1994. Sistema de pago por calidad de tomate. Universidad Católica de Valparaíso. Facultad de Agronomía. Curso Internacional de Tomate Industrial. Viña del Mar. 1-3 diciembre. pp. 7-10.

Chamarro J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. In: Nuez, F. ed. El cultivo del tomate. Madrid, Mundi-Prensa. pp. 43-91.

Civera, A. 1990. El tomate de industria, técnica y variedades en la mecanización para su recolección. A+grícola Vergel 6: 955-963.

Diez, M.J. 1995. Tipos varietales. In: Nuez, F. ed. El cultivo del tomate. Madrid, Mundi-Prensa. pp 93-129.

Giaconi M, V. y Escaff G., M. 2004. Cultivo de hortalizas. Santiago, Chile. Editorial Universitaria. XV ed. 337 p.

Maroto, J.V. 2002. Horticultura Herbácea especial. Mundi-Prensa, Madrid. 704 p.

Mira, J.M. 2016. The World Processing Tomato Congress, Chile, Marzo 2016.
Nuez, 1990. Nuevas tendencias de la mejora agronómica del cultivo del tomate. Agrícola Vergel 108:909-913.

Nuez, F. 1995. Desarrollo de nuevos cultivares In: Nuez, F. El cultivo del tomate. Madrid.

SQM 2006. Guía de manejo nutrición vegetal de especialidad tomate. En: http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf Consultado: julio 2016.

Young, T., Juvik, J and Sullivan, J. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. Journal of the American Society for Horticultural Science 118:286-292.

CAPÍTULO II

BIOLOGÍA DE LA ENFERMEDAD

Claudio Sandoval Briones
Master of Science, Doctor
Universidad de Talca / Semillas Antufen

Fernanda Nuñez Abarca
Ingeniero Agrónomo. Magister en Ciencias Agrarias
Consultor Privado

2.1 Tizón temprano

2.1.1 Agente causal

Alternaria solani corresponde a un hongo patógeno, que afecta principalmente a especies de la familia de las solanáceas entre las cuales se encuentra el tomate, la berenjena y la papa. Este patógeno, pertenece al Reino Fungi, al Phylum Deuteromycotina, clase Hyphomycetes, familia Dematiaceae, género Alternaria y especie solani.

Este hongo infecta inicialmente al follaje de planta, apareciendo en hojas basales llegando a estas desde el suelo. También puede eventualmente infectar tallos y frutos, si bien estos órganos no son en los que aparecen los primeros síntomas.

2.1.2 Ciclo de vida

El hongo es capaz de sobrevivir en el suelo, asociado a materia orgánica y restos de cultivos enfermos ya sea como micelio o esporas. También se puede mantener en otras solanáceas y malezas como hospederos alternativos. Desde aquí, las esporas son capaces de diseminarse a grandes distancias a través del viento.

Durante las etapas tempranas de desarrollo del cultivo se produce una infección primaria en el follaje más viejo, en tanto que el tejido joven, no presenta síntomas. La mayor diseminación de la enfermedad de manera secundaria (desde tejido inicialmente infectado a hojas más nuevas) se presenta después de la floración, cuando existe una mayor presión inóculo. Las condiciones ambientales óptimas para que esto ocurra, es la alternancia de condiciones húmedas y secas. Así, mañanas con abundante rocío, seguidas de temperaturas altas y humedad relativa baja son óptimas para la esporulación del patógeno y su diseminación.

2.1.3 Factores predisponentes

Dentro de los factores favorables para el desarrollo de esta enfermedad se encuentran las temperaturas entre 24 y 30°C y una humedad relativa sobre el 90%. Las gotas de lluvia o rocio favorecen al agente causal de esta patología para que sus esporas puedan germinar rápidamente logrando penetrar por aperturas naturales (estomas) o directamente por la cutícula. Las plantas con mayor susceptibilidad son aquellas que bajo una condición de estrés presentan una mayor proporción de tejido envejecido o senescente. Es el caso de cultivos con fertilización deficiente, particularmente nitrógeno, alta carga frutal o con problemas de salinidad son más susceptible a esta enfermedad. La diseminación de las conidias de Alternaria solani ocurre principalmente por el viento y por el efecto de salpicadura de agua producida por lluvia. A su vez es posible que también se disemine por semillas y almácigos infectados.

2.1.4 Rango de Hospederos

La enfermedad ocasionada por el agente causal Alternaria solani conocida como tizón temprano en papa, tomate, pimentón, berenjena y otras solanáceas. De esta forma el rango de hospederos del agente causal de esta enfermedad se limita a especies solanáceas.

2.1.5 Sintomatología

Este hongo se caracteriza por atacar toda la parte aérea de la planta, en todas las fases de crecimiento del cultivo. En plantas jóvenes presenta alteraciones extensas y de color negro en el tallo pudiendo provocar su muerte por marchitamiento. Lo anterior al producir un anillamiento que corta el flujo de agua y nutrientes a través de los haces vasculares. Se asocia en algunos casos en almaciguera al complejo de hongos asociado a caída de plántulas o damping off. En plantas adultas por otra parte, produce manchas foliares de color pardo a negro las que se caracterizan por presentar anillos concéntricos en muchos casos, y un halo amarillo alrededor. Estas lesiones se presentan inicialmente en las hojas maduras que se encuentran en la parte baja de la planta. Posteriormente, si las condiciones ambientales se mantienen favorables para el desarrollo de la enfermedad, estos síntomas se observarán en hojas más nuevas (Foto 2.1).

Foto 2.1: Lesiones en hoja de tomate industrial causada por Alternaria solani.

2.2 Cancro del tallo y pudrición negra

2.2.1 Agente causal

El agente causal de esta patología corresponde a Alternaria alternata, la que se clasifica taxonómicamente dentro de la clase de hongos imperfectos, orden Hyphomycetes y familia Dematiaceae. Este patógeno afecta tanto tallos, como también fruta inmadura como madura, que muestran alguna alteración fisiológica ("blossom end rot" o pudrición calicinal) o daños como golpe de sol, deficiencia de nutrientes. Esta condición determina una mayor susceptibilidad al ataque del hongo producto de la presencia de heridas o tejido dañado. Es un patógeno que se caracteriza por su capacidad de sobrevivir durante un año en restos de plantas enfermas, en las cubiertas de las semillas y en diversas especies de malezas, las cuales pueden ser hospederas del hongo sin manifestar síntomas, por lo cual pasan a ser un importante foco de infección. En cuanto a su morfología, Alternaria alternata se caracteriza por presentar un micelio oscuro, el cual, en los tejidos adultos produce conidióforos que dan origen a conidios, los cuales son grandes, alargados y de coloración oscura (Foto 2.2).

2.2.2 Ciclo de vida

Alternaria alternata afecta a sus hospederos mediante la toxina-AL que ataca solamente a ciertas especies, como por ejemplo el tomate, ocasionando necrosis y muerte de tejidos. El daño se asocia principalmente a frutos dañados u hojas senescentes. Las conidias o esporas del hongo se diseminan mediante viento y salpicaduras de agua lluvia. El hongo infecta a la planta a través de heridas provocadas por factores abióticos (pudrición calicinal, golpe de sol), o daño mecánico ocasionado por insectos o labores culturales. También tiene la capacidad de infectar de forma directa a través de la epidermis.

Foto2.2. Conidias de Alternaria alternata observada bajo microscopía óptica. Laboratorio de Sanidad Vegetal, Universidad de Talca.

2.2.3 Factores predisponentes

Alternaria alternata es un hongo principalmente saprofito, es decir, se desarrolla preferentemente sobre tejidos vegetales muertos o en proceso de descomposición y en algunos casos sobre tejidos viejos o senescentes, como hojas y pétalos viejos y frutos maduros. Sin embargo, bajo ciertas condiciones puede transformarse en patógeno. Esto ocurre en plantas sometidas a condiciones de estrés ambiental, deficiencias nutricionales, crecimiento lento y senescencia. Las condiciones climáticas que favorecen su desarrollo son temperaturas que oscilan entre 10 y 35°C siendo su óptimo 25°C y humedades relativas por sobre un 90% o agua libre sobre la planta.

Su diseminación es por corrientes de aire, estando sus esporas presentes en el aire y polvo en todas partes. De esta forma el riesgo de infección está siempre presente. Adicionalmente este hongo puede infectar tejidos vegetales previamente dañados por otros patógenos. Es el caso por ejemplo de frutos colonizados inicialmente por Botrytis cinerea, agente causal de pudrición gris. Así en muchos casos es posible observar en frutos de tomate, pudriciones en que se observa presencia de ambos patógenos. *Alternaria alternata* puede mantenerse a lo largo del tiempo en forma de micelios en los restos de las plantas que ya han sido infectadas y/o en forma de esporas o micelios en la superficie de semillas.

2.2.4 Rango de Hospederos

Alternaria alternata es un hongo que puede afectar a varias especies pertenecientes a variadas familias botánicas. Así se describen más de 380 especies vegetales que pueden ser infectadas por este patógeno ocasionando ya sea manchas foliares o pudrición de frutos.

Dentro del rango de hospederos se encuentran diversos cultivos frutales (manzano, cítricos) y hortalizas al aire libre entre ellos el tomate, al cual afecta en el campo y en postcosecha. Particularmente en tomate destinado a producción de pasta constituye un problema de importancia económica ya que puede ocasionar importantes pérdidas en calidad y rendimiento.

2.2.5 Sintomatología

La sintomatología característica que produce este patógeno son lesiones irregulares de color café en las hojas, que termina secándolas, principalmente en la zona basal de la planta. También es posible observar desarrollo de cancros a nivel de tallos los que son de color grisáceo y de aspecto seco. Dependiendo de la intensidad de la infección en algunos casos estas lesiones pueden comprometer los haces vasculares, ocasionando marchitamiento o desecación de la planta. Sin embargo, el principal daño se asocia a la pudrición que puede ocasionar a los frutos, tanto en condiciones de campo como en su almacenamiento, donde se produce el mayor impacto desde el punto de vista de reducción del rendimiento y calidad de la producción. En los frutos se observan lesiones, especialmente en la parte superior, debido al depósito del rocío, el cual es favorable para el

desarrollo del hongo, absorbiendo éste los nutrientes secretados por el fruto. La pudrición es seca, la mayoría de las veces de color café negruzca, penetrando profundamente. Esto puede variar dependiendo si se encuentra asociada a otros patógenos. La zona dañada se recubre de conidias de color verde oliva a negro. Es frecuente que las lesiones se originen en zonas que han sufrido daño por golpe de sol, insectos o muerte de tejido asociado a pudrición calicinal por falta de calcio. Estas pudriciones en los frutos son la principal causa de rechazo de los tomates destinados a la agroindustria (Foto 2.2).

Foto 2.2: Lesión en fruto de tomate industrial causada por Alternaria alternata.

2.3 Importancia para la industria de tomate procesado de la Región del Maule.

La pasta de tomate es uno de los principales productos hortofrutícolas exportado por Chile. El 2012 se exportaron sobre las 100.000 toneladas de pasta de tomate y el 70% de los tomates utilizados para su producción fueron cultivados en esta región. Hasta un 15% de los tomates se pierde en el campo debido a la pudrición por Alternaria alternata, un hongo muy polífago que encuentra un ambiente favorable en las zonas productoras. Además, la presencia de lesiones por la infección del hongo es la principal causa de rechazo en la agroindustria y de descuento a los agricultores por defectos de calidad. El nivel de pudrición de la materia prima se refleja en la pasta, existiendo límites de tolerancia en las normas sanitarias de los países de destino. El control se realiza mediante un calendario de aplicaciones de fungicidas; pudiendo no coincidir con las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del hongo, quedando el cultivo desprotegido. Aún bajo control químico las pérdidas pueden variar de 19 a 50 mil toneladas por temporada lo que implica mermas del orden de 2 a 4 millones de dólares. Además, en la experiencia de las procesadoras el descuento aplicado al productor por defectos de calidad bordea 4% y al menos la mitad se debe a pudrición por A. alternata. Este problema se incrementa hacia fines de la temporada o después de lluvias en cosecha provocando un aumento en el número de camiones rechazados en planta. Así productores de áreas con mayor riesgo climático son severamente afectados.

Literatura consultada

Agrios, G. 1996. Fitopatología. 2° Edición. Editorial Limusa. México. 838 p.

Agrios, G. 2007. Fitopatología. Guzmán, M. 2 ed. México. Limusa. Pag 838 p.

Apablaza, G. 1999. Patología de cultivos, epidemiología y control holístico. 1 ed. Santiago, Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 347 p.

Blancard, D.; H. Laterrot.; G. Marchoux.; T. y T. Candresse. 2011. Enfermedades del tomate. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 67 p.

Bruna, A. 2006. Enfermedades del tomate en Chile, estrategias de manejo integrado. En: Saavedra, G. y González, M. Producción para Tomate para Procesamiento. Serie Actas N° 32. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 108 p.

Bruna, A. 2003. El moho negro de los tomates: Las aplicaciones de fungicidas se pueden bajar a un tercio. Revista Tierra Adentro 52 pp 20-21.

Estay, P. y Bruna, A. 2002. Insectos, ácaros y enfermedades asociados al tomate en Chile. Santiago, Chile. Instituto de investigación agropecuaria, INIA 111 p.

Latorre, B. 2004. Enfermedades de las plantas cultivadas. 6 ed. Santiago, Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile. 638 p.

Logrieco, A., Bottalico, A., Mulé, G., Moretti, A., Perrone, G. 2003. Epidemiology of toxigenic fungi and their associated mycotoxins for some Mediterranean crops. European Journal of Plant Pathology 109: 645-667.

Rotem, J. 1994. The genus Alternaria: Biology, Epidemiology and Pathogenicity. American Phytopathological Society. Michigan, Estados Unidos. 326 p.

CAPÍTULO III

CONTROL QUÍMICO DE TIZÓN TEMPRANO Y PUDRICIÓN DE FRUTO

Claudio Sandoval Briones
Master of Science, Doctor
Universidad de Talca / Semillas Antufen

Fernanda Nuñez Abarca
Ingeniero Agrónomo. Magister en Ciencias Agrarias
Consultor Privado

El tizón temprano y la pudrición negra causadas por *Alternaria solani* y *A. alternata* respectivamente, son las enfermedades de mayor importancia en tomates con destino agroindustrial en Chile. La presencia de ambas patologías, genera disminuciones tanto en rendimiento como calidad del fruto, lo que produce rechazo de éste en las plantas procesadoras generando un importante daño económico.

De la producción total de tomate agroindustrial se destina alrededor de un 70 % a la producción de pasta de tomates, que corresponde a un concentrado del jugo, resultado de extraer la piel y las semillas mediante tamización del tomate triturado. La tendencia tanto en Chile como en el mundo, es al aumento del consumo de este producto debido al tipo de alimentación que se lleva hoy en día.

Por las características del cultivo (extensivo, con plantas y frutos creciendo cerca del suelo), la pudrición negra es considerada la enfermedad más importante en tomate industrial, alcanzando pérdidas que pueden llegar a un 15% del total de la producción. Además, este patógeno produce una disminución en el rendimiento e impacta negativamente la calidad de los frutos, aparte de ser causal de rechazo por parte de las plantas procesadoras debido a la baja calidad de los frutos por presencia de micelio.

En lo que respecta a tizón temprano, esta patología es de carácter más transversal, afectando tanto tomate para consumo fresco, como también aquel destinado a procesamiento. El agente causal infecta principalmente follaje, partiendo por hojas senescentes, moviéndose posteriormente hacia folíolos más jóvenes, estando determinado este avance en gran medida por condiciones ambientales favorables para el desarrollo de la enfermedad. Ataques severos, reducen el área foliar efectiva, lo que se traduce en una menor fotosíntesis y por ende finalmente en un menor rendimiento.

3.1 Opciones de control

Dentro de las opciones de método de control de enfermedades se encuentran las prácticas culturales, biológicas y químicas. Todas ellas en conjunto constituyen lo que se conoce como manejo integrado de enfermedades. Así destacan: la rotación de cultivos con especies que son menos susceptibles, utilización de semillas libres de los patógenos y debidamente desinfectada y almácigos provenientes de almacigueras sanas. Además, aparece como importante la eliminación de restos de plantas enfermas y malezas de la familia solanáceas que sean posibles hospederos de los patógenos, con el fin de reducir el potencial de inóculo. En superficies extensas, debido a la poca factibilidad de eliminar restos de cultivo, generalmente se opta por enterrar estos en profundidad a través de equipo de laboreo, con el fin de evitar que los tejidos con presencia del hongo queden expuestos a la superficie, evitando así la liberación de inóculo.

3.1.1 Control cultural

Como se mencionaba anteriormente, las medidas de control cultural se incluyen dentro de lo que se conoce como Manejo Integrado de Plagas (MIP). Estas constituyen el conjunto de prácticas culturales, biológicas, genéticas y de control químico utilizadas para prevenir el desarrollo de microorganismos dañinos que atacan a los cultivos.

Dentro de las opciones de manejo cultural esta la preparación de suelo, que consiste en llevar a cabo actividades en la tierra para favorecer una óptima germinación de la semilla y crecimiento del cultivo. Importante es el manejo de las malezas que puedan dañar al cultivo evitando la competencia por nutrientes, agua y luz. También se puede considerar como otra media el sembrar dos o más variedades diferentes, con niveles de resistencia diferentes, con el fin de que los patógenos no tengan la capacidad de infectar el cultivo completo, lo que significaría su pérdida total. Las coberturas orgánicas, como aserrín, capotillo de arroz, paja u otros sirven para proteger el suelo. Éstas, disminuye la aparición de malezas, mejoran la actividad de los microorganismos benéficos, protegen el suelo de la erosión, y lo mantienen húmedo.

Al mantener un cultivo libre de restos vegetales de temporadas anteriores, se desfavorece el desarrollo de enfermedades y reduce la presencia de posibles fuentes de inóculo. Esto es particularmente importante si los cultivos previos se han visto afectados por patógenos que también puedan infectar la nueva especie vegetal a cultivar. Alternaria alternata en particular presenta un amplio rango de hospederos, por lo que este factor debe ser considerado con mayor razón. En el caso de A. solani, este hongo se encuentra restringido a especies de la familia solanácea. Adicionalmente, y como otras formas de reducir posibles fuentes de inóculo está: empleo de material de propagación sano, libre de hongos, bacterias y virus; control adecuado de malezas para no tener huéspedes alternativos.

Otro aspecto importante a considerar dentro de las prácticas de manejo dentro de un programa de control integrado es el monitoreo o revisión periódica del cultivo, verificando alteraciones en la planta como: cambio en la coloración tanto de follaje como de tallos, disminución del vigor, presencia de plantas con marchitez, desarrollo de manchas cloróticas o necróticas en tallos y hojas entre otras. De todos estos síntomas se puede llevar registro permitiendo el cálculo de parámetros como incidencia o severidad.

Se sugiere además al momento de implementar un programa de control integrado de enfermedades, incluir el empleo de cultivares resistentes a tizón temprano y pudrición negra, utilizar semillas sanas y desinfectadas, aplicar una fertilización equilibrada, evitando excesos de nitrógeno, mantener un adecuado estado hídrico para evitar la pudrición apical y rajaduras y eliminar malezas solanáceas hospederas del patógeno.

Otros métodos de control cultural adicionales son regar de día para evitar prolongada humedad nocturna, eliminación de las hojas más viejas después de realizada la primera cosecha. Si bien estos métodos ayudan a palear la incidencia del hongo, tienen un efecto parcial de prevención.

3.1.2 Control biológico

Dentro de los diferentes controladores biológicos que se han investigado para el control de hongos del género Alternaria spp. se encuentran:

Trichoderma longibrachiatum, el cual se ha demostrado un efectivo control de patógenos de este género mediante ensayos in vitro. En este se observó el gran poder biocontrolador de *T. longibrachiatum* el cual presentó capacidad de colonización miceliar sobre *A. alternata*.

Bacillus subtilis, bacteria Gram positivo, aerobia estricta o facultativa, saprofita, también ha demostrado ser efectiva en el control de algunas especies de Alternaria. Una de las principales características por las cuales estas especies son investigadas es por producir antibióticos, otorgándole una característica de fungicida, logrando proteger a los cultivos de enfermedades causadas por hongos.

Pseudomonas aeruginosa, es una bacteria perteneciente a la familia Pseudomonadaceae y al grupo de las Gram negativas. Diferentes estudios han demostrado resultados positivos en el control de Alternaria solani en el cultivo de tomate. Algunas cepa puede componer un producto biológico llamado Gluticid que está constituido solamente por metabolitos, entre ellos el ácido salicílico, el cual estimula mecanismos de defensa de la planta (resistencia sistémica adquirida-SAR).

De los biocontroladores mencionados anteriormente, en el mercado es posible encontrar formulaciones comerciales de aislados de Trichoderma y Bacillus disponibles en el mercado. Sin embargo, es importante, previo a su uso, comprobar que han sido evaluados en el control del patógeno que se desea controlar. En términos generales los diferentes organismos antagonistas, tienden a ser bastante específicos en cuanto a las especies de hongos fitopatógenos que controlan.

Por otra parte, también es importante tener presente que el control biológico a través de biocontroladores, es fundamentalmente preventivo, siendo su principal modo de acción por competencia. Esto implica que, para lograr eficiencia en su empleo, es necesario que sean aplicados antes de que la enfermedad se presente y en reiteradas oportunidades. Además, se debe considerar que al momento de ser aplicados existan temperaturas adecuadas para su desarrollo y multiplicación.

3.1.3 Control químico

Este consiste en términos simples, en aplicaciones de fungicidas al follaje, dirigidas al control de Alternaria solani y A. alternata. Existen diferentes ingredientes activos que presentan una acción eficaz en el control de estos patógenos.

3.1.4 Tipos de fungicidas

Los diferentes fungicidas, al ser asperjados sobre un cultivo presentan diferentes maneras de actuar. Algunos sólo recubren con una capa las zonas asperjadas, no presentando movimiento posterior dentro del tejido vegetal. Estos corresponden a los fungicidas de contacto, los que sólo presentan acción preventiva, y por lo tanto deben ser aplicados antes de que se presente la enfermedad. Otros pueden además de cumplir la función de contacto, penetrar el tejido cortical, siendo clasificados éstos como fungicidas con acción penetrante. Por último, se encuentran los fungicidas que presentan la capacidad de no sólo cubrir el follaje, sino que también son capaces de penetrar en los haces vasculares, siendo éstos llamados sistémicos. Estos pueden presentar tanto acción erradicante (control previo a la aparición de síntomas) como curativa (acción una vez desarrollado los síntomas de la enfermedad).

a. Contacto (Preventivo)

- **Clorotalonil:** Ingrediente activo perteneciente al grupo químico de cloronitrilo, siendo un fungicida de contacto, con modo de acción preventivo, y un amplio espectro de control. Se recomienda el uso bajo un manejo integrado de enfermedades, realizando rotación de aplicación con otros ingredientes activos. Resulta eficiente en el control preventivo de enfermedades asociadas a B*otrytis cinerea, Sclerotinia* spp. *Macrophomina phaseolina*, además de A*lternaria solani* y *A. alternata* entre otras.

- **Mancozeb:** Ingrediente activo del grupo químico de los ditiocarbamatos. Es un fungicida preventivo de contacto con acción de amplio espectro. Se recomienda su aplicación sólo o en mezcla con productos de acción curativa, en el control de enfermedades asociadas a Deuteromycetes u Oomycetes.

- **Propineb:** Ingrediente activo perteneciente a los ditiocarbamatos con actividad fungicida por contacto, de amplio campo de acción, buen efecto inicial y prolongada actividad residual. Impide el desarrollo de las conidias. Pertenece al grupo de los inhibidores multisitio.

- **Zoxamida:** Ingrediente activo con actividad fungicida específica contra Oomicetos (mildius) a través del follaje, si bien también se ha demostrado su acción en el control de tizón temprano. Actúa deteniendo la división nuclear por enlace a la subunidad-b de la tubulina y rotura del citoesqueleto del microtúbulo.

b. Sistémicos (Erradicante, curativo)

- **Boscalid**: perteneciente al grupo químico de las Piridincarboxamidas (Carboxamida), presenta acción sistémica y translaminar. Esto permite que sea un fungicida tanto protector como curativo. Actúa inhibiendo la germinación de esporas, la elongación del tubo germinativo del hongo, el crecimiento micelial y la esporulación. También afecta a nivel de la respiración de los hongos, inhibiendo la acción de la enzima succinato ubiquinona reductasa en las mitocondrias. Resulta un ingrediente activo eficiente en el control curativo de *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia* spp. además de *Alternaria solani* y *A. alternata* entre otras,

• **Pyraclostrobin:** Perteneciente al grupo químico Metoxicarbamatos, actúa inhibiendo la germinación de las esporas, el desarrollo del tubo germinativo y la esporulación. presenta un nuevo modo de acción, por lo que es una alternativa para una estrategia anti-resistentes. Se recomienda no hacer más de dos aplicaciones consecutivas en la temporada.

• **Fluxapiroxad:** Ingrediente activo perteneciente al grupo químico de las Pirazolcarboxamidas, se caracteriza por controlar un amplio espectro de enfermedades provocadas por hongos. Es de acción sistémica y translaminar, con doble efecto, ya sea protector o curativo, inhibiendo los principales estados en el crecimiento del hongo. Se recomienda principalmente en aplicaciones preventivas.

• **Difenoconazole:** Es un ingrediente activo perteneciente al grupo químico de los triazoles. Es sistémico, con acción preventiva y curativa. Además, presenta efecto retroactivo, permite aplicaciones después de que se den las condiciones climáticas favorables para la infección del patógeno. Actúa como inhibidor de la biosíntesis de ergosterol de la membrana celular, impidiendo que se pueda desarrollar el patógeno. Es eficiente contra Ascomycetes, Basidiomycetes y Deuteromicetos incluyendo géneros como Alternaria, Rhizoctonia, Septoria, Venturia.

• **Azoxystrobin:** Pertenece al grupo químico de las estrobilurinas, posee una acción curativa, actuando en la inhibición de la respiración mitocondrial de las células de los hongos patógenos, además de impedir la germinación de esporas. En el caso de hongos Oomycetes, evita además la movilidad de las zoosporas. Resulta eficiente en el control de enfermedades como Mildiú, Oidio y tizón temprano. Se recomienda su aplicación en mezcla con otros ingredientes activos para evitar desarrollo de resistencia, no debiendo utilizarse más de tres veces en la temporada de crecimiento.

• **Dimetomotph:** Pertenece al grupo químico de morfolinas, siendo su modo de acción translaminar y sistémico, con efecto protector y curativo. Impide la formación de la pared celular de hongos oomicetos. Asimismo su excelente actividad antiesporulante previene la producción de zoosporangios y zooporas permitiendo que el potencial de reinfestación se reduzca significativamente.

• **Cymoxanil:** Ingrediente activo perteneciente al grupo químico de las acetimidas. Es un fungicida sistémico y de contacto, preventivo, curativo y erradicante, penetrante y con acción traslaminar. Es efectivo contra la mayoría de los hongos del orden Peronosporales, causantes de mildiu . Además, tiene un alto poder de penetración en los tejidos vegetales, destruyendo selectivamente el micelio del hongo parásito durante su periodo de incubación impidiendo que se originen lesiones o daños en el cultivo.

3.1.5 Programas fitosanitarios

En términos generales los programas fitosanitarios se pueden dividir en dos tipos: calendario y en base a condiciones. En los primeros se definen aplicaciones en fechas pre-establecidas, independientes de las condiciones medio-ambientales y en el segundo las aplicaciones de producto se realizan en base a la presencia de condiciones de medioambiente que favorecen la dispersión e infección del patógeno. A continuación, se desarrollarán ambos tipos de programa.

a. Calendario: La figura 3.1 muestra el programa fitosanitario de la empresa Sugal para la producción de tomate industrial para la temporada 2015/2016, donde se visualizan los productos para el control de tizón temprano (*Alternaria solani*) y cancro (*Alternaria alternata*). Este programa está establecido de acuerdo al desarrollo del cultivo y sus diferentes estados fenológicos, definiendo un calendario de aplicaciones. Es posible visualizar en este programa que se comienza con productos preventivos (contacto) muy temprano con el objetivo de proteger el cultivo, como es el caso del ingrediente activo clorotalonil. Posteriormente se utilizan productos curativos y erradicantes como es el caso de pyraclostrobin, trifloxistrobina, azoxistrobina y difenoconazole, entre otros. El cambio obedece a que en etapas más tardías de desarrollo aumenta la presión de inóculo y por lo tanto se requiere de productos que actúen posterior a la infección del patógeno. Probablemente en zonas con muy baja presión de inóculo, donde se realiza rotación de cultivos, sea posible basar este programa calendario mayoritariamente en productos protectores o de contacto.

Nº aplicación	Frecuencia (dias)	D.D.T.	Producto comercial	Ingrediente activo	Dosis (Kg o Lt / há)	Mojamiento Lt/há.	Fecha aplicación
1		20	Mastercop	Sulfato de cobre	0,2	200	14-11-2014
			Engeo	Thiametoxam + lambdacyhalotrina	0,15		
2	20	40	Fosfimax	Fosfito de Potasio	1	250	04-12-2014
			Vitalem Forte	Lambdacyhalotrina	0,5		
			Zero 5 EC	Lambdacyhalotrina	0,2		
3	20	60	Glider 720 SC	Fertilizante (Aminoacidos+Fitohormonas)	2,5	300	24-12-2014
			Kendal	Clorotalonil	1		
			Gladiador 450 WP	Fertilizante foliar (N-P-K)	0,25		
			N-Boron	Acetamiprid + Lambdacyhalotrina	1,5		
4	15	75	Ampligo 150 SC	Fertilizante foliar (B-N)	0,2	400	08-01-2015
			Fast Plus 1,8	Abamectina	0,75		
			Equation pro	Famoxadona	0,5		
5	15	90	Comet	Pyraclostrobin	0,5	400	23-01-2015
			Belt 480 SC	Flubendiamida	0,1		
			Azufre AN600	Azufre	2		
6	15	105	Induce pH	Surfactante Poligliconado	0,25	500	07-02-2015
			Defender Potasio	Fertilizante foliar (K)	2		
			Coragen	Clorantraniliprole	0,15		
			Mystic 520	Trifloxistrobina	0,6		
7	10	115	Induce pH	Surfactante Poligliconado	0,25	500	17-02-2015
			Amistar Top	Azoxistrobina	0,5		
			Defender Potasio	Fertilizante foliar (K)	2		
			Karate Zeon	Lambdacyhalotrina	0,2		
8	10	125	Induce pH	Surfactante Poligliconado	0,25	500	27-02-2015
			Score 250 EC	Difenoconazole	0,5		

Figura 3.1 Programa fitosanitario del cultivo del tomate industrial empresa Sugal.

b. En base a condiciones (pronóstico): En este caso el programa de aplicaciones se basa en la presencia de condiciones meteorológicas favorables para la esporulación, dispersión e infección del patógeno. En el caso particular de enfermedades asociadas a Alternaria en tomate agroindustrial, se implementaron dos modelos, lo que se detallan a continuación:

- **Tomcast:** Modelo desarrollado para el control de enfermedades como antracnosis, septoriosis de la hoja y tizón temprano en tomate. Este se basa en cuánto dura la humedad de la hoja y la temperatura media del aire durante el día, expresándose a través de valores de alerta que van de 0 a 4. Así el valor más bajo, corresponde a condiciones desfavorables y el más alto a muy favorables para la formación de esporas de Alternaria solani en el ambiente. Cuando el valor de gravedad supera un umbral determinado, se genera una alerta, debiéndose aplicar fungicidas. Este modelo plantea la reducción hasta de un 50% de las aplicaciones de fungicidas químicos sin afectar la calidad y rendimiento del cultivo.

El modelo Tomcast se basa en el Cuadro 3.1, donde se relaciona el número de horas de humedad y temperatura del aire promedio con un índice de severidad diario. La primera aplicación se realiza cuando este valor alcanza un nivel predeterminado por el productor, que se asocia al nivel de tolerancia (umbral) que este tenga para la presencia de la enfermedad. Así con tolerancias menores, el valor de severidad en el cual se aplicará será menor

Cuadro 3.1 Categorías del modelo Tomcast para determinar el nivel de severidad.

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

Como parte de los trabajos realizados en la generación de una plataforma de alerta temprana para el control de Alternaria, en la temporada 2015-2016 se montaron dos ensayos en las localidades de San Clemente y Yerbas Buenas en la Región del Maule. En ambas localidades se evaluaron diferentes tratamientos (Cuadro 3.2) utilizando el modelo Tomcast. Además, se definieron los fungicidas a aplicar, dependiendo del índice de severidad que se presentara.

Cuadro 3.2 Tratamientos evaluados en el control de pudriciones de fruto en tomate agroindustrial. Talca. Temporada 2015/2016. Modelo Tomcast.

Trat.	Alerta	Ingrediente Activo
0	Testigo	-
1	Amarilla (2)	clorotalonil, piraclostrobin, difenoconazol, trifloxistrobin + pirimetanil
2	Roja (3 a 4)	azoxistrobin + difenoconazol, clorotalonil + azoxistrobin
3	Programa Agricultor	Programa Fitosanitario calendario

• **P-days:** Este modelo también considera las condiciones medioambientales propicias para la infección del patógeno. En este caso, los autores del Modelo de días propicios (P-days) se basan en que un día con un valor superior a 300 P-days es considerado un día adecuado para la producción de esporas del hongo Alternaria. Entre los factores a tener en cuenta se incluye la temperatura óptima para el desarrollo del patógeno, que para el caso de Alternaria es de 21°C, con una mínima de 7°C y una máxima de 30°C. Así, para el cálculo de los P-days, se utiliza la siguiente formula teniendo en cuenta la temperatura máxima y mínima:

P-days = {1/24{(5PTmin) + (8P(2/3Tmax)) +8P(2/3Tmax + 1/3Tmin)) + (3PTmax)}

Para la ejecución de este modelo en campo se establecieron 5 tratamientos (Cuadro 3.3): un testigo sin aplicación de fungicidas, cuatro tratamientos que se inician considerando distinto umbrales de 200 P-days acumulados, y un tratamiento que corresponde al programa fitosanitario según calendario del agricultor.

Cuadro 3.3 Tratamientos evaluados en el control de pudriciones de fruto en tomate agroindustrial. Talca. Temporada 2015/2016. Modelo P-days.

Trat.	P-days acumulados	Ingrediente Activo
0	Testigo	-
1	200	clorotalonil, clorotalonil + azoxystrobin
2	250	clorotalonil, clorotalonil + azoxystrobin
3	300	clorotalonil, clorotalonil + azoxystrobin
4	350	clorotalonil, clorotalonil + azoxystrobin
5	-	Programa Agricultor

3.2 Experiencia práctica en pronóstico, Temporada 15-16, Localidades de Yerbas Buenas y San Clemente.

Los resultados de los ensayos montados en la temporada 2015 - 2016 en ambas localidades de la Región del Maule se muestran a través de tres parámetros evaluados:

Incidencia:

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Número de frutos con pudrición} \times 100}{\text{Número total de frutos}}$$

Severidad:

Cuadro 3.4 Criterio utilizado para determinar severidad

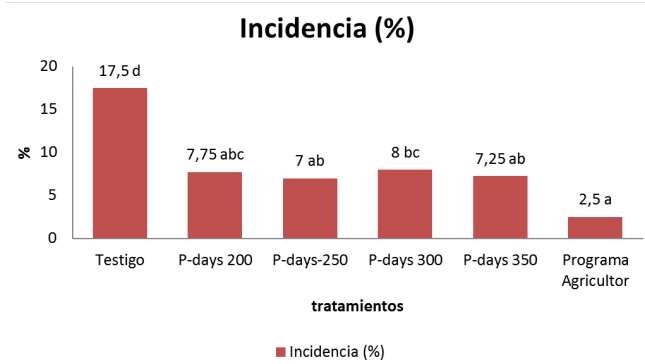
Grado de severidad	Gravedad de síntomas
Grado 1	Fruto sano
Grado 2	1-25% área del fruto afectada
Grado 3	26-50% área del fruto afectada
Grado 4	> 50% área del fruto afectada
350	clorotalonil, clorotalonil + azoxystrobin
-	Programa Agricultor

Rendimiento: El diseño experimental consideró cuatro repeticiones por tratamiento, con parcelas de tres hileras de ancho por cinco metros de largo, tomando 20 plantas de la hilera central para cada evaluación. Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el programa estadístico Statgraphics centurión XVI.

3.2.1 Yerbas Buenas

a) Incidencia: En términos estadísticos, todos los tratamientos en base a P-days fueron similares entre ellos y, salvo el iniciado a 300 P-days, no se diferenciaron del control calendario del agricultor. El testigo fue el que presentó mayor incidencia, diferenciándose de todos los tratamientos.

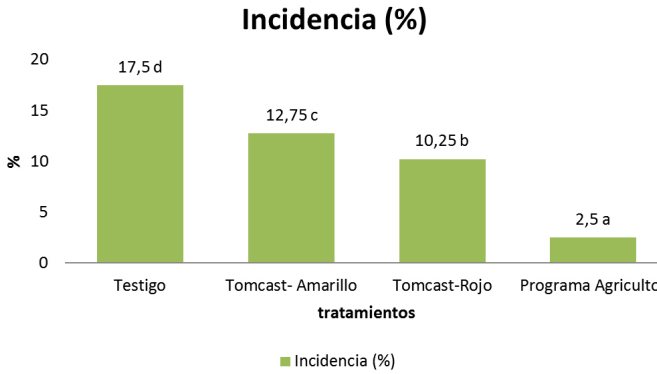
Todos los tratamientos se diferenciaron del tratamiento testigo sin aplicación de fungicidas para el control de pudrición de fruto asociado a Alternaria (Figura 3.1). El programa del agricultor, con aplicaciones calendario, y aquellos en que las aplicaciones se realizaron a los 200, 250 y 350 P-days acumulados fueron los que presentaron el menor porcentaje de frutos con sintomatología.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.1 Incidencia de pudrición de frutos obtenidos en el ensayo de evaluación del modelo P-days en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas.

En cuanto a la incidencia en los ensayos de evaluación del modelo Tomcast, todos los tratamientos se diferenciaron del testigo (Figura 3.2). El menor nivel de pudrición de frutos se observó en el programa de agricultor, seguido por el tratamiento con alerta roja, en el que el nivel de pudrición fue cuatro veces superior al programa del agricultor. En tanto que la alerta amarilla la pudrición fue cinco veces superior respecto del programa del agricultor.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.2 Incidencia de pudrición de frutos a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo Tomcast en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas.

b) Severidad: El ensayo de evaluación del modelo P-days mostró que los mejores tratamientos correspondieron al 1 (aplicación al acumularse 200 P-days) y el programa del agricultor (Cuadro 3.3), en tanto que los tratamientos 2, 3 y 4 presentaron un comportamiento intermedio. El testigo finalmente, alcanzo un grado de severidad 4 (>50% de daño en fruto).

Cuadro 3.3 Severidad de pudrición de frutos a cosecha en el ensayo de evaluación del Modelo P-days en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas. Temporada 2015/2016.

Trat.	P-days acumulados	Severidad	
0	Testigo	4	d
1	200	2	a
2	250	2,25	b
3	300	2,5	c
4	350	2,5	c
5	Programa Agricultor	2	a
	Significancia	**	

[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

** altamente significativo $p<0,01$.

En cuanto a la evaluación de severidad bajo el modelo Tomcast, el tratamiento que presentó una menor severidad correspondió al programa agricultor, seguido por el tratamiento con alerta Roja, y el tratamiento de alerta amarilla (Cuadro 3.4). Todos se diferenciaron del testigo sin aplicación.

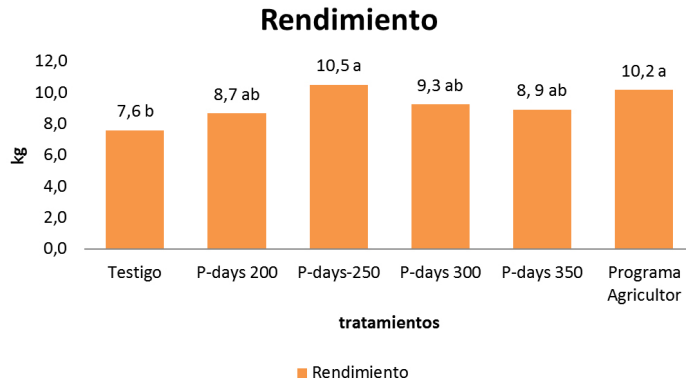
Cuadro 3.4 Severidad de pudrición de frutos a cosecha en el ensayo de evaluación del Modelo Tomcast en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas. Temporada 2015/2016.

Trat.	Alerta Tomcast	Severidad	
0	Testigo	4	d
1	Amarilla (2)	3,25	c
2	Roja (3 a 4)	3	b
3	Programa Agricultor	2	a
	Significancia	**	

[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

** altamente significativo $p<0,01$.

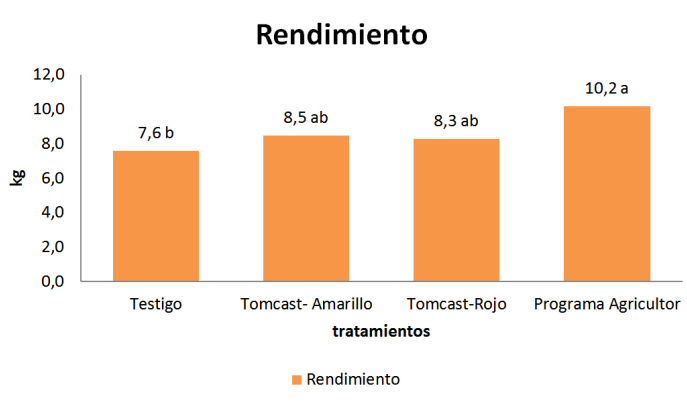
c) Rendimiento: Tanto los tratamientos en base a P-days, como el programa del agricultor fueron similares entre sí (Figura 3.3), sin embargo, sólo el programa del agricultor y 250 P-days fueron diferentes del testigo. Obteniéndose en este último alrededor de un 25% menos de rendimiento en relación a P-days 250 y al programa agricultor.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.3 Rendimiento a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo P-days en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas.

En cuanto al rendimiento bajo el modelo Tomcast, (Figura 3.4), sólo el programa agricultor fue diferente del testigo, encontrándose diferencias en rendimiento muy similares a las observadas en el ensayo P-days.

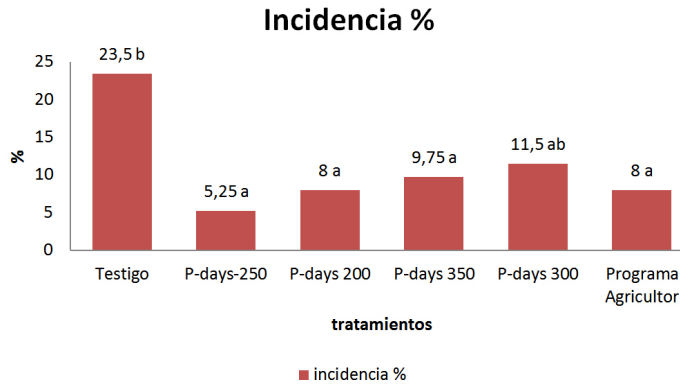


[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.4 Rendimiento a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo Tomcast en tomate agroindustrial. Yerbas Buenas.

3.2.2 San Clemente

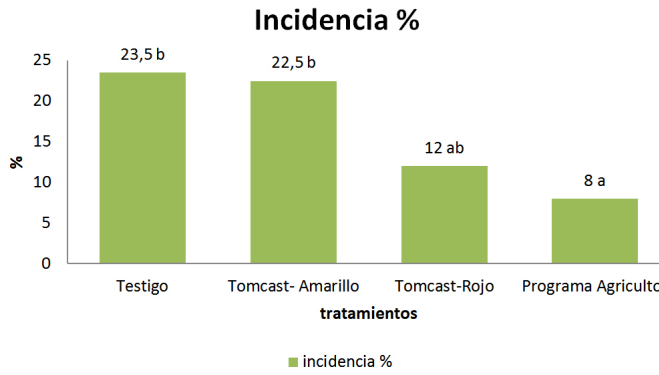
a) Incidencia: Respecto de la evaluación de incidencia a cosecha, bajo el modelo P-days (Figura 3.5), salvo el tratamiento aplicado a 300 P-days, todos los tratamientos se diferenciaron del testigo. La incidencia entre el testigo y aquellos tratamientos que se diferenciaron de él, fueron entre 2.3 y 4 veces superior en el testigo.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.5 Incidencia de pudrición de frutos a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo P-days en tomate agroindustrial. San Clemente.

El nivel de incidencia de la enfermedad, bajo el uso de Tomcast (Figura 3.6), sólo fue diferente del testigo en el tratamiento con el programa del agricultor, cuya incidencia fue casi tres veces menor que la del testigo. Cabe señalar que, a pesar de no haber sido estadísticamente significativa, el nivel de incidencia bajo alerta roja, fue casi la mitad de la del testigo, no así en la alerta amarilla, la que fue casi igual que en el testigo.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.5 Incidencia de pudrición de frutos a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo Tomcast en tomate agroindustrial. San Clemente.

b) Severidad: Los niveles de severidad en el modelo P-days, en la comuna de San Clemente, fueron similares tanto entre los tratamientos como respecto del testigo (Cuadro 3.5).

Cuadro 3.5 Severidad a cosecha de pudrición de frutos en el ensayo de evaluación del modelo P-days en tomate agroindustrial. San Clemente, Talca. Temporada 2015/2016.

Trat.	P-days acumulados	Severidad
0	Testigo	2,75
1	200	2
2	250	2,25
3	300	2,25
4	350	2,5
5	Programa Agricultor	2
	Significancia	n.s.

[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

n.s. no significativo.

Para severidad el ensayo de evaluación del modelo Tomcast, tampoco mostró diferencias en el análisis estadístico entre los tratamientos (Cuadro 3.7).

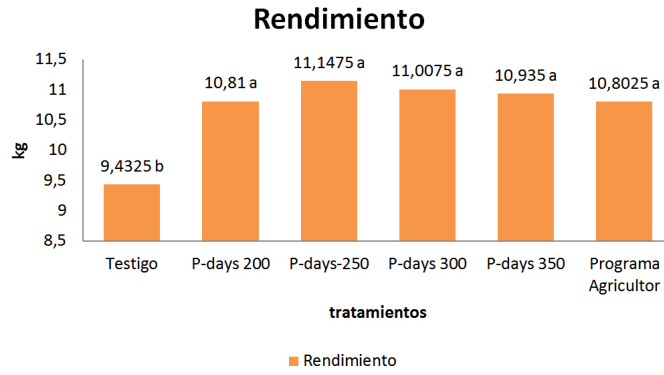
Cuadro 3.7 Severidad a cosecha de pudrición de frutos en el ensayo de evaluación del Modelo Tomcast en tomate agroindustrial. San Clemente, Talca. Temporada 2015/2016.

Trat.	Alerta Tomcast	Severidad
0	Testigo	2,75
1	Amarilla (2)	2,5
2	Roja (3 a 4)	2,25
3	Programa Agricultor	2
	Significancia	n.s.

[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

n.s. no significativo.

c) Rendimiento: El rendimiento obtenido bajo el modelo P-days fue igual para el programa del agricultor y para los distintos P-days evaluados (figura 3.6), siendo todos mayores al testigo.

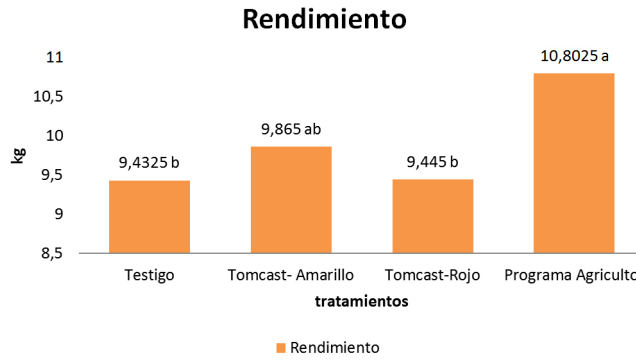


[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente.

Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.6 Rendimiento a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo P-days en tomate agroindustrial. San Clemente.

En cuanto a las evaluaciones de rendimiento bajo el modelo Tomcast, sólo el Programa Agricultor fue diferente del testigo (Figura 3.7). Tanto el tratamiento con alerta roja como amarilla no se diferenciaron del testigo.



[1]Promedios en una columna unidos por la misma letra, no difieren estadísticamente. Test HSD ($p \leq 0,05$).

Figura 3.7 Rendimiento a cosecha en el ensayo de evaluación del modelo Tomcast en tomate agroindustrial. San Clemente.

3.3 Conclusiones

En base a estos resultados no es posible tener conclusiones claras con respecto a si un sistema de pronóstico resulta mejor que un programa de aplicaciones calendario. Es necesario disponer de temporadas adicionales para llegar a una recomendación certera, más aun teniendo en cuenta que en un sistema de pronóstico son muchas las variables involucradas. Sin embargo, es importante también considerar el factor económico. Un programa calendario muy intensivo, con aplicaciones semanales, resulta más caro que uno en base a condiciones siguiendo alertas en base a un modelo. Por lo anterior es importante al momento de comparar no sólo considerar la incidencia o rendimiento final, sino también la relación costo beneficio.

Literatura Consultada

Anasac, 2014. Pugil 720SC (En línea). Chile. Disponible en: http://www.anasac.cl/agropecuario/productos/pugil-720-sc/

BASF, 2012 a. Cantus. (En línea). Chile. Disponible en: http://www.basf.cl/sac/web/chile/es_ES/agro/productos/fungicidas/cantus.

BASF, 2012 b. Comet. (En línea). Chile. Disponible en: http://www.basf.cl/sac/web/chile/es_ES/agro/productos/fungicidas/comet.

BASF, 2014. (En línea). Chile. Disponible en: http://www.agro.basf.es/agroportal/es/es/crop_protection/crop_protectionproduct_catalogue/product_details_1752.html

BESSEN CHEMICAL. 2014. Difenoconazole. (En línea) Disponible en http://www.chinese-pesticide.com/fungicides/difenoconazole.htm. Consultado el 15 Julio 2015.

Bruna, A. 2003. El moho negro de los tomates: Las aplicaciones de fungicidas se pueden bajar a un tercio. Revista Tierra Adentro 52 pp 20-21.

Bruna, A. 2006. Enfermedades del tomate en Chile, estrategias de manejo integrado. En: Saavedra, G. y González, M. Producción para Tomate para Procesamiento. Serie Actas N° 32. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 108 p.

Escaff, M. 2006. Variedades de tomate para procesamiento: comportamiento agronómico e industrial en Chile. En: Saavedra, G. y González, M. Producción para Tomate para Procesamiento. Serie Actas N° 32. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 108 p.

Estay, P. y Bruna, A. 2002. Insectos, ácaros y enfermedades asociados al tomate en Chile. Santiago, Chile. Instituto de investigación agropecuaria, INIA 111 pág.

FAO. 2011. Evaluation of Difenoconazole. (en línea) Disponible en http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/JMPR/Evaluation07/Difenoconazole.pdf. Consultado el 01 de Noviembre, 2014.

Galaz, J. 2001. Evaluación in vitro de la efectividad de Trichoderma longibrachiatum como agente biocontrolador de Alternaria alternata. Memoria de título Ingeniero Agrónomo. Talca, Chile: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Talca. 66 p.

Gent, D. H., and Schwartz, H. F. 2003. Validation of potato early blight disease forecast models for Colorado using various sources of meteorological data. Plant Dis. 87:78-84.

Márquez, F. 2007. Aislamiento y taxonomía de bacterias del genero Bacillus recolectadas en suelos de un bosque de Pinus radiata y una pradera permannte en distintas épocas de muestreo. Tesis. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile. Facultad de ciencias. 2007. 74p.

Madden, L., Pennypacker, S.P. and MacNab, A. A. 1978. FAST, a forecast system for Alternaria solani on tomato. Phytopathology 68: 1354-1358. http://www.apsnet.org/publications/phytopathology/backissues/Documents/1978Articles/Phyto68n09_1354.pdf

Nuez, F. 1995. El cultivo del tomate. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 793 p.

Pitblado, R.E. 1992. Development and implementation of Tom-Cast. Ontario Ministry of Agriculture and Food Publications.

Rodríguez, R; Tabares J.M. y Medina J.A. 2001. Cultivo moderno del tomate. 2 ed. Madrid, España. Ediciones Mundi-Prensa. 255 p.

Rodríguez, F. y Stefanova, M. 2005. Control biológico del Tizón temprano (Alternaria solani Sorauer) en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.) en condiciones de campo. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal. Calle 110 no. 514 e/ 5a. B y 5a. F, Playa, Ciudad de La Habana, CP 11600.

SAG, 2014. (En línea) Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/Mancozeb%2080%20PM%2009-12-2011.pdf

Sandoval, C. 2004. Manejo integrado de enfermedades en cultivos hidropónicos. FAO, Chile.

Syngenta, 2014. Ortiva. (en línea) Recuperado en: http://www.syngenta.com/country/es/sp/productos/proteccion_cultivos/fungicidas/Paginas/ortiva.aspx

Syngenta, 2011. Score 250 EC. (En línea). Disponible en: http://www3.syngenta.com/country/cl/cl/soluciones/proteccioncultivos/Documents/Etiquetas/Score250EC.pdf

Tapia, B. 2013. La industria de la pasta de tomate. Santiago, Chile: ODEPA. [en línea] Recuperado en: <http://www.odepa.cl/odepaweb/publicaciones/doc/11024.pdf > Consultado el: 01 de Mayo 2014.

Terralia, 2014. (En línea) Disponible en: http://www.terralia.com/agroquimicos_de_mexico/index.php?proceso=registro&numero=7246&base=2014.

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

En 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 alternaría 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.

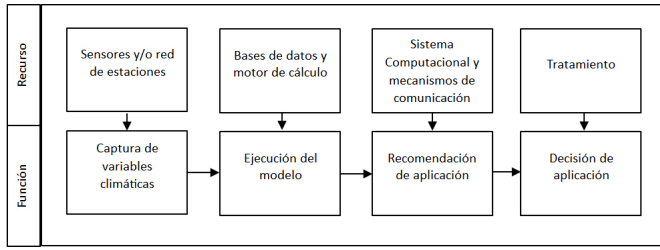


Figura 4.2. Flujos de información en un sistema de alerta.

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 creo 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 alternaría 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)	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().

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

$$P = 0, si\ T < 7\ o\ T \geq 30 \qquad (1.1)$$

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

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

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. NEGFRY, a system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. Proceedings Phytopthora 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., KalazichKalazich, 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. Bologne, 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.

Š□astný, 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.