



# Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas temprana

Editores: Ivette Acuña B., Rodrigo Bravo H., INIA Remehue

Instituto de Investigaciones Agropecuarias

**BOLETÍN INIA / N° 399**

Código de Iniciativa FIA

PYT-2015-0094

ISSN 0717 - 4829



**CHILE LO  
HACEMOS  
TODOS**



**Editores:**

Ivette Acuña Bravo, Ingeniera agrónoma. Ph.D  
Rodrigo Bravo Herrera, Ingeniero agrónomo, Dr. en Cs. Agrarias

**Director Responsable:**

Sergio Iraira Higuera.  
Ing. Agrónomo M. Sc., Dr. INIA Remehue  
Director Regional INIA Remehue

**Revisores:**

Viviana Rivera  
Orlando Andrade

**Autores:**

Ivette Acuña Bravo, Ing. Agrónomo, Ph.D. Investigadora INIA Remehue  
Rodrigo Bravo Herrera, Ing. Agrónomo, M.Sc. Investigador INIA Remehue  
Mónica Gutiérrez Arévalo, Ing. Agrónomo, M.Sc. Fitopatóloga, SAG  
Manuel Muñoz Davis, Ing. Agrónomo, M.Cs., Dr. Especialista INIA Remehue  
Rodrigo Olivares Johnston, Ing. Agrónomo, Manager Bayer CropScience  
Boris Sagredo Díaz, Bioquímico, Ph.D. Investigador NIA Remehue  
Camila Sandoval Soto, Bioquímico, Mg.(c). Profesional de apoyo INIA Remehue  
Jaime Solano Solis, Ing. Agrónomo, M.Sc., Académico Universidad Católica de Temuco  
Jorge Gatica Velasquez. Ing. Civil Informático. Universidad de Los Lagos.

**Boletín INIA N° 399**

ISSN 0717 - 4829

La presente publicación reúne y sistematiza información técnica sobre el tizón tardío de la papa, incluyendo los principales resultados obtenidos a lo largo de más de 15 años de investigación con el apoyo financiero de la Fundación para la Innovación Agraria.

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin permiso del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Ministerio de Agricultura.

Cita Bibliográfica correcta: Acuña, I., Bravo, R., 2019. Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas temprana. Osorno, Chile. Instituto de Investigación Agropecuaria. Boletín N° 399, 136 pp

**Diseño, Diagramación e Impresión**

Comercial SERVIGRAF

Cantidad de Ejemplares: 1000  
Osorno, Chile, 2019

Advertencia: INIA y los autores no se responsabilizan por los resultados que se obtengan del uso o aplicación de productos químicos genéricos o comerciales mencionados en esta publicación.

© 2019, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, Centro Regional de Investigaciones Remehue



# Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alertas temprana

**Editor:**

**Ivette Acuña B.**

Ing. Agrónomo, Ph.D.

INIA Remehue

**Rodrigo Bravo H.**

Ing. Agrónomo, M.Sc., Dr. en Cs. Agr.

INIA Remehue

**Código de Iniciativa FIA**

**PYT-2015-0094**

**Boletín INIA / N° 399**

**INIA, Osorno 2019**

ISSN 0717 - 4829



**CHILE LO  
HACEMOS  
TODOS**





# ÍNDICE

PRÓLOGO	9
AGRADECIMIENTOS	13
INTRODUCCIÓN	15
CAPITULO 1. EL TIZÓN TARDÍO DE LA PAPA: SÍNTOMAS Y EPIDEMIOLOGÍA	19
CAPITULO 2. <i>PHYTOPHTHORA INFESTANS</i> : CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES EN CHILE	34
CAPÍTULO 3. MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO DE LA PAPA	46
CAPÍTULO 4. ESTRATEGIAS DE CONTROL QUÍMICO Y USO DE ALERTA TEMPRANA	58
CAPÍTULO 5. SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO EN EL SUR DE CHILE	72
CAPÍTULO 6. BUENAS PRÁCTICAS DE APLICACIÓN DE FUNGICIDAS EN PAPA	90
CAPÍTULO 7. RESISTENCIA VARIETAL AL TIZÓN TARDÍO DE LA PAPA	100
CAPÍTULO 8. EVALUACIÓN Y POTENCIAL DE VARIEDADES NATIVAS DE PAPA EN EL MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO	118

## **Esta publicación fue realizada por los siguientes especialistas:**

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

### **Rodrigo Bravo Herrera**

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Doctor en Cs. Agrarias. Universidad Austral de Chile. Investigador en agro meteorología del Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [rbravo@inia.cl](mailto:rbravo@inia.cl)

### **Mónica Gutiérrez Arévalo**

Ingeniera Agrónomo, M.Sc. Universidad Austral de Chile. Fitopatóloga, Servicio Agrícola y Ganadero Laboratorio Regional Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [monica.gutierrez@sag.gob.cl](mailto:monica.gutierrez@sag.gob.cl)

### **Manuel Muñoz Davis**

Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral de Chile. M. Cs., Doctor en Cs. Agrarias. Universidad Austral de Chile. Especialista en mejoramiento genético. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [manuel.munozd@inia.cl](mailto:manuel.munozd@inia.cl)

### **Rodrigo Olivares Johnston.**

Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Crop Manager Hortalizas y Papas de Bayer CropScience, Santiago, Chile.

Correo electrónico: [rodrigo.olivares@bayercropscience.com](mailto:rodrigo.olivares@bayercropscience.com)

### **Boris Sagredo Díaz**

Bioquímico, Universidad de Chile. Ph.D. North Dakota State University, USA. Investigador en Biología Molecular, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [bsagredo@inia.cl](mailto:bsagredo@inia.cl)

### **Camila Sandoval Soto**

Bioquímico, Universidad de Santiago. Mg.(c) Biotecnología. Universidad Austral de Chile. Profesional de apoyo especialista en fitopatología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

Correo electrónico: [camila.sandoval@inia.cl](mailto:camila.sandoval@inia.cl)

**Jaime Solano Solis**

Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Universidad Austral de Chile. Dr. INRA Francia. Académico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Católica de Temuco, Temuco, Región de La Araucanía, Chile.

Correo electrónico: [jsolano@uct.cl](mailto:jsolano@uct.cl)

**Jorge Gatica Velasquez.**

Ing. Civil Informático. Universidad de Los Lagos. Analista y Desarrollador en Agrometeorología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos.

Correo electrónico: [jorge.gatica@inia.cl](mailto:jorge.gatica@inia.cl)



# PRÓLOGO

Este boletín es una compilación sobre el Tizón tardío de la papa, el cual ofrece al lector una gran fuente de conocimiento e información, basada en investigación y experiencia práctica, con énfasis en el uso de pronosticadores como parte del manejo integrado de esta enfermedad en Chile. Este boletín, que es en realidad un libro compuesto de varios capítulos, es una herramienta importante de consulta para el lector interesado en la ciencia de la papa; es detallado, completo y de fácil lectura, no solo para productores, agrónomos y personal técnico, sino también para los profesionales relacionados con el rubro, además, es un excelente libro de consulta para estudiantes y profesionales interesados en el manejo y control integrado del Tizón tardío.

La publicación de este boletín, fue originada por la necesidad de controlar el Tizón tardío, la enfermedad más importante en papas en el mundo por más de 150 años. Chile estuvo libre del Tizón tardío debido a su particular geografía, desierto en el norte, hielo en el sur, cordillera al este y océano en el oeste, que sirvieron de barrera para esta enfermedad por mucho tiempo, pero finalmente se hizo presente en el país. El primer reporte de la enfermedad fue en el sur de Chile en el año 1950, y desde entonces ha estado presente sin causar mayores problemas hasta hace poco. Los primeros trabajos fueron realizados por la fitopatóloga Carmen Fernández, quien evaluó por primera vez la virulencia de *P. infestans* en Chile. Este boletín fue creado debido a la necesidad del control del tizón en esta geografía particular y en un sistema de producción que incluye más de 90.000 agricultores.

El Tizón tardío continúa siendo la enfermedad de mayor importancia en el mundo y la más importante en el cultivo de la papa, y este boletín será una gran fuente de información para continuar la batalla para el control del Tizón tardío en Chile.

Este boletín cuenta con la colaboración de 10 especialistas con experiencia en un amplio rango de disciplinas incluyendo fitopatología, agronomía, biometeorología y especies nativas. Este libro fue editado por la Dra. Ivette Acuña, fitopatóloga del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue en Osorno, Región de Los Lagos quien ha liderado el desarrollo de pronosticadores meteorológicos para el control oportuno y eficiente del Tizón tardío. Investigadores y personal técnico de INIA Remehue, así como profesionales y personal técnico de INIA y otras instituciones aportaron con sus conocimientos y experiencias a este boletín.

Es necesario reconocer también la contribución de muchas personas que de una u otra manera han hecho posible la publicación de este boletín. A los agricultores quienes creyeron en el sistema y permitieron la validación de éste. Al Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), quienes colaboraron en la colección de aislamientos de *P. infestans* usados en este estudio, y cuyo apoyo fue fundamental para realizar el monitoreo de este patógeno. A científicos y profesionales de diversas instituciones académicas y de extensión que colaboraron en el desarrollo de esta investigación. Al INIA y al Gobierno de Chile, a través del Ministerio de Agricultura y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), por el apoyo financiero de diversas iniciativas a través del tiempo.

Agradecimientos especiales para Viviana Rivera, Colega Chilena en North Dakota State University, Fargo North Dakota, EEUU por el apoyo técnico y educativo y entrega de sus conocimientos y ayuda en el desarrollo de las técnicas y protocolos usados en el laboratorio.

Es un honor y un agrado presentar este manual, me siento privilegiado de ser parte del este grupo de investigadores de papas en Chile, el cual por más de 10 años, ha propuesto ideas, desarrollado proyectos y generado información y ahora transfiere los resultados y recomendaciones. La recepción, hospitalidad y camarería con la que he sido recibido en Chile ha sido una inspiración. Los logros profesionales y la amistad lograda han sido algunos de los logros más destacados en mi carrera profesional

**Gary A. Secor**  
**Fargo, ND USA**

*Traducido al español por Viviana Rivera Varas*

## FORWARD

*This manual provides a wealth of collective knowledge based on research studies and practical experience for late blight management, with an emphasis on using weather to forecast late blight and late blight control in Chile. In reality it is a book with many chapters. It is detailed and complete, and is recommended reading not only to growers, consultants, and field agronomists who can utilize the information valuable for making disease management decisions. It is an excellent resource for students and colleagues in the potato industry interested in late blight understanding, management and integrated control. It is a must read manual for the serious student of potatoes.*

*Publication of this manual was driven by the necessity to control late blight, the most important disease of potatoes in the world for over 150 years. Chile was able to escape late blight for most of this period because of its unique geography of desert to the North, ice to the south, mountains to the east and ocean to the west that acted as barriers to its introduction, but ultimately it arrived. It was first confirmed in southern Chile in 1950, and has been present at low levels until recent years, when it became the most important potato disease. Pioneering work was done by Miss Carmen Fernandez, a phytopathologist who first evaluated the virulence of *P. infestans* in Chile. This manual arose from the growing importance of managing late blight in the unique geography and production systems of the more than 90,000 potato farmers in Chile.*

*Late blight continues to be the most important disease of potatoes throughout the world, and the most important potato disease, and this manual will be a great source of information in the continuing the fight to control late blight in Chile.*

*The book is authored by ten different agricultural scientists with expertise in a wide range of disciplines ranging from phytopathology to agricultural engineering to biometeorology to native species. The manual was assembled by Dr. Ivette Acuña, a phytopathologist at the Institute of Agricultural Research, INIA Remehue Research Station, near Osorno in southern Chile. She provided the leadership necessary for development of a meteorological forecasting system for timely, effective and efficient control of late blight. Scientists and technical experts from INIA and other institutions and disciplines contributed their expertise to complete the manual.*

*The contribution to this manual from many people in the background must be recognized. Some of the most important are the farmers who believed in the*

*system and allowed the researchers to do experiments in their fields and validate the system. The Phytophthora infestans isolates used in this study were collected by colleagues in Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), whose collaboration is essential for late blight management. The wisdom and support of INIA and Dr. Julio Kalazich, Director of the Remehue Station, facilitated the success of this effort. The project was funded by a grant from the Ministerio de Agricultura, Fundación para la Innovación Agraria (FIA), for their monetary support.*

*Special thanks are due to the technical support and training from Viviana Rivera, a Chilean colleague at North Dakota State University in Fargo, North Dakota, USA, for her knowledge and help of protocols and techniques that were used in the laboratory.*

*It is my honor to write a forward for this informative and detailed manual. I have been privileged to be part of the potato research group in Chile for the past ten years that has been developing the ideas, testing the premises and analyzing the data, and now disseminating the results and recommendations. The hospitality, the acceptance and the collegiality have been warm and inviting and have been an inspiration to me. The professional accomplishments and personal friendships are a highlight of my career.*

**Gary A. Secor**  
**Fargo, ND USA**

*Translated into Spanish by Viviana Rivera*

# AGRADECIMIENTOS

Los editores expresan su agradecimiento a las siguientes personas e instituciones, que de una u otra forma ayudaron a la elaboración de este libro:

- Al Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, por su apoyo en la ejecución de la investigación realizada, cuyos principales resultados se muestran en este libro.
- A la Fundación para la Innovación Agraria FIA, por el apoyo financiero y gestión realizada para la ejecución de una serie de proyectos relacionados que han permitido el desarrollo del sistema de alerta de tizón tardío. Estos proyectos:
  - ✓ “Uso de pronosticadores para el desarrollo de estrategias de manejo integrado del tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile”, código FIA-PI-C-2003-1-A-17.
  - ✓ “Desarrollo e implementación de una plataforma de Internet móvil para la generación de servicios de información y alerta temprana en el cultivo de papa como uno de los negocios tecnológicos del Consorcio Papa-Chile S.A.”, código FIA-PYT-2009-0261.
  - ✓ “Consorcio de la Papa: desarrollo y optimización agronómica del cultivo de la papa en sus diversos usos”, código FIA-PYT-CS-C-2005-1-A-006.
  - ✓ “Agregación de valor al sistema de alerta de tizón tardío incorporando el pronóstico meteorológico y la interpolación espacial de los datos.”, código FIA-PYT-2015-0094.
- Al Consorcio Tecnológico de la papa y los productores asociados que han sido una permanente red de apoyo para el desarrollo de diferentes iniciativas tecnológicas para el cultivo de papa.
- Al Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, Laboratorio Regional Osorno, y su personal, por su apoyo en la realización de la colección de *Phytophthora infestans* en la zona sur. Especial agradecimiento a Mónica Gutierrez, Ing. Agrónoma, M.Sc. cuyo conocimiento y profesionalismo, fue un apoyo invaluable a la realización de este proyecto.
- A la Universidad Católica de Temuco, y especialmente a Jaime Solano, Ing. Agrónomo M.Sc., por su apoyo y entusiasmo en los estudios de calibración del sistema de alerta y la evaluación de clones nativos para Tizón tardío y su aporte en la elaboración de este libro.
- Al Dr. Gary Secor y Viviana Rivera, de la Universidad de Dakota del Norte, por su constante, desinteresado e invaluable apoyo en el desarrollo de los estudios realizados y por su valiosa entrega de conocimientos.

- A Isaac Maldonado, Ing. Agrónomo. M.Sc., por su valioso aporte en la formación de las redes meteorológicas de la zona sur.
- A Rodrigo Bravo, Ing. Agr. M.Sc. Dr. en Cs. Agrarias, por su valioso aporte en la ejecución y coordinación en el establecimiento de las redes de estaciones meteorológicas, procesamiento de datos, desarrollo de la plataforma de alerta temprana y contribución a este libro.
- A Boris Sagredo, Bioquímico, Ph.D., por su valioso aporte en el desarrollo del conocimiento y metodologías para la caracterización de las poblaciones de *P. infestans* y su constante apoyo y profesionalismo en la ejecución de este proyecto y la elaboración de este libro.
- A Nelba Gaete, Ing. Agrónoma, por su apoyo en la ejecución y coordinación de este proyecto en la Región de La Araucanía, y su aporte en la formación de redes meteorológicas y procesamiento de datos.
- A Juan Inostroza, Ing. Agrónomo, por su apoyo en los estudios de resistencia varietal, estrategias de manejo químico y validación del sistema de alerta en la Región de la Araucanía.
- A Jorge Gatica, Ingeniero (E) Informático, por el desarrollo de la plataforma web de alerta temprana de tizón tardío.
- A las técnicas Sandra Mancilla y Mincy Vargas de INIA Remehue, por su esfuerzo y constante apoyo en la ejecución de los estudios realizados. A todo el personal de laboratorio y campo.
- A Lilian Avendaño y otros periodistas de INIA, que han dado apoyo en la difusión de resultados de este proyecto y la elaboración de este libro.
- A Claudia Barrientos, Ing. Agrónoma, por su apoyo en la validación, difusión de la tecnología de alerta temprana.
- Al personal de INIA Butalcura en Chiloé, Rodrigo de la Barra, Patricio Corvalán. Jean Franco Medone e Isabel Barrientos, por su apoyo en la realización de los estudios en Chiloé.
- A María Elena Ojeda, secretaria de INIA Remehue, por su ayuda en la elaboración y edición de este libro.
- A todos(as) los(as) tesistas, que apoyaron en la ejecución de los estudios realizados.
- Especial agradecimientos a los productores/as, quienes en forma desinteresada colaboraron en el desarrollo y validación de esta tecnología en la zona sur de Chile.
- A todos a quienes creyeron en esta propuesta y la apoyaron.

# INTRODUCCIÓN

Chile es el sexto productor de papa (*Solanum tuberosum*) en América Latina, con una superficie de 50.000 hectáreas sembradas anualmente. La papa es el tercer cultivo anual en superficie y es también un producto importante en la canasta del consumo familiar del país (FAO, 2008).

La papa como cultivo tiene gran importancia económica y social, con más de 91.000 productores y más de 5 millones de jornadas hombre dedicadas al cultivo, estimándose un valor de mercado de US\$ 300 millones anuales. Adicionalmente, este cultivo es un alimento básico de la población chilena, con un consumo anual per capita de 54 Kg., aportando 94 calorías y 3.5 gramos de proteína a la dieta diaria de la población (Rojas y Orenas, 2006).

Una de las grandes limitantes en la producción de papa son los problemas fitopatológicos, los que producen pérdidas importantes en los rendimientos y calidad de los productos producidos. Actualmente, el control de enfermedades fungosas se basa principalmente en el uso de agroquímicos, los cuales al no ser utilizados correctamente, aumentan los costos de producción y representan un riesgo para la salud de las personas y el medio ambiente. La mejor estrategia de control de plagas y enfermedades es indudablemente la aplicación de un manejo integrado de ellas en el cultivo de papa.

El Tizón Tardío, causado por el hongo *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más importantes del cultivo de la papa a nivel mundial. En las últimas dos décadas, el Tizón ha retomando mucho más interés en la producción de papa en el mundo, debido a la rápida dispersión de nuevos genotipos, los cuales son más agresivos, resistente a metalaxil y favorecen la sobrevivencia invernal de éste. *P. infestans* se describió por primera vez en Chile en la parte sur del país en la década del 50 (Arentsen, 1994). El Tizón tardío en los últimos años ha tomado mayor relevancia en el país, debido a la constante presencia en los cultivos de papa, provocando epifitias cuando las condiciones son favorables.

Los sistemas de pronóstico para predecir el ataque de tizón se han estudiado desde hace varias décadas en los Estados Unidos y otros países, éstos con el tiempo se han ido perfeccionando llegando a desarrollar software que capaces de predecir las condiciones predisponentes para el desarrollo de la enfermedad y sus recomendaciones de manejo. Estos programas han sido usados ampliamente como complemento a los Programas de Manejo Integrado de Plagas (IPM), ayudando así a al uso racional y oportuno de pesticidas, mejorando la calidad

de los alimentos, protegiendo el medio ambiente y mejorando la economía del cultivo.

Desde 2003, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), en asociación con otras instituciones, tanto públicas como privadas, comenzó estudios con el objetivo de implementar estrategias de manejo integrado de tizón tardío basado en el uso de pronosticadores. Para lo cual se realizaron estudios de caracterización de poblaciones de *P. infestans*, determinación de resistencia relativa de cultivares de papa y líneas avanzadas del programa de mejoramiento de INIA y la calibración, validación y establecimiento de un servicio de alerta temprana para tizón tardío. Gran parte de estos estudios fueron financiados por la Fundación para la Innovación Agraria FIA, a través de los proyectos "Uso de pronosticadores para el desarrollo de estrategias de manejo integrado del tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile"(FIA-PI-C-2003-1-A-17), "Desarrollo e implementación de una plataforma de Internet móvil para la generación de servicios de información y alerta temprana en el cultivo de papa como uno de los negocios tecnológicos del Consorcio Papa-Chile S.A.", (FIA-PYT-2009-0261) y "Agregación de valor al sistema de alerta de tizón tardío incorporando el pronóstico meteorológico y la interpolación espacial de los datos.", (FIA-PYT-2015-0094).

Este proyecto tuvo como principal objetivo el implementar un sistema de Manejo Integrado de Tizón tardío de la Papa basado en el uso de pronosticadores, lo que aseguraría una estrategia de manejo de la enfermedad más oportunas, eficiente, económica y compatible con el medio ambiente. Para cumplir con este objetivo se estableció una red de estaciones meteorológicas en zonas importantes productoras de papa entre las Regiones de La Araucanía y Los Lagos, se calibraron y validaron 3 sistemas para pronosticar condiciones favorables para desarrollo de Tizón tardío y se creó una plataforma de información de alerta temprana para la enfermedad. Paralelamente, se realizaron prospecciones y monitoreo del agente causal de la enfermedad, para la caracterización de los genotipos presentes y se evaluaron los principales cultivares comerciales y líneas avanzadas del programa de mejoramiento de INIA para resistencia a Tizón tardío.

El proyecto contempló una fuerte capacitación en el reconocimiento de síntomas de la enfermedad, uso de pesticidas y manejo integrado, utilizando la información de los pronosticadores. Esta capacitación fue fundamental para el buen desarrollo y aplicabilidad de estrategias de manejo integrado.

Finalmente, la implementación del "Sistema de Alerta Temprana de Tizón Tardío" basada en el conocimiento de las características de las poblaciones de *P. infestans* en la zona, la susceptibilidad de los cultivares, las condiciones favorables para

la enfermedad de acuerdo a la red de alerta temprana y las recomendaciones de estrategias de manejo químico y cultural, permite que los productores de papa del sur de Chile tomen sus decisiones de control en forma oportuna con un criterio de manejo integrado. Su funcionamiento a través del tiempo ha incorporado diferentes herramientas de las tecnologías de información para llegar directamente a los productores de papa con la información de la alerta temprana en la actualidad cuenta con más de 5.300 usuarios.

**Ivette Acuña B.**



# CAPÍTULO 1.

## EL TIZÓN TARDÍO DE LA PAPA. SÍNTOMAS Y EPIDEMIOLOGÍA

### **Mónica Gutiérrez Arévalo**

Ingeniera Agrónomo, Universidad Austral de Chile. M.Sc. Universidad Austral de Chile. Fitopatóloga, Servicio Agrícola y Ganadero Laboratorio Regional Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [monica.gutierrez@sag.gob.cl](mailto:monica.gutierrez@sag.gob.cl)

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

## 1.1. Introducción

El Tizón tardío, causado por el hongo oomiceto *Phytophthora infestans*, es una de las enfermedades más devastadoras de la papa a nivel mundial presente en casi todas las áreas productoras de papa del mundo, siendo muy destructiva cuando el cultivo crece en ambientes fríos y húmedos. Bajo estas condiciones, el patógeno afecta el follaje y tallos, reduciendo la capacidad fotosintética del cultivo y consecuentemente la calidad y producción de tubérculos.

El Tizón tardío es un factor limitante en los cultivos de papa de muchos países y fue el responsable de la hambruna ocurrida en Irlanda en los años 1840, con la muerte de millones de personas y la emigración masiva de otras tantas, principalmente a EE.UU. El patógeno se encuentra íntimamente asociado a su hospedero, la papa, y aparentemente se ha diseminado a través del mundo mediante tubérculos semilla de papa infectados. Después de aparecer en Norteamérica y Europa, durante los años 1840, la enfermedad se dispersó al resto del mundo durante las siguientes décadas, presentando una distribución mundial a comienzos del siglo XX.

Después de 150 años de la gran hambruna de Irlanda, el Tizón tardío se ha constituido nuevamente en un problema a nivel mundial; la enfermedad alcanzó un grado de epifitía en Norteamérica y Europa debido al desarrollo de resistencia a fungicidas y a la diseminación de nuevos genotipos del hongo en todo el mundo. Este cambio en las poblaciones del patógeno coincidió con la aparición del grupo de apareamiento A2 del hongo en estas regiones, lo cual posibilitó la reproducción sexual con el grupo de apareamiento A1, ya existente

en estas áreas, y la formación de esporas sexuales (oosporas) que favorecen la sobrevivencia invernal del hongo. La mayor agresividad del agente causal de esta enfermedad ha provocado el uso indiscriminado de fungicidas en los cultivos de papa en muchas áreas del mundo, particularmente en aquellas donde el cultivo no puede desarrollarse sin protección química.

Se estima que las pérdidas por Tizón tardío pueden llegar a un 10% a 15% de la producción mundial de papa, con un costo anual de 3 billones de dólares por concepto de pérdidas comerciales y costos de aplicación de fungicidas.

A nivel mundial, la experiencia de los agricultores en los últimos años señala que las epidemias de Tizón tardío tienden a presentarse más temprano en la temporada de cultivo y en forma menos predecible. Los estudios realizados han determinado que estas nuevas poblaciones del hongo son más agresivas, sus esporas germinan más rápido y requieren un corto período crítico de humedad sobre las hojas.

## 1.2 Rango de hospederos

El Tizón tardío es esencialmente una enfermedad de papa y tomate, siendo éstos los principales hospederos de importancia agrícola. También ha sido reportado afectando a numerosas especies de *Solanum* silvestres en México Central, y pepino dulce (*Solanum muricatum*) en los Andes y Sudamérica. Además de estas solanáceas, *P. infestans* infecta otras especies como chamico (*Datura stramonium*), hierba mora (*Solanum nigrum*), algunas especies de petunia (*Petunia hybridae*) y tabaco (*Nicotiana glauca*).

Adicionalmente, hoy se describen nuevas especies de *Phytophthora* asociadas a solanáceas como *P. andina*. *P. andina* se ha descrito atacando papa, tomate, pepino dulce (*S. muricatum*), tomate árbol (*S. betaceum*) y naranjilla o lulo (*S. quitoense*) en Ecuador, Perú y Colombia.

## 1.3 Síntomas

Todas las partes de las plantas de papa son susceptibles a la infección de *P. infestans*. El nombre "Tizón" es apropiado para describir esta enfermedad, ya que las lesiones en hojas, tallos y pecíolos pueden causar la destrucción generalizada de las plantas, condición que generalmente se observa cuando existe una epifitía. En el campo las plantas severamente afectadas presentan un olor distintivo producto de la pudrición del follaje.

Los primeros síntomas de la enfermedad en el campo son pequeñas manchas acuosas verde oscuras, circulares a irregulares. Estas lesiones aparecen primero en las hojas basales y normalmente comienzan a desarrollarse cerca de las puntas o bordes de las hojas, donde la humedad se retiene por más tiempo. (Foto 1.1).



**Foto 1.1.** Lesiones iniciales de Tizón tardío en hojas basales de una planta de papa. Foto INIA Remehue.

Bajo condiciones de clima frío y húmedo, las lesiones foliares se expanden rápidamente adquiriendo una coloración café oscuro a negro. A medida que se presentan nuevos puntos de infección, estas lesiones afectan amplias áreas de tejido y la hoja se atizona destruyéndose completa y rápidamente. Luego, el daño se va expandiendo hacia los pecíolos y tallos de la planta.

En condiciones de alta humedad y especialmente temprano en la mañana, al examinar el envés de hojas infectadas se podrá observar la presencia de esporulación del hongo en la forma de un moho blanco que rodea las lesiones. Esta esporulación puede ser menos notable durante el día ya que las lesiones se secan y encarrujan. (Foto 1.2).



**Foto 1.2.** Esporulaci3n de *P. infestans* en el env3s de una hoja de papa afectada por Tiz3n tard3o. Foto. INIA Remehue.

La identificaci3n de la enfermedad a nivel de campo puede ser dif3cil, si no se presenta el caracter3stico moho blanco en el env3s de las hojas; en estos casos, los s3ntomas se pueden confundir con da3os por herbicidas o lesiones causadas por el hongo *Botrytis cinerea*.

La Pudrici3n gris, provocada por *B. cinerea*, es muy com3n en los cultivos de papa de la zona sur de Chile y los s3ntomas son muy similares a los producidos por



**Foto 1.3.** S3ntomas y signos de pudrici3n gris (*B. cinerea*) en fol3olos (der.) y pec3olo (izq.) de plantas de papa (*E. Banks*).

Tizón tardío en el follaje. Se puede diferenciar visualmente de este último, por la presencia de un moho de coloración grisácea en el envés de las hojas (Foto 1.3).

El Tizón tardío también puede provocar lesiones en los tallos, incluso en ausencia de síntomas en las hojas, pudiendo éstas aparecer en cualquier estado de desarrollo del cultivo (Foto 1.4).



**Foto 1.4.** Lesiones de Tizón tardío en el tallo de una planta de papa. Foto INIA Remehue.

En ataques muy tempranos, tan pronto las plantas emergen, los primeros síntomas de Tizón tardío en los cultivos corresponden principalmente a lesiones de tallos. La mayor incidencia de tizón en los tallos puede estar asociada a la presencia de aislamientos más agresivos del hongo y a una mayor eficiencia de infección, en conjunto con la adaptación del hongo a temperaturas menores. También ocurre que los brotes enfermos desarrollados a partir de tubérculos infectados se caracterizan por presentar tizón en los tallos. Cuando estas lesiones se desarrollan hacia fines del cultivo, aumenta el riesgo de *atizonamiento* de los tubérculos y de severos daños durante el almacenamiento.

El desarrollo de lesiones en los tallos también es influenciado por las condiciones ambientales. El hongo puede sobrevivir con altas temperaturas por períodos prolongados de tiempo en las infecciones de los tallos, no así en las de las hojas.

Con temperaturas frías, las lesiones de los tallos se desarrollan más lentamente pudiendo parecer sanos y pasar desapercibidas. Esto último dificulta el control del patógeno, ya que éste sólo es detectado posteriormente, cuando existe abundante inóculo secundario. Además, el daño en tallo es mucho más difícil de manejar y prevenir mediante un control químico debido a las características de los fungicidas hoy utilizados (baja o media sistemia) y a que requiere una excelente calidad de aplicación.



**Foto 1.5.** Lesiones externas (izq.) e internas (der.) de Tizón tardío en tubérculos de papa. Foto INIA Remehue (Izq.), SAG (Der.)



**Foto 1.6.** Pudrición blanda de tubérculos de papa afectados por Tizón tardío como resultante de la acción de microorganismos secundarios.

El hongo también afecta los tubérculos, los que presentan lesiones externas de tamaños variables, irregulares, deprimidas y de coloración café púrpura. Al cortar estos tubérculos, el tejido inmediatamente bajo las lesiones se aprecia de color café cobrizo de textura granular y firme (Foto 1.5). Los tubérculos severamente afectados pueden pudrirse totalmente y ser afectados posteriormente por patógenos causantes de pudriciones blandas (Foto 1.6).

La identificación del patógeno en los tubérculos es más difícil de realizar que a nivel de follaje. Además, las lesiones se detectan más fácilmente sobre tubérculos limpios y de piel blanca que sobre tubérculos de piel roja o de piel tipo "russet". Las lesiones internas a nivel medular se pueden confundir con desórdenes fisiológicos.

## 1.4 Biología del agente causal

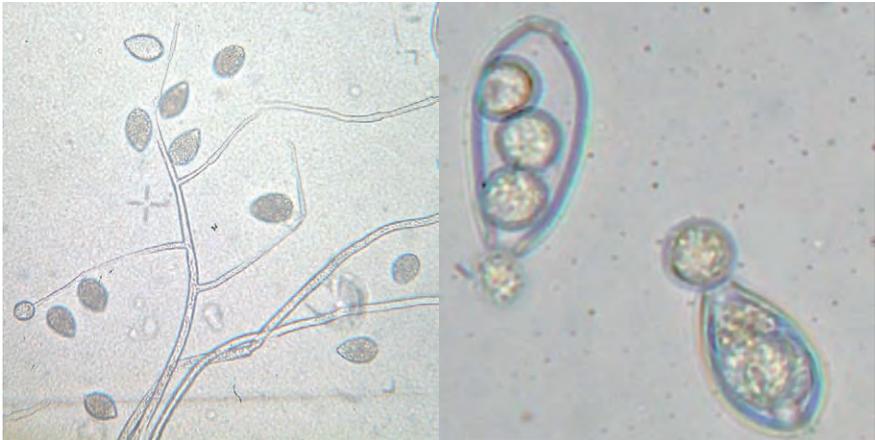
La biología de *P. infestans* corresponde a aquella típica de los hongos Oomycetes, clase taxonómica a la que pertenece, los cuales tienen una estrecha afinidad con algas y plantas superiores, carecen de quitina en la pared celular y producen zoosporas biflageladas. *P. infestans* se reproduce principalmente en forma asexual formando esporangios sobre el tejido infectado (Foto 1.7). Estos esporangios pueden germinar directamente formando hifas de infección o pueden producir y liberar zoosporas, las que aumentan el potencial de la enfermedad (Foto 1.8). La infección del follaje y de los tubérculos es iniciada por los esporangios o zoosporas asexuales. Las poblaciones asexuales sobreviven como micelio en los tubérculos infectados.

Para la reproducción sexual, los hongos oomycetes requieren la presencia de 2 grupos de apareamiento compatibles. En *P. infestans* se denominan A1 y A2. En países como Chile, donde sólo se presenta uno de los grupos de apareamiento, el A1, el hongo se reproduce exclusivamente en forma clonal, mientras que en aquellos países donde se presentan los dos grupos de apareamiento del hongo, éste se puede reproducir sexualmente por cruzamiento de ambos grupos. Los grupos de apareamiento son grupos de compatibilidad sexual y se distinguen por la producción de hormonas específicas que inducen la formación de gametangios en el grupo de apareamiento opuesto. La fusión genética de los gametangios (anteridio y oogonio) entre grupos de apareamiento opuestos produce la formación de una espora sexual llamada oospora (Figura 1.9). Las oosporas son estructuras de sobrevivencia, de pared gruesa, capaces de permanecer en el suelo por muchos años en condiciones ambientales adversas para el microorganismo. En términos generales, la producción de oosporas aumenta a medida que la temperatura disminuye, pudiendo sobrevivir a temperaturas extremadamente

bajas (-80°C). Estudios realizados en Canadá han demostrado que las oosporas pueden permanecer viables en el suelo por 7 meses a temperaturas de -10°C. No obstante, la germinación de oosporas de *P. infestans* es extremadamente baja, comparada con la frecuencia de germinación de las esporas asexuales. En términos generales, el ciclo sexual del hongo ocurre una vez al año, mientras que el ciclo asexual se presenta cada 7 días bajo condiciones climáticas favorables para el hongo (Figura 1.1).



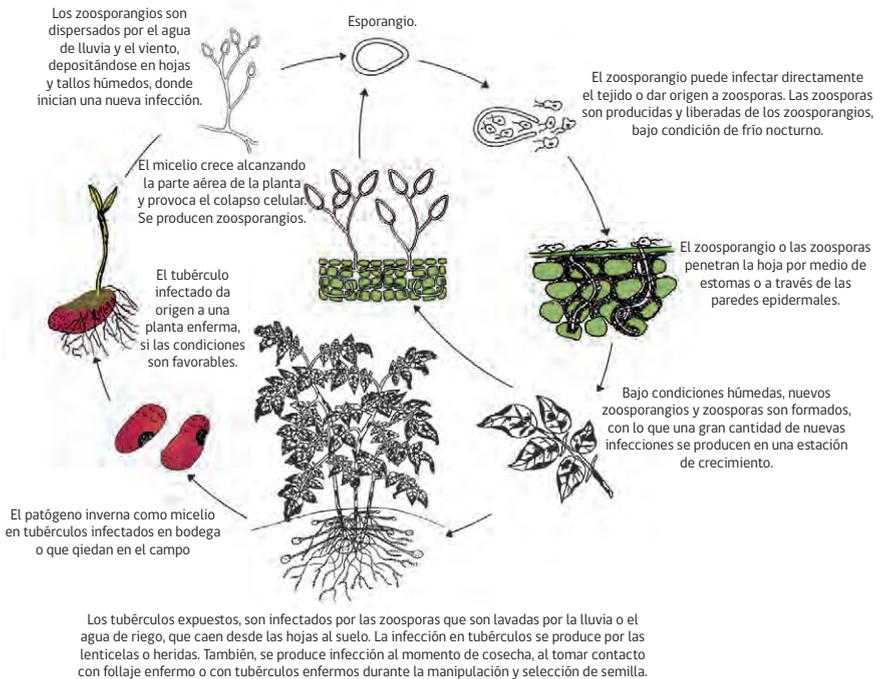
**Foto 1.7.** Esporangios de *Phytophthora infestans* sobre tejido en hojas de papa. Foto INIA Remehue.



**Foto 1.8.** Esporangios de *Phytophthora infestans* (izq.) y zoosporas producidas en el esporangio (der.). Foto INIA Remehue.



**Foto 1.9.** Oospora de *Phytophthora infestans* (Foto gentileza de E. Chavez, SAG).



**Figura 1.1.** Ciclo de vida de *P. infestans* en papa. Foto: INIA Remehue.

## 1.5 Epidemiología

En ausencia de la fase sexual (oosporas), el hongo puede sobrevivir exclusivamente en el tejido vivo del hospedero como micelio, en tubérculos infectados almacenados en bodega o aquellos que quedan en el campo después de la cosecha. Por lo tanto, las plantas voluntarias (“papas huachas”) y los tubérculos semillas infectados son la principal fuente de infección del hongo para la siguiente temporada y también son la fuente primaria de la enfermedad. Desde los tubérculos infectados, el hongo crece a través del tallo iniciando la infección primaria y produciendo síntomas muy tempranos sobre los tallos y el follaje. Los esporangios (esporas asexuales) que se producen sobre estos tejidos, constituyen el inóculo secundario del patógeno.

Bajo condiciones de humedad y temperatura adecuadas, aquellas plantas que emergen antes que el tubérculo haya sido destruido por el hongo, desarrollan lesiones de tizón en los tallos dentro de dos a cinco semanas después de la emergencia, mientras que en otros casos las lesiones aparecen más tarde en el desarrollo del cultivo. Las plantas infectadas sirven como fuente de infección desde la cual el inóculo del hongo se disemina al follaje de las plantas vecinas. En aquellos lugares donde se cultiva papas durante todo el año, el inóculo de *P. infestans* está presente todo el tiempo, por lo que el ataque de Tizón tardío puede ocurrir en estados de desarrollo tan tempranos del cultivo como inmediatamente después de la emergencia de las plantas, siendo muy destructivo. La epidemiología del Tizón tardío es muy dependiente de la temperatura, humedad relativa y precipitaciones.

El desarrollo de la enfermedad es favorecido por temperaturas moderadas (15°C a 27°C) y condiciones de alta humedad relativa. La temperatura más favorable para el desarrollo del hongo es alrededor de 21°C, pero el hongo se mantiene vivo en el tejido hospedero entre 0 y 28°C. Bajo condiciones de alta humedad relativa (superior al 90%) se favorece la producción de esporangios que son dispersados por el viento y la lluvia. Se señala que prolongados períodos de humedad, que permiten la presencia de una lámina de agua sobre las hojas, favorecen la germinación de los esporangios y la infección del hongo. Para que la producción de esporas ocurra, las hojas deben permanecer húmedas por un mínimo de 7 a 10 horas. Temperaturas sobre 15°C favorecen la germinación directa de los esporangios, cada uno de los cuales forma un tubo germinativo que puede penetrar la cutícula de la planta directamente. Temperaturas inferiores a 15°C estimulan la formación de 6 a 8 zoosporas al interior de cada esporangio, las cuales salen expulsadas a través de un poro en el extremo del esporangio (Foto 1.8), se movilizan nadando sobre la película de agua en la superficie de la hoja y después de algunos minutos se enquistan sobre la superficie de la hoja emitiendo

un tubo germinativo que penetra directamente la cutícula. Dependiendo de la temperatura, el proceso total de infección desde que el esporangio se deposita en la superficie del hospedero hasta que penetra a su interior demora entre 6 a 24 horas. El significado de los dos métodos de germinación de los esporangios en la epidemiología del Tizón tardío está relacionado con los puntos de infección generados en el tejido; sobre los 15°C, los esporangios germinan directamente causando sólo un punto de infección, mientras que bajo esta temperatura las 6 a 8 zoosporas producidas por cada esporangio producen 6 a 8 puntos distintos de infección. Bajo estas últimas condiciones, el Tizón tardío puede ser más explosivo y provocar un mayor daño en menor tiempo.

Una vez que el tubo germinativo se desarrolla al interior del tejido del hospedero, éste se ramifica y forma hifas intercelulares en el tejido vivo. Cuando el tejido infectado se muere, las hifas continúan ramificándose alrededor del tejido necrosado, aumentando el tamaño de las lesiones. La expansión de la lesión se detiene a temperaturas sobre 33°C o con baja humedad relativa, volviendo a reactivarse al retornar las condiciones favorables. Las lesiones permanecen latentes por alrededor de 6 a 7 días antes de que la siguiente generación de esporangios emerja desde los estomas de las hojas o de los tallos. Cada lesión individual puede producir 100.000 a 300.000 esporangios por día, por lo tanto, bajo condiciones húmedas y frías, la alta producción de inóculo en un corto tiempo provocará epifitias explosivas. Una vez que el cultivo está infectado, las esporas liberadas desde el follaje son capaces de viajar a grandes distancias y ser diseminadas a los cultivos vecinos por las corrientes de aire o por los aerosoles generados por la lluvia. La infección de los tubérculos antes de la cosecha sucede cuando los esporangios y zoosporas son lavados por el agua de lluvia o riego desde el follaje de las plantas enfermas hacia el suelo.

La infección de los tubérculos durante el proceso de suberización es provocado por el contacto de los tubérculos con el follaje enfermo o con los esporangios que sobreviven sobre las capas superficiales del suelo. Los tubérculos maduros son infectados a través de las yemas, lenticelas y micro heridas. La peridermis madura no es fácilmente penetrada por *P. infestans*. Si los tubérculos infectados con Tizón tardío son almacenados a temperaturas moderadas (10 a 15°C), las bacterias causantes de pudrición blanda pueden establecerse y provocar serias pérdidas en almacenaje, pudiendo incluso ser ésta mucho más grave que la infección del follaje durante el cultivo. También se ha determinado que la infección puede ocurrir durante la manipulación de los tubérculos en almacenaje, especialmente cuando el hongo esporula activamente sobre la superficie de los tubérculos. Aunque la diseminación de Tizón tardío en almacenaje fue considerada por mucho tiempo como poco probable, existen hoy en día evidencias que demuestran su ocurrencia en post-cosecha. Aquellos

tubérculos enfermos que no se alcanzan a podrir durante el almacenaje, pueden servir como fuente de infección, provocando nuevas epifitias de la enfermedad en la siguiente temporada.

## 1.6 Literatura consultada

- Acuña, I. y M. Gutiérrez. 2004. Como reconocer los tizones de la papa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA Remehue. Informativo N°47.
- Acuña, I.; Muñoz, M.; Sandaña, P.; Orena, S.; Bravo, R.; Kalazich, J.; Tejada, P.; Castro M.P. y C. Sandoval. 2015. Manual Interactivo de la papa INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. <http://manualinia.papachile.cl>. Certificado de Registro Dibam 264.876
- Adler, N.E., L.J. Erselius, M.G. Chacón, W.G. Flier, M.E. Ordoñez, L.P.N.M. Kroon and G.A. Forbes. 2004. Genetic diversity of *Phytophthora infestans* sensu lato in Ecuador provides new insight into the origin of this important plant pathogen. *Phytopathology*, 94(2), pp.154-162.
- Andrison, D. 1995. Biology, ecology and epidemiology of the potato late blight pathogen *Phytophthora infestans* in soil. *Phytopathology* 85(10): 1053-1056.
- Deahl, K., R. Groth, R. Young, S. Sinden and M. Gallegly. 1991. Occurrence of the A2 mating type of *Phytophthora infestans* in potato fields in the United States and Canada. *American Potato Journal* 68:717-726.
- Deahl, K. 1995. Potato tubers role in the late blight complex In: Proceeding National Potato Council Seed Seminar 14:10-16.
- Dowley, L. and O´ Sullivan. 1991. Sporulation of *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary on the surface of diseased tubers and tuber to tuber spread during handling. *Potato Research* 34:295-296.
- Dowley, L. and J. Burke. 2003. Field validation of four decision support systems for the control of late blight in potatoes. Crop Research Centre Oak Park, Carlow 20p.
- Drapper, M., G. Secor, N. Gudmestad, A. Lamey and D. Preston. 1994. Leaf blight diseases of potato. North Dakota State University, Fargo. 5M-7-94.
- Flier, W., L. Turkensteen, G. Van den Bosch and H. Van Ray. 1999. Epidemiological parameters of the present *Phytophthora infestans* populations in the Netherlands. 14<sup>th</sup> Triennial Conf. Eur. Assoc. for Potato Research, Sorrento. Italy.

- Flier, W., G. Kessel, G. Van den Bosch and L. Turkensteen. 2002. Impact of new populations of *Phytophthora infestans* on integrated late blight management. Sixth Workshop of an European Network for development of an integrated control strategy of potato late blight Edinburgh, Scotland, 26-30 september 2001. PPO Special Report N°8:193-201.
- Forbes, G. 2009. Late blight in developing countries and the role of the Global Initiative on Late Blight GILB. Proceeding of the Eleveth Euroblight workshop. Hamar, Norway, 2008. PPO Special report N° 13:37-44.
- Forbes, G.A., Morales, J. G., Restrepo, S., Pérez, W., Gamboa, S., Ruiz, R., Cedeño, L., Fermin, G., Andreu, A., Acuña I. and Oliva, R. 2013. *Phytophthora infestans* and *P. andina* on solanaceous hosts in South America. In: K. Lamour (Ed.). *Phytophthora: A global perspective*. CABI Plant Protection series 2. CABI International. 244 p. ISBN 978-1-78064-093-8.
- Franc, G. 1997. Potato late blight management through cultural practices. American Phytopathological Society. APS net Workshop Papers. In: <http://www.apsnet.org/online/proceedings/lateblite/papers/lb006.htm> (consulta 12/09/2007).
- Fry, W., S. Goodwin, A. Dyer, J. Matuszak, A. Drenth, P. Tooley, L. Sujkowski, Y. Koh, B. Cohen, L. Spielman, K. Deahl, D. Inglis y K. Sandlan. 1993. Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways and implications. *Plant Disease* 77(7):653-661.
- Fry, W. and S. Goodwin. 1997. Resurgence of the Irish potato famine fungus. *Bioscience* 47:363-371.
- Fry, W. 1998. Late blight of potatoes and tomatoes. Cornell Vegetable MD Online Fact Sheet Page 726.20 Date 7-1998. Cooperative Extension New York State Cornell University 9pp. In: <http://ppathw3.cals.cornell.edu/Fry/diseasecycle.htm> (consulta 12/09/2007)
- Fry, W. 1994. Role of early and late blight supresión in potato pest management. In: Zehnder, G., Powelson, M., Jansson, R. y Raman, K. edit. *Advances in Potato Pest Biology and management*. APS Press, St. Paul Minnesota, USA. pp: 166-177.
- Fry, W., H. Thurston and W. Stevenson. 2001. Late Blight. In: Stevenson, W. Loria, R., Franc, G. y Weingartner, D. edit. *Compendium of Potato Diseases*. Second edition. APS Press. St. Paul Minnesota, USA. pp: 28-30.
- Geddens, R., C. Shepherd and J. Genet. 2002. Stem lesions of potato late blight: Biological features and fungicidal control of early-season infections. Sixth Workshop of an European Network for development of an integrated control strategy of potato late blight Edinburgh, Scotland, 26-30 september 2001. PPO Special Report N°8:145-154.

- Gudmestad, N. 2003. Forecasting late blight and fungicide application technology. Potato Late Blight Workshop APS net The American Phytopathological Society *In*: <http://www.apsnet.org/online/feature/lateblit/workshop/papers/lb005.htm>. (consulta de octubre 2003).
- Henfling, J. 1987. El Tizón tardío de la papa *Phytophthora infestans*. 2ª ed. Centro Internacional de la Papa (CIP). Boletín de información técnica 4, Lima, Perú. 25pp.
- Judelson, H. 1996. Recent advances in the genetics of oomycete plant pathogens. *Molecular Plant Microbiology Interaction* 9:443-449.
- Kapsa, J. and J. Osowski. 1999. Experiments on stem late blight (*Phytophthora infestans*) control in Poland. PAV Special Report N°5:228-236.
- Kato, M., E. Mizubuti, S. Goodwin and W. Fry. 1997. Sensitivity to protectant fungicides and pathogenic fitness of clonal lineages of *Phytophthora infestans* in the United States. *Phytopathology* 87:973-978.
- Ko, W. 1988. Hormonal heterothallism and homothallism in *Phytophthora*. *Annual Review of Phytopathology* 26:57-63.
- Lambert, D., A. Currier and M. Olanya. 1998. Transmisión of *Phytophthora infestans* in cut potato seed. *American Journal Potato Research* 75:257-263.
- Lapwood, D. 1977. Factors affecting the field infection of potato tubers of different cultivars by blight (*Phytophthora infestans*) *Annals of Applied Biology* 85:23-42.
- Lethinen, A. y A. Hannukkala. 2004. Oospores of *Phytophthora infestans* in soil provide an important new source of primary inoculum in Finland. *Agricultural and Food Science* 13:399-410.
- Michael D. M., E. Cappellini<sup>1</sup>, J. A. Samaniego, M. L. Zepeda, P. F. Campos, A. Seguin-Orlando, N. Wales, L. Orlando, S.Y.W. Ho, F. S. Dietrich, P. A. Mieczkowski, J. Heitman, E. Willerslev, A. Krogh, J. B. Ristaino and M. T. P. Gilbert. 2013. Reconstructing genome evolution in historic samples of the Irish potato famine pathogen. *NATURE COMMUNICATIONS* 4:2172 DOI: 10.1038/ncomms3172 [www.nature.com/naturecommunications](http://www.nature.com/naturecommunications).
- Medina, M. y H. Platt. 1999. Viability of oospores of *Phytophthora infestans* under field conditions in Northeastern North America. *Canadian Journal Plant Pathology* 21:137-143.
- Miller, J. 2001. The significance of sexual reproduction in *Phytophthora infestans* epidemiology. Global Initiative on Late Blight. Newsletter N°14 8pp. *In*: [http://research.cip.cgiar.org/typo3/web/fileadmin/Pdfs\\_Archive/GILB/Newsletters/GILBnews\\_14.pdf](http://research.cip.cgiar.org/typo3/web/fileadmin/Pdfs_Archive/GILB/Newsletters/GILBnews_14.pdf) (consulta 12/09/2007).

- Oliva, R.F., Kroon, L.P.N., Chacón, G., Flier, W.G., Ristaino, J.B. and Forbes, G.A. 2010. *Phytophthora andina* sp. nov., a newly identified heterothallic pathogen of solanaceous hosts in the Andean highlands. *Plant Pathology*, 59(4), pp.613-625.
- Pérez, W. y G. Forbes. 2008. El Tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima Perú. 41 pp.
- Powelson, M., R. Ludy y H. Partipilo. 2002. Seed borne late blight of potato Online. *Plant Health Progress* Published 29 January 2002 In: <http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/php/management/potatolate/> (consulta 12/09/2007).
- Ristaino, J. 2002. Tracking historic migrations of the Irish potato famine pathogen, *Phytophthora infestans*. *Microbes and Infection* 4:1369-1377.
- Riveros, F., R. Sotomayor, V. Rivera, G. Secor y B. Espinoza. 2003. Resistencia de *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary a metalaxil en cultivos de papas en el norte de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 63(2):117-124.
- Stevenson, W. 1993. Management of early blight and late blight. Chapter 16 In: *Potato health management* edited by Rowe, R. American Phytopathological Society APS Press. St Paul Minnesota USA pp: 141-147.
- Zellner, M. 2005. Epidemiology and management of primary *Phytophthora* infections on potato. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Institut für Pflanzenschutz. Bavarian State Research Centre for Agriculture Lange Point Germany. In: <http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/11989/> (consulta 12/09/2007).

## CAPÍTULO 2.

# *Phytophthora Infestans*: CARACTERIZACIÓN DE POBLACIONES EN CHILE

### **Camila Sandoval Soto**

Bioquímico, Universidad de Santiago. Mg.(c) Biotecnología. Universidad Austral de Chile. Profesional de apoyo especialista en fitopatología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [camila.sandoval@inia.cl](mailto:camila.sandoval@inia.cl)

### **Boris Sagredo Díaz**

Bioquímico, Universidad de Chile. Ph.D. North Dakota State University, USA. Investigador especialista en Biología Molecular, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [bsagredo@inia.cl](mailto:bsagredo@inia.cl)

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

## 2.1 Introducción

Al igual que toda enfermedad vegetal el Tizón tardío de la papa, causado por el hongo *Phytophthora infestans*, se presenta cuando en forma simultánea, coexisten una planta, u hospedero susceptible, condiciones ambientales favorables y un agente causal patogénico.

La planta u hospedero corresponde al cultivar de papa elegido para establecer un cultivo, el cual puede ser más o menos resistente (o susceptible) al ataque del hongo. Si utilizamos un cultivar susceptible y los factores ambientales son favorables para el hongo, éste encontrará condiciones propicias para desarrollarse y atacar a la planta, con lo cual la enfermedad se establecerá y avanzará rápidamente. Durante el ataque del agente causal se genera una interacción patógeno/hospedero, donde el patógeno debe expresar una serie de factores de patogenicidad (capacidad de producir infección en el hospedero) y virulencia (magnitud del daño que puede causar) que superen los mecanismos de defensa de la planta. Por otra parte, la susceptibilidad de esta se determinará por los factores de resistencia que posea, los que están influenciados por la variedad y estado fisiológico.

Las condiciones del ambiente se refieren a todas las variables climáticas y del

micro-ambiente que se presentan en el lugar donde se encuentra la plantación de papa. Las variables ambientales principales que determinan el ataque del patógeno y el desarrollo del Tizón tardío son la temperatura y la humedad relativa. Sin embargo, otras variables asociadas a las condiciones de cultivo y su manejo, que afectan tanto al patógeno y a la planta, inciden también en la expresión de la enfermedad y la magnitud que alcanzará.

Las características del agente causal, se refiere a todas aquellas que son propias de la población del hongo y de los individuos que la componen. Las características más importantes son (1) Tipo de reproducción y variabilidad genética, (2) Resistencia a fungicidas, (3) Presencia de factores de virulencia o capacidad de superar genes de resistencia de la planta hospedera y (4) Capacidad de sobrevivencia del inóculo. Estos son los principales factores que deben considerarse al momento de diseñar estrategias de manejo integrado del Tizón tardío a corto y mediano plazo.

## 2.2 Reproducción.

*P. infestans*, es un oomycete capaz de atacar papa (*Solanum tuberosum*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y otras solanáceas. Hasta ahora se consideraba que el lugar de origen de *P. infestans* era Toluca en México, pero recientemente se han encontrado evidencias científicas que indican que el centro de origen sería Los Andes sudamericanos. Este hongo se puede reproducir de forma sexual y asexual. La primera requiere de la presencia de dos tipos de apareamiento denominados A1 y A2, donde la unión de estos da origen a la formación de esporas de resistencia denominadas oosporas, las cuales son altamente tolerantes a condiciones ambientales adversas y además pueden sobrevivir de una temporada a otra en el suelo, sirviendo como fuente de inóculo. Sin embargo, en la mayoría de las poblaciones del hongo dispersas en el mundo, la reproducción asexual es la más común, con formación de clamidosporas, germinación directa de esporangios, o la liberación de zoosporas, que a diferencia de las oosporas, no pueden sobrevivir por más de unas pocas horas a temperatura ambiente. Estas poblaciones se conocen como líneas clonales y son poco diversas desde el punto de vista genético. Al contrario, de las poblaciones que se reproducen sexualmente, que son altamente variables y adaptables, siendo más difíciles de controlar, ya sea por la generación de variantes o razas más virulentas y agresivas o al desarrollo más rápido de resistencia a los fungicidas.

Las primeras diseminaciones registradas del hongo desde su lugar de origen, se conocieron a mediados del 1800 a través de la epifitía que se presentó en Europa en los años 1945-1946. Ocurrieron a través de tubérculos infectados

y según estudios de caracterización de muestras de hojas infectadas desde herbarios de la época, evidencian que sólo se trataba del grupo de apareamiento A1. Un nuevo evento migratorio también desde su lugar de origen, detectado hacia inicios de los años 80, dispersó al grupo A2. La dispersión del grupo A2 constituye un elemento de riesgo, ya que posibilita la reproducción sexual del hongo y la generación de nuevas variantes por recombinación meiótica, incrementando la probabilidad que aparezcan nuevas razas más agresivas y/o resistentes a fungicidas. Estas nuevas razas se pueden dispersar rápidamente a través del viento, como esporangios en una misma temporada o como micelio en tejido infectado -generalmente tubérculos- de una temporada a otra.

Las líneas clonales, que se reproducen asexualmente, también pueden generar nuevas variantes por mutación o recombinación mitótica, ambos mecanismos de variación genética suceden a una muy baja frecuencia, comparado con la variación por recombinación meiótica de la reproducción sexual.

Por lo tanto, para estimar el potencial de cambio genético en la población de *P. infestans* es muy importante determinar la presencia o ausencia de los grupos A1 y/o A2, y la variabilidad genética de la población. Esto tiene estrecha relación con la probabilidad por parte del hongo de desarrollar resistencia a fungicidas, de superar la resistencia de las variedades de papa que se están utilizando, y/o el riesgo que aparezcan nuevas variantes del hongo más virulentas y agresivas.

Análisis de grupo de apareamiento utilizando aislamientos chilenos, específicamente de *P. infestans* provenientes de zonas productoras de papa cercanas a La Serena y Santiago en la temporada 1998/1999, detectaron solo al grupo A1. Asimismo, los aislamientos colectados desde el año 2003 al 2008 en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos correspondieron nuevamente a este grupo. Similares resultados han sido obtenidos en los monitoreos de *P. infestans* en otras zonas productoras de papa en la zona norte y central por parte del Servicio Agrícola y Ganadero (Comunicación personal, SAG). Por lo tanto, la presencia de un solo grupo de apareamiento A1 en las zonas productoras del norte y sur del país, y la ausencia de su complemento sexual, el grupo A2, indica que hasta el momento las poblaciones de *P. infestans* en Chile son de tipo clonal, es decir, se reproducen asexualmente.

## 2.3 Variabilidad genética.

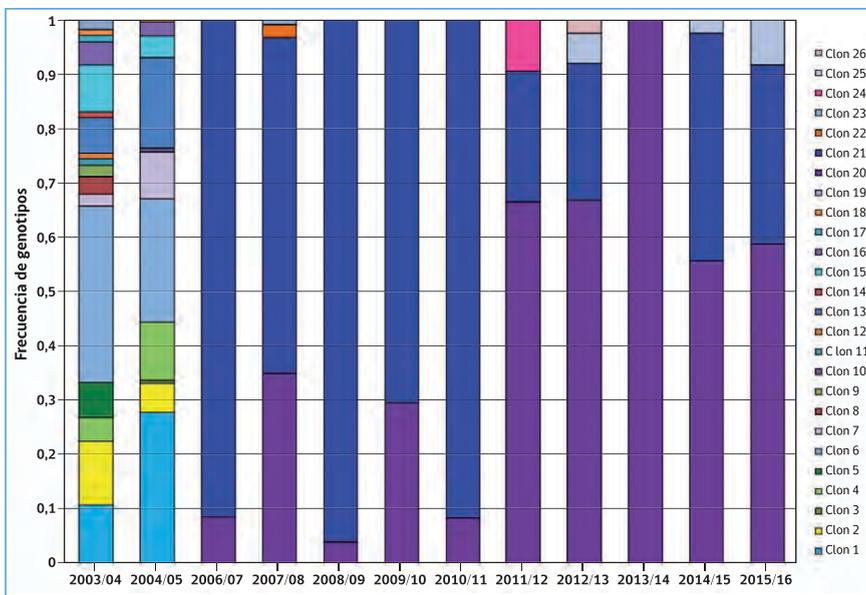
La variabilidad genética *P. infestans* se puede determinar directamente a través de sus polimorfismos a nivel de ADN, los cuales pueden detectarse tanto en el ADN genómico (núcleo celular) como en el mitocondrial (citoplasma). Para detectar

estas mutaciones o polimorfismos, se pueden utilizar diferentes técnicas de biología molecular, siendo las más conocidas RFLP (Restriction Fragment Length Polymorphism), RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA), AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), y SSR (Simple Sequence Repeats), las cuales comparten una etapa inicial en común, que es la amplificación *in vitro* de una secuencia de ADN mediante PCR (Polymerase Chain Reaction). Dentro de estos, los SSR se destacan por ser los más utilizados hoy en día por los diferentes grupos de investigación a nivel mundial, ya que tiene la capacidad de generar una huella genética o perfil genético, que permite comparar aislamientos de distintas partes del mundo con la misma técnica.

Los SSR o marcadores microsatélites corresponden a regiones de ADN no codificante del genoma, que contienen una región repetitiva de bases i.e. [AT]<sub>n</sub>, [TGT]<sub>n</sub>, etc.). En muchos casos, para un mismo *locus*, el número de repetidos (n) puede variar, generando diversidad alélica en las poblaciones. Así, la amplificación por PCR de un fragmento de ADN que contenga una región microsatélite, a partir de un genoma específico, generará fragmentos de distinto tamaño, cuya diferencia estará dada por el número de repetidos (n) que contenga cada alelo. Para un organismo diploide, un individuo puede tener máximo 2 alelos; en el caso de un organismo homocigoto, ambos cromosomas homólogos tienen el mismo alelo con igual n, pero en el caso de heterocigoto los alelos son diferentes donde  $n_1 \neq n_2$ . Sin embargo, en una población compuestas por muchos individuos pueden existir muchos más que 2 alelos. Este tipo de marcador es de naturaleza codominante (distinguen heterocigotos y homocigotos) y una vez identificados son técnicamente más fáciles de implementar.

Con el objetivo de caracterizar las poblaciones de *P. infestans* y sus posibles cambios, INIA - Remehue ha realizado colecciones del patógeno desde la temporada 2003/2004 hasta la actualidad en las principales zonas productoras de papa, siendo analizadas utilizando 9 marcadores SSR.

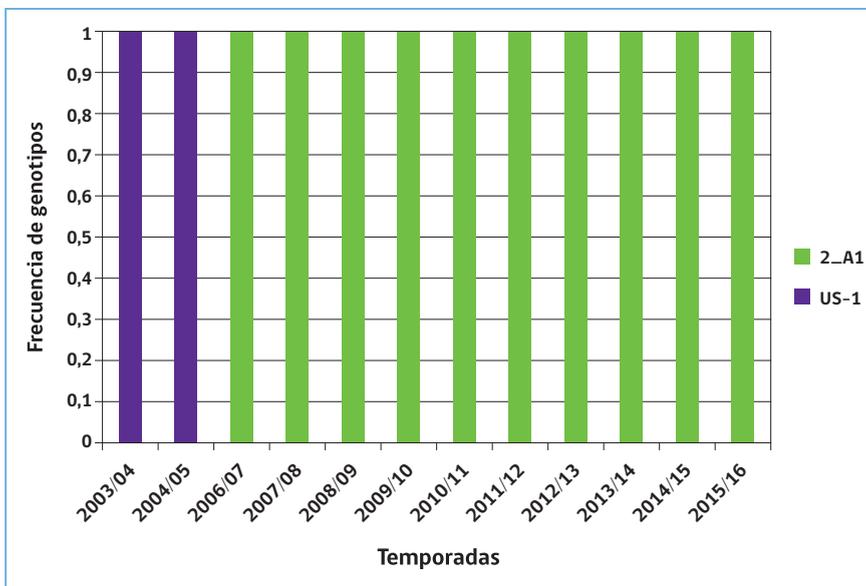
Como resultado, se ha obtenido lo presentado en la Figura 1. Se observa la diferenciación de 26 variantes de *P. infestans* en la zona Sur hasta la fecha. Detectándose 19 clones entre las temporadas 2003/2004 y 2004/2005, sin predominancia clara de alguno. Luego, a partir de la temporada 2006/2007 se diferencia un evidente cambio en el perfil genético de las poblaciones, lo cual derivó en que las variantes presentes en temporadas anteriores ya no fueron detectadas, siendo reemplazados principalmente por 2 nuevas variantes predominantes.



**Figura 2.1.** Frecuencia de clones de *P. infestans* detectados entre las temporadas 2003-04 a 2015-16 en la zona papera del sur de Chile.

Para poder comparar estos resultados con bases de datos internacionales de *P. infestans*, se tomaron muestras representativas de cada variante y fueron analizadas nuevamente, utilizando ahora 12 SSR mediante secuenciación. Al comparar estos aislamientos contra los genotipos estándares y datos pertenecientes a grupos de trabajos líderes en caracterización del patógeno, se obtuvo que estas 26 variantes detectadas confluyen finalmente en dos genotipos: US-1 para las muestras desde el 2003/2004 y 2004/2005, y 2\_A1 para las muestras de las temporadas 2006/2007 hasta la actualidad. De esta manera, estos marcadores tipo SSR permiten diferenciar genotipos y establecer la estructura genética de la población para un momento dado, así como monitorear sus cambios en el tiempo.

Otra forma de caracterizar las poblaciones de *P. infestans*, es mediante la determinación de los haplotipos mitocontriales. Este consiste en amplificar por PCR regiones específicas del ADN mitocondrial (mtDNA), que luego se cortan con enzimas o endonucleasas de restricción, generando sub-fragmentos de diferentes tamaños, diferenciándose los distintos haplotipos mitocondriales. Hasta ahora a nivel mundial se han descrito cuatro haplotipos que se denominan como Ia, IIa, Ib y IIb. Estudios en Chile con aislamientos de la zona sur pertenecientes a diferentes temporadas del cultivo, determinaron dos tipos mtDNA: el tipo Ia y



**Figura 2.2.** Frecuencia Genotípica de *P. infestans* entre las temporadas 2003/2004 y 2015/2016 en la zona papera del sur de Chile.

el tipo Ib. El tipo mtDNA la fue detectado en todos los aislamientos colectados después de la temporada de cultivo 2006/2007; mientras que el tipo mtDNA Ib fue detectado en los aislamientos de las temporadas 2003/2004 y 2004/2005. Basándose en los polimorfismos de SSR y el análisis de haplotipo mitocondrial, podemos decir que existen dos grupos genéticamente distanciados, donde un grupo incluye las variantes detectados en la temporada 2006/2007 hasta la fecha, clasificados dentro del mtDNA tipo Ia y genotipo 2\_A1; mientras que el otro grupo, incluye las variantes identificadas en la temporada 2003/2004 y 2004/2005, clasificados como mtDNA tipo Ib y genotipo US-1.

## 2.4 Resistencia a metalaxilo.

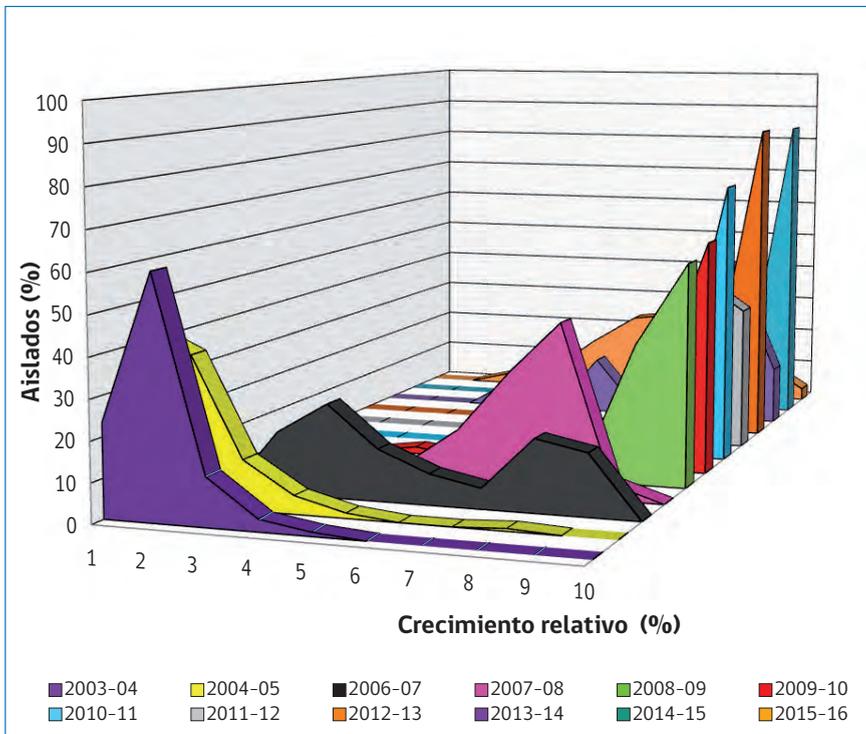
La aplicación de fungicidas a intervalos o en el momento oportuno durante la temporada del cultivo de papa, permitiría manejar el daño potencial de *P. infestans*. Es así, como en la década del 70 se liberó al mercado el producto metalaxilo, un fungicida sistémico con un fuerte efecto curativo, perteneciente a la familia de las fenilamidas, que inhibe la síntesis de proteínas y por ende su crecimiento, convirtiéndolo es un fungicida altamente eficaz y selectivo. A pesar de los buenos resultados de control obtenidos, aplicaciones continuas de este fungicida, resultaron en el desarrollo de resistencia de *P. infestans*,

documentándose genótipos resistentes en diferentes partes del mundo. Esta situación fue reportada en Irlanda, Holanda y Suiza asociados a una disminución en el control de la enfermedad en campo, originados por aplicaciones sucesivas de este fungicida. En Estados Unidos se mantuvo controlada la enfermedad durante los años 70 e inicios de los 80, debido al dominio del genotipo US-1 sensible a metalaxilo, escenario que fue revertido en 1989, a causa de la aparición de nuevos genotipos resistentes.

Los nuevos aislamientos resistentes han mostrado ser igualmente o más agresivos que los individuos sensibles, convirtiéndose así la resistencia al metalaxilo, en una característica importante en el manejo integrado de esta enfermedad y usada como un marcador fenotípico para caracterizar poblaciones de *P. infestans*. Estudios genéticos tendientes a identificar los genes y sus respectivas mutaciones involucrados en la resistencia, muestran que existirían diferentes mutaciones en poblaciones distintas. Esta complejidad respecto al modo de acción y genética de la resistencia a metalaxilo, ha dificultado el desarrollo de marcadores genéticos basados en análisis de ADN.

En Chile, las primeras evidencias de resistencia a metalaxilo se detectaron en cultivos de papa establecidos en La Serena (IV Región) en el año 1997, los cuales, a pesar de la aplicación química para controlar Tizón tardío, fueron severamente afectados, conllevando a grandes pérdidas productivas y económicas. Luego de esta epifitía, INIA en conjunto con la Universidad del Estado de Dakota del Norte, evaluaron la resistencia *in vitro* a este fungicida en aislamientos provenientes de la misma zona durante las temporadas 1999/2000, confirmando que todos los aislamientos eran altamente resistentes a este ingrediente activo.

A partir del año 2003, INIA-Remehue ha monitoreado el patógeno en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos con el objetivo de determinar los posibles cambios a este fungicida. Los resultados obtenidos durante las temporadas 2003/2004 y 2004/2005 demostraron que todos los aislamientos evaluados fueron sensibles a metalaxilo, siendo inhibidos al 50% de su crecimiento con concentraciones de fungicida inferiores a 0.1 µg/mL. Esto concuerda con la presencia del genotipo US-1, sensible a metalaxilo detectado en esas temporadas. Sin embargo, los análisis de aislamientos efectuados desde las temporadas 2005/2006 hasta la fecha, han resultado en una alta resistencia, con valores de  $EC_{50}$  mayores a 100 µg/mL, mostrando así características fenotípicas y genotípicas (genotipo 2\_A1) diferentes a las poblaciones previas. Lo anterior, coincidió con los resultados a nivel de campo, donde los agricultores de la zona expresaron que tuvieron una baja de eficiencia de control del Tizón tardío en su plantación al utilizar productos que contenían metalaxilo.



**Figura 2.3.** Crecimiento relativo de aislamientos de *P. infestans* colectados en las temporadas 2003/2004 al 2015/2016 en medio de cultivo modificado con 10 ppm de metalaxilo.

De esta manera, la población de *P. infestans* experimentó un cambio genético y de comportamiento frente a metalaxilo, observándose actualmente poblaciones resistentes, similar a lo visto en poblaciones del patógeno en otras partes del mundo.

## 2.5 Factores de virulencia en el patógeno.

Uno de los principales factores que determinan el desarrollo de la enfermedad Tizón tardío, es la interacción que se produce entre el patógeno, *P. infestans*, y el hospedero, planta de papa. En primer lugar, para que se produzca la enfermedad debe existir compatibilidad entre la planta y el patógeno. De los numerosos hongos, bacterias y virus identificados a la fecha, sólo unas pocas especies son patógenos capaces de causar enfermedades en plantas, existiendo una alta especificidad entre cada patógeno vegetal y una o unas pocas especies de

plantas hospederas. En el caso de la *P. infestans*, este es un hongo que solo es capaz de infectar y sobrevivir en algunas especies de la familia Solanácea.

Al darse las condiciones ambientales propicias para el desarrollo de la enfermedad, entra en contacto el hongo y la planta, generándose una interacción específica de compatibilidad patógeno/hospedero, donde esta última trae consigo y/o activa en ese momento una serie de barreras físicas y bioquímicas de defensa y el patógeno, por su parte, trae consigo y/o activa una serie de factores de virulencia para atacarla. Si la planta es capaz de defenderse e impide o reduce el desarrollo de la enfermedad, se dice que es resistente. Pero, si el hongo es capaz de superar todas las barreras de resistencia ofrecida por las planta, se dice que es susceptible.

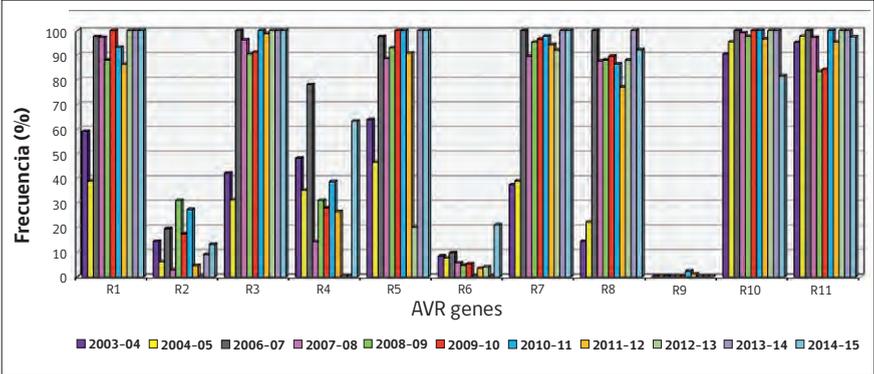
La obtención y uso de variedades resistentes al ataque del Tizón tardío es un factor de control de la enfermedad muy deseable, y por lo tanto, la mayoría de los programas de mejoramiento se esfuerzan por desarrollarlas. Dentro de las fuentes de resistencia más interesante, está la especie silvestre mexicana *Solanum demissum*, la cual se utilizó como progenitor desde inicios del siglo pasado. Sin embargo, las nuevas variedades de papa que derivaron de esta fuente, al poco tiempo se tornaron susceptible al ataque de *P. infestans*, es decir, el patógeno de alguna forma se adaptó y fue capaz de superar la(s) barrera(s) de resistencia de las nuevas variedades de papa. Estudios genéticos demostraron que la resistencia heredada de *S. demissum*, estaba controlada por uno o pocos genes, los cuales se le denomina genes mayores *R*. En total, en *S. demissum* se han descrito 11 genes *R* de resistencia a *P. infestans*. La pérdida de resistencia de la variedad de papa portadora de uno o varios de estos genes, se debe a que el patógeno, *P. infestans*, experimentó un cambio genético, que le permite superar a estos genes de resistencia. Los factores requeridos por el patógeno para superar cada uno de estos genes, se le denomina genes de avirulencia. Así, si una planta contiene el gen *R1*, el patógeno capaz de infectarla tendrá el gen de avirulencia *V1* y así sucesivamente. En las poblaciones de *P. infestans* actuales, se observa con bastante frecuencia aislamientos que tienen varios genes de avirulencia. Se dice que una raza del hongo es más compleja a medida que contenga más genes de avirulencia. Para caracterizar las poblaciones de *P. infestans*, se han desarrollado clones de papa que portan solo uno de los 11 genes *R* de resistencia de *S. demissum*. Este grupo de clones es conocido como diferenciales y son utilizados para caracterizar las diferentes razas de *P. infestans*.

Respecto al mejoramiento genético y la obtención de variedades de papa resistentes al tizón, actualmente los investigadores han puesto su interés en otro tipo de resistencia, más durable, y no en aquella conferida sólo por unos pocos genes mayores *R*. La estrategia que se sigue actualmente para obtener

esta resistencia más durable contra *P. infestans* en las nuevas variedades de papa, es incorporar resistencia de tipo cuantitativa, la cual estaría otorgada por varios genes de acción menor, cuya sumatoria se traduce en resistencia al hongo. Esto, desde el punto de vista del hongo, es mucho más difícil de superar, dado que necesitaría de varias mutaciones simultáneas hacia virulencia, para superar los mecanismos de defensa que tendría una planta resistente de estas características.

Se han caracterizado aislamientos de *P. infestans* colectados en la zona sur de Chile mediante ensayos de infección en hojas provenientes de plantas diferenciales, es decir, que portan solo un gen de resistencia según lo descrito anteriormente. Al analizar los resultados, se pudo observar que los aislamientos de la zona sur son complejos, ya que poseen un alto número de genes de avirulencia. Las colecciones correspondientes a las temporadas 2003/2004 y 2004/2005 mostraron entre 2, 4 y 5 genes de avirulencia con la predominancia de los razas: R10, 11; R1, 4, 5, 10, 11 y R1, 5, 10, 11. Mientras que para las temporadas sobre 2006/07 disminuyó la cantidad de razas, predominando el R1, 3, 5, 7, 8, 10, 11, que presenta 7 genes de avirulencia, más de los detectados en las primeras temporadas.

En general, casi todos los genes se presentaron con alta frecuencia, siendo los más frecuentes los designados como R10 y R11. Mientras que los genes R2, R4, R6 y R9 se presentaron de manera muy baja en el estudio.



**Figura 2.4.** Frecuencia de genes de avirulencia de *P. infestans* en la zona sur de Chile, durante las temporadas 2003/04 al 2014/15.

En general, el hecho de encontrar poblaciones de *P. infestans* muy complejas en el sur de Chile es destacable, particularmente para una población que se multiplica en forma clonal y dado la identificación solamente de individuos del grupo de apareamiento A1. Hay estudios que explican esta complejidad a la

existencia de una alta diversidad del hospedero. En Chile esta situación podría darse producto de la presencia de especies nativas de *Solanum*.

Lo anteriormente expuesto, indica que la población de *P. infestans* en el sur de Chile experimentó un cambio genético. Los cambios en estas poblaciones, excluyendo la recombinación por apareamiento sexual, podrían deberse a varias razones, entre las cuales se puede inferir en nuevas introducciones del hongo en los últimos años a la zona sur o al país o la presión de selección ejercidas en aislamientos de una baja frecuencia previa asociados posiblemente a hospederos alternantes, aunque ambos mecanismos no son excluyentes. Para ratificar esta inferencia es necesario continuar con el monitoreo del hongo, determinando el comportamiento bajo otras condiciones ambientales y de manejo.

## 2.6 Literatura consultada

- Acuña, I., Muñoz, M., Sandaña, P.; Orena, S., Bravo, R.; Kalazich, J., Tejada, P., Castro M.P. y C. Sandoval. 2015. Manual Interactivo de la papa INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. <http://manualinia.papachile.cl>
- Acuña, I., Sagredo, B., Gutiérrez, M., Sandoval, C., Fahrenkrog, A., Secor, G., Rivera, V., Mancilla, S. 2011. In: Schepers, H. T. (Ed). Proceedings of the thirteenth Euroblight Workshop. St. Petersburg, Rusia, 9-12 Octubre 2011. PPO Special report N°145pp.
- Acuña, I., Sandoval, C., Sagredo, B., Fahrenkrog, A., Gutiérrez, M., Mancilla, S. 2013. Una década de monitoreo de *Phytophthora infestans* asociada al cultivo de papa en el sur de Chile. XXII Congreso Sociedad Chilena de Fitopatología. Viña del Mar, Chile, 23-25 Septiembre 2013. Libro de resúmenes 21pp.
- Childers, R., Danies, G., Myers, K., Fei, Z., Small, I. M., and Fry, W. E. 2015. Acquired resistance to mefenoxam in sensitive isolates of *Phytophthora infestans*. *Phytopathology* 105:342-349.
- Cooke, D.E.L., Lees, A.K., 2004. Markers, old and new, for examining *Phytophthora infestans* diversity. *Plant Pathol.* 53, 692-704.
- Griffith, G.V., Shaw, D.S. 1998. Polymorphisms in *Phytophthora infestans*: four mitochondrial haplotypes are detected after PCR amplification of DNA from pure cultures or from host lesions. *Appl. Environ. Microbiol.* 64: 4007-4014.
- Jones, J.D.G., Dangl, J.L. 2006. The plant immune system. *Nature* 444, 323-329.
- Lees, A.K, R. Wattier Shaw DS, L. Sullivan, N.A. Williams and D.E.L. Cooke. 2006.

- Novel microsatellite markers for the analysis of *Phytophthora infestans* populations. *Plant Pathology* 55:311-319
- Li, Y.; Cooke, D.E.L.; Jacobsen, E.; van der Lee, T., (2013) Efficient multiplex simple sequence repeat genotyping of the oomycete plant pathogen *Phytophthora infestans*., *Journal of Microbiological Methods*, 92, 316-322.
- Manuel Andrés Muñoz, Julio César Kalazich, Carolina Verónica Folch, Sandra Valeska Orena and Annelore Winkler (June 6th 2018). The Use and Impact of Biotechnology in Potato Breeding: Experience of the Potato Breeding Program at INIA, Chile, Potato, Mustafa Yildiz, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.72961. Available from: <https://www.intechopen.com/books/potato-from-incas-to-all-over-the-world/the-use-and-impact-of-biotechnology-in-potato-breeding-experience-of-the-potato-breeding-program-at->
- Matson, M. E. H., Small, I. M., Fry, W. E., and Judelson, H. S. 2015. Metalaxyl resistance in *Phytophthora infestans*: Assessing role of RPA190 gene and diversity within clonal lineages. *Phytopathology* 105: 1594-1600.
- Riveros, F., Sotomayor, R., Rivera, V., Secor, G y Espinoza, B. 2003. Resistance of *Phytophthora infestans* (Montagne) de Bary to metalaxyl in potato crops in Northern Chile. *Agric. Téc.* 63(2): 117-124.
- Saville, A., Graham, K., Grünwald, N. J., Myers, K., Fry, W.E., and Ristaino, J. B. 2015. Fungicide sensitivity of U.S. genotypes of *Phytophthora infestans* to six oomycete - targeted compounds. *Plant Dis.* 99: 659-666.

## CAPÍTULO 3.

# MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO DE LA PAPA

### Ivette Acuña Bravo

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.  
E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

## 3.1 Introducción

El Tizón tardío es una enfermedad causada por el pseudo hongo (*Phytophthora infestans*), es la enfermedad más seria que afecta el cultivo de la papa y está ampliamente distribuida en el mundo. La enfermedad afecta hojas, tallos y tubérculos (Foto 3.1), y se dispersa rápidamente abarcando grandes superficies cuando las condiciones climáticas son favorables.

Este hongo sobrevive solo en tejido vivo de plantas, ya sea hojas, tallos o tubérculos de papa, plantas voluntarias y otros hospederos como tomate, petunia y otras solanáceas. En Europa y México puede sobrevivir en el suelo como oospora, debido a la presencia de diferentes grupos de apareamiento. El desarrollo de Tizón tardío dependerá de las condiciones ambientales predominantes durante la temporada, la presencia y características del patógeno, la susceptibilidad de los cultivares de papa utilizados y el manejo del cultivo.

En Chile, las condiciones climáticas óptimas para el desarrollo de Tizón tardío son variables de acuerdo a las condiciones de cada temporada y a la zona geográfica (Foto 3.2). Sin embargo, la potencialidad de desarrollo de la enfermedad en forma epifítica es alta, o sea que produzca grandes pérdidas en un amplio sector del rubro, dado un conjunto de factores. Uno de estos factores es la fuente de inóculo del patógeno, es decir donde el patógeno sobrevive y es producido. En Chile, las características meteorológicas de la época invernal en las zonas productoras de papa permiten la presencia de restos de tubérculos de papa en el suelo de temporada en temporada dando origen a plantas voluntarias (llamadas también plantas huachas o bochen), convirtiéndose en la principal fuente del hongo. Lo anterior, junto a cambios en las características de patogenicidad y virulencia del patógeno y la utilización de cultivares comerciales de papa susceptibles a Tizón tardío, aumentan la probabilidad del daño potencial al presentarse las condiciones favorables para la enfermedad. Es más, en Chile productores con diferentes objetivos de producción y niveles tecnológicos comparten los mismos territorios, por lo que el manejo se dificulta si el control es deficiente

en algunos predios del sector. Dado lo anterior, para desarrollar estrategias de control eficientes, es necesario considerar un enfoque de manejo integrado, es decir involucrar todos los factores relacionados a la epidemiología y etiología de la enfermedad.



**Foto 3.1.** Síntomas iniciales de Tizón tardío en follaje y daño en tubérculos.  
Foto INIA Remehue.



**Foto 3.2.** Plantación comercial de papas cv Desireé con ataque de Tizón tardío en Chonchi, Chiloé. Foto INIA Remehue.

## 3.2 Manejo Integrado

Los principales aspectos a considerar en el manejo integrado son las medidas que previenen la enfermedad, tales como, el uso de semillas sanas, evitando usar semillas que provengan de áreas donde se ha reportado la enfermedad; eliminar plantas voluntarias y hospederos; prácticas culturales como rotación de cultivo; revisar los cultivos para detectar focos de la enfermedad y eliminarlos antes que se propague aún más el hongo; usar sistemas de alerta temprana de la enfermedad, para determinar cuándo y en qué áreas la enfermedad puede desarrollarse, y finalmente el uso de fungicidas en el momento adecuado y aplicados en forma eficiente. De modo que las principales medidas a tomar para prevenir son:

### a. Eliminación de posibles fuentes del *P. infestans*

La primera y principal fuente del hongo en las zonas productoras de papa en Chile son los tubérculos, ya sea tubérculos semillas infectados, tubérculos invernantes de plantaciones de años anteriores que dan origen a papas voluntarias ó tubérculos de desecho de selección. Desde estos tubérculos infectados, el micelio del hongo crece alcanzando los brotes, produciendo colapso celular. Cuando el micelio alcanza la parte aérea de la planta, produce las estructuras reproductivas, llamadas esporangios. Las mejores condiciones ambientales para la esporulación de patógeno son temperaturas entre 15 y 25°C con humedad relativa cercana al 90% por al menos 12 hrs., los primeros síntomas se desarrollarán 5 a 7 días después. Las zoosporas necesitan agua libre para su germinación y penetración. Una vez que la infección se produce, la enfermedad se desarrolla más rápidamente a temperaturas de 21°C. Desde las plantas enfermas, los esporangios son dispersados por el agua de lluvia y el viento depositándose en hojas y tallos húmedos, donde inician una nueva infección. Las nuevas lesiones producidas por esta infección secundaria, bajo condiciones húmedas, forman nuevos esporangios, con lo que una gran cantidad de nuevas infecciones puede ser producida en una estación de crecimiento. Estas nuevas lesiones forman focos de infección en las plantaciones de papa, siendo una gran fuente del hongo para plantaciones cercanas y los nuevos tubérculos. La infección de los tubérculos comienza cuando las zoosporas son lavadas por la lluvia desde las hojas y caen al suelo, donde infectan los tubérculos por las lenticelas o heridas. Los tubérculos también pueden infectarse al momento de cosecha al tomar contacto con follaje enfermo o con tubérculos enfermos durante la manipulación y selección de semilla.

Para disminuir las fuentes de Tizón tardío se recomienda:

- **Usar tubérculos semilla de papa sanos:** Se debe usar solo tubérculos semilla

sanos y legales, de origen conocido, no proveniente de plantaciones que presentaron problemas de Tizón tardío especialmente tarde en la temporada anterior. La presencia de la enfermedad tarde en la temporada es la principal causa de contaminación de tubérculos.

- **Eliminar papas voluntarias:** Se debe disminuir la potencialidad de desarrollo de papas voluntarias, realizando una cosecha eficiente la temporada anterior, gran parte de los tubérculos que quedan en el suelo serán plantas voluntarias la próxima temporada. Por la misma razón, se debe rotar suelos para plantaciones de papa, considerando al menos 4 años entre cultivo y cultivo. Es recomendable la rotación con cultivos competitivos, de crecimiento rápido y alta cobertura de suelo (Foto 3.3).



**Foto 3.3.** Plantas voluntarias de papa, una de las principales fuentes de infección de *P. infestans*. Foto INIA Remehue.

- **Eliminar restos de papas de almacenamiento, cosecha y selección:** Se debe eliminar los desechos de tubérculos, ya sea descartes de la selección al entrar o al salir del almacenamiento, tubérculos de tamaño pequeño y papas no comercializables, etc. Estos desechos se pueden usar para alimentación animal directamente, como ensilaje o cocidas, cuidando que queden restos que los animales no consuman. También, se recomienda que sean enterrados, considerando la no contaminación de suelo y agua o cubiertos con plástico negro. No enterrar estos desechos cerca de fuentes de agua, en suelos con

napas altas o vertientes que drenen a fuentes de agua. Los desechos deben quedar con al menos 1.8 m de suelo encima para evitar la brotación. Revisar que en primavera no emerjan plantas voluntarias de estos sitios, si hay presencia de brotes, éstos deben ser eliminados. Debido a la seriedad de estos desechos como fuente de la enfermedad, en algunos países existen regulaciones respecto a la obligatoriedad de hacerlo (Foto 3.4).



**Foto 3.4.** Los tubérculos de desecho son fuente de inóculo potencial de Tizón tardío. Foto INIA Remehue.

- **Prospección y eliminación de hospederos alternantes infectados y focos de Tizón tardío.** El Tizón tardío se disemina fácilmente por el viento y el agua de lluvia que llevan los esporangios desde plantas enfermas a plantas sanas pudiendo alcanzar grandes distancias. Por lo tanto, se debe prospectar los lugares cercanos a la plantación para detectar la presencia de Tizón tardío, tanto en plantas de papa voluntarias, como en otras solanáceas. Esto es papas, tomates y berenjenas en huertas caseras, malezas solanáceas como tomatillo, chamico, etc. (Foto 3.5). Se debe eliminar, en lo posible, todas las plantas enfermas detectadas. Igualmente, si se encuentra Tizón

tardío en las cercanías de la plantación de papa, se debe considerar el inicio de un programa de control químico (Foto 3.6). Igualmente, es necesario prospectar constantemente la plantación desde la emergencia hasta cosecha, para detectar plantas con síntomas de la enfermedad y eliminarlas inmediatamente. Esto se debe realizar especialmente cuando se presentan condiciones favorables, poniendo énfasis en los sectores bajos y húmedos de la plantación. La eliminación de focos de Tizón tardío se puede realizar mediante una destrucción mecánica o química aplicando desecantes (Foto 3.7).



**Foto 3.5.** Planta de tomatillo (*Solanum nigrum*) afectada por Tizón tardío.  
Foto INIA Remehue.



**Foto 3.6.** Cultivo de papa afectado por Tizón tardío, fuente importante para la dispersión de *P. infestans* a campos vecinos de papa. Foto INIA Remehue.



**Foto 3.7.** Foco de Tizón tardío en zona productora de papa. Foto INIA Remehue.

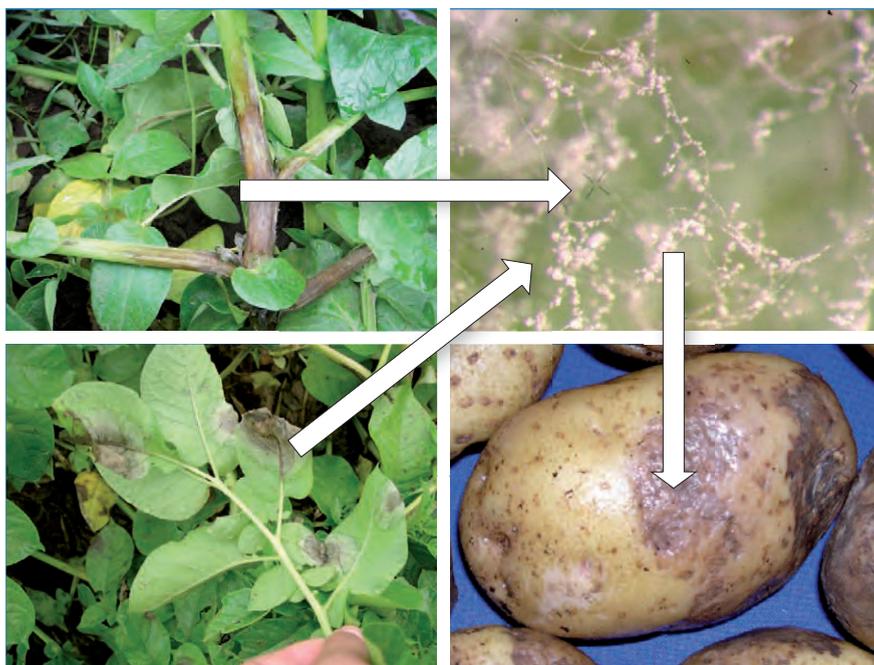
## b. Manejo del cultivo

Durante el desarrollo del cultivo es importante tener una estrategia de manejo preventivo de la enfermedad que evite la presencia de plantas enfermas y la contaminación de los tubérculos. Para esto se considera:

- **Utilizar cultivar resistentes:** En lo posible se recomienda la utilización de cultivares con una mejor resistencia relativa a Tizón tardío, esto evita el desarrollo de epifitias de la enfermedad y permite la utilización de un programa de control más eficiente y sustentable.
- **Evitar el exceso de humedad en el follaje:** El desarrollo de Tizón tardío se favorece con condiciones de alta humedad y agua libre en el follaje, por lo que se debe favorecer una buena ventilación en el cultivo. Esto se puede lograr con un aumento de la distancia de plantación entre hilera, manejando eficientemente los sistemas de riego, evitando la producción de un follaje exuberante en las plantas mediante el uso de fertilizantes en forma adecuada, etc. Estas medidas no solo aumentan la ventilación, sino que favorecen la cobertura del follaje en las aplicaciones de los tratamientos químicos.
- **Tratamiento químico al follaje.** Se debe evitar la presencia de la enfermedad en el cultivo por lo tanto el programa de manejo químico debe ser preventivo. Los controles se deben comenzar antes del cierre de la entrehilera o al presentarse condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad, especialmente al haberse detectado los primeros síntomas en sectores cercanos a la plantación. Es importante la rotación de productos químicos y mezclas de ingredientes activos con diferentes modos de acción sobre el hongo durante la temporada, para evitar el desarrollo de cepas resistente, Una estrategia debe basarse en las características de los fungicidas, la susceptibilidad del cultivar, el estado de desarrollo del cultivo y la oportunidad de la aplicación.
- **Mantener una buena cobertura de los tubérculos con aporca.** Las Zoosporas infectan los tubérculos al ser lavadas por el agua de lluvia desde el follaje (Foto 3.8). Esta es una práctica que es por lo demás muy recomendable para prevenir pérdidas por verdeo y escaldado.
- **Destruir y eliminar el follaje antes de la cosecha** utilizando un producto químico (herbicida de contacto no sistémico) o por medios mecánicos (cortadora rotatoria u otro) o arranque manual ya que el follaje infectado puede contaminar las papas durante la cosecha, especialmente en cultivos con aporca baja o donde los tubérculos están pobremente cubiertos con

suelo. En lo posible, también se debe eliminar las malezas del cultivo porque tienden a dificultar la cosecha y a favorecer cortes y daños mecánicos a los tubérculos.

- **Cosechar con ambiente seco** o con suelo con muy poca humedad y nunca realizar esta labor con lluvia o con exceso de humedad en el suelo. Si el suelo está muy húmedo y/o saturado de agua, los tubérculos se hacen más susceptibles a la infección, favoreciendo así el ingreso de las esporas móviles (zoosporas) del hongo a los tubérculos.
- **Cosechar, seleccionar y guardar sólo las papas sanas, secas y limpias**, separándolas de todos aquellos tubérculos con cortes y/o heridas, dañados por pudriciones o con lesiones necróticas. Los tubérculos dañados y enfermos pueden servir como fuente de contaminación de las papas sanas durante el período de almacenamiento (Foto 3.9).



**Foto 3.8.** Secuencia en la infección de los tubérculos bajo condiciones de alta humedad, especialmente lluvias. Foto INIA Remehue.

### c. Manejo de tubérculos en almacenamiento.

- **Acondicionar la bodega:** El lugar de almacenamiento de la producción debe estar limpio, sin goteras y sin posibilidad de anegamiento. Las goteras generan flujo de agua sobre los tubérculos que actúan como fuente de transporte de los patógenos causando pudrición.
- **Limpiar y desinfectar la bodega:** Esto significa eliminar todos los restos de papas, lavar con detergentes y agua a presión, el piso, las paredes y los ductos de ventilación. Posteriormente, desinfectar toda la bodega. Se puede utilizar hipoclorito de sodio (1% cloro activo en pH neutro) o amonio cuaternario al 4%.
- **Limpiar y desinfectar los equipos de la línea de selección y clasificación:** Se pueden utilizar los mismos productos arriba indicados, pero se debe mantener el pH de la solución de hipoclorito de sodio entre 6.0 y 7.0 para no producir corrosión en los equipos. Además, estos equipos deben estar en buen estado a fin de evitar también daño a los tubérculos.
- **Controlar y regular periódicamente la ventilación y temperatura de la bodega:** Los tubérculos son órganos vivos que respiran, por lo tanto, necesitan oxígeno, sin embargo, también generan calor y eliminan CO<sub>2</sub> y agua. La temperatura ideal de almacenamiento de la papa para prolongar al máximo su período de dormancia es alrededor de 4°C, con humedad relativa ambiental de aproximadamente 93%. Sin embargo, la producción destinada al procesamiento de papa frita no debe bajar de 10°C, puesto que a medida que la temperatura disminuye, el almidón se transforma en azúcar, lo cual tiende a generar productos ennegrecidos.
- **Evitar mezclar producciones procedentes de lotes de campos sanos con lotes enfermos o con riesgo de estar contaminados.** El peligro de contaminar una producción sana mezclándola con tubérculos procedentes de campos infectados es muy alta. Por esta razón es conveniente guardar separadamente la producción sana y la procedente de campos afectados por Tizón tardío o con riesgo de estar afectados por esta enfermedad.



**Foto 3.9.** Goteras o agua de lluvia en la bodega favorecen las pudriciones de los tubérculos y contaminaciones bacterianas. Foto INIA Remehue.

### 3.3 Literatura consultada

- Acuña, I.; Muñoz, M.; Sandaña, P.; Orena, S.; Bravo, R.; Kalazich, J.; Tejada, P.; Castro M.P. y C. Sandoval. 2015. Manual Interactivo de la papa INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. <http://manualinia.papachile.cl>. Certificado de Registro Dibam 264.876.
- Acuña, I y H.Torres. 2000. El Tizón tardío de la papa. Informativo N°22, INIA Remehue.
- Acuña, I. y J. Rojas. 2006. Principales enfermedades del cultivo de papa. En: J. Rojas y S. Orena (editors). Manual de producción de papa para la Agricultura Familiar Campesina (AFC). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA n° 147.
- Agrios, G.N. 2005. Plant Pathology. 5th.ed. Academia Press. San Diego, U.S.A. 922 pp.
- Crissman, L. and C. Lizárraga (ed.). 1999. Late Blight: A treat to global food security. Vol 1. Proceeding of the GILB Conference. March 16-19, 1999. Quito Ecuador. CIP, Lima, Perú. 157 pp.
- Erwin, D. and O. Ribeiro. 1996. *Phytophthora* Disease Worldwide. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 562pp.
- Harris, P. (Ed.). 1992. The Potato Crop, the scientific basis for improvement. Second edition. Chapman and Hall. London. 909 pp.

- Rojas, J., I. Acuña y S. Orena. 2007. Medidas para prevenir efectos del Tizón tardío de la papa durante la cosecha y el almacenamiento. Informativo N°53, INIA Remehue.
- Schepers, H.T. 2002. Potato late blight IPM in the industrialized countries. In: Late Blight: managing the global threat. Proceeding of the Global Initiative on late Blight Conference. July 11-13. Hamburgo. Germany.
- Secor, G. A. 2003. Estrategias de manejo integrado de Tizón tardío. En: Seminario "Manejo Integrado de Enfermedades en el Cultivo de la Papa" 3 de Abril 2003. INIA-Carillanca. Temuco.
- Stevenson, W.; R Loria; G. Franc and D. Weingartner. 2001. Compendium of Potato Diseases. Second Edition. APS Press. St. Paul Minnesota. USA. 106pp.
- Pérez, W. y G. Forbes. 2008. El Tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima Perú. 41 pp.
- Zentmyer, G. 1983. The world of *Phytophthora*. En: Erwin, D, S. Bartnicki-Garcia and P. Tsao (Ed). *Phytophthora its Biology, Taxonomy, Ecology and Pathology*. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA. 392pp.

## CAPÍTULO 4.

# ESTRATEGIAS DE CONTROL QUÍMICO Y USO DE ALERTA TEMPRANA

### Ivette Acuña Bravo

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.  
E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

## 4.1 Introducción

Para la implementación de una estrategia de control de Tizón tardío hay que considerar varios aspectos, tales como las características ecológicas del lugar de plantación, la genética de las poblaciones del hongo y los temas económicos, los cuales influyen en las prácticas de manejo del cultivo. Los aspectos económicos son los más importantes en un control efectivo de la enfermedad, especialmente en países en desarrollo, ya que en ellos conviven cultivos de subsistencia con bajo nivel tecnológico y grandes superficies comerciales con uso de alta tecnología. Es más, se debe considerar que el Tizón tardío es una enfermedad comunitaria, que cuando aparece en un lugar se dispersa rápidamente y afecta a pequeños y grandes agricultores.

Considerando que los productos fungicidas son las herramientas más usados para el control, es fundamental optimizar el uso de ellos, ya que su mal uso conlleva a serios problemas económicos, sociales y ambientales. Mizubuti y Forbes (2002) comentan que en países en desarrollo la investigación en epidemiología de esta enfermedad debe optimizar el uso de fungicidas sin comprometer las utilidades y acompañado de una fuerte capacitación en manejo integrado.

En Chile, algunos agricultores no controlan la enfermedad y tienen pérdidas de hasta un 50% de producción en años favorables para el desarrollo de tizón. Muchos de estos agricultores aplican fungicida al detectar los síntomas, usando el fungicida inadecuado, utilizando una estrategia de aplicación inoportuna y/o aplicando en forma ineficiente, por lo que incurren en gastos sin un buen control de la enfermedad, así tienen pérdidas productivas y con gran riesgo de inducir la proliferación de genotipos de *P. infestans* resistentes a los fungicidas utilizados, lo cual tiene como consecuencia en el desarrollo de genotipos resistentes con la consiguiente pérdida de alternativas de control de epidemias de Tizón. Esta situación los obliga a cosechar y vender anticipada y rápidamente, con la pérdida de rendimientos y baja de precios que esto implica.

A su vez, en el otro extremo, están los agricultores que aplican en forma preventiva logrando controlar la enfermedad, pero a un altísimo costo, lo que disminuye la rentabilidad de la producción y aumenta la contaminación ambiental. Por lo tanto, una estrategia de control de Tizón tardío debe considerar:

- **Un manejo cultural que no favorezca la enfermedad:** tales como la utilización, en lo posible, de cultivares menos susceptibles, uso de tubérculo semilla sano, fertilización nitrogenada balanceada de acuerdo al objetivo de producción, densidad y ubicación de plantación que favorezca la ventilación, evitar el daño de plantas y tubérculos en las labores agrícolas, implementar un riego eficiente, entre otros.
- **Uso eficiente y oportuno de fungicidas:** Al usar fungicidas en el control de esta enfermedad es importante aplicarlos en forma óptima, conociendo la eficiencia de control, modo de acción, efecto residual y fundamentalmente el saber cuándo hacer la primera aplicación y su frecuencia, lo cual dependerá de la resistencia del cultivar, las condiciones climáticas y la presencia del patógeno en el sector (Foto 1). Se han desarrollado sistemas de alerta temprana que se basan en modelos computacionales que usan datos climáticos para predecir las condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad y se utilizan como herramientas de apoyo a la toma de decisiones para el manejo del control químico.



**Foto 4.1.** Cultivo de papa cv Shepody, con daño de a Tizón tardío en parcelas experimentales con y sin control de fungicidas.

## 4.2 Control químico

El control químico es parte importante de las estrategias del manejo integrado del Tizón tardío de la papa y debe considerar la utilización de productos capaces de prevenir la infección o realizar algún tipo de control posterior a la infección, pero, previo a la aparición de síntomas. El objetivo es que las plantas permanezcan sanas durante todo el período de cultivo.

Los productos usados para el manejo del Tizón tardío pueden ser clasificados según:

### Movilidad:

- **Fungicidas de contacto:** Se denominan fungicidas de contacto, preventivos o residuales a todos los productos que actúan en la superficie de las hojas (no ingresan al interior del tejido foliar), evitan la germinación y penetración de los esporangios o de las zoosporas en los tejidos disminuyendo el inóculo potencial. Sólo protegen las zonas donde se deposita el fungicida, por lo tanto, para que sean eficientes contra el Tizón tardío tienen que cubrir necesariamente toda la superficie de la planta. Esto último no siempre se consigue en el campo, debido a una aplicación deficiente, baja cobertura y mojamiento, lavado por la lluvia del producto aplicado o porque las hojas que crecen después de la aspersión del producto no están protegidas contra el patógeno. Dependiendo de las condiciones ambientales, las aplicaciones con estos productos pueden realizarse cada 5 a 10 días. Una vez que el patógeno ha entrado en la planta estos fungicidas no tienen efecto sobre el patógeno.
- **Fungicidas Sistémicos:** Se les llama fungicidas sistémicos, a todos los productos químicos que, al ser aplicados al follaje, ingresan a los tejidos y se traslocan dentro de la planta. La movilidad de estos fungicidas en la planta puede ser: Translaminar, el fungicida penetra en la planta y se moviliza en la hoja del haz al envés o viceversa; Acropétalo, pueden moverse del punto donde penetra hacia arriba en la planta; y en menor medida Basipétalo, es decir hacia abajo en la planta, por lo tanto, según esta característica de movilidad tendrán o no la capacidad de proteger las hojas producidas después de la aplicación. Cabe destacar que los fungicidas sistémicos presentan diferente capacidad de moverse en la planta la que puede ser alta, media o baja y su movimiento es hacia los puntos de crecimiento (Cuadro 4.1 y Figura 4.1).

## Modo de acción

- **Protección:** Capacidad de matar las esporas antes o durante la germinación y penetración, por lo tanto, el fungicida debe estar en la planta antes que el patógeno caiga sobre el tejido.
- **Curativo:** Capacidad de actuar contra el patógeno inmediatamente después de la infección, pero antes de la aparición de los síntomas.
- **Antiesporulante:** capacidad de disminuir la formación de esporangióforos y/o disminuir la viabilidad de los esporangios de las lesiones.

## Otras características:

- **Protección de nuevos crecimientos:** Capacidad de proteger el tejido nuevo después de la aplicación, dado su capacidad de movimiento o redistribución en la planta.
- **Protección de tallos:** la efectividad que presenta el producto para el control de la infección en tallos por contacto directo o por movimiento sistémico.
- **Resistencia al lavado:** Un producto es resistente al lavado si después de la aplicación se ha secado adecuadamente o ha sido absorbido por el tejido de la planta, de modo que su efectividad no se altera si llueve o se riega.
- **Efecto residual:** Es el tiempo que el producto permanece activo, después de la aplicación, conservando las propiedades para el control del patógeno.

Los fungicidas de acuerdo a su modo de acción, inhiben algunas o varias etapas específicas del metabolismo del patógeno, por lo que su uso continuo puede generar la aparición de cepas del hongo resistentes a estos fungicidas. Adicionalmente, el efecto curativo y antiesporulante de estos fungicidas varía según sus ingredientes activos y su formulación.

Es importante destacar que los fungicidas son más efectivos en la etapa de inicio de la infección, antes de que los síntomas puedan ser vistos fácilmente, ningún fungicida puede curar una infección completamente, el efecto es menor una vez que el tizón se ha establecido, especialmente cuando el clima es favorable para su infección y desarrollo y la enfermedad está muy activa.

Las aplicaciones de fungicidas se deben realizar usando las dosis recomendadas comercialmente, con una boquilla apropiada que produzca gotas para una

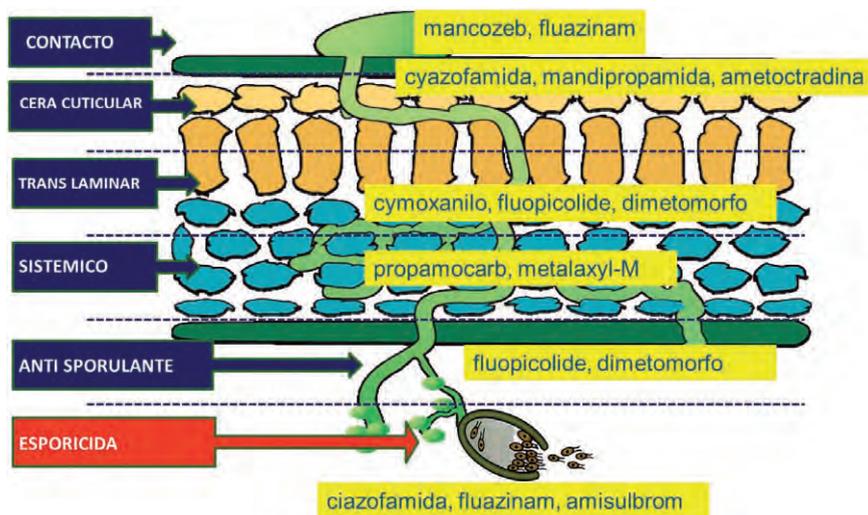
buena cobertura y mojamiento de la planta, especialmente la cara inferior de los foliíolos (envés) en el caso de los fungicidas de contacto. Se debe evitar que el producto escurra al suelo a fin de ahorrar en el costo de aplicación y evitar la contaminación del medio ambiente.

**Cuadro 4.1.** Principales fungicidas para Tizón tardío disponibles en Chile y sus características.

Producto Comercial	Ingrediente activo	Dosis (1) (pc/ha)	Movilidad	Tipo de movilidad	Modo de acción (2)
Manzate 200	Mancozeb 800 g/kg	1,5-2,5 kg	Contacto		Preventivo (++)
Dithane NT	Mancozeb 800 g/kg	1,5-2,5 kg	Contacto		Preventivo (++)
Macozeb 80% PM	Mancozeb 800 g/kg	1,5-2,5 kg	Contacto		Preventivo (++)
Antracol 70% WP	Propineb 700 g/kg	2,0-2,5 kg	Contacto		Preventivo (++)
Polyram DF	Metiram 800 g/kg	1,5-2,5 kg	Contacto		Preventivo (++)
Bravo 720	Clorotalonil 720 g/l	0,9-1,35 L	Contacto		Preventivo (++)
Glíder 72 SC	Clorotalonil 720 g/l	0,9-1,35 L	Contacto		Preventivo (++)
Balear 720 SC	Clorotalonil 720 g/l	0,9-1,35 L	Contacto		Preventivo (++)
Chlororalonil 720 SC	Clorotalonil 720 g/l	0,9-1,35 L	Contacto		Preventivo (++)
Hortyl 50 F	Clorotalonil 500 g/l	2,5-3,5 L	Contacto		Preventivo (++)
Pugil	Clorotalonil 500 g/l	1,3-1,9 kg	Contacto		Preventivo (++)
Stimo WP	Zoxamide 73 gr/kg	2,0-2,5 kg	Contacto		Preventivo (+++)
	Mancozeb 727 gr/kg				
Shirtan 500 SC	Fluazinam 500 g/l	0,4-0,6 L	Contacto		Preventivo (+++)
Ranman	Ciazofamid 400 g/l	200 cc	Contacto		Preventivo (+++)
Revus 250 SC	Mandipropamida 250 g/l	0,4-0,6 L	Contacto	Translamínar	Preventivo (+++), Curativo (+), antiesporulante (++)
Revus Top	Difenoconazol 250 g/L	0,5 L	Sistémico	Translamínar	Preventivo (+++), Curativo (+), antiesporulante (++)
	Mandipropamid 250 g/l		Contacto		
Valis M	Valiphenal 60 gr/kg	2,5-3,0 kg	Contacto	Translamínar	S/I
	Mancozeb 600 gr/kg		Contacto		
Danjiri 10% SC	Etaboxam 100 gr/kg	0,75-1,5 L	Contacto	Translamínar	S/I
Curzate Mz	Cymoxanil 80 g/kg	1,5-2 kg	Sistémico	Translamínar, acropétalo medio	Preventivo (++) , Curativo (++) , antiesporulante (+)
	Mancozeb 640 g/kg		Contacto		
Moxan Mz	Cymoxanil 80 g/kg	1,5-2 kg	Sistémico	Translamínar, acropétalo medio	Preventivo (++) , Curativo (++) , antiesporulante (+)
	Mancozeb 640 g/kg		Contacto		
Rapizent	Cymoxanil 80 g/kg	1,5 kg	Sistémico	Translamínar, acropétalo medio	Preventivo (++) , Curativo (++) , antiesporulante (+)
	Mancozeb 640 g/kg		Contacto		
Equation Pro	Cymoxanil 300 g/kg	0,6-0,8 kg	Sistémico	Translamínar, acropétalo medio	Preventivo, curativo (++) , antiesporulante (+)
	Mancozeb 640 g/kg		Contacto		
Forum SC	Dimetomorfo 500 g/l	360 cc	Sistémico	Translamínar acropétalo (bajo)	Preventivo (++) , Curativo (+), antiesporulante (++)
Zampro DM	Dimetomorfo 225 g/l	0,8-1,0 L	Sistémico	Translamínar acropétalo (bajo)	Preventivo (++) , Curativo (+), antiesporulante (++)
	Ametoctradina 300 g/l		Contacto		
Orvego WG	Ametoctradina 120 g/l	1,5-2,0 kg	Contacto	Translamínar	Preventivo (++) , Curativo (+), antiesporulante (++)
	Metiram 440 g/kg		Contacto		
Infinito 687,5 SC	Propamocarb HCl 625 g/l	1,6-2,0 L	Sistémico	Translamínar acropétalo (medio)	Preventivo (+++), Curativo (++) , antiesporulante (+++)
	Fluopicolide 62,5 g/l		Contacto		

Producto Comercial	Ingrediente activo	Dosis (1) (pc/ha)	Movilidad	Tipo de movilidad	Modo de acción (2)
Consento 450 SC	Propamocarb HCl 375 g/l	2,0-2,5 L	Sistémico	Translaminar, acropétalo (medio)	Preventivo (++), Curativo (++), antiesporulante (++)
	Fenamidon 75 g/l		Contacto		
Ridomil Gold MZ 68 WG (3)	Mefenoxam 40 g/kg	2,5 kg	Sistémico	Translaminar, acropétalo (alto), basipétalo (bajo)	Preventivo
	Mancozeb 640 g/kg		Contacto		
Folio Gold 440 SC (3)	Mefenoxam 40 g/l	2,0-2,5 L	Sistémico	Translaminar, acropétalo (alto), basipétalo (bajo)	Preventivo
	Clorotaloni 400 g/l		Contacto		
Metalaxil Mz 58 (3)	Metalaxil 100 g/kg	2,0 kg	Sistémico	Translaminar, acropétalo (alto), basipétalo (bajo)	Preventivo
	Mancozeb 480 g/kg		Contacto		
Galben M (3)	Benalaxil 80 g/kg	2,5-3,0 kg	Sistémico	Translaminar, acropétalo (alto), basipétalo (bajo)	Preventivo
	Mancozeb 650 g/kg		Contacto		

- (1) Dosis por hectárea indicadas corresponden a lo recomendado en la etiqueta del producto.
- (2) Información adaptada de la Tabla de fungicidas de Euroblight. <http://euroblight.net>. Escala de eficiencia según: + = bajo, ++ = bueno, +++ = alto.
- (3) Estudios realizados por INIA Remehue en la zona sur de Chile detectaron resistencia de *P. infestans* a los ingredientes activos del grupo químico de las acilalaninas (Metalaxil, Mefenoxam, Benalaxil).
- (4) Para determinar la mejor estrategia de control químico se recomienda ponerse en contacto con su asesor técnico.



**Figura 4.1.** Tipo de movilidad de algunos ingredientes activos usados en el control de *Phytoththora infestans*. Esquema gentileza de Dr. Huub Schepers,

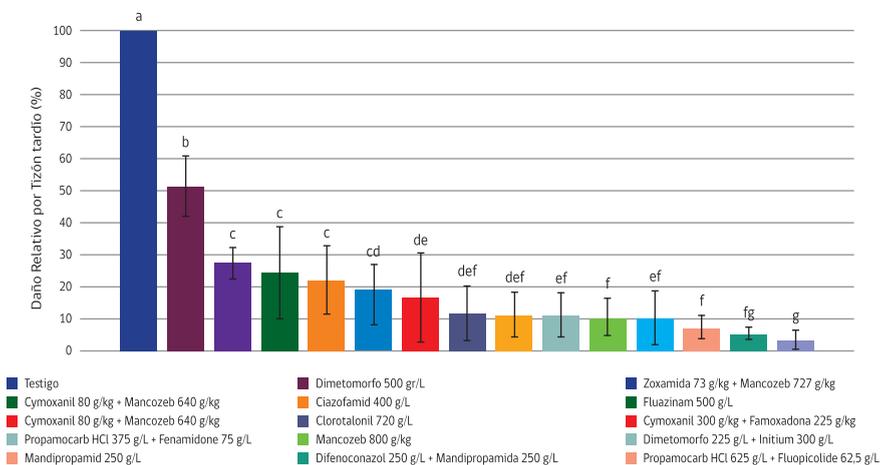


Figura 4.2. Eficiencia de control de Tizón tardío de diferentes fungicidas comerciales.

### 4.3 Estrategias de aplicación

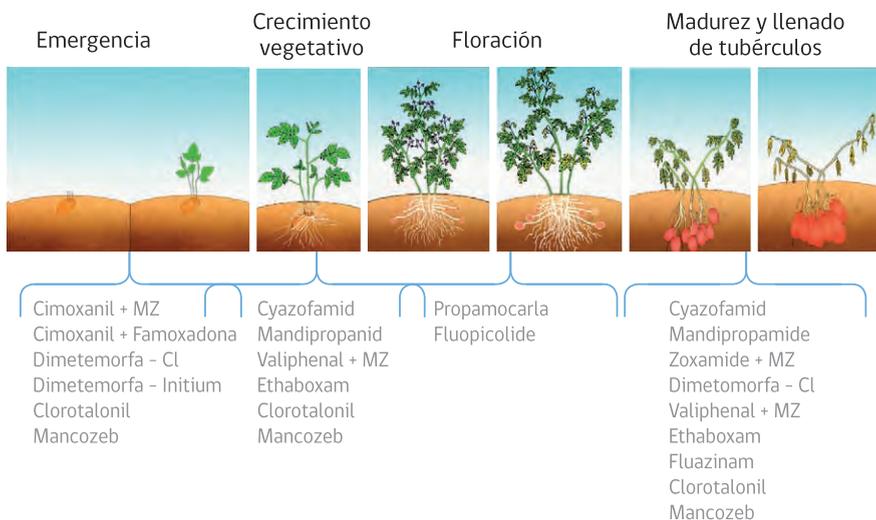
Una estrategia de manejo químico para Tizón tardío debe considerar los siguientes factores: condiciones locales históricas de presencia de Tizón tardío en la zona, tipos de fungicidas disponibles en el mercado y sus características, la oportunidad apropiada para una aplicación considerando la condición ambiental, el estado de desarrollo de la planta, las fases del ciclo biológico de *P. infestans*, la susceptibilidad del cultivar y el manejo agronómico (especialmente riego y fertilización nitrogenada) y su eficiencia de control (Cuadro 4.1, Figura 4.2). Por ejemplo, en una zona de clima muy favorable para el desarrollo del Tizón tardío o un año con condiciones favorables para la enfermedad, con producciones intensivas de cultivares muy susceptibles y riego por aspersión, se recomienda que las aplicaciones comiencen con un fungicida sistémico, por el contrario, en una zona de clima no muy favorable y con producciones de cultivares de resistencia media a alta, las aplicaciones pueden comenzar con un fungicida de contacto (Figura 4.3).

Por lo tanto, la estrategia química, debe unir las características del fungicida a utilizar con la presión de la enfermedad y las fases importantes de crecimiento de la planta:

- **Emergencia:** La aplicación en forma preventiva de fungicidas debe realizarse 10 días después del 80% de emergencia en un calendario fijo de aplicaciones, o cuando un sistema de alerta temprana o pronosticador detecten condiciones ambientales favorables, especialmente si se han

detectado los primeros síntomas de Tizón tardío en la localidad (presencia de inóculo del patógeno en el sector). Se debe evitar esperar la presencia de síntomas de la enfermedad en la plantación.

- **Crecimiento vegetativo:** Esta es una etapa de mucha susceptibilidad debido a que el crecimiento vegetativo es muy rápido, por lo que el tejido nuevo queda desprotegido. En esta etapa es recomendable la incorporación de productos de acción sistémica en el programa, especialmente antes del cierre de la entrehilera e inicio de floración. La frecuencia de aplicación de los fungicidas en un programa a calendario fijo puede ser de 5 a 14 días según las condiciones climáticas y las características del fungicida (efecto residual, resistencia al lavado, movilidad, etc.). En un sistema basado en el uso de pronosticadores, la frecuencia dependerá de las alertas detectadas, sin embargo, es recomendable la aplicación de un producto de acción sistémica o contacto, según susceptibilidad del cultivar y sistema productivo, antes del cierre de la entrehilera y en inicio de floración.
- **Floración:** En esta etapa la planta termina su desarrollo vegetativo, se inicia la floración y termina en la formación de frutos. Esta etapa es parte importante de la expresión del potencial de rendimiento de la planta, ya que está en su máximo desarrollo foliar e iniciando la formación de tubérculos y definiendo su cantidad. En este momento se recomienda la utilización de productos de alta sistemía. La frecuencia de aplicación dependerá de las condiciones ambientales o un programa fijo. Es necesario tener especial cuidado en la eficiencia de la aplicación, utilizando altos volúmenes de agua que aseguren una buena cobertura y mojamiento. La parte basal de las plantas mantiene un microclima con alta humedad relativa que favorece la presencia de *P. infestans*.
- **Madurez y llenado de tubérculos:** En esta última etapa de desarrollo de la planta se produce el llenado de tubérculos y la definición del rendimiento final. También, es un período de gran riesgo para la infección de los tubérculos, especialmente si hay condiciones de alta humedad en el suelo, follaje mojado y tubérculos muy superficiales. En esta etapa se sugiere la utilización de productos de contacto o translaminares con buen efecto antiesporulante, ya que los fungicidas sistémicos disminuyen su eficacia, porque no hay un activo crecimiento de la planta.



**Figura 4.3.** Estrategia de control químico según estados de desarrollo de la planta. Control químico basado en el uso de sistemas de alerta temprana. Fuente: <http://manualinia.papachile.cl>

Los pronosticadores o sistemas de alerta temprana son herramientas de apoyo a la toma de decisiones, que permite a los agricultores realizar aplicaciones de fungicidas en el momento oportuno, seleccionando el producto adecuado de acuerdo a su sistema productivo y objetivo de la producción. El uso de pronosticadores permite un mejor manejo de la enfermedad y un uso más eficiente y racional de los fungicidas disponibles para su control (Figura 4.4).

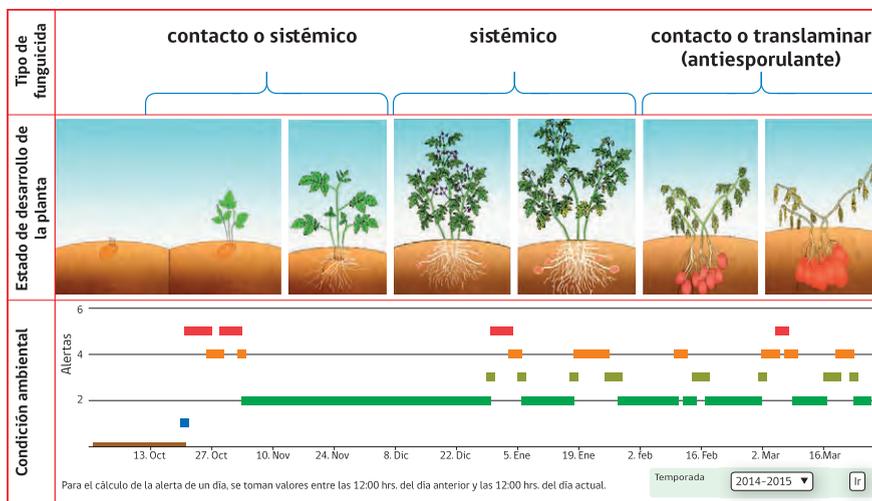
El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) inició estudios para el desarrollo y validación de un sistema de alerta temprana de tizón tardío el año 2003, donde se realizaron experimentos de campo para determinar su efectividad como una herramienta de apoyo a la toma. Este sistema es una plataforma de información que modela datos meteorológicos capturados desde la Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas de INIA, ubicadas entre las regiones del Bío Bío y Los Lagos, con el fin de determinar si existen las condiciones favorables para el desarrollo de infecciones por *P.infestans*. Según los datos registrados, el sistema de alerta diferencia 5 categorías fácilmente distinguibles por colores, las cuales están asociadas a una actividad sugerida en la toma de decisiones:

- **Alerta Café:** es el período que va desde que existen condiciones para la emergencia de plantas voluntarias hasta el momento de la primera alerta. La primera alerta es señalada con color azul y corresponde al momento en que se han acumulado condiciones para que el hongo comience a infectar y

propagarse. Durante este período no es necesario la protección química del cultivo. Sin embargo, si las plantas presentan un rápido crecimiento y cierre de la entre hilera, se podría hacer una aplicación preventiva.

- **Alerta Roja:** es un nivel de condiciones muy favorables para la infección y el desarrollo de tizón tardío. La recomendación, en estas condiciones, es la aplicación de fungicidas preventivos o curativos y la mantención de la protección del cultivo con una frecuencia según el efecto residual del producto utilizado (5 a 10 días).
- **Alerta Naranja:** existen condiciones favorables para el desarrollo de tizón tardío. Se recomienda aplicar fungicidas preventivo o curativo y repetir el tratamiento si las condiciones persisten en los próximos 7 a 14 días, según el efecto residual del producto utilizado.
- **Alerta Amarilla:** las condiciones meteorológicas para el desarrollo de tizón tardío son medias a bajas. Se recomienda observar el cultivo y estar atento a las condiciones en los días siguientes para tomar medidas si fuese necesario. Si se ha detectado la presencia de la enfermedad en el algún sector cercano al cultivo o la variedad es muy susceptible, es recomendable una aplicación preventiva.
- **Alerta Verde:** son días en que no hay condiciones para el desarrollo de la enfermedad. Bajo estas condiciones no es necesario la aplicación de fungicidas si la enfermedad no está presente en el cultivo.

El uso del sistema de alerta temprana en la zona sur de Chile ha demostrado una alta eficiencia en el control de tizón tardío, logrando disminuir en un 50% la cantidad de aplicaciones necesarias, en comparación a un programa a calendario fijo, con un nivel de control similar.



**Figura 4.4.** La estrategia de manejo químico para el control de Tizón tardío debe considerar las características del fungicida, el estado de desarrollo de la planta y la condición ambiental del momento.

## 4.4 Literatura consultada

- Acuña, I., Muñoz, M., Sandaña, P., Orena, S., Bravo, R., Kalazich, J., Tejeda, P., Castro M.P. y C. Sandoval. 2015. Manual Interactivo de la papa INIA. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. <http://manualinia.papachile.cl>. Certificado de Registro Dibam 264.876.
- Acuña, I. y J. Rojas. 2006. Principales enfermedades del cultivo de papa. En: J. Rojas y S. Orena (editors). Manual de producción de papa para la Agricultura Familiar Campesina (AFC). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA n° 147.
- Acuña, I., G. Secor, V. Rivera y R. Bravo. 2003. Sistema de alerta temprana del Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de la papa. En: Maldonado, I. y Aravena, A. Redes de estaciones meteorológicas y sus aplicaciones productivas. Boletín INIA n° 145, Chillan, Chile.
- Acuña, I., R. Bravo, J. Inostroza, N. Gaete, I. Maldonado, J. Solano, C. Bravo, M. Vargas, P. Corvalán y H. Pauchard. 2006. Evaluación y calibración de un sistema de pronóstico como herramienta de apoyo para el control de Tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile. XI Reunión Nacional de la papa. XI reunión Nacional de la papa, Desafíos del rubro papa: calidad y diversificación. Hotel Cabañas del Lago, 13, 14 y 15 de Diciembre de 2006. Puerto Varas, Chile. P 24.

- Acuña, I., B. Sagredo, R. Bravo, M. Gutiérrez, I. Maldonado, N. Gaete, J. Inostroza, G. Secor, V. Rivera, J. Kalazich, J. Solano and J. Rojas. 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 pp.
- Agrios, G. N. 2001. Plant Pathology. Fourth Edition. Academic Press. San Diego, Ca. USA. 635pp.
- Bimsteine, G and I. Turka. 2002. Efficiency of potato Late Blight control models. Proceedings in Agronomy N° 4 p. 35–39 (Abstract).
- Crissman, L. and C. Lizárraga. 1999. Late Blight: a treat to global food security. Vol I. Proceeding of the Global Initiative on Late Blight Conference. March 16–19. Quito, Ecuador. 157pp
- Dacom Plant Plus. 2003. Plant Plus Manual. Using Plant-Plus on the internet. <http://www.plant-net.com/ppo.htm>.
- Fernandez-Northcote, E., O. Navia y A. Gondolilla. 1999. Bases de las estrategias de control químico del Tizón tardío de la papa desarrolladas por PROINPA en Bolivia. Revista latinoamericana de la papa ALAP Volumen 11 N°1. 1998/1999.
- Forbes, G.A. and J.T. Korva. 1994. The effect of using a Horsfall-Barratt scale on precision and accuracy of visual estimation of potato late blight severity in the field. Pla. Path 43:675–682.
- Forsund, E. 1983. Late blight forecasting in Norway 1957–1980. EPPO Bulletin 13(2):255–258.
- Fry W., E. G. Mizubuti, H.S. Mayton, D.E. Aylor and J. Andrade-Piedra. 2002. Late blight forecasting: Quantifying the risk from a know source. Proceedings of the Global Initiative on Late Blight Conference. July 68–70. Hamburg. Germany
- Fry, W.E., A.E. Apple and J.A. Bruhn. 1983. Evaluation of potato late blight forecasts modified to incorporate host resistance and fungicide weathering. Phytopathology 73:1054–1059.
- Hansen J.G., B. Anderson and A. Hermansen. 1995. NEGFY- A system for scheduling chemical control of late blight in potato. In. *Phytophthora infestans 150: European Association for Potato Research (EAPR)*. L.J. Dowley et al. (Eds.) Boole Press, Ltd. Dublín, pp 201–208.

- Hyre, R.A. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reports*: 245–253.
- Johnson, D., J. Alldredge and P. Hamm. 1998. Expansion of potato Late Blight forecasting models for the Columbia Basin of Washington and Oregon. *Plant Disease* 82:642–645 (Abstract).
- Krause, R.A., L.B. Massie and A. Hyre. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Report* 59: 95–98.
- Mizubuti, E. and G.Forbes. 2002. Potato late blight IPM in the developing countries. In: *Late Blight: managing the global threat. Proceeding of the Global Initiative on late Blight Conference. July 11–13. Hamburg, Germany*
- Myint, M., T.Su and K. Win. 2001. Effect of different fungicides application based on disease forecasting in controlling of potato late blight in Myanmar. *International Workshop on Potato late blight of the ESEAALG, GILB, NAAES and KNU. Octubre 15–National Alpine Agricultural Research Station, Pyongchang, Republic of Korea.*
- Pérez, W. y G. Forbes. 2008. *El Tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima Perú.* 41 pp.
- Schepers, H.T. 2002. Potato late blight IPM in the industrialized countries. In: *Late Blight: managing the global threat. Proceeding of the Global Initiative on late Blight Conference. July 11–13. Hamburg, Germany.*
- Secor, G. A. 2003. Estrategias de manejo integrado de Tizón tardío. En: *Seminario “Manejo Integrado de Enfermedades en el Cultivo de la Papa”* 3 de April 2003. INIA–Carillanca. Temuco.
- Sedegui, M., R. Carroll, A. Morehart, A. Arifi, R. Lakhdar and A. Belarbi. 1997. Forecasting potato Late Blight in Morocco. *Al-Awamia, Publ. 1999, N° 97, p. 9–15 (Abstract)*
- Smith, L.P. 1956. Potato blight forecasting by 90% humidity criteria. *Plant Pathology* 5:83–87.
- Stevenson, W. 1997. Integrated crop management decision-making for the grower using Wisdom Software. *Proceeding of the 32nd Annual Montana Seed Potato Seminar. Montana, USA.*
- Stevenson, W., D. Curwen, K.A. Kelling, L.K. Wyman, L.K. Binning and T.R. Connel. 1994. Wisconsin’s IPM Program for potato: The development process. *Hort Technology* 4: 90–95
- Stevenson, W., R Loria, G. Franc and D. Weingartner. 2001. *Compendium of Potato Diseases. Second Edition. APS Press. St. Paul Minnesota. USA. 106pp*

- Ullrich, J. and H.Schrodter. 1966. Das problem der vorhersage des aufretens der kartoffelkrautfaule (*Phytophthora infestans*) und die möglichkeit seiner losung durch eine negativprognose. Nachrichtenblatt dt. Pflanzenschutzdienst (Braunschweig) 18:33-40
- Wallin, J.R. 1962. Summary of recent progress in predicting the late blight epidemics in United States and Canada. American Potato Journal 39:306-312

## CAPITULO 5.

# SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA PARA EL MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO EN EL SUR DE CHILE

### **Rodrigo Bravo Herrera**

Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral de Chile. M.Sc. Universidad Austral de Chile. Investigador especialista en economía agraria y gestión, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [rbravo@inia.cl](mailto:rbravo@inia.cl)

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

### **Jorge Gatica**

Jorge Gatica Velasquez. Ingeniero Civil Informático. Universidad de Los Lagos. Analista y Desarrollador en Agrometeorología. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [jorge.gatica@inia.cl](mailto:jorge.gatica@inia.cl)

## 5.1 Introducción

El conocimiento que se ha adquirido a través de la investigación acerca de las características biológicas de Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) y su alta dependencia de las condiciones meteorológicas, han permitido generar criterios y modelos para apoyar la toma de decisiones en el control y manejo de la enfermedad. En general, estos sistemas están basados en el monitoreo de las condiciones meteorológicas, especialmente temperatura y humedad del ambiente, y buscan establecer a través de la temporada de cultivo, si existen condiciones para el desarrollo de la enfermedad lo que podría afectar el rendimiento si no se realiza control químico. Estos modelos y sistemas se han desarrollado en diferentes países y en algunos casos, como Chile, se han implementado con bastante éxito como una forma de apoyar la toma de decisiones de los productores de papa en el control de la enfermedad.

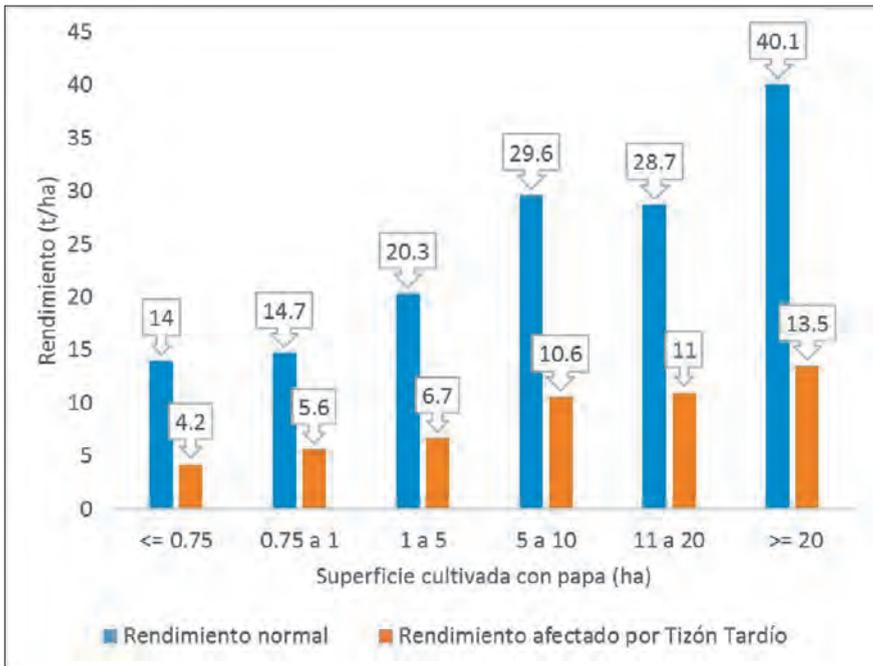
En un contexto de mayor variabilidad climática y mayor disponibilidad de datos meteorológicos, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones permiten hacer una agricultura más racional, y en eso los sistemas de alerta de enfermedades como el Tizón tardío pueden hacer una contribución significativa. El uso de sistemas de apoyo a la toma de decisiones permite hacer un uso racional de los fungicidas ya que es posible detectar el momento adecuado de aplicación y, eventualmente, reducir el costo asociado en comparación con criterios

de aplicación con un calendario fijo, en aquellas zonas donde la aparición de condiciones ambientales positivas para la enfermedad tiene una frecuencia menor. En el caso de zonas de condiciones más favorables para Tizón tardío, los sistemas de alerta ayudan a decidir cuándo comenzar con las aplicaciones de fungicidas.

## **5.2 Impacto en el rendimiento del cultivo de papa en el sur de Chile.**

El potencial de daño económico que ha generado y puede generar Tizón tardío a las empresas agrícolas es muy alto por la reducción en la productividad del cultivo de papa. En la temporada 2006-2007, el sur de Chile fue afectado en forma extensa por Tizón tardío, momento en que se reportaron reducciones significativas del rendimiento en el cultivo de papa, lo que se tradujo en la implementación de una serie de medidas paliativas, especialmente, en el segmento de pequeña agricultura.

Para los productores de papa en el sur de Chile, esta enfermedad es una preocupación muy importante, ya que cada temporada se dan condiciones apropiadas para su desarrollo de acuerdo a la variabilidad climática en la localidad donde se realice el cultivo. Entre productores menores a 5 hectáreas de cultivo de papa, más del 80 % señala que ha tenido problemas con la enfermedad y más del 60 % de los productores de papa de más de 5 hectáreas de cultivo señalan lo mismo. En estos grupos de productores de papa las pérdidas en el rendimiento pueden superar el 60 % del rendimiento (Figura 5.1), considerando como patrón de comparación el rendimiento normalmente obtenido por ellos cuando no tienen problemas con Tizón tardío. De hay que la enfermedad sea una preocupación importante de los productores de papa.



**Figura 5.1.** Comparación entre rendimiento normal y rendimiento afectado por Tizón tardío de acuerdo a la apreciación de los productores de papa (elaboración propia a partir de encuesta aplicada a productores usuarios del sistema de alerta de Tizón tardío).

Para enfrentar el problema se han utilizado diversas alternativas de manejo, siendo el uso de productos químicos fungicidas recurrente estrategias de aplicación con una periodicidad fija a través de la temporada desde el momento en que aparecen los síntomas de la enfermedad, es decir, cuando el hongo ha colonizado, desarrollado y crecido produciendo los primeros daños a las hojas del plantel de papa. Estas estrategias tienen una gran debilidad en cuanto a que no incorporan las características de resistencia de los cultivares de papa, o los modos de acción de los fungicidas y otras medidas de manejo preventivo que permitiría usar el control químico en forma racional, lo que en algunas temporadas y/o localidades puede ser más económico y más amigable con el medio ambiente, cuestiones de mayor importancia para la agricultura de hoy y del futuro. De esta manera los sistemas de alerta adquieren alto valor para el control de la enfermedad en cuanto logran predecir adecuada y oportunamente el momento en que existen las condiciones para el desarrollo de la enfermedad.

## 5.3 Fundamentos de los modelos de alerta de Tizón tardío

El Tizón tardío es un hongo que ve favorecido su desarrollo, crecimiento y propagación bajo ciertas condiciones ambientales y en presencia de una planta hospedera, en este caso, las papas como cultivo de interés. La atención que recibido por parte de investigadores ha permitido el desarrollo de modelos para pronosticar el momento en que se presentan las condiciones ambientales para la infección y con ello tener la información para realizar las medidas de manejo que permitan minimizar la incidencia y el daño que puede provocar sobre el cultivo. Todos los modelos que se utilizan relacionan la humedad relativa, la temperatura y las precipitaciones ocurridas para señalar si existen las condiciones para el desarrollo de la enfermedad mediante el cumplimiento del ciclo de reproducción con algunas diferencias en los requerimientos de datos. Mientras algunos utilizan registros diarios de datos otros utilizan registros horarios, o una combinación de ambos. Otra diferencia importante entre los diferentes modelos es que algunos solo pronostican la aparición de Tizón tardío, pero otros además, señalan las subsecuentes aplicaciones necesarias para proteger el cultivo. Entre los primeros se pueden señalar los modelos Hyre, Smith, Wallin y Ullrich y Schrodter. Entre los segundos modelos, se encuentran NegFry, BLITECAST y SIMCAST, lo cuales son la combinación de criterios como el de Hyre, Wallin, etc. De éstos, los más utilizados son NegFry y Blitecast.

En el caso de NegFry, es un modelo de amplio uso en Europa y es la convergencia del modelo de Ullrich y Schrodter que pronostica valores de riesgo de aparición de los síntomas de la enfermedad a partir de datos meteorológicos y el modelo de Fry que genera una agenda de aplicaciones de fungicidas durante la estación de crecimiento del cultivo. El modelo pronostica la aparición de la enfermedad cuando los valores de riesgo superan los 160 acumulados y el valor de riesgo diario es sobre 8. La ventaja de este modelo es que distingue entre variedades susceptible y medianamente resistentes, generando calendarios de aplicaciones diferentes para cada caso. Otra característica es que el modelo está calibrado para el uso de Clorotalonil. NegFry ha sido probado para las condiciones de Sur de Chile, en el marco del proyecto FIA "Uso de pronósticadores para el manejo de Tizón Tardío", sin embargo, comparado con Blitecast generó un exceso de alertas las cuales no eran consistentes con el momento en que se pudieron ver los síntomas de la enfermedad en campo. Además de NegFry y Blitecast, existen un conjunto de otros modelos que buscan predecir el momento de aparición de la enfermedad, de los cuales una completa revisión se encuentra en [www.ipm.ucdavis.edu](http://www.ipm.ucdavis.edu). El Cuadro 1 muestra las principales características de algunos modelos según Juárez (2001) con los requerimientos de datos meteorológicos, el paso de tiempo (horario o diario), y las predicciones objetivo

de cada modelo. Respecto a esto último, los modelos Hyre y Wallin, apuntan a predecir el momento en que se produce la primera alerta, en cambio modelos como BLITECAST o NegFry, además de la primera alerta, apuntan a generar información para el calendario de aplicaciones sucesivas durante la temporada de crecimiento del cultivo, lo cual es muy importante dada la característica de enfermedad policíclica.

**Cuadro 5 1.** Características generales de algunos modelos de predicción de Tizón Tardío.

Modelos	Variables meteorológicas					Objetivo de pronóstico		
	Registros Horarios		Registros Diarios			Inicio Epidemia	Primera aplicación	Aplicaciones Posteriores
	T (°C)	HR %	Lluvia (mm)	T (°C)	Lluvia (mm)			
Hyre				X	X	X		
Smith		X		X			X	
Wallin	X	X				X		X
Ullrich y Schrodler	X	X	X					X
Blitecast	X	X			X		X	X
Simcast	X	X			X			
NegFry	X	X	X				X	X

Fuente: adaptado de Juárez (2001)

## 5.3 Modelo de Alerta Temprana Blitecast.

Uno de los modelos más ampliamente validado y utilizado es Blitecast. Este es la convergencia del modelo desarrollado por una parte por Hyre en 1964 y, por otra parte, por Wallin en 1951. Ambos modelos se basan en datos meteorológicos para predecir el momento en que la enfermedad tiene condiciones ambientales suficientes y favorables para su desarrollo. Hyre utiliza datos diarios y Wallin datos horarios. Blitecast, fue publicado por Krause en 1975 y desde esa fecha se ha validado en Estados Unidos y otras partes del mundo para ser utilizado con datos colectados por estaciones meteorológicas individuales o redes de estaciones que permiten abarcar territorios más amplios, tal como la red construida por la Universidad de North Dakota en Estados Unidos.

Blitecast es un modelo que combina los criterios de Hyre y Wallin para señalar la primera alerta de la temporada y luego una agenda de aplicaciones de fungicidas que permitan proteger el cultivo cada vez que se generen las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del Tizón tardío, distinguiendo en la agenda los períodos sin condiciones para el desarrollo de síntomas, el momento en que se presenta la primera alerta y los períodos de condiciones favorables

desde la primera alerta. Las evaluaciones se realizan desde el día de la emergencia de las plantas lo que corresponde al 50 % de las plantas aproximadamente.

Los datos utilizados por el modelo son precipitación, humedad relativa y temperatura registrado en estaciones meteorológicas cada una hora y considerando períodos de 24 horas desde medio día al mediodía siguiente. Al utilizar el criterio Hyre, el modelo contabiliza los **días favorables** que ocurren cuando en los últimos 5 días la temperatura promedio es menor a 25,5 °C y sobre 7,2 °C, y la precipitación acumulada en los últimos 10 días es mayor a 30 mm. El criterio Wallin, señala la primera alerta cuando contabiliza 18 grados de severidad los que están definidos por una combinación de horas con humedad relativa igual o mayor a 80 % y la temperatura promedio durante dicho período, según la Cuadro 5.2.

La primera parte del modelo indica la ocurrencia inicial o primera alerta de condiciones para el desarrollo de la enfermedad y aparición de síntomas después de 7 a 14 días después de la acumulación de 10 favorables según el criterio Hyre o la acumulación de 18 grados de severidad, según el criterio Wallin. Al ocurrir la primera alerta con cualquiera de los dos criterios mencionados, se debe realizar la primera aplicación de fungicidas para proteger el cultivo.

**Cuadro 5.2.** Rangos de temperatura y horas de humedad relativa mayor a 90 % para la asignación de valores de severidad diario según el criterio Wallin

Rango de temperatura promedio (° C)	Valores de Severidad según el número de horas de Humedad Relativa mayor o igual a 90 %.				
	0	1	2	3	4
7.2 - 11.6	15	16 - 18	19 - 21	22 - 23	≥ 24
11.7 - 15.0	12	13 - 15	16 - 18	19 - 21	≥ 22
15.1 - 26.6	9	10 - 12	13 - 15	16 - 18	≥ 19

Fuente: Krause, et al., 1975.

Las aplicaciones subsecuentes son señaladas por una matriz que combina los criterios de Hyre y Wallin, cómo se indica en el Cuadro 5.3. La combinación de un cierto número de **días favorables (criterio Hyre)** con un cierto número de **grados de severidad acumulados (criterio Wallin)** en los últimos 7 días, genera un mensaje de recomendación que se señala mediante un número del 1 al 4. Los mensajes de recomendación del modelo para el manejo del Tizón Tardío son:

- **Alerta verde:** No hay condiciones para el desarrollo de la enfermedad. Se recomienda no realizar aplicaciones de fungicidas.

- **Alerta Amarilla:** Se recomienda vigilar el estado del cultivo. Alerta de condiciones favorables. Síntomas pueden aparecer en los próximos 7 a 14 días.
- **Alerta Naranja:** Las condiciones son favorables. Se recomienda realizar aplicaciones cada 7 días para proteger el cultivo.
- **Alerta Roja:** Las condiciones son muy favorables. Se recomienda realizar aplicaciones cada 5 días para proteger el cultivo.

Por ejemplo, después de producida la primera alarma según el criterio de Wallin o Hyre, se contabilizan más de 4 días favorables y 4 grados de severidad acumulados en los mismos 7 días, después de producida la primera alarma, el mensaje de recomendación de Blitecast es la aplicación de fungicidas cada 7 días para una adecuada protección del cultivo.

**Cuadro 5.3.** Matriz para la toma de decisiones de la aplicación de fungicidas en el control de Tizón Tardío.

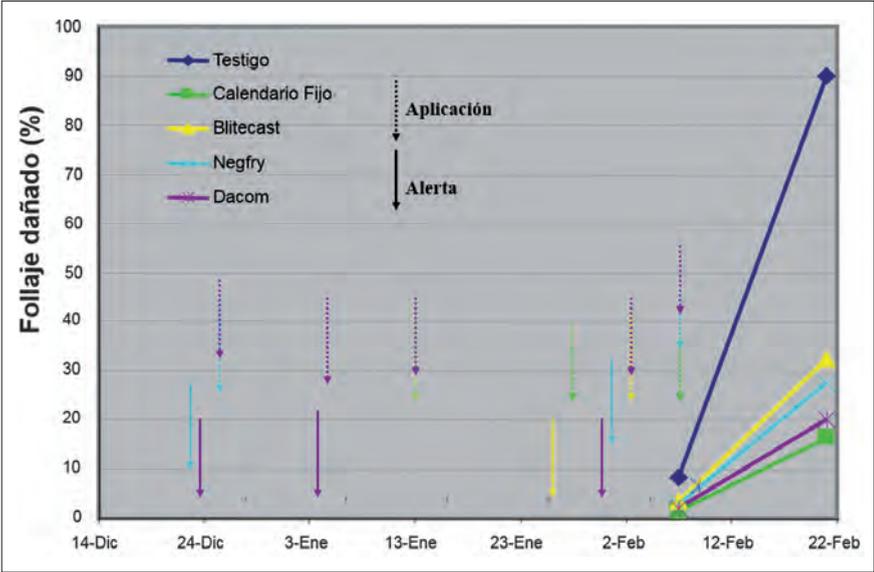
Número de días favorables en los últimos 7 días.	Valores de severidad acumulados en los últimos 7 días.					
	< 3	3	4	5	6	> 6
	Mensaje					
< 5	1	1	2	3	3	4
> 4	1	2	3	4	4	4

Fuente: Krause et al., (1975).

Una característica importante del modelo es que en la evaluación diferencia aquellos períodos en que el ciclo del hongo puede ser más intensivo o menos intensivo, y el período adecuado de protección del cultivo para cada período mencionado, según si las condiciones meteorológicas son más o menos favorables para el desarrollo de la enfermedad, estableciendo aplicaciones cada 7 o 5 días según sea el caso. No obstante lo anterior, Blitecast o cualquier modelo son un insumo más en el proceso de toma de decisiones, y generan información que permite al productor poder definir con mayor propiedad el momento adecuado para realizar medidas de manejo químico que complementan una estrategia más global que contiene elementos como el grado de resistencia de la variedad utilizada, la rotación de cultivos realizada, la calidad de la semilla y el conjunto de actividades para una estrategia de Manejo Integrado de la enfermedad como se ha indicado en el capítulo 4.

Cualquier modelo o sistema de apoyo a la toma de decisiones es necesario validarlo en las condiciones en que se quiere utilizar. En el caso de Blitecast

se validó en el sur de Chile entre el año 2003 al 2006, elaborando estrategias de control experimentales y en campos de agricultores de las Regiones de La Araucanía y Los Lagos, junto con la observación del desarrollo de síntomas en parcelas sin control químico. Los experimentos consideraron los modelos Blitecast, Negfry y Dacom Plant Plus Online, aplicaciones a calendario fijo, y un testigo sin control químico. Utilizando productos con el ingrediente activo clorotalonil o mancozeb se determinó la incidencia y severidad de Tizón tardío para cada tratamiento.



**Figura 5.2.** Daño producido por Tizón tardío en plantas de papa cv Desiree tratadas con fungicidas de contacto según estrategias a calendario fijo y con alerta de los modelos Blitecast, DACOM y NegFry. Flecha continua indica alerta según modelos y fecha discontinua indica aplicación de fungicida según tratamiento. Datos de temporada 2005-2006.

Las tres modelos presentaron diferencias en la sensibilidad de detección de las condiciones predisponentes para Tizón tardío, variando en la cantidad de alertas generadas durante la temporada. Mientras Dacom registró tres alertas, NegFry registró, dos y Blitecas, una. De los tres modelos evaluados, el más consistente fue Blitecast, sin embargo, todos los tratamientos con control químico fueron significativamente mejor que el testigo, cuando se presentó Tizón tardío en las plantas. Bajo estos experimentos se pudo establecer la conveniencia del uso de un sistema de alerta ya que se obtuvieron rendimientos similares en cultivos con aplicaciones a calendario fijo comparados con cultivos en que se utilizó un sistema de alerta temprana, y con menor número de aplicaciones, lo que tiene

un impacto positivo en los costos de producción y el medio ambiente. Con los datos meteorológicos y el modelo de análisis Blitecast ha sido posible establecer exitosas agendas de control de la enfermedad minimizando la incidencia y el número de aplicaciones, pudiéndose señalar que Blitecast es un modelo adecuado a las necesidades y condiciones del cultivo de papa en el sur de Chile.

## **5.4 Variabilidad interanual en las condiciones de desarrollo de Tizón tardío**

Se ha dicho que una de las ventajas de los sistemas de alerta para el control de enfermedades en cultivos es que permite realizar un uso racional de los pesticidas en comparación a estrategias de calendario fijo o de aplicaciones periódicas. Al tener un monitoreo de las condiciones meteorológicas para el desarrollo de enfermedades, el uso de fungicidas será variable a través de la temporada y entre temporadas. Igualmente va a influir la fecha de plantación del cultivo de papa, ya que es un cultivo que crece y se desarrolla en un ambiente que va variando las condiciones de humedad y de temperatura a través de la temporada, y esto incide directamente en la exposición a la enfermedad.

No obstante, ser una zona de alta pluviometría y humedad relativa, la variabilidad interanual del clima en el sur de Chile determina tener condiciones diferentes entre temporadas y localidades y, por lo tanto, necesidades distintas de aplicación de fungicidas para el control de Tizón tardío en cada temporada. En el cuadro 5.4, se muestran los resultados de un ejercicio de simulación para todas las temporadas del cultivo entre el 2010 y el 2018 con Blitecast en diferentes localidades estimando el número de aplicaciones necesarias para mantener el cultivo de papa protegido con fechas de plantación del cultivo de papa en el mes de octubre. También se indica la temporada correspondiente. El número de aplicaciones varía entre localidades y entre temporadas al utilizar los criterios del sistema de alerta temprana con Blitecast. Por ejemplo, aquellas localidades ubicadas en el valle central como Carillanca, Remehue, requirieron menor número de aplicaciones (1 a 2) en las temporadas 2014-2015, y Polizones en el 2011-2012. Las temporadas de mayor necesidad de aplicaciones en estas localidades fueron 2016-2017, y 2017-2018, con un número entre 5 a 7. Aquellas localidades con condiciones más intensas para el desarrollo de Tizón tardío, como Tranapunte, Butalcura o Tara, el número mínimo de aplicaciones de acuerdo a las simulaciones con Blitecast son 5 bajo las condiciones de la temporada 2012-2013, y las condiciones más intensas son con 8 a 9 aplicaciones en las temporadas 2013-2014 y 2014-2015. Estas tres localidades son cercanas a lugares costeros. Estos valores indican que, bajo estas condiciones, el uso de un sistema de alerta puede ser beneficioso en relación a una estrategia de calendario fijo cada 10

días, pues bajo cualquier caso de los mencionados el número de aplicaciones necesarias para proteger el cultivo de papa pueden ser menos de dependiendo de las condiciones meteorológicas. No obstante, en aquellas zonas donde las condiciones son muy intensas en algunas temporadas como Tara o Tranapunte, puede ser beneficioso tener una estrategia más intensiva, donde el sistema de alerta se utiliza para orientar la decisión de cuándo empezar las aplicaciones. Dentro de una temporada el número de aplicaciones podría variar según la fecha de plantación del cultivo.

**Cuadro 5.4.** Simulación con Blitecast del número de aplicaciones de fungicidas para mantener protegido el cultivo de papa ante Tizón tardío de acuerdo a las condiciones meteorológicas entre las temporadas 2010-2011 hasta 2017-2018 y con fecha de plantación en octubre.

Localidad, comuna	Número de aplicaciones. Promedio	Número mínimo de aplicaciones; Temporada	Número máximo de aplicaciones; Temporada
Carillanca, Vilcun	4	2 ; 2014-2015	6 ; 2017-2018
Tranapunte, Carahue	8	5 ; 2012-2013	9 ; 2014-2015
Llollinco, Teodoro Schmidt	7	5 ; 2015-2016	8 ; 2012-2013
Remehue, Osorno	3	1 ; 2014-2015	5 ; 2017-2018
Polizonas, Fresia	4	1 ; 2011-2012	7 ; 2016-2017
Los Canelos, Los Muermos	5	3 ; 2011-2012	9 ; 2014-2015
Butalcura, Dalcahue	7	5 ; 2012-2013	9 ; 2014-2015
Tara, Chonchi	6	5 ; 2017-2018	8 ; 2013-2014

Fuente: elaboración propia utilizando Blitecast en base a los datos de la red agrometeorológica de INIA.

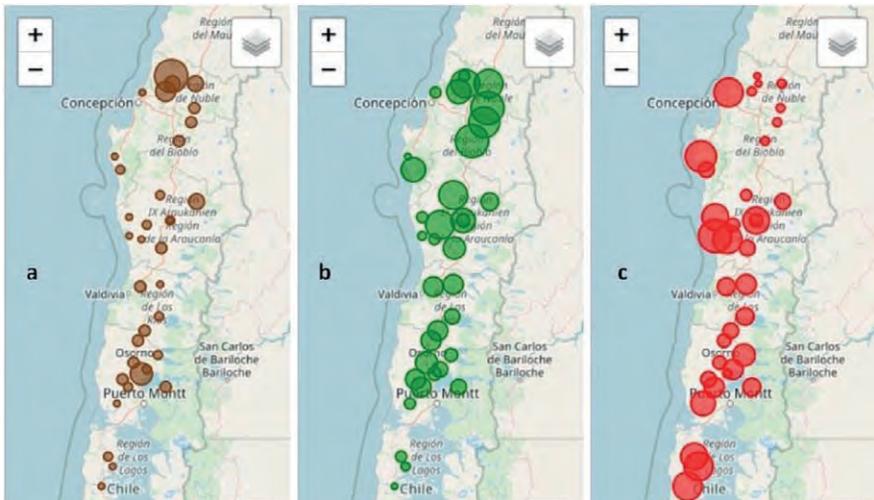
Es así como hay temporadas en que el ataque puede ser tarde en la temporada sin afectar los rendimientos, o puede ser en los estados iniciales de la formación de tubérculos pudiendo afectar gravemente la producción. Dado esto, la efectividad de estrategias utilizando sistemas de alerta tratamientos a calendario fijo pierden efectividad, ya que en temporadas sin condiciones esta estrategia resulta antieconómica, en cambio, utilizando un sistema de alerta permite discriminar entre aquellos días condiciones para la enfermedad de aquellos en que no.

## 5.5 Variabilidad espacial de las condiciones para Tizón tardío

Las condiciones para el desarrollo de la enfermedad van a depender de las condiciones meteorológicas donde se realice el cultivo. El registro de datos

en las estaciones meteorológicas utilizadas en el sistema de alerta temprana permite tener una aproximación a la condición media para Tizón tardío que se presentan en las diferentes localidades del sur de Chile. En la Figura 5.3, el panel **a** indica la condición café donde el tamaño de los círculos está indicando la duración media del periodo entre el inicio de la temporada del cultivo y el primer día en que se dan condiciones para el desarrollo de la enfermedad. El panel **b** indica la condición verde donde se muestra la cantidad de días en que no existen condiciones para el desarrollo de Tizón tardío, y el panel **c** indica la condición roja en que se muestra la suma de días con condiciones medias a altas para el desarrollo de Tizón.

Las localidades con mayor exposición a condiciones favorables para Tizón tardío son aquellas donde la condición café es menor y las condición roja es mayor. De esta manera, de acuerdo a la Figura 5.3 las localidades que están cercanas a la costa de Chile como el sector de La Araucanía costera, o hacia el mar interior de Chilóe, son localidades con mayores condiciones para el desarrollo de Tizón tardío. En las localidades ubicadas en el valle central de Chile la condición café es heterogénea, pero la condición roja tiende a aumentar desde norte a sur y, en forma inversa, la condición verde no favorable a Tizón tardío tiende a disminuir de norte a sur.

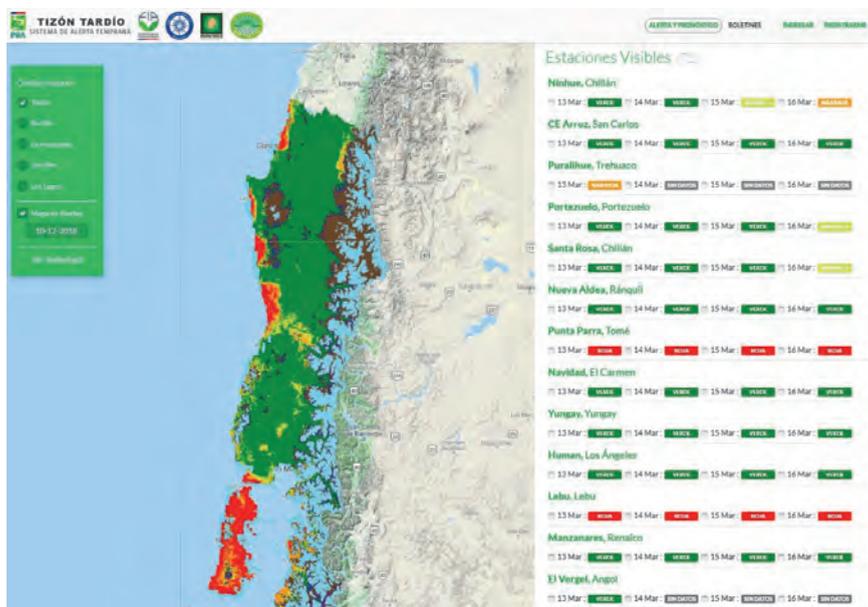


**Figura 5.3.** Condiciones meteorológicas para el desarrollo de Tizón tardío en diferentes localidades del sur de Chile según modelo Blitecast. a) días desde el inicio de la temporada a la primera alerta; b) días sin condiciones para el desarrollo de Tizón tardío; c) días con condiciones medias y altas para el desarrollo de Tizón tardío. A mayor tamaño de los círculos mayor cantidad de días. (Datos de estaciones meteorológicas con 7 a 8 temporadas).

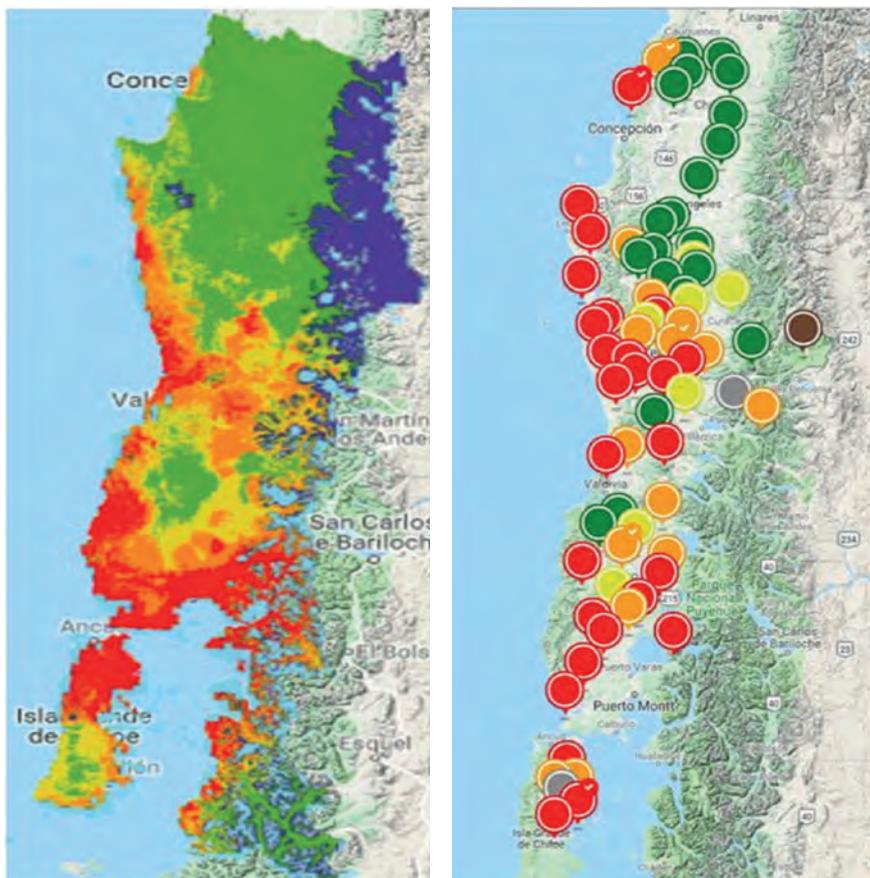
## 5.6 Sistema de Alerta Temprana Tizón Tardío en el Sur de Chile.

El *Sistema de Alerta de Tizón Tardío* es una plataforma de información para la toma de decisiones en el control de la enfermedad en el cultivo de papa y que se encuentra disponible mediante internet (<https://tizon.inia.cl>) con acceso desde PC y desde dispositivos móviles como celulares (Figura 5.4). Para cumplir con la función de entregar una alerta a los usuarios interesados (productores de papa y asesores asociados al rubro), el sitio se mantiene actualizado todos los días durante la temporada de cultivo y “empuja” la información a los usuarios mediante correos electrónicos y mensajes de texto (SMS) a los teléfonos celulares, para que puedan tomar decisiones oportunamente.

Para generar la información de alerta se ocupan los datos generados por la red de estaciones meteorológicas del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) y de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), además del pronóstico meteorológico generado por esta última. Los datos son procesados cada día durante la temporada de cultivo para generar recomendaciones de manejo. El conjunto de estaciones meteorológicas utilizadas abarca toda la zona sur, donde se realiza más del 60 % de la producción de papa en Chile.



**Figura 5.4.** Visualización del sistema de alerta de Tizón tardío con datos espacialmente interpolados para el 10 de diciembre del 2018 (fuente: <https://tizon.inia.cl>)

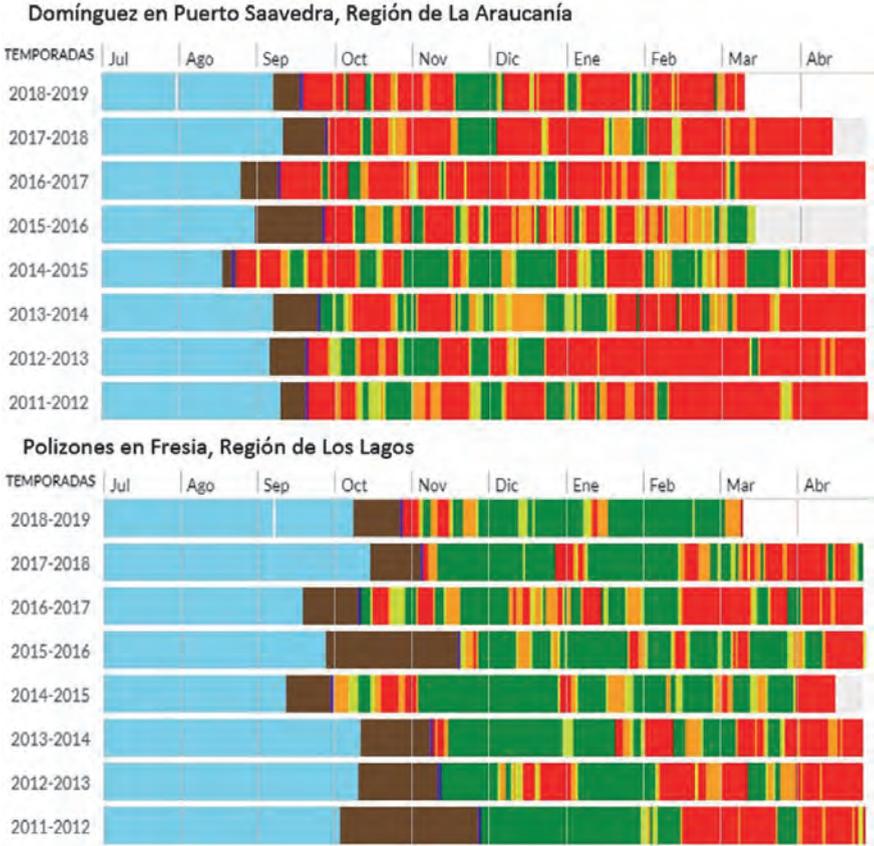


**Figura 5.5.** Red de estaciones meteorológicas del sistema de alerta temprana de Tizón Tardío en el Sur de Chile en la temporada 2018-19. Visualización datos interpolados y con datos puntuales (fuente: <https://tizon.inia.cl>)

El Sistema de alerta de Tizón Tardío, está organizado de tal forma que los usuarios cuenten con información de la temporada, entre diferentes temporadas y espacialmente distribuida. La información de la temporada corresponde a datos diarios con la recomendación o alerta del día con la finalidad que los productores puedan tomar decisiones de manejo de la enfermedad. Además, utilizando el pronóstico meteorológico se entrega una previsión de lo que se puede esperar para los siguientes tres días. La información de alerta se puede ver estación por estación de acuerdo a los colores utilizados en forma puntual. La alerta diaria también se puede ver en forma de zonas de riesgo o de alerta, en que se muestra la información de las estaciones meteorológicas interpolada espacialmente lo que puede servir de referencia para los usuarios que estén

alejados de las estaciones meteorológicas y así tomar decisiones con un grado menor de incertidumbre. Las zonas de alerta son una estimación a partir de interpolar los datos meteorológicos de todas las estaciones meteorológicas utilizadas en el sistema. Esto trata de responder al grado de cobertura de la información generada por cada estación meteorológica (Figura 5.5).

La información entre temporadas que se muestra en el sistema de alerta (Figura 5.6) puede servir a los usuarios para conocer la frecuencia con que se presentan las condiciones para el desarrollo de la enfermedad y planificar el manejo de control químico de la enfermedad, de acuerdo a las fechas de plantación que utilicen. Mientras hay lugares donde las condiciones positivas para Tizón tardío se presentan con una alta frecuencia en todas las temporadas como Puerto Domínguez en la Región de La Araucanía (Figura 5.6 panel superior), hay otros



**Figura 5.6.** Condiciones diarias para el desarrollo de Tizón tardío a través de diferentes temporadas en dos sitios del sur de Chile (fuente: <https://tizoinia.cl>).

sitios como Polizones en la Región de Los Lagos (Figura 5.6 panel inferior) donde la variabilidad interanual del clima genera condiciones de menor frecuencia de condiciones de Tizón tardío en algunas temporadas y otras de condiciones más húmedas y templadas aumenta la frecuencia. También se puede evaluar que hay temporadas donde las condiciones para el desarrollo de Tizón comienzan antes y otras más tarde, etc. La finalidad de esta información es que los usuarios tengan mayor conocimiento de las condiciones en que se ven enfrentados para realizar un manejo racional de la enfermedad, evitando el uso indiscriminado de fungidas,

## 5.7 Uso del pronóstico meteorológico en el sistema de alerta de Tizón tardío.

La incorporación del pronóstico meteorológico en el Sistema de Alerta de Tizón Tardío tiene como finalidad que los usuarios tengan una previsión de las condiciones que pueden esperar para un horizonte de tiempo de 1 a 3 días futuros, y así puedan anticipar decisiones de manejo y tareas a realizar para el control de Tizón tardío.

La alerta con pronóstico a 1, 2 y 3 días se puede visualizar en la página principal, junto al día que se está consultando tal como se muestra en la Figura 5.7.



**Figura 5.7.** Visualización de la condición diaria y de los tres días siguientes utilizando el pronóstico meteorológico para la alerta de Tizón tardío (fuente: <https://tizonia.cl>).

Los pronósticos meteorológicos son elaborados por modelos que simulan el comportamiento de la atmosfera sobre un territorio a partir de ciertas condiciones iniciales. Los resultados del pronóstico no son exactos, aunque están muy cercanos a lo que realmente puede suceder tienen un nivel de desviación respecto a lo que ocurre en la realidad. Esta desviación en las diferentes variables utilizadas en el sistema de alerta se va a traspasar a las estimaciones de ocurrencia de Tizón tardío y, por lo tanto, no siempre el pronóstico se va a cumplir.

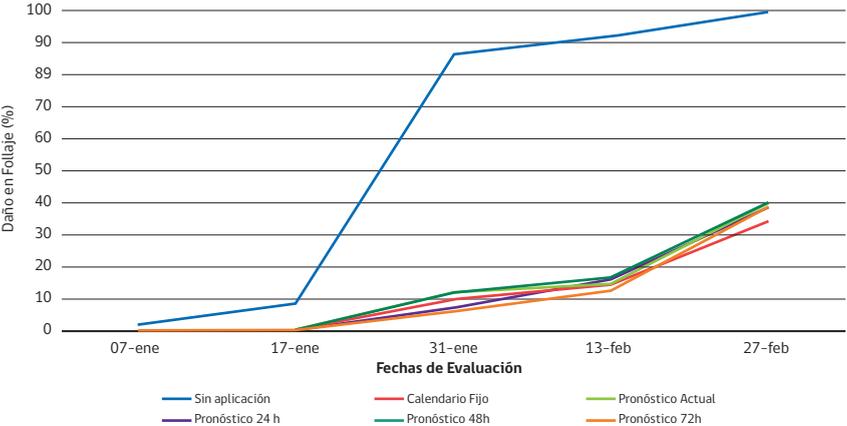
En el Cuadro 5.5 se muestran algunos indicadores de verificación del pronóstico para condiciones medias y altas de Tizón tardío (alertas naranjas y rojas, respectivamente) en la estación meteorológica Remehue de Osorno en la Región de Los Lagos para dos temporadas. La precisión del pronóstico es razonablemente buena con un valor de predicción positivo alto especialmente a 24 horas, de tal forma que un productor puede tomar decisiones en forma anticipada y con una orientación adecuada. El sesgo señala la sobrestimación de alertas, lo que produce algunas falsas alertas para la condición naranja y roja.

**Cuadro 5.5.** Indicadores de verificación de la alerta de Tizón tardío utilizando el pronóstico meteorológico a 24 (P24), 48 (P48) y 72 horas (P72).

Indicadores de evaluación	Temporada 2016-2017			Temporada 2017-2018			Resumen		
	P 24	P 48	P 72	P 24	P 48	P 72	P 24	P 48	P 72
<b>Precisión (%)</b>	74.4	69.4	63.6	83.6	68.6	74.6	78.5	69	68.6
<b>Sesgo</b>	1.13	1.18	1.21	1.15	1.39	1.26	1.14	1.29	1.23
<b>Error de Clasificación</b>	25.6	30.6	36.4	17.4	31.4	26.4	21.5	30.9	31.4
<b>Valor predictivo positivo</b>	59.2	56.2	44.7	73.6	56.3	62.1	67.0	54.5	54.3
<b>Valor predictivo negativo</b>	83.1	82.5	75.7	89.7	82.5	84.1	86.2	81.1	79.6

Las implicancias prácticas como herramienta de control es que el uso del pronóstico meteorológico para el control de la enfermedad permite optimizar el manejo de control químico de la enfermedad comparado con las otras posibilidades de manejo. En la Figura 5.8 se muestra el daño en el follaje en un experimento donde se probaron un testigo sin aplicación de fungicidas, otro utilizando calendario fijo, y aquellos en se uso sistema de alerta sin pronóstico meteorológico y sistema de alerta con pronóstico del tiempo a 24, 48 y 72 horas. El testigo sin aplicación llega a nivel cercanos a 100 % de daño en el

follaje, mientras que las diferentes estrategias de control no tienen diferencia significativa en el nivel de daño en el follaje. No obstante, en localidades como Remehue en Osorno, el número de aplicaciones a calendario fijo puede llegar a una cantidad de 10, mientras que con sistema de alerta sin pronóstico fueron 5 y con sistema de alerta con pronóstico entre 6 a 7 aplicaciones. En localidades como Butalcura en Dalcahue, donde las condiciones para Tizón tardío son más intensas, las diferencias entre tratamientos no son significativas respecto al daño en follaje y el número de aplicaciones entre tratamientos varió entre 9 y 10.



**Figura 5.8.** Porcentaje de daño foliar en 3 cultivares de papa bajo diferentes tratamientos de control químico aplicados según Calendario Fijo, alerta Actual y pronóstico a 24, 48 y 72 horas y testigo sin aplicación. INIA Remehue temporada 2016-17.

Finalmente, es muy importante para el buen funcionamiento de un sistema de alerta o cualquier otro sistema de información de apoyo a la toma de decisiones, que los productores y asesores asociados al rubro papa, sepan interpretar bien la información entregada y realizar adecuadamente las acciones preventivas que minimicen el daño que Tizón tardío puede causar a la rentabilidad del negocio.

### 5.8 Literatura consultada.

Acuña, I., R. Bravo, J. Inostroza, N. Gaete, I. Maldonado, J. Solano, C. Bravo, M. Vargas, P. Corvalán y H. Pauchard. 2006. Evaluación y calibración de un sistema de pronóstico como herramienta de apoyo para el control de Tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile. XI Reunión Nacional de la papa. XI reunión Nacional de la papa, Desafíos del rubro papa: calidad y diversificación. Puerto Varas, Chile. P 24.

- Bravo, R., I. Acuna, J. Inostroza y D. Villarroel. 2011. Decision support systems for late blight integrated management in the southern Chile. In Proceedings of the Thirteenth EuroBlight Workshop . San Petersburgo, Rusia.
- Bravo, R, I. Acuña, J. Gatica y J. Quintana. 2018. Sistema de Alerta de Tizón Tardío de INIA. Osorno, Chile. Acceso en <https://tizon.inia.cl>.
- Gudmestad, N; J. Enz; D. Preston; G. Secor. 1996. Late Blight forecasting and dissemination system using an automated weather monitoring network. In: L. Dowley, E. Bannon, L. Cooke, T. Keane y E. O Sullivan (editores). *Phitophthora infestans*. European Association for Potato Research.
- Hansen, J., B. Andersson y A. Hermansen. 1995. NEGFY. A system for scheduling chemical control of late blight in potatoes. In: L. Dowley, E. Bannon, L. Cooke, T. Keane y E. O Sullivan (editores). *Phitophthora infestans*. European Association for Potato Research.
- Juarez, H., L. Avila y R. Hijmans. 2001. Modelos de predicción de Tizón tardío y el programa Castor v 2.0. In: Proceedings of the Internacional Workshop on complementing resistance to late blight (*Phytophthora infestans*) in the Andes. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Krause, R , L. Massie y R. Hyre. 1975. Blitecast, a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Reporter* 59, 95-98.

## CAPITULO 6.

# BUENAS PRÁCTICAS DE APLICACIÓN DE FUNGICIDAS EN PAPA

**Rodrigo Olivares Johnston.**

Ingeniero Agrónomo, Universidad de Chile. Crop Manager Hortalizas y Papas de Bayer CropScience, Santiago, Chile.

E-mail: [rodrigo.olivares@bayercropscience.com](mailto:rodrigo.olivares@bayercropscience.com)

## 6.1 Diagnóstico General

La Industria de Productos Fitosanitarios ha entregado a disposición de los agricultores diversas herramientas fungicidas, entre ellas para el control de tizón tardío, y las instituciones de investigación han generado estrategias avanzadas de manejo, a pesar de las cuales, la dinámica biológica de *P. infestans* "se las ha arreglado" para mantenerse siempre al tope de la tabla de los causantes de disminución de rendimientos del cultivo. Entre las causas, pueden encontrarse la alta capacidad que tiene el patógeno para cambiar sus parámetros biológicos y escapar al control, el desconocimiento de parte de los productores de las prácticas de manejo apropiadas o las dificultades en su implementación, y el uso inadecuado de las herramientas fitosanitarias disponibles en el mercado. En este último aspecto, las Prácticas de Aplicación y sus Tecnologías asociadas son un factor de tremenda importancia, comúnmente subvalorado, pero de un gran impacto sobre los resultados de eficacia de los productos fitosanitarios.

Respecto de las tecnologías de aplicación, cabe hacerse una serie de preguntas que nos pueden llevar a un diagnóstico general de su uso y eficiencia:

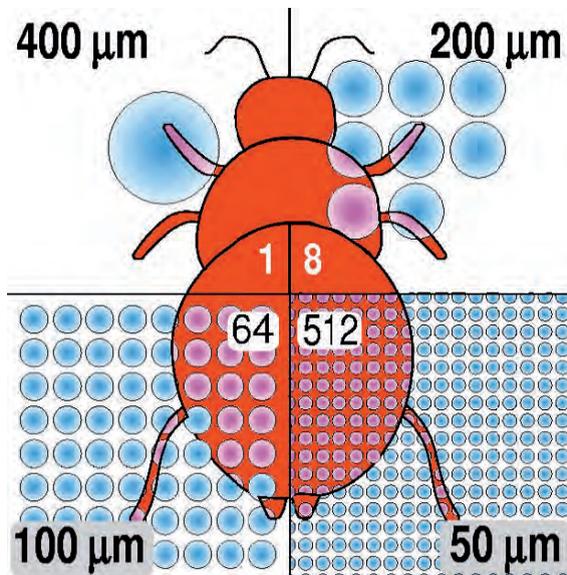
- ¿Son nuestros equipos de aspersión los adecuados para nuestras condiciones de cultivo?, ¿Poseen los componentes indicados por su fabricante?
- ¿Permanecen operativos dichos equipos?, ¿Se les realiza una mantención adecuada y oportuna?, ¿Cambiamos las partes que se desgastan y vencen?
- ¿Quiénes son sus operadores?, ¿Están capacitados y comprometidos con el resultado más que con la rapidez de operación?
- ¿Realizamos una calibración adecuada y con frecuencia de nuestras aspersiones?, ¿La persona está capacitada para ello?, ¿Utilizamos parámetros objetivos y medibles?
- ¿Evaluamos el resultado final de las aspersiones en forma clara y objetiva?, ¿Registramos los resultados para aprender de ellos y mejorar en el tiempo?

Responder estas y otras preguntas asociadas será la base de un uso adecuado de las Tecnologías de Aspersión, lo que nos hará comprender que en la práctica “Es mejor un programa de aspersiones regular, pero bien aplicado, que el mejor grupo de fungicidas del mercado, pero mal aplicados”.

## **6.2 Bases Teórico-Prácticas de Aspersión de Productos Fitosanitarios**

Para entender los resultados de una aspersión de un fungicida y la influencia que las Tecnologías de Aplicación tienen sobre ellos, debemos comprender cómo se produce el proceso físico de aspersión, y sus implicancias prácticas en las decisiones que tomamos al realizar una aplicación. Lo que hacemos al aplicar un producto fitosanitario es diluirlo en un medio de transporte, el agua, el cual se convierte en pequeñas gotas de solución fungicida por medio de la acción del equipo de aspersión (pulverización), las que viajan por el aire e impactan el blanco (hojas, tallos, suelo, etc.) formando un depósito. Es dicho depósito sobre el cultivo, el que tiene la función de controlar el patógeno a través de la interacción con sus esporas, micelio u otras estructuras de invasión. Por ende, su eficiencia tiene directa relación con la formación del depósito fungicida.

Para lograr un buen resultado, nos debemos preguntar cuáles son los factores de éxito y las dificultades, teniendo en cuenta que podemos tener problemas de deriva, evaporación y rebote de las gotas de solución, así como también problemas de escurrimiento y zonas sin depósito. La clave de todo esto comúnmente se relaciona al “mojamiento” o cantidad de agua a utilizar, mas por el contrario, si bien es importante, posee mucha mayor relación con el “cubrimiento”, o en otras palabras, con la eficiencia con la que logramos que las gotas de solución fungicida se repartan por todo el cultivo, cubriendo lo suficiente sus estructuras como para protegerlas o entrar en contacto con las áreas enfermas y ejercer su acción. Para lograrlo, la combinación de distribución y tamaño de gota es determinante. Tal como se aprecia en la Figura 6.1, mientras más pequeña la gota, mayor capacidad de cubrimiento con el mismo volumen de agua, ya que con el agua contenida en una gota de 400 micrones, se tienen 8 gotas de 200 micrones, 64 gotas de 100 micrones y 512 gotas de 50 micrones. Tal como lo muestra la figura 6.1, el mayor número de gotas permite lograr cubrimientos cada vez mejores.



**Figura 6.1.** Relación entre el tamaño de gota y el cubrimiento.

La utilización de gotas de pequeño tamaño, entonces, debiera ser nuestra meta. Sin embargo, existen dificultades adicionales. Mientras más pequeña es la gota, más expuestas se encuentran a pérdidas por deriva y evaporación. Es así como gotas de tamaños iguales o menores a 100 micrones no alcanzan a llegar al suelo o cultivo si son sometidas a brisas o vientos normales, debido a la deriva, lo que se ve agravado por la evaporación, si es que además las condiciones de humedad relativa son bajas (<60%) y las temperaturas altas (>25°C). Por lo tanto, estudios realizados han determinado que los tamaños de gota adecuados para uso agrícola fluctúan entre 100 y 400 micrones (muy fina a muy gruesa), dependiendo del tipo de producto fitosanitario a aplicar (de contacto - translaminar - sistémico), las condiciones climáticas imperantes (temperatura y humedad relativa), la arquitectura y desarrollo del cultivo, y las características de los equipos, entre otros. Para calibrar y controlar el cubrimiento, ayudando a tomar las decisiones correctas, se deben emplear herramientas como el papel hidrosensible (Figura 6.2), el cual nos permite tener una imagen exacta del tamaño de gota obtenido y su distribución, es decir, el cubrimiento deseado.

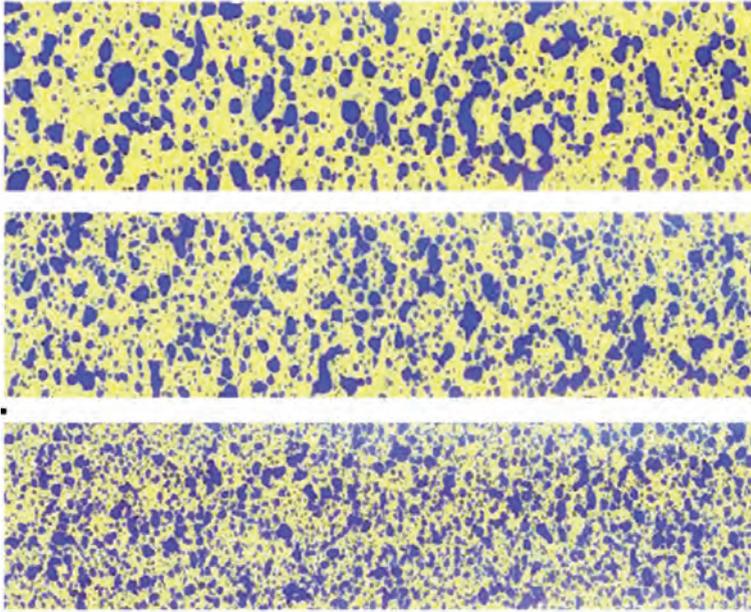


Figura 6.2. Papeles hidrosensibles con distintos tamaños de gota y cubrimiento.

### 6.3 Tecnologías de Aspersión: Herramientas Claves

Dentro de los equipos de aspersión o pulverización, existen diversos elementos que hacen que el resultado sea exitoso, y su adecuado manejo influye directamente en el resultado final, como es el caso de las velocidades de avance, presión de aspersión, altura de barras, distancia y estado de las boquillas, etc. Sin embargo, uno de los elementos clave son las **boquillas**, y junto a ellas, todas las técnicas que influyen en la formación y transporte de las gotas de solución fungicida hasta el cultivo. La boquilla determina finalmente el tamaño de gota, y por ende una parte importante del cubrimiento.

Para entender esto, haremos algunas generalizaciones que nos ayuden a tomar decisiones prácticas en el campo, respecto de las gotas:

- **Gotas Pequeñas (100–200m):** usualmente las que logran los mejores cubrimientos, adecuándose al uso con fungicidas de contacto, además de otros fitosanitarios como acaricidas. Por otro lado, son las más sensibles a deriva y evaporación, por lo que deben ser utilizadas bajo condiciones de ausencia de viento, temperaturas altas y baja humedad relativa. Además, son susceptibles a una mala penetración en follajes densos.

- **Gotas Grandes (200–400m):** normalmente entregan menores cubrimientos, pero adecuadas para uso con fungicidas de tipo translaminar o sistémico, así como de insecticidas. Por otro lado, son altamente sensibles a rebote sobre las hojas, deficiente adhesividad y escurrimiento, pero permiten solucionar problemas de deriva y evaporación, así como también tienen usualmente mejor penetración en follajes densos.

Para decidir finalmente qué boquilla utilizar, debemos conocer el equipo pulverizador, y las características de ellas. Actualmente el mercado ofrece una gran amplitud de tecnologías en las boquillas, pero debemos fijarnos principalmente en cuatro de ellas: el perfil de pulverización (abanico plano, doble abanico, cono lleno o hueco, etc.), el ángulo de trabajo (80° - 110°) que determina la altura de la barra y distancia entre ellas, el gasto de agua que en combinación con la presión y la velocidad van a determinar el mojamiento, y finalmente la distribución del tamaño de gotas de acuerdo a la presión. Todas estas características aparecen en los catálogos del fabricante, como es el caso de la Figura 6.3 que es un ejemplo de una de las boquillas más comunes, que es la de abanico plano normal, donde aparece la distribución de tamaño de gotas de un fabricante.

#### XR TeeJet® (XR) y XRC TeeJet® (XRC)

	bar						
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
XR8001	M	F	F	F	F	F	F
XR80015	M	M	F	F	F	F	F
XR8002	M	M	M	M	F	F	F
XR8003	M	M	M	M	M	M	M
XR8004	C	M	M	M	M	M	M
XR8005	C	C	C	M	M	M	M
XR8006	C	C	C	C	C	C	C
XR8008	VC	VC	C	C	C	C	C
XR11001	F	F	F	F	F	VF	VF
XR110015	F	F	F	F	F	F	F
XR11002	M	F	F	F	F	F	F
XR110025	M	M	F	F	F	F	F
XR11003	M	M	F	F	F	F	F
XR11004	M	M	M	M	M	F	F
XR11005	C	M	M	M	M	M	M
XR11006	C	C	M	M	M	M	M
XR11008	C	C	C	C	M	M	M

**Figura 7.3** Tamaño de gota desde muy fina (VF) hasta muy gruesa (VC) según la presión.

Una de las problemáticas más comunes, es la de solucionar los problemas de deriva y evaporación, sin perjudicar el cubrimiento que es el objetivo principal. Para ello, se han desarrollado diversas tecnologías de aspersión, dentro de las cuales se cuentan equipos asistidos por aire y boquillas especiales. Dentro de los primeros, existen diversos fabricantes que ofrecen pulverizadores de barra con sistemas de ventilación y conducción de aire que forman cortinas de viento descendiente que colaboran con el direccionamiento de las gotas hacia el cultivo y su distribución dentro de la canopia de éste, sin cambiar sustancialmente el tipo de boquillas utilizadas. Por otro lado, se han ido desarrollando diversas boquillas especiales "anti-deriva", las cuales aumentan el tamaño de las gotas. Además, se les ha incorporado estructuras internas que permiten inyectar burbujas de aire al interior de ellas (Figura 6.4), lo que permite beneficiarse de sus características anti-deriva por tamaño y peso de gotas, pero mejorar el cubrimiento a través del efecto de dispersión adicional que provocan las burbujas al impactar la gota en el blanco. El uso y adaptación de estos equipos y boquillas al desempeño de los fungicidas aplicados en papas podrá colaborar sustancialmente al resultado final de los productos fitosanitarios utilizados en el control de diversas enfermedades de alta incidencia e impacto económico, como es el caso de Tizón tardío.

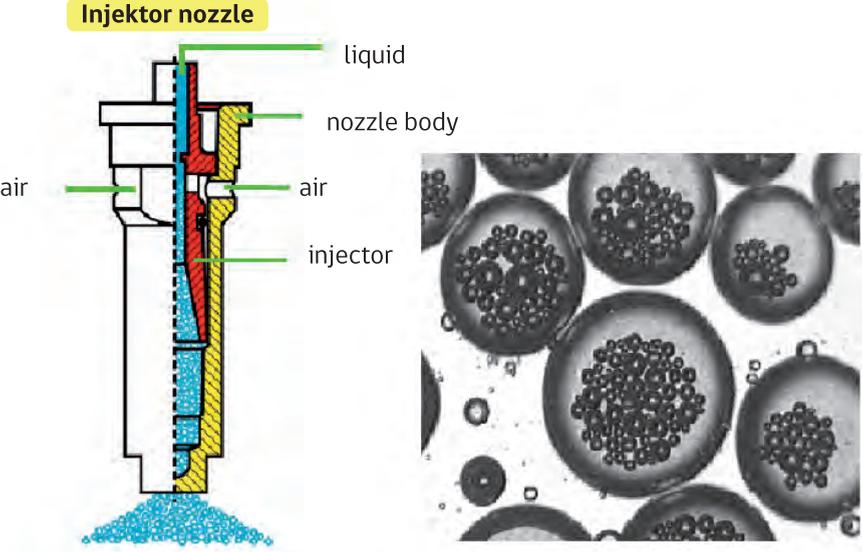
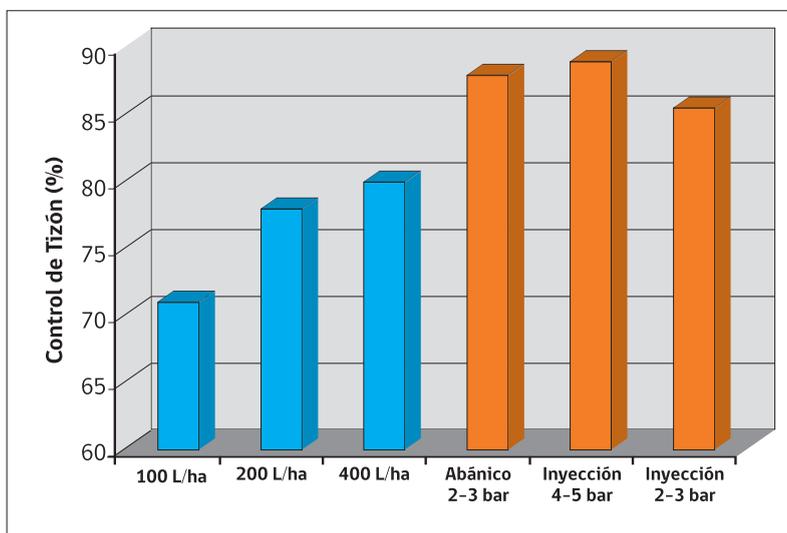


Figura 6.4 Esquema de boquilla de inyección y fotografía de sus gotas.

## 6.4 Algunos Resultados Comparativos de Tecnologías de Aspersión.

Tanto los fabricantes de equipos pulverizadores y boquillas, como las empresas de productos fitosanitarios han estado interesadas en el desempeño de las tecnologías de aspersión, de manera de entregar soluciones y recomendaciones eficientes y eficaces a los agricultores. Entre ellas, Bayer ha realizado diferentes experiencias en un programa permanente de comparación y chequeo de aquellas tecnologías que aparecen como más incidentes sobre los resultados de control. Por ello, aquí les mencionamos algunos resultados que mayormente combinan dos aspectos, de por sí relevantes para la eficacia de los fungicidas en papa: a) el mojamiento o volumen de agua y b) el tipo de boquilla y tamaño de gota utilizados en las aspersiones.

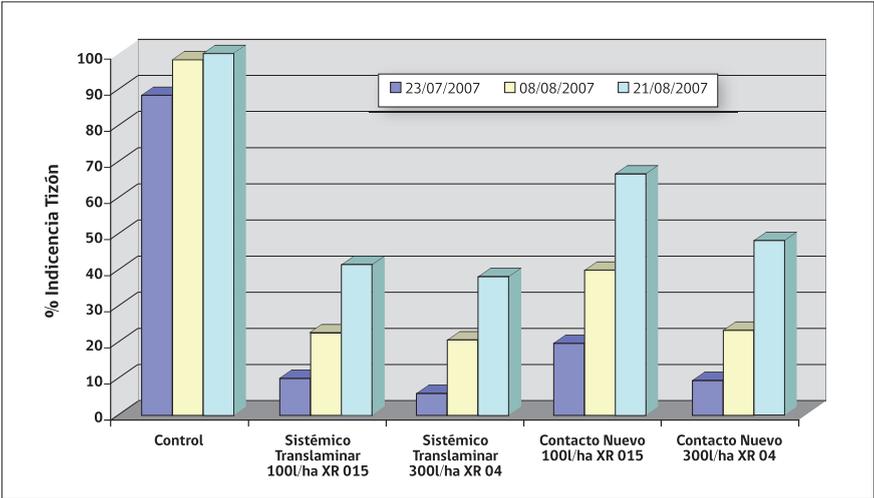
En la Figura 6.5, se encuentra el promedio de 21 ensayos de Bayer, realizados en papas de las variedades Hansa y Bintje con fungicidas mayoritariamente de contacto. Como se aprecia en la gráfica, son claramente ventajosas, desde el punto de vista del Control de Tizón tardío, aquellas aspersiones realizadas con mayores mojamientos (400 L solución/ha) y utilizando boquillas de inyección anti-deriva a presión alta (4-5 bar) o boquillas normales de abanico a presiones bajas (2-3 bar). Tal como se espera, al mejorar los cubrimientos por la vía de aumentar el mojamiento y la utilización de boquillas adecuadas, se logran



**Figura 6.5.** Efecto del mojamiento y tipo de boquilla sobre el control de Tizón tardío en papas. Promedio 21 ensayos Bayer 1996-1998.

mejores resultados en este tipo de fungicidas, que lo requieren para expresar su potencial de protección contra la enfermedad. Esto es válido para fungicidas de uso muy común en papa en Chile, como es el caso de Mancozeb y Clorotalonil en sus distintas formulaciones. Al mismo tiempo, esto abre la posibilidad de probar y adaptar las tecnologías de boquillas de inyección a la realidad del cultivo de papa en Chile, para manejar los problemas de deriva sin perjudicar sustancialmente el control de tizón.

En la siguiente Figura 6.6, se aprecia una comparación realizada a través de varios ensayos efectuados durante el año 2007 en Alemania por Bayer, entre dos fungicidas de distinto modo de acción, respecto de dos niveles de mojamamiento: 300 y 100 L de solución/ha. Como se puede ver, el fungicida de tipo translaminar-sistémico no tuvo una influencia significativa de la disminución del mojamamiento sobre la eficacia de control de Tizón tardío en el tiempo. Sin embargo, el otro fungicida de contacto tuvo una evidente disminución de eficacia sobre la enfermedad al disminuir los mojamamientos bajo 300 L. Por ende, se sostiene la misma tendencia general evidenciada en los ensayos anteriores sobre los fungicidas de contacto, y se agrega la flexibilidad que poseen otros, de tipo sistémico-translaminar, los cuales pueden soportar ciertos niveles de disminución de mojamamiento sin verse drásticamente afectados, lo que puede ser práctico a la hora de aplicar grandes superficies con una eficiencia adecuada.



**Figura 6.6.** Efecto del mojamamiento y tipo de fungicida sobre la eficacia de control de Tizón tardío en papas. Alemania, Bayer 2007.

## 6.5 Recomendaciones

Para finalizar, debemos concluir entregando algunas recomendaciones generales para el uso de fungicidas en papa, desde el punto de vista de las tecnologías de aspersión, no con el ánimo de tomarlas como normas de trabajo, sino mas bien como guías de implementación para mejorar el desempeño de dichos productos fitosanitarios en el campo, tomando en cuenta cada realidad en términos de los parámetros relevantes para la aspersión, como Temperaturas, Humedad relativa, presencia de viento, desarrollo y densidad del follaje. Algunas conclusiones y recomendaciones:

- El **cubrimiento** de una aspersión es el parámetro más importante que debe ser buscado, calibrado y puesto como claro objetivo ante una aspersión de productos fitosanitarios, y por ende, de fungicidas en papas.
- Para lograr un buen cubrimiento y eficacia de los fungicidas, el **mojamiento** (volumen de agua asperjada) y la tecnología de **boquillas** (tipo y tamaño de gotas) son los aspectos más relevantes que deben ser determinados al calibrar una aspersión.
- Para nuestra realidad, se deberían utilizar **altos mojamientos** (en torno a 400 l de solución /ha) para el uso de fungicidas en papa, con énfasis en productos de contacto. Sólo frente a fungicidas sistémicos y/o translaminares se puede reducir levemente este parámetro sin incidir sobre la eficacia de control.
- La boquilla es la tecnología más incidente sobre el tipo y tamaño de gotas de una aspersión, por lo que se sugiere instalar **cuerpos de boquillas múltiples**, de manera de adaptarse en forma práctica a las condiciones imperantes, a través de distintas boquillas.
- Las boquillas de abanico plano normal, de **gota pequeña**, son adecuadas para lograr el cubrimiento deseado para fungicidas, sobretodo cuando son de contacto, pero deben ser utilizadas bajo las condiciones recomendadas (sin viento, temperaturas y humedades moderadas). Para mejorar la penetración en el follaje de estas boquillas en cultivos desarrollados, se sugiere el uso de barras con aire asistido.
- Para el manejo de problemas de deriva y penetración en el follaje, también se pueden utilizar **boquillas de inyección anti-deriva**. Estas generan gotas gruesas, que permiten el manejo de condiciones de temperaturas altas, bajas humedades relativas y brisa presente al momento de la aplicación. Adicionalmente, no perjudican en forma sustancial el resultado de los fungicidas, menos aún si éstos son de tipo sistémico.
- Finalmente, aún cuando utilice las mejores tecnologías de aplicación y los

mejores productos fitosanitarios, recuerde monitorear las condiciones climáticas predisponentes a las enfermedades, y establecer un Programa de Manejo Integrado de Tizón tardío, en forma preventiva, lo que le traerá claros beneficios en el resultado final.

## **6.6 Literatura consultada**

Anónimo. 2003. TeeJet Selection Guide for Broadcast Spraying. [http://www.teejet.com/techcent/broad\\_sel.htm](http://www.teejet.com/techcent/broad_sel.htm)

Friessleben, R. 2008. Balancing Drift Management with Biological Performance and Efficacy. Bayer CropScience, Monheim. Alemania.

## CAPITULO 7.

# RESISTENCIA VARIETAL AL TIZON TARDÍO DE LA PAPA

### **Manuel Muñoz Davis**

Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral de Chile. M.Cs., Dr. Universidad Austral de Chile. Especialista en mejoramiento genético. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

### **Boris Sagredo Díaz**

Bioquímico, Universidad de Chile. Ph.D. North Dakota State University, USA. Investigador especialista en Biología Molecular, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.

E-mail: [bsagredo@inia.cl](mailto:bsagredo@inia.cl)

## 7.1 Introducción

Un factor productivo limitante de enorme importancia en el cultivo de la papa, es el Tizón tardío provocado por *Phytophthora infestans*. Para su control es necesario aplicar estrategias de manejo integrado, donde el uso de cultivares resistentes es considerado uno de los factores más deseables. Cultivares tolerantes o resistentes al Tizón tardío pueden proveer una protección adicional al cultivo a lo largo del tiempo, reduciendo el riesgo de pérdidas por la enfermedad y/o los costos que representa el control químico en cada temporada. Si se dispusiera de variedades de papa con resistencia durable al Tizón tardío y los agricultores las usaran, la reducción de costos, asumiendo en forma conservadora un 23% de disminución de uso de fungicidas, podría alcanzar los \$ 0.62 billones de dólares en todo el mundo. Reportes en campos de agricultores en el Perú, utilizando variedades derivadas del Programa del Centro Internacional de la Papa (CIP) con resistencia horizontal al Tizón tardío, indican que las aplicaciones de agroquímicos contra el Tizón tardío se redujeron un tercio respecto a un total de 12 necesarias para una variedad susceptible, ahorrándose un 66% del costo total. De igual manera, en Costa Rica y Panamá, lugares de alta presión de infección debido al ambiente altamente favorable para el desarrollo de la enfermedad, las variedades resistentes lograron reducir hasta un 50% las aplicaciones. La búsqueda de resistencia genética estable al Tizón tardío a través de los programas de mejoramiento, se ha intensificado y se ha convertido en un método práctico y económico para combatir la enfermedad, reduciendo además el riesgo de operadores y la contaminación ambiental por el menor uso de fungicidas y permitiendo la producción sostenible de papa. De igual

forma, los riesgos económicos que implican grandes pérdidas de rendimiento en años de condiciones predisponentes para el patógeno se reducen al utilizar variedades con resistencia genética a la enfermedad dentro de un paquete de manejo integrado.

## 7.2 Cultivares resistentes

En un concepto amplio, la resistencia genética es aquella que la planta posee o induce frente al ataque de un patógeno para reducir o evitar el desarrollo de una enfermedad, como el Tizón tardío. Una variedad será resistente a una enfermedad si el agente causal de ésta no se desarrolla o su progreso es muy lento sin afectar significativamente la fisiología de la planta; mientras que será susceptible (menos resistente) si el agente causal logra desarrollarse sin impedimentos, afectando significativamente la fisiología de la planta y, eventualmente, causando su muerte. Los cultivares resistentes se caracterizan por presentar uno o más factores genéticos a través de los cuales se evita o reduce la severidad de una enfermedad. Cada uno de estos factores genéticos es considerado un componente de resistencia, por ejemplo, la eficiencia de la infección, número y tamaño de las lesiones, período latente o lapso entre infección y esporulación, capacidad esporulante, etc. A través de los programas de mejoramiento, se ha logrado introducir estos factores genéticos de resistencia en varios cultivares de papa. No obstante, la durabilidad de la resistencia genética se ve afectada por la capacidad de adaptabilidad y variabilidad de los patógenos. Las poblaciones de *P. infestans* al igual que todos los organismos vivos, están sujetos a fuerzas evolutivas, y están constantemente mutando o variando genéticamente, adaptándose a las nuevas condiciones del cultivo, desarrollando resistencia a fungicidas y/o superando las barreras de resistencia de los nuevos cultivares. La rapidez de estos cambios por parte del patógeno depende directamente de la posibilidad de generar nuevas variantes genéticas. La reciente identificación de genes *Avr* en *P. infestans* codificando efectores RXLR ha permitido entender la fuerte habilidad del patógeno de superar la resistencia de ciertos genotipos. Un cambio a nivel de los nucleótidos en estos genes *Avr* puede llevar a cambios estructurales en el efector y resultar en un no reconocimiento de las proteínas receptoras codificadas por los genes de resistencia de la planta. El resultado final es infección por falta de Reacción de Hipersensibilidad. (Gilroy et al., 2011).

El desarrollo de un adecuado plan de manejo integrado de una enfermedad requiere conocer el comportamiento del cultivar de papa frente a la enfermedad o ataque del patógeno, la biología del agente causal, las condiciones ambientales del área, el historial de la expresión de la enfermedad en la zona, el sistema productivo del predio, entre varios otros aspectos.

Los cultivares de papa comúnmente difieren en su resistencia relativa a una o más enfermedades y desórdenes fisiológicos. Esta resistencia relativa al Tizón tardío, al igual que a la de otras enfermedades, puede verse afectada por las características genéticas del cultivar de papa (hospedero), las características de las poblaciones del patógeno y las condiciones ambientales que afectan tanto al hospedero como al patógeno.

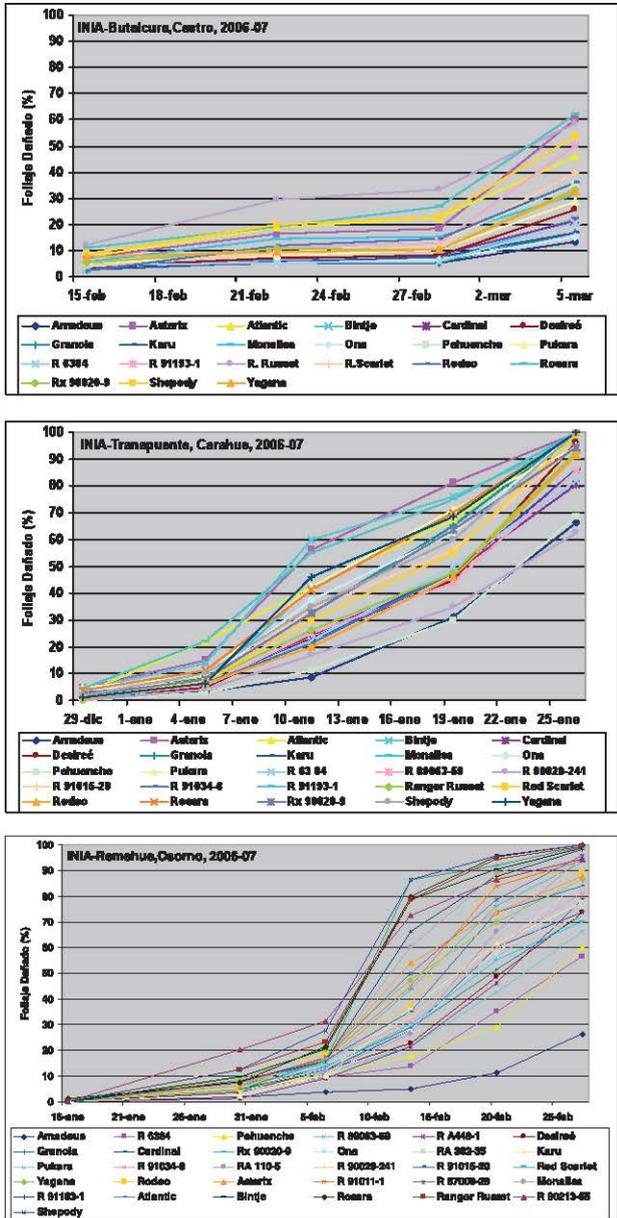
En general, cuando un cultivar de papa que se comporta como resistente por varios años se torna susceptible de una temporada a otra o en unos pocos años, esto se debe a cambios en la población del patógeno por un aumento de la frecuencia y/o aparición de nuevos patotipos, o variantes genéticas, que superan la resistencia de los cultivares. Por otro lado, también ocurre que un cultivar de papa puede comportarse como resistente en una zona geográfica y susceptible en otra zona, lo cual se debe muy probablemente a que las poblaciones del patógeno son distintas entre una zona y otra. Hay igualmente casos documentados donde la pérdida de resistencia se debe a factores ambientales que afectan a la planta, incidiendo directamente en la expresión de los mecanismos de resistencia que lo protegen del ataque del patógeno. El cultivar Atzimba por ejemplo, es un cultivar que en México ha mostrado un nivel de resistencia intermedia al ataque de Tizón tardío, pero en Costa Rica, es considerado altamente susceptible. Se ha reportado un comportamiento parecido con el cultivar Alpha, genotipo altamente susceptible en México, pero moderadamente resistente en las zonas productoras de New York.

Resulta entonces indudable la necesidad de evaluar los clones de papa disponibles y deseables por sus cualidades agronómicas, en diferentes localidades, lo que permitiría conocer la estabilidad medioambiental de la resistencia. Entre los años 2003-2007, un estudio sobre alternativas de control integrado del Tizón tardío, basado en el uso de pronosticadores que se llevó a cabo en la zona sur de Chile, se evaluó el grado de resistencia a Tizón tardío de distintos cultivares de papa en diferentes localidades. La Figura 7.1 muestra el comportamiento frente al ataque de tizón de esos cultivares de papa en las localidades de Osorno (INIA-Remehue), Carahue (INIA-Tranapunte), y Castro (INIA-Butalcura), para la temporada 2006-07.

De acuerdo a estos resultados, el comportamiento de las variedades comerciales y clones avanzados fue variable en cuanto al área bajo la curva de progreso de la enfermedad de una zona a otra, sin embargo, para cada una de las localidades evaluadas, la respuesta de resistencia al ataque del Tizón tardío fue similar para los mismos cultivares.

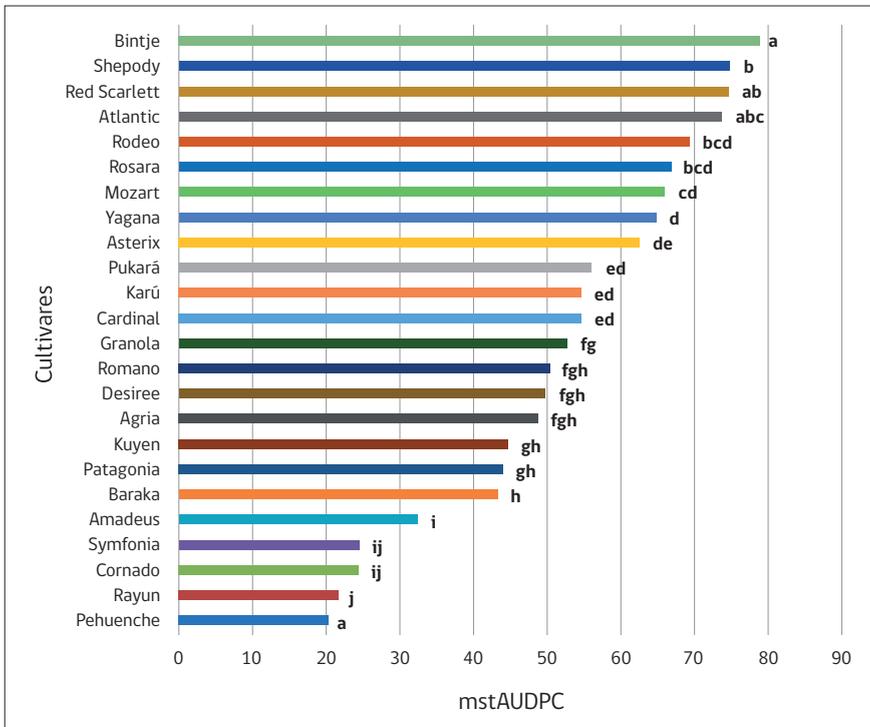
Durante ocho temporadas (2007-08 a 2014-15) se llevó a cabo un experimento

de campo en INIA Remehue (Osorno) con el fin de evaluar la resistencia varietal de 24 cultivares de papa frente a Tizón tardío. Los datos fueron analizados bajo un diseño de Parcela dividida con una parcela dividida en la subparcela, donde la parcela principal correspondió a la temporada o año de evaluación. Para homogenizar los datos a través de los años y hacerlos comparables, se realizó una transformación del valor de AUDPC de cada una de las temporadas a  $stAUDPC$ , que corresponde al valor de  $AUDPC/número$  de días entre primera y última evaluación de síntomas. A su vez, se otorgó un valor de ERk o factor de resistencia frente a *P.infestans* a cada uno de los cultivares. En las Figuras 7.2 y 7.3 se observan los resultados de las medias de  $mstAUDPC$  por cultivar a través de los años y el valor de ERk, o factor de resistencia, otorgado a cada uno de los cultivares analizados. Como se observa en las Figuras 7.2 y 7.3 existe una correlación entre el valor obtenido de  $mstAUDPC$  por los cultivares y el factor de resistencia otorgado a estos, donde a mayor nivel de daño registrado, menor valor de ERk. De este modo, el cultivar Bintje presentó el mayor nivel de enfermedad y el factor de resistencia menor, mostrándose como el cultivar más susceptible de los evaluados, siendo estadísticamente similar a Red Scarlett y Atlantic.

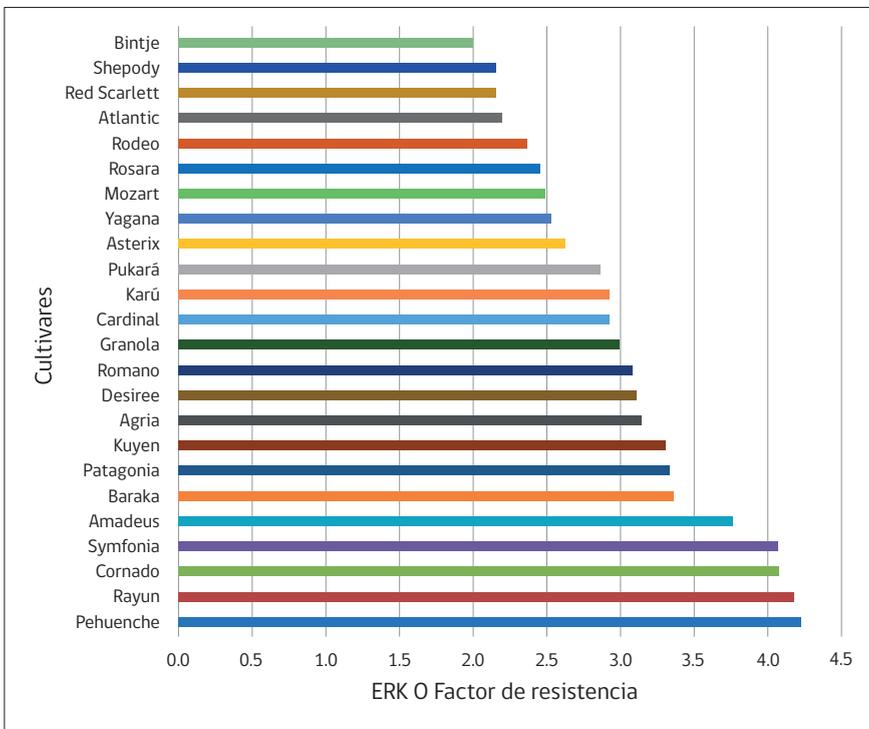


AUDPC Butalcura: LSD=89.8, p=0.0001; AUDPC Tranapunte: LSD=367.8, p=0.0001; AUDPC Remehue: LSD=271.5, p=0.0001. Fuente: Acuña et al. 2007 (INIA-Remehue).

**Figura 7.1.** Porcentaje de follaje dañado por Tizón tardío para diferentes cultivares de papa y clones avanzados del programa de mejoramiento de INIA en tres localidades de la zona sur de Chile (Temporada 2006–2007).



**Figura 7.2.** mstAUDPC de 24 cultivares de papa durante las temporadas de evaluación de resistencia a P.infestans.



**Figura 7.3.** Valor de ERK o Factor de resistencia a P.infestans de los 24 cultivares de papa utilizados en los experimentos.



**Foto 7.1** Incidencia de Tizón tardío en seis de los cultivares evaluados en campo. Arriba cultivares susceptibles; abajo, cultivares resistentes. Temporada 2007-08.

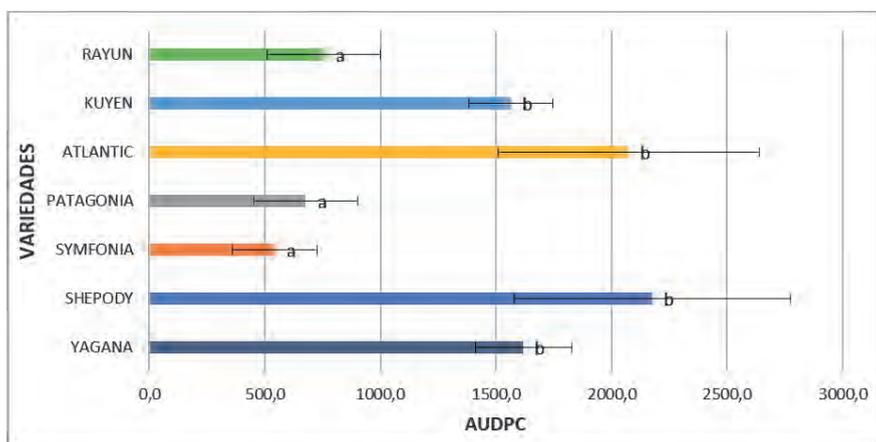
Dado que el Tizón tardío de la papa es una enfermedad que ataca principalmente la parte aérea de las plantas, la resistencia o susceptibilidad generalmente se determina como porcentaje de follaje dañado. Sin embargo, si las zoosporas del patógeno caen sobre los tubérculos, estos se infectarán y dañarán. Estos tubérculos dañados pueden generar pudriciones durante el almacenaje, y son motivo de rechazo por la industria y/o los consumidores. Por lo tanto, los programas de mejoramiento genético de papa, principalmente en Europa y Norte América, también han comenzado a evaluar y/o seleccionar cultivares que presenten buena resistencia a nivel de tubérculo. Estudios genéticos indican que la resistencia expresada en el follaje de la planta no necesariamente se expresa en tubérculos. Existe evidencia de que los niveles de transcritos de genes que confieren resistencia a la enfermedad difieren según los distintos tejidos de la planta (Brugmans et al., 2008)

La mayoría de las variedades de papa usadas en la producción comercial actual son susceptibles al tizón tardío, y siempre hay una posibilidad de que aquellas con una resistencia mayor la pierdan debido a la introducción de nuevas poblaciones en áreas productoras de papa o debido a cambio genéticos en el patógeno, el cual evoluciona rápidamente (Vleeshouwer et al., 2011). En Chile, el tizón tardío es la enfermedad de papa más seria debido a su alta capacidad destructiva. Este patógeno infecta las hojas, tallos y tubérculos y se disemina en grandes áreas en un período muy corto de tiempo.

En Chile solo unas pocas variedades actualmente poseen cierto nivel de resistencia. Patagonia-INIA es una de las variedades más importantes cultivadas

en este país y muestra niveles medios a altos de resistencia. No obstante, el control genético de la resistencia de esta variedad es desconocido. Se tienen antecedentes de que porta genes de resistencia proveniente de *Solanum microdontum* (Jack Vossen, comunicación personal), pero no está dilucidado si este factor genético es el responsable de la resistencia observada en campo. Adicionalmente, variedad Patagonia-INIA posee un alto nivel de resistencia al tizón tardío en el tubérculo, lo que se suma a las evidencias de resistencia a este patógeno en el follaje. Porter et al. (2017) evaluaron la resistencia a *Phytophthora infestans* (agente causal del tizón tardío) en un extenso panel de 206 variedades y clones avanzados en dos localidades de Estados Unidos. Los resultados arrojaron que Patagonia-INIA fue una de las variedades menos afectadas ante la inoculación de los tubérculos con cepas del patógeno. Otra variedad recientemente liberada que posee altos niveles de resistencia al tizón tardío es Rayún-INIA. Durante la temporada 2014-2015 se realizó una evaluación periódica del porcentaje de daño del follaje en experimentos en donde participaron diferentes variedades, a través de una escala de apreciación visual bajo infección natural en condiciones de alta humedad bajo riego en Osorno. No hubo aplicaciones de fungicida durante el experimento. Se evaluaron las variedades Symfonia, Patagonia-INIA, Atlantic, Shepody, Yagana-INIA, Kuyén-INIA y Rayún-INIA.

Estas evaluaciones muestran que la nueva variedad Rayún-INIA posee un nivel de resistencia alto, estadísticamente similar a las variedades Patagonia-INIA y Symfonia, que representan a variedades de papa con los mayores niveles de resistencia de las usadas en Chile actualmente. Las variedades de conocida susceptibilidad (Shepody y Atlantic), mostraron altos niveles de daño en el follaje estadísticamente mayor a Rayún-INIA (Figura 7.4 y Cuadro 7.1). Tanto Yagana-INIA como Atlantic fueron estadísticamente más susceptibles que Rayún-INIA, variedades competidoras de nicho por su aptitud para la agroindustria de la papa frita.



**Figura 7.4:** Valores de la Curva de Progreso de la enfermedad en 7 variedades de papa.

**Tabla 7.1.** Promedios de porcentaje de follaje dañado por el ataque de tizón tardío en 7 variedades de papa, incluyendo Rayun-INIA, durante la temporada 2014–2015.

Cultivar	Follaje dañado por Tizón tardío (%)						AUDPC	RAUDPC
	Fecha de evaluación							
	27-ene	02-feb	10-feb	16-feb	24-feb	03-mar		
YAGANA	0.0 a	3.7 a	9.3 a	55.0 b	88.3 b	98.3 b	1618.3 b	0.5 b
SHEPODY	3.3 b	13.3 b	24.3 b	55.0 b	76.7 b	93.3 b	2177.0 b	0.6 b
SYMFONIA	0.0 a	2.0 a	5.0 a	16.7 a	23.3 a	36.7 a	543.0 a	0.2 a
PATAGONIA	0.0 a	2.3 a	6.0 a	16.0 a	35.0 a	45.0 a	676.7 a	0.2 a
ATLANTIC	3.3 b	11.0 b	21.7 b	55.0 b	78.3 b	95.0 b	2074.0 b	0.6 b
KUYEN	0.0 a	4.3 a	9.3 a	46.7 b	85.0 b	98.3 b	1564.3 b	0.4 b
RAYUN	0.0 a	2.7 a	5.3 a	20.0 a	36.7 a	53.3 a	756.3 a	0.2 a
<b>CV</b>	<b>4.15</b>	<b>4.16</b>	<b>6.51</b>	<b>13.37</b>	<b>20.42</b>	<b>26.39</b>	<b>28.66</b>	<b>12.8</b>
<b>Valor-F</b>	<b>4</b>	<b>8.95</b>	<b>6.58</b>	<b>8.75</b>	<b>16.51</b>	<b>37.57</b>	<b>9.37</b>	<b>14.37</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>0.0197</b>	<b>0.0007</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0008</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>&lt; 0,0001</b>	<b>0.0006</b>	<b>0.0005</b>
<b>LSD</b>	<b>2.506</b>	<b>5.486</b>	<b>12.033</b>	<b>22.354</b>	<b>21.366</b>	<b>18.397</b>	<b>685.390</b>	<b>0.193</b>

## 7.3 Tipos de resistencia según su tipo de herencia

Cuando se identifica una fuente de resistencia a Tizón tardío, sea en papa de la misma especie taxonómica (*Solanum tuberosum*) o una especie silvestre, tal genotipo normalmente no se puede utilizar directamente como variedad dado que agronómicamente no posee los atributos productivos y de calidad de una variedad comercial. Así, en los programas de mejoramiento genético estos materiales se utilizan como progenitores donantes de los factores de resistencia a *P. infestans*. Según la forma en que trasfiera esta resistencia a sus progenies, se distinguen claramente dos tipos de resistencia; el primer tipo, gobernado por un

solo gen dominante, con efectos mayores - y por ende llamados genes mayores-, y caracterizado por presentar segregación discreta para resistencia, es decir, su descendencia está compuesta por genotipos resistentes o susceptibles; y el segundo tipo de resistencia, gobernado por muchos genes, también llamados genes menores, con efectos acumulativos pequeños y caracterizado por presentar descendencia con distribución continua desde genotipos resistentes hasta susceptibles. La resistencia gobernada por genes mayores se denomina igualmente como resistencia vertical, resistencia cualitativa, resistencia raza-específica y resistencia completa; mientras que la resistencia gobernada por genes menores se le denomina también como resistencia horizontal, resistencia cuantitativa, resistencia poligénica, resistencia no raza-específica, resistencia duradera y resistencia de campo.

La resistencia vertical (otorgada por genes mayores), a *P. infestans* es caracterizada por una reacción de defensa asociada con muerte celular conocida como la respuesta hipersensitiva (HR.). En el primer estado de la infección, *P. infestans* penetra la planta y trasloca efectores dentro de las células hospederas. Efectores específicos pueden actuar como factores de avirulencia (Avr) y activar genes de resistencia (genes R) de acuerdo al modelo gen por gen. La inmunidad gatillada por efectores es activada luego del reconocimiento del efector por una proteína R, a menudo resultado en una respuesta hipersensitiva (HR). Los genes R que actúan en contra *P. infestans* codifican proteínas receptoras de la clase de proteínas intracelulares vegetales con repeticiones ricas en leucina con sitios de unión a nucleótidos (CC - NB - LRR).

Algunos años atrás, debido a la rapidez con que el patógeno superaba la resistencia vertical dada por un gen mayor, los esfuerzos para el mejoramiento para resistencia a tizón tardío se focalizaron en la resistencia horizontal cuantitativa, desde los efectos combinados de múltiples genes de efectos individuales más pequeños. Esta resistencia cuantitativa es caracterizada por un desarrollo más lento de la enfermedad, no es raza específica y es influenciada por condiciones ambientales (Wastie, 1991). Sin embargo, la combinación de muchos loci de rasgos cuantitativos (QTLs) que aportan a la resistencia con otros rasgos deseables, es más demandante de tiempo y recursos en comparación con la introducción de resistencia monogénica (Rodewaltz and Trognitz, 2013) y cada QTL solo produce un modesto mejoramiento en resistencia a la enfermedad (Brouwer et al., 2004). Recientemente, han sido descubiertas fuentes portadoras de varios genes de resistencia mayor (genes R) las cuales podrían teóricamente posibilitar la introgresión simultánea de múltiples genes R que confieren resistencia cualitativa vertical al material de mejoramiento, siendo poco probable que el patógeno se adapte en corto tiempo a los mecanismos de resistencia provistos por los distintos genes involucrados. Junto con un mayor conocimiento

producido mediante clonamiento y mapeo de estos genes R (Braden, 2011; Jo et al., 2014), estas fuentes de resistencia han recibido renovado interés para su uso en mejoramiento para resistencia al tizón tardío debido al descubrimiento de la presencia de hasta 7 genes R en algunos de estos genotipos (Kim et al., 2012; Haverkort et al., 2016). La resistencia cualitativa a tizón tardío es gobernada por genes R que codifican inmunidad a través de HR y se piensa que es monogénica y raza específica (Jo et al., 2015).

Por otra parte, plantas con resistencia horizontal (genes menores), si bien permiten la invasión del patógeno y su desarrollo en los tejidos, limitan el crecimiento de éste, observándose una baja tasa de infección, lento crecimiento y desarrollo, prolongan el período de latencia de las esporas y reducen la producción de las mismas. Un estudio realizado por el Centro Internacional de la Papa, en donde se evaluó experimentalmente una muestra de 23 clones mejorados frente al ataque de cinco aislamientos de *P. infestans*, colectados en diversos ambientes de varias localidades del Perú, concluyó que la resistencia cuantitativa para el control de Tizón tardío, es la que mejor comportamiento ha demostrado para ser considerada como resistencia duradera. Sin embargo, al ser esta, una resistencia gobernada por muchos genes (poligénica), ha resultado difícil conseguir su introducción en cultivares comerciales.

Existe una amplia discusión y muchas son las recomendaciones en relación a la obtención de cultivares de papa con resistencia al Tizón tardío, a través del mejoramiento genético. Algunas recomendaciones consideran la combinación de resistencia poligénica (horizontal) y monogénica (vertical) para conseguir una resistencia duradera. También se ha mencionado que, considerando un promedio de vida de un cultivar en el mercado entre 10 a 15 años, la resistencia que no es superada durante este periodo, podría ser calificada en la práctica como resistencia duradera.

## 7.4 Estabilidad de la resistencia

La mayoría de los programas de mejoramiento tienden a la búsqueda de cultivares con rendimientos elevados y más estables, atributos de calidad industrial específicos y aspectos externos más atractivos al gusto local. Todas estas características, hoy en día se han complementado con la búsqueda e introducción de resistencia durable al Tizón tardío. Para determinar la estabilidad de la resistencia, aquellos materiales seleccionados por las características antes mencionadas, son evaluados en condiciones de campo durante varias temporadas y en diferentes condiciones medioambientales.

Gracias a la alta variabilidad genética presente en especies de solanáceas silvestres que han co-evolucionado con el patógeno, encontrar y mantener la resistencia estable es considerado factible. A respecto, el Centro Internacional de la Papa (CIP) ha desarrollado materiales mejorados que cuentan con resistencia horizontal al tizón, altos rendimientos y de buena calidad culinaria, los cuales fueron desarrollados desde una colección de papas nativas del altiplano (población fundadora) de *S. tuberosum ssp. andigena* sometida a varios ciclos de cruzamientos y selección recurrente. Para determinar la estabilidad de la resistencia a diferentes poblaciones de *P. infestans* en estos materiales mejorados, se evaluó una muestra de 60 clones con diferentes niveles de resistencia cuantitativa frente a cinco aislamientos del patógeno en cuatro zonas diferentes del Perú. Los aislamientos del patógeno muestreados desde los sitios de evaluación, correspondían al tipo de apareamiento A1 y representaban una nueva población de *P. infestans*, que está gradualmente reemplazando a las viejas poblaciones en dicho país y en general en la mayoría de zonas productoras a nivel de Sudamérica. Además, estas poblaciones se caracterizan por ser más agresivas y resistentes al fungicida metalaxyl. Los resultados publicados indican que todos los clones evaluados fueron estables frente a los cinco aislamientos del patógeno y no se encontró diferencia entre ellos en cuanto a la estabilidad de la resistencia. Estos clones están disponibles para la distribución internacional como fuente proveedora de resistencia duradera. Sin embargo, este material tiene buen comportamiento agronómico bajo condiciones de fotoperíodo de días cortos, típico de la sub-especie *S. andigena*, pero presenta baja adaptación a condiciones de fotoperíodo de días largos, lo que es una gran limitación para nuestras zonas de cultivo donde predomina esta última condición.

## 7.5 Fuentes de resistencia.

El gran potencial de recombinación sexual y la aparición de nuevas razas con más agresividad de *P. infestans*, ha orientado las investigaciones hacia la búsqueda de fuentes de resistencia en especies de solanáceas silvestres, especialmente en su centro de origen, Sudamérica. Una gran variabilidad genética de especies de papa silvestres ha sido reportada. Se han documentado más de 290 especies, de ellas, las que más se han utilizado en los programas de mejoramiento se muestran en el Cuadro 7.2.

**Cuadro 7.2** Especies de solanáceas comúnmente utilizadas en los programas de mejoramiento como fuentes de resistencia a Tizón tardío.

Especie silvestre	Procedencia	Resistencia
<i>S. commersonii</i> (2n=24)	Sudamérica	Ralstonia solanacearum y Erwinia corotovora
<i>S. bulbocastanum</i> (2n=24)	México	Tizón tardío
<i>S. pinnatisectum</i>	México	Tizón tardío, Erwinia corotovora
<i>S. berthaultii</i> (2n=24)	Bolivia	Tizón tardío, áfidos
<i>S. circaefolium</i> (2n=24)	Sudamérica	Tizón tardío
<i>S. laxissimum</i> (2n=24)	Bolivia y Perú	Tizón tardío
<i>S. demissum</i> (2n=6x=72)	México	Tizón tardío
<i>S. okadae</i>	Sudamérica	Tizón tardío

Fuente: Grünwald et al. 2002; Song et al. 2003; Barquero et al. 2005

Un número de especies silvestres, tal como *S. demissum*, coevolucionaron con *P. infestans*, y se convirtieron en el primer germoplasma utilizado por programas de mejoramiento de resistencia a Tizón tardío. Los 11 genes (R) de resistencia que se originaron de *S. demissum*, han sido incorporados en varios cultivares de papa. Todos estos 11 genes R, confieren resistencia de hipersensibilidad raza específica. Los cultivares de papa que poseen dichos genes R, no son resistentes a todas las razas del patógeno. Estos genes raza específicos, proveen una resistencia de corta duración en el campo hasta que las nuevas razas virulentas del patógeno rápidamente superan esta resistencia otorgada por un único gen.

Estudios recientes con la especie diploide *S. bulbocastanum*, demostraron una alta resistencia a todas las razas conocidas de *P. infestans*, inclusive bajo una intensa presión de la enfermedad. A pesar que *S. bulbocastanum* es sexualmente incompatible con la papa, se lograron híbridos somáticos, a través de la fusión de protoplastos, entre estas dos especies. A partir de un híbrido somático fértil PT29 se han desarrollado varias poblaciones de papa, que se están utilizando para mejoramiento y desarrollo de cultivares comerciales. Un QTL (región física de un cromosoma asociado un carácter cuantitativo) mayor de resistencia, RB, fue mapeado en el cromosoma 8 de *S. bulbocastanum*. La resistencia derivada del clon PT29 es manifestada por un lento progreso de la lesión, reduciendo sustancialmente la tasa de desarrollo de la enfermedad en la planta. Este genotipo que suprime, pero no elimina el desarrollo de síntomas, ha sido constantemente evaluado en varias localidades de los Estados Unidos y en el Valle de Toluca en México. La resistencia a Tizón tardío asociada con materiales derivados del clon PT29, podría ser considerada como resistencia parcial y ser usada efectivamente en los programas de mejoramiento, buscando

una resistencia duradera. En la actualidad existen materiales avanzados y variedades cuya utilización a nivel comercial, permitiría reducir notablemente el uso de fungicidas. Se han reportada alrededor de 250 clones promisorios, una cifra importante considerando lo avanzado de sus procesos de selección.

## 7.6 Oportunidades para la biotecnología

En las últimas décadas, la biotecnología ha tenido un enorme desarrollo, generando nuevas herramientas. El uso de marcadores moleculares ha permitido seleccionar genotipos portadores de genes de resistencia conocidas, así como seleccionar progenitores de manera más eficiente. En resistencia a enfermedades como PVY, PVX y nemátodo dorado, el uso de marcadores moleculares ha sido muy importante en asistir la mejora genética. En el caso del tizón tardío, se conocen marcadores para genes de resistencia provenientes de *S. demissum*, *S. bulbocastanum*, *S. pinnatisectum*, *S. berthaultii* y *S. mochiquense* que están siendo empleados en la generación líneas experimentales y están presentes en algunas variedades como Sarpo Mira. Sin embargo, el uso masivo de variedades portadoras de genes de resistencia está limitado por la aparición de cepas del patógeno que superan estas resistencias (tema ya discutido anteriormente) o porque la resistencia puede estar asociada a rasgos agronómicos negativos como la madurez tardía, por ejemplo. Por otra parte, biotecnologías basadas en la fusión de protoplastos o la tecnología de ADN recombinante han tenido un desarrollo importante a nivel experimental en la generación de cultivares transgénicos con resistencia a enfermedades, no obstante, en numerosos países incluido Chile, el cultivo de estos materiales con fines de alimentación no está permitido y persiste la controversia a nivel mundial sobre los riesgos biológicos, ambientales y sociales del uso de cultivos transgénicos. Tecnologías como la Cisgenia (la creación de organismos genéticamente modificados empleando genes obtenidos desde la misma especie) han sido desarrolladas con éxito en la generación de genotipos con presencia de varios de genes mayores de resistencia a *P. infestans*, especialmente en Holanda (Haverkort *et al.*, 2016), no obstante, su utilización comercial también es cuestionada y en Chile no es permitida. Recientemente han surgido técnicas biotecnológicas novedosas no transgénicas como las NBT, entre ellas CRISPRCas9, que posibilitan incorporar genes de resistencia con mayor precisión que los métodos de mejoramiento genético convencionales. Estas técnicas permiten realizar cambios genéticos dirigidos mediante la edición de regiones del genoma involucradas en rutas metabólicas clave, produciendo modificaciones del fenotipo útiles para los propósitos de mejora (silenciamiento de genes para ciertas enzimas, o la delección y pérdida de función de genes que incrementan la susceptibilidad a enfermedades), sin integrar elementos genéticos de otro organismo en el

producto final. La condición tetraploide de la papa convierte esta tarea en algo desafiante y de largo plazo, no obstante, en 2015, se demostró que los sistemas de edición génica TALEN y CRISPR/cas9 pueden ser usados eficientemente para el mejoramiento genético de la papa (Weeks, 2017).

## 7.7 Literatura consultada

- Acuña, I. et al. 2015. Informe técnico y gestión final. Proyecto Consorcio Papa Chile: Aumento de la Competitividad del Rubro Papa a Través del desarrollo Tecnológico y el Aumento de Capacidades Humanas para Proyectarse al Mercado Global. CODIGO: FIC-CS-C-2005-1-A-006.
- Acuña, I., R. Bravo, I. Maldonado, N. Gaete, S. Sagredo, J. Inostroza, M. Gutierrez y J. Solano. 2007. Informe Técnico Final, proyecto "Uso de pronosticadores para el desarrollo de estrategias de manejo integrado del Tizón tardío de la papa en la zona sur de Chile" FIA-PI-C-2003-1-A-17. INIA-Remehue, Osorno, Chile. 137 pp.
- Barquero, M. L., L. Gómez y A. Brenes, A. 2005. Resistencia al Tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en clones promisorios de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 29(3):31-45
- Bradeen, J. 2011. Cloning of late blight resistance genes: strategies and progress. In: Genetics, genomics and breeding of potato. Pp: 153 - 183. Ed: Bradeen, J. and Kole, C. Science Publishers, Enfield, USA.
- Brugmans, B., Wouters, D., van Os, H., Hutten, R., van der Linden, G., Visser, R.G.F., van Eck, H.J. and van der Vossen, E.A.G. 2008. Genetic mapping and transcription analyses of resistance gene loci in potato using NBS profiling. *Theor. Appl. Genet.* 117, 1379-1388.
- Brouwer, D. Jones, E. and St. Clair, D. 2004. QTL analysis of quantitative resistance to *Phytophthora infestans* (late blight) in tomato and comparisons with potato. *Genome* 47: 475 - 492.
- Forbes, G., M. Chacón, H. Kirk, M. Huarte, M. Van Damme, S. Distel, G. Mackay, H. Stewart, R. Lowe, J. Duncan, H. Mayton, W. Fry, D. Andrivon, D. Ellissèche, R. Pellé, H. Platt, G. MacKenzie, T. Tarn, L. Colon, D. Budding, H. Lozoya-Saldaña, H. Hernandez-Vilchis and S. Capezio. 2005. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in potato: an international evaluation. *Plant Pathology* 54: 364-372

- Gilroy, E., Breen, S. Whisson, S., Squires, J., Hein, I., Kaczmarek, M., Turnbull, D., Boevink, P., Lokossou, A., Cano, L., Morales, J., Avrova, A., Pritchard, L., Randall, E., Lees, A., Govers, F., van West, P., Kamoun, S., Vleeshouwers, V., Cooke, D. and Birch, P. 2011. Presence/absence, differential expression and sequence polymorphisms between PiAVR2 and PiAVR2-like in *Phytophthora infestans* determine virulence on R2 plants. *New Phytologist* 191: 763-776.
- Grunwald, J., A. Mateo, C. Hinojosa, O. Covarrubias, A. Rivera, J. Niederhauser and W. Fry. 2002. Potato cultivars from the Mexican National Program: sources and durability of resistance against late blight. *Phytopathology* vol. 92, nº 7: 688-693
- Haverkort, A., Boonekamp, P., Hutten, R. et al. 2016. Durable late blight resistance in potato through dynamic varieties obtained by Cisgenesis: Scientific and societal advances in the DuRPh project. *Potato Research* DOI 10.1007/s11540-015-9312-6.
- Jo, K.R., Kim, C.K., Kim, S.J., Kim, T.Y., Bergervoet, M., Jongtsma, M., Visser, R., Jacobsen, E., and Vossen, J. 2014. Development of late blight resistant potatoes by cisgene stacking. *BMC Biotechnology* 14:50.
- Jo KR, Visser RGF, Jacobsen E, Vossen JH. 2015. Characterization of the late blight resistance in potato differential MaR9 reveals a qualitative resistance gene, R9a, residing in a cluster of Tm-2 2 homologs on chromosome IX. *Theor Appl Genet* 128(5):931-941
- Kim, HJ., Lee, H.R, Jo, K.R., Mortazavian, S.M., Huigen, D.J., Evenhuis, B., Kessel, G., Visser, R., Jacobsen, E. and Vossen, J. 2012. Broad spectrum late blight resistance in potato differential set plants MaR8 and MaR9 is conferred by multiple stacked R genes. *Theor Appl Genet* 124: 923 - 935.
- Landeo, J. y M. Gastelo. 2000. Quantifying genetic variance for horizontal resistance to late blight in potato breeding population B3C1. CIP Program report 63-68.
- Lozoya-Saldaña, H., L. Guzmán, S. Fernández, N. Grunwald and E. Mcelhinny. 2005. *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. I. Host-Pathogen specificity and resistance components. *Agrociencia* 40:205-217
- Porter, L., Brown, C., Jansky, S., Johnson, D. y Dung, J. 2017. Tuber Resistance and Slow-Rotting Characteristics of Potato Clones Associated with the Solanaceae Coordinated Agricultural Project to the US-24 Clonal Lineage of *Phytophthora infestans*. *Am. J. Potato Res.* 94:160-172

- Rodewald J, Trognitz B. 2013. *Solanum* resistance genes against *Phytophthora infestans* and their corresponding avirulence genes. Mol Plant Pathol. 14:740-757. doi: 10.1111/mpp.12036.
- Secor, G. and N. Gudmestad. 1999. Managing fungal of potato. Plant Pathology 21: 213-221
- Song, J., J. Bradeen, K. Naess, J. Raasch, S. Wielgus, G. Haberlach, L. Liu, H. Kuang, S. Austin-Phillips, R. Buell, J. Helgeson and J. Jiang. 2003. Gene RB cloned from *Solanum bulbocastanum* confers broad spectrum resistance to potato late blight. PNAS vol. 100, n° 16: 9128-9133
- Turkensteen, L. and E. Zimnoch-Guzowska. 2000. Studies of the pathogen/ breeding for host resistance wrap-up. Review Plant Research International. p. 55-56
- University of California Agriculture and Natural center. 2001. Integrated pest management for potatoes in The Western United States. Boletín Informativo 3316
- Van der Lee, T., A. Testa, J. Klooster, G. Van der Berg-Velthuis and F. Govers. 2001. Chromosomal deletion in isolates of *Phytophthora infestans* correlates with virulence on R3, R10 and R11 potato lines. Molecular Plant-Microbe Interactions vol. 14, n° 12: 1444-1452.
- Vleeshouwers VGAA, Raffaele S, Vossen JH, Champouret N, Oliva R, Segretin ME, Rietman H, Cano LM, Lokossou A, Kessel G, Pel MA, Kamoun S. 2011. Understanding and exploiting late blight resistance in the age of effectors. Annu Rev Phytopathol. 49:507-531. doi: 10.1146/annurev-phyto-072910-095326.
- Wastie RL. 1991. Breeding for resistance. Adv Plant Pathol.7:193-224.
- Weeks, D. 2017. Gene editing in polyploid crops: Wheat, Camelina, Canola, Potato, Cotton, Peanut, Sugar Cane and Citrus. Progress in Molecular Biology and Translational Science. 149:65-80.

## CAPITULO 8.

# EVALUACIÓN Y POTENCIAL DE VARIEDADES NATIVAS DE PAPA EN EL MANEJO INTEGRADO DEL TIZÓN TARDÍO

### **Jaime Solano Solis**

Ingeniero Agrónomo, Universidad Austral de Chile. M.Sc. Universidad Austral de Chile. Dr. INRA Francia. Académico de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales de la Universidad Católica de Temuco, Temuco, Región de La Araucanía, Chile.  
E-mail: [jsolano@uct.cl](mailto:jsolano@uct.cl)

### **Ivette Acuña Bravo**

Ingeniera Agrónomo, Pontificia Universidad Católica de Chile. Ph.D. Montana State University, USA. Investigadora en fitopatología, Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Remehue, Osorno, Región de Los Lagos, Chile.  
E-mail: [iacuna@inia.cl](mailto:iacuna@inia.cl)

## 8.1 Introducción.

Los recursos fitogenéticos permiten desarrollar cultivos productivos, de calidad y resistentes a enfermedades, plagas y condiciones ambientales adversas ayudando a incrementar la productividad y sostenibilidad de la agricultura. En la actualidad resultan de gran interés por cuanto están relacionados con la satisfacción de necesidades básicas del hombre y con la solución de problemas como el hambre y la pobreza. Según FAO, se estima que en los próximos 30 años la población mundial aumentará a más de 8.000 millones de habitantes y por tanto, la demanda por alimentos requerirá mejorar el rendimiento de los cultivos de manera eficiente y sostenible. Lo anterior, conlleva mejorar los sistemas productivos agrícolas hacia cultivos de alto rendimiento y calidad que se adapten a las condiciones ambientales y que resistan las plagas y enfermedades. Para ello se pueden aprovechar especies nativas requiriéndose reservas de material genético cuya conservación, manejo y utilización recién empieza a recibir la atención que merece.

La papa es conocida en América desde hace 10.500 años, siendo su domesticación y cultivo eventos mucho más recientes. En este continente surgieron dos pueblos cuya alimentación básica fue la papa. Los Colla que habitan el altiplano junto al lago Titicaca y los Araucanos que vivían al Sur del río Bío-Bío. La papa tuvo dos centros de origen; el de Chiloé para *Solanum tuberosum* y Ecuador, Perú y Bolivia, para la papa cultivada andina *Solanum andigena*. Las papas cultivadas están constituidas por un gran número de especies o híbridos naturales que pertenecen a la familia Solanaceae, la cual comprende aproximadamente

150 especies tuberíferas. La más común de las papas *Solanum tuberosum* es un tetraploide a la que se le considera compuesta por las subespecies (ssp.) *tuberosum* y *andigena*, las cuales son completamente fértiles entre sí. La supervivencia de esta especie en condiciones silvestres sólo se realiza en casos excepcionales y ambas subespecies han resultado y sobrevivido, por la selección hecha por el hombre.

La perpetuación de muchas características genéticas diversas en papa es atribuible a la propagación asexual por medio de tubérculos. La diversidad existente dentro de los diferentes grupos de papa, se cree que ha sido originada por hibridación entre los diversos tipos, por duplicación de cromosomas, mutación genética, mutación somática y perpetuación en la forma de quimeras.

Chile es considerado un subcentro de origen de la papa cultivada, coexistiendo en el país material genético nativo e introducido. En este contexto, las papas nativas de Chiloé se caracterizan por presentar una rica variabilidad de formas, tamaños, colores, y características fenotípicas. Este rico patrimonio genético debe ser caracterizado e individualizado para finalmente ser conservado y utilizado. Lamentablemente, las papas nativas de Chiloé se pierden cada día más, siendo algunas causas, el uso de variedades introducidas y el deterioro fitopatológico que han sufrido. Debido a esto, es necesario potenciar su conservación mediante bancos de germoplasma y su utilización directa, de manera que este material genético nativo no desaparezca y se proyecte en el futuro con nuevos usos. Por lo anterior, los programas de mejoramiento de papa requieren disponer de un conocimiento básico de la morfología y naturaleza genética de las principales partes de esta planta. En este contexto, se han incorporado nuevos avances en biología molecular con el uso de marcadores de naturaleza molecular y de mayor sensibilidad para detectar cambios en el genotipo de los individuos. En el presente capítulo se presentan los resultados de algunas evaluaciones de variedades nativas de papa, a infecciones de tizón tardío conducidas en la Región de La Araucanía.

## 8.2 Germoplasma chileno de papa.

En el Sur de Chile se encuentra una notable concentración de formas de papas cultivadas y silvestres, siendo la isla grande de Chiloé donde se localiza el mayor número de variedades nativas, aún cuando en la actualidad son las islas de la parte oriental y sur de la isla grande donde los pequeños agricultores aún las conservan en sus huertas. Dentro de este material se pueden mencionar: azul, mantequilla, clavela, bastoneza, ñocha, mojón de gato, boyo de chancho, estrella, reina negra, araucana, chamizuda, doma, guaicaña, guadacho, lobo, michuñe,

murta, morada, negra, notra, siete semanas, pachacoña, oropana, quila, rosada, blanca, vaporina, sedalina, rolechana, codina, guapa, india, zapatona, frutilla, huevo, chiruca, soldada, chona y bolera por nombrar sólo algunas. Debido a las características peculiares de Chiloé, sus condiciones naturales y el aislamiento, permitieron la proliferación de un gran número de variedades autóctonas, de cualidades diferentes y aptas para ser cultivadas en diversos momentos del calendario agrícola, así como para diferentes formas de preparación y de consumo. Por esta razón, campesinos chilotes han conservado sus semillas de papas para la siembra, lo cual ha producido un gran mosaico de variedades antiguas en todo el archipiélago de Chiloé.

Estimaciones de las relaciones genéticas en material nativo de papa usando datos morfológicos y marcadores AFLP (del inglés Amplified Fragment Length Polymorphism), señalan la presencia de un alto grado de polimorfismo (diferencias) en el material nativo de Chile. Las formas y colores de tubérculos y flores son importantes caracteres de agrupamiento, no obstante, el test de Mantel (prueba estadística de correlación entre dos matrices) ha revelado la existencia de una baja correlación entre los datos morfológicos y moleculares, lo cual obliga a explorar la base genética de aquellas características con interés agronómico.

### **8. 3 Impactos del tizón tardío sobre la producción de papa.**

*Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary es un hongo oomicete causante del tizón tardío, la cual es probablemente la más importante enfermedad de la papa. En las Regiones de los Lagos y de la Araucanía, cada cierto número de años se presentan los denominados "años de tizón", los cuales han alcanzado daños que han mermado el rendimiento del cultivo hasta en un 50% del rendimiento físico. Lo anterior, además de significar reducciones de los potenciales productivos de las variedades actuales, se traduce en importantes incrementos de los costos de producción por aplicaciones de fungicidas para controlar la enfermedad. Estos tratamientos requieren repetirse cada cierto número de días (7-15), con lo cual en la temporada se alcanza un número total de aproximadamente 4 a 8 aplicaciones para las zonas de producción del Sur de Chile. En países desarrollados como Estados Unidos y Francia, el número de aplicaciones es aún mayor, a causa de la agresividad de la enfermedad. Por ejemplo, en el Estado de Dakota del Norte, dada la presencia de razas resistentes a Metalaxil, se reportan más de 10 aplicaciones de fungicidas para condiciones de secano y 20 aplicaciones para condiciones de riego.

## 8.4 Fuentes de resistencia genética.

El mejoramiento para obtener nuevas variedades resistentes al tizón tardío se inició después de la epifita causada en 1845 en Irlanda. Desde entonces hasta la fecha, los científicos de todas partes del mundo, involucrados en el cultivo de la papa, continúan trabajando en la búsqueda de variedades resistentes, debido a que la resistencia sucumbe a los pocos años por la aparición de aislamientos o razas más agresivas del hongo. En la actualidad se reconocen dos tipos de resistencia: la resistencia vertical y la resistencia horizontal. Las plantas de papa con resistencia vertical o cualitativa son resistentes solamente a un número determinado de razas del patógeno. Esta resistencia está gobernada por genes mayores conocidos como genes R, los cuales han sido incorporados utilizando como uno de los progenitores, a la especie silvestre *Solanum demissum*, la cual tiene genes mayores dominantes. Desafortunadamente, este tipo de resistencia tiene corta duración en el campo, porque las plantas se tornan susceptibles ante la aparición de nuevas razas. La segunda, conocida también como resistencia cuantitativa o de campo, está gobernada por genes menores (r) cuyos efectos se traducen en restricciones a la penetración, tasa de invasión y esporulación del patógeno al estar asociados a ciertas características de las plantas como el grosor de la cutícula de la hoja y/o la presencia de sustancias que inhiben o retardan el desarrollo del patógeno. Las plantas que tienen este tipo de resistencia se pueden infectar en cierto grado en el campo, pero los daños y el porcentaje del área infectada son significativamente menores que en plantas susceptibles. La resistencia horizontal es mucho más estable en el tiempo que la resistencia vertical.

El nivel de resistencia cuantitativa presente en la actualidad en los materiales de los bancos de germoplasma de *S. tuberosum* parece ser insuficiente como para permitir en el corto plazo una reducción significativa en el uso de fungicidas. El desarrollo de nuevos cultivares tetraploides mejorados con orientación a la producción comercial ha forzado a los agricultores a un abandono sistemático de la producción de especies de papa nativas. *Solanum phureja*, es una especie nativa diploide muy antigua y bien distribuida en las laderas bajas y húmedas de la Sierra Colombiana y Ecuatoriana. Esta especie ha demostrado ser un reservorio de numerosas características tales como precocidad, calidad y resistencia a muchas enfermedades de la papa, además posee un ciclo de crecimiento corto, lo cual permite un rápido avance para su mejoramiento y selección. Por ello, es particularmente ventajosa si se le compara con los cultivares tardíos de *S. andigena*. Muchas especies de *Solanum* han sido recientemente descritas como hospederos de *P. infestans* y la resistencia en *S. phureja* ha sido bien establecida. Sin embargo, esta fuente de resistencia recién empieza a ser explotada por los programas de mejoramiento.

En Bolivia existen cientos de cultivares nativos, los cuales pertenecen a varias especies: *Solanum stenotomum*, *S. goniocalyx*, *S. phureja*, *S. ajanhuiri*, *S. chaucha*, *S. juzepczukii*, *S. andigena* y *S. curtilobum*. Muchos de estos son cultivados donde el tizón es endémico y algunos de ellos, en apariencia, han perdido tolerancia a las razas más agresivas del patógeno. Afortunadamente, existe una gran variación en el pool de genes en la papa a través de estos cultivares, lo cual puede servir de fuentes de resistencia genética. Recientemente se ha reportado alta resistencia horizontal tanto foliar como de tubérculos a tizón tardío en clones mejorados, lo cual ha permitido cambiar las estrategias de manejo químico.

## 8.5 Conservación de material nativo de papa.

El material nativo que se ha utilizado para evaluar la resistencia al tizón tardío proviene principalmente del Archipiélago de Chiloé (Cuadro 8.1 y Fotos 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6 y 8.7). En algunos de los estudios, se ha incluido como control la especie *Solanum fernandezianum* proveniente del Archipiélago de Juan Fernández. Del mismo modo, los resultados son contrastados con los diferentes cultivares comerciales resistentes existentes en el país.

**Cuadro 8.1** Materiales de papa nativa.

Tipo de variedad	Denominación
Variedades con tubérculos de piel morada.	Michuñe azul
	Azul tabla
	Bruja
	Michuñe negro
	Azul de Quento
Variedades con tubérculos de piel blanca.	Azul cristalina
	Lengua vaca
	Tonta
Variedades con tubérculos de piel rosada.	Rosada
	Guadacho colorado
Variedades con tubérculos de piel variegada.	Camota
	Clavela
	Clavela morada
	Michuñe ojitos blancos



**Foto 8.1.** Presentación en mallas de papas nativas en el mercado local de Castro



**Foto 8.2.** Tubérculos de Michuñe azul





**Foto 8.3.** Tubérculos de Clavela



**Foto 8.4** Tallos púrpura de material nativo



**Foto 8.5** Cultivo de papas nativas en la Isla de Apiao, comuna de Quinchao.

## **8.5 Evaluación y comportamiento de diferentes cultivares comerciales y variedades nativas de papa a tizón tardío.**

Este trabajo se inició durante la temporada 2003-2004 en la localidad de Huichahue, Región de la Araucanía, permitiendo establecer las primeras aproximaciones de la respuesta de material nativo de papa a infecciones de campo del hongo *Phytophthora infestans*, con la observación del comportamiento de 9 variedades nativas y el cultivar Desirée.

Posteriormente, durante la temporada 2006-2007, en la localidad de Pillanlelbún, se estableció un segundo ensayo de campo, cuyo objetivo fue evaluar el control integrado del tizón tardío basados en el control químico y grados de severidad acumulados mediante un sistema de emisión de alarmas tempranas en diferentes cultivares y variedades nativas de papa (Foto 9.4). Los tratamientos consideraron cinco cultivares y dos variedades nativas de papa. Los cultivares utilizados fueron Desiree, Yagana, Karú, Pukara y Cardinal. Las variedades nativas de papa utilizadas correspondieron a Michuñe azul y Clavela. Las variedades Yagana y Desiree fueron consideradas como estándares, toda

vez que representan las principales variedades sembradas en el país. Las papas nativas Clavela y Michuñe azul, fueron seleccionadas por el hecho que la primera es una variedad de alto interés comercial, y la segunda por corresponder a una variedad que en opinión de los propios campesinos de la isla, es considerada como "muy firme a tizón tardío". Las parcelas experimentales fueron manejadas con y sin control químico según tratamiento, incluyendo cada uno todos los cultivares y variedades. Por su parte, el control químico se realizó según sistema de alerta temprana basada en el modelo Blitecast, con aplicaciones de fungicidas en los momentos indicados por la alarma. Hacia el final del periodo de crecimiento, éste último manejo tuvo un total de tres aplicaciones de fungicidas, los que correspondieron a: Mancozeb (Manzate 800) en dosis de 2 kg pc/ha al momento de cierre de hilera del cultivo, la primera alarma emitida el 03 de enero de 2007 y una segunda alarma emitida el 24 de enero de 2007, con aplicaciones de Clorotalonil (Bravo 720) en dosis de 1.5 L pc/ha. El diseño experimental fue parcelas divididas con cuatro repeticiones. Los tratamientos se ordenaron en un arreglo factorial de 7x2, los que correspondieron a siete cultivares/variedades de papa y dos sistemas de control químico, con y sin aplicación. Los datos se sometieron a un análisis de varianza considerando los efectos principales y de interacción entre ambos factores. Los valores medios se compararon a través del estadístico de Duncan ( $p \leq 0,05$ ). El cultivo se estableció con fecha 17 de octubre de 2006, sobre una pradera degradada y la fertilización consideró el equivalente a 1300 kg/ha de mezcla 11-30-11, aplicado al momento de la plantación del cultivo. Para evaluar la presencia de *Phytophthora infestans* se utilizó la escala descrita por el Centro Internacional de la Papa (CIP). Se determinó el porcentaje de follaje dañado usando los siguientes rangos: 1= 0%, 2= trazas-5%, 3= 5-15%, 4= 15-35%, 5= 35-65%, 6= 65-85%, 7= 85-95%, 8= 95-99 y 9= todas las hojas y tallos muertos. Estas evaluaciones se efectuaron semanalmente para determinar el desarrollo de la enfermedad. Se evaluó un total de 10 plantas por cada unidad experimental.



**Foto 8.6.** Parcelas para la evaluación de cultivares nativos de papa para tizón tardío.



**Foto 8.7.** Oferta de papas nativas en supermercados de Temuco

## 8.6 Comportamiento de material nativo de papa a tizón tardío; Temporada 2004–2005.

En el Cuadro 8.2, se presentan los resultados de la primera evaluación de la respuesta de material nativo de papa a infecciones de campo del hongo *P. infestans*, correspondiente a la temporada 2004 a 2005 en la Región de La Araucanía.

**Cuadro 8.2** Respuesta de algunas accesiones de papas nativas al tizón tardío (*Phytophthora infestans*), durante la temporada 2004–05.

Variedad	Valores escala del CIP
Michuñe azul	1,50
Lengua de vaca	1,75
Clavela	1,75
Desirée	3,75
Guadacho colorado	1,00
Camota	1,50
Guadacho blanco	1,50
Michuñe ojitos blancos	1,75
Azul tabla	1,33
Bruja	1,25

Evaluación: 14 de enero del 2004

En el Cuadro 8.2, se aprecia que existieron diferencias entre los materiales estudiados en rangos que fluctuaron entre 1 a 3.75 de la escala CIP. Se observa, que el cultivar Desirée fue el más susceptible, toda vez que presentó el mayor daño foliar, con valor de escala CIP de 3.75, lo cual indica presencia de lesiones fácilmente visibles y un porcentaje de daño cercano al 15% del cultivo. Los materiales nativos mostraron un buen comportamiento, especialmente en las variedades Guadacho colorado, Bruja, Azul tabla y Michuñe azul. En promedio se observaron daños foliares que comparativamente representan sólo el 40% del daño presentado por el cultivar Desirée.

## 8.7 Comportamiento de cultivares y variedades nativas de papa a infecciones de tizón tardío; Temporada 2006–2007.

En el Cuadro 8.3, se presenta el porcentaje promedio de plantas afectadas por tizón en cada uno de los cultivares y variedades estudiadas al inicio del ataque del

hongo. En general, es posible apreciar que durante la primera semana de enero, el sistema con control químico según alerta temprana presentó rangos entre 7.5 y 37.4% de plantas dañadas dependiendo del cultivar/variedad. Por su parte, el sistema sin control químico, presentó un porcentaje mayor de plantas dañadas, el que fluctuó entre el 37.5 y 55,0 % dependiendo del cultivar/variedad. Para la segunda semana de enero, aún cuando los porcentajes de plantas dañadas se incrementaron, estas mantuvieron el comportamiento y la tendencia presentes en la semana previa.

En relación al material nativo de papa incluido en el estudio, se puede señalar que la variedad Michuñe azul, se ubicó dentro de los materiales con menor número de plantas afectadas por la enfermedad, especialmente cuando fueron manejadas sin control químico.

**Cuadro 8.3.** Porcentajes promedios de plantas afectadas por tizón tardío en cultivares y variedades de papas, manejados con control químico basado en alerta temprana y sin control químico, Pillanlelbún. 2006/07

Variedades y cultivares	Control químico	
	Sin fungicida	Con fungicida
<b>08 al 12 de enero</b>		
Clavela	50,0	35,0
Cardinal	37,5	7,5
Desiree	55,0	37,4
Michuñe azul	40,0	10,0
Pukara	40,0	10,0
Karu	50,0	15,0
Yagana	52,5	25,0
<b>15 al 19 de enero</b>		
Clavela	52,0	52,5
Cardinal	40,0	17,3
Desiree	60,0	32,5
Michuñe azul	42,5	27,5
Pukara	42,5	30,0
Karu	50,0	20,0
Yagana	57,7	52,5

En el Cuadro 8.4, se presentan los efectos principales de variedades nativas y cultivares comerciales sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). Se aprecia, que existieron diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en el comportamiento de los materiales para ambos

parámetros. Efectivamente, a los 82 y 91 días de cultivo, el cultivar Cardinal presentó el menor daño foliar, el cual fue significativamente inferior al mostrado por Desirée. Lo anterior, se relaciona directamente con los niveles de resistencia oficial descritos, en que Cardinal corresponde a un cultivar resistente, mientras que Desirée es clasificada como moderadamente susceptible. Con respecto al material nativo, Michuñe azul mostró un comportamiento intermedio, con niveles de daño foliar similar al material moderadamente resistente incluido en el estudio. Por otra parte, la mayor diferencia en el daño foliar entre los materiales se observó hacia fines del mes de enero. Destaca el daño alcanzado por Desirée, el que en promedio fue del 10% con presencia de lesiones en cantidades superiores a los 20 foliolos por planta. Para el ABCPE, los resultados muestran que existieron diferencias significativas entre cultivares y variedades. La menor área se observó en el cultivar Cardinal, mientras que la mayor la presentó Desirée. Esto coincide con los daños foliares observados y se relaciona directamente con los niveles de resistencia oficial. Los valores de área bajo la curva observada fueron de 85,56; 98,74; 111,13; 130,86 y 148,65 para Cardinal, Karu, Pukará, Yagana y Desirée, respectivamente. Por otra parte, el ABCPE clasificó a las variedades nativas Michuñe azul y Clavela como moderadamente resistente, con valores de 119,39 y 120,54 respectivamente. Lo anterior, podría estar asociado con los contenidos de patatina, con la duración de algunas fenofases, con la arquitectura de la planta entre otros caracteres interesantes de evaluar. Los resultados sugieren que la resistencia observada es de tipo cuantitativa, dado el amplio rango de variación de este parámetro. No obstante, esta expresión no es suficiente para descartar la presencia de genes R.

**Cuadro 8.4** Efectos principales de cultivares y variedades, sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), Pillanlelbún 2006/07.

Cultivares y variedades	82 dds	88 dds	91 dds	97 dds	ABCPE
Clavela	1,43 ab	1,56 a	2,34 ab	4,48 a	120,54 abc
Cardinal	1,21 d	1,29 c	1,76 b	3,99 a	85,56 c
Desirée	1,46 a	1,45 abc	2,91 a	3,93 a	146,85 a
Michuñe azul	1,28 cd	1,36 bc	2,3 ab	3,81 a	119,39 abc
Pukará	1,28 cd	1,5 ab	2,46 ab	3,68 a	111,13 abc
Karu	1,34 bc	1,33 bc	2,38 ab	4,77 a	98,74 bc
Yagana	1,41 ab	1,58 a	2,48 ab	4,16 a	130,86 ab

Valores con igual letra no difieren significativamente entre sí, según prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ). Valores del índice promedio según escala CIP, donde 1= no daño y 9= 100% de follaje dañado. dds: días después de siembra.

En el Cuadro 8.5, se presentan los efectos principales de emisiones de alertas tempranas, sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad. Se observa, que existieron diferencias significativas para ambos parámetros ( $p \leq 0,05$ ). En general, se observa que para todos los periodos evaluados los índices de daños al follaje fueron menores cuando las decisiones de proteger al cultivo se tomaron en función de las alertas tempranas. En efecto, el daño foliar al cultivo en el sistema sin alerta creció hasta alcanzar un valor de 5,10; mientras que en el cultivo con alerta el índice sólo fue de 3,08. En términos de daño, significó pasar de aproximadamente el 50% del área foliar destruida y todas las plantas afectadas a no más de 20 foliolos con lesiones por planta.

En relación al ABCPE, la tendencia es similar, y el uso de la alerta temprana permitió reducir en un 64,5% el área bajo la curva afectada pasando de 171,53 a 60,77. Es importante señalar, que para la primera y segunda fecha de evaluación (Cuadro 8.5), las diferencias observadas entre ambos sistemas, son imputables a la protección del cultivo proporcionada por la aplicación al cierre de entre hilera (mancozeb) y la emisión de la primera alarma (clorotalonil), mientras que para la tercera y cuarta fecha de evaluación las diferencias son atribuibles al control realizado al cierre de entre hilera y la emisión de la primera y segunda alarma. Con todo, la utilización de un sistema de alerta temprana, permite realizar aplicaciones preventivas, anticipándose a los efectos de la enfermedad, pudiendo ser incluidos en los sistemas de apoyo a la toma de decisiones de los productores, ya que pronostican la fecha de inicio de las aplicaciones.

**Cuadro 8.5** Efectos principales de emisión de alertas tempranas, sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), Pillanlelbún 2006/07.

Evaluaciones índice de daño foliar	Sin alerta temprana	Con alerta temprana
08 al 12 de enero	1,48 a	1,21 b
15 al 19 de enero	1,49 a	1,39 b
22 al 26 de enero	2,79 a	1,96 b
29 de enero al 02 de febrero	5,10 a	3,08 b
<b>ABCPE</b>	<b>171,53 a</b>	<b>60,77 b</b>

Valores con igual letra entre filas no difieren significativamente entre sí, según prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ).  
 Valores del índice promedio según escala CIP, donde 1= no daño y 9= 100% de follaje dañado.  
 dds: días después de siembra.

En el Cuadro 8.6, se presentan los efectos de interacción entre cultivares y variedades nativas por sistema de emisión de alertas tempranas, sobre el ABCPE. Los resultados muestran que no existieron efectos de interacción entre ambas variables. Lo anterior, está indicando que la utilización de un sistema de emisión de alerta temprana para el control de la enfermedad es recomendable independientemente de cuáles sean la variedad o cultivar de papa a plantar. No obstante, el daño foliar es significativamente inferior cuando el cultivo es protegido. Lo anterior, deja ver la necesidad de efectuar aplicaciones oportunas de fungicidas, esto es, antes de la aparición de los primeros síntomas y cuando el sistema de pronosticador emita las primeras señales de alertas.

Por otra parte, para aquellos sistemas de producción menos tecnificados y donde no se tiene acceso a los sistemas de alerta ni a los fungicidas, como podría ser el caso de los agricultores más pequeños, es necesario considerar los niveles de resistencia disponibles en los diferentes materiales de papa disponibles, toda vez que desde un punto de vista económico y ambiental, es deseable el uso de cultivares de papa con mayores niveles de resistencia genética a la enfermedad. Lo anterior, permitirá diseñar estrategias de manejo que reduzcan la incidencia de la enfermedad.

**Cuadro 8.6** Efectos principales de emisión de alertas tempranas, sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), Pillanlelbún 2006/07.

Cultivares y variedades	Sin alerta temprana	Con alerta temprana
Clavela	162,706 a	78,375 a
Cardinal	131,252 a	39,875 a
Desirée	233,533 a	60,175 a
Michuñe azul	158,862 a	79,925 a
Pukará	158,065 a	64,200 a
Karu	145,642 a	51,850 a
Yagana	210,705 a	51,025 a

Valores con igual letra no difieren significativamente entre sí; según prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ).

## 8.8 Conclusiones

- Los efectos principales de cultivares y variedades nativas sobre el índice de daño foliar y el área bajo la curva de progreso de la enfermedad, indican que existen diferencias entre los materiales mejorados y nativos, sobre todo en los primeros estados de desarrollo del cultivo. Por lo anterior, es importante considerar como componentes esenciales la resistencia varietal en un programa de manejo integrado del tizón tardío.

- El control químico basado en un sistema de alerta temprana (Blitecast) para el control integrado del tizón tardío reduce la infección en los cultivares mejorados y variedades nativas de papa mediante la aplicación preventiva de fungicidas, ya que su implementación permite controlar la enfermedad antes de la aparición de los síntomas, independientemente de cual sea la variedad a plantar.
- El área bajo la curva de progreso de la enfermedad, clasifica a las variedades nativas Michuñe azul y Clavela como moderadamente resistente con valores de área bajo la curva de 119.39 y 120.54 respectivamente.
- Sería muy interesante determinar que caracteres están asociados a un mejor comportamiento frente al tizón tardío de la papa, como por ejemplo, contenidos de patatina en hoja y tubérculos, la duración de algunos estados fenológicos, el grosor de la cutícula de la hoja entre otros.
- El aporte de los cultivares y variedades al manejo integrado del tizón tardío de la papa, es contribuir en una reducción en el número de aplicaciones de fungicidas, de las dosis de aplicación y en el ampliar los intervalos de las mismas.

## 8.9 Literatura consultada

- Acuña, I., B. Sagredo, R. Bravo, M. Gutiérrez, I. Maldonado, N. Gaete, J. Inostroza, G. Secor, V. Rivera, J. Kalazich, J. Solano, and J. Rojas 2007. Using a forecasting system to develop integrated pest management strategies for control of late blight in southern Chile. p. 237-250. In Schepers, H. (Ed.). Proceedings of the tenth workshop of an European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Bologna. 5th May 2007. Applied Plant Research. Italy.
- Andrison, D., R. Corbière, D. Ellisséche y S. Duvauchelle. 2001. *Phytophthora infestans* évolution des populations de mildiu. La pomme de terre 523: 48-51.
- Arias, E. 2007. Validación y evaluación de sistemas de alarma para el control del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en el sector de Pillanlelbún Región de La Araucanía. 20 p. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Católica de Temuco. Facultad de Recursos Naturales. Escuela de Agronomía. Temuco, Chile.
- Castronovo, A. 1949. Papas chilotas. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Instituto de Fitotécnica. Buenos aires. 245 pp.

- FAO, 1996. Conservación y utilización sostenible de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura: Plan de acción mundial e informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos en el mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Italia. 10 pp.
- Flier, W., L. Turkensteen y A. Mulder. 1998. Variation in tuber pathogenicity of *Phytophthora infestans* in the Netherlands. *Potato Research* 41, 345-354.
- Flores, P., J. Lerdon, R. Bravo, e I. Acuña. 2008. Factibilidad de implementar pronosticadores automatizados para controlar el tizón tardío de la papa en el Sur de Chile. *Agro Sur* 36(1):36-42.
- Forbes, G., M. Chacón, H. Kirk, M. Huarte, M. Van Damme, S. Distel, G. Mackay, H. Stewart, R. Lowe, J. Duncan, H. Mayton, W. Fry, D. Andrivon, D. Ellisséche, R. Pellé, H. Platt, G. Mackenzie, T. Tarn, L. Colon, D. Budding, H. Lozoya-Saldaña, A. Hernandez-Vilchis y S. Capezio. 2005. Stability of resistance to *Phytophthora infestans* in potato: an internacional evaluation. *Plant pathology*. 54:364-372.
- Goodwin, S., L. Sujkowski y W. Fry. 1995. Rapid evolution of pathogenicity within clonal lineales of the potato late blight disease fungus. *Phytopathology* 85: 669-676.
- Gudmestad, N. 1997. Forecasting late blight and fungicide application technology. Available at <http://www.apsnet.org/online/proceedings/lateblite/papers/lb005.htm> Accessed 03 october 2008.
- Henshall, W.R., and R.M. Beresford. 2004. Adaptation of potato late blight prediction models for New Zealand. *New Zealand Plant Protection* 57:25-29.
- Hijmans, R., G. Forbes y T. Walter. 2000. Estimating the global severity of potato late blight with GIS-linked disease forecast models. *Plant Pathology*. 49: 697.705.
- Huarte, 2001. Niveles disponibles de resistencia al tizón tardío en Latinoamérica. En: Fernández, E. (Ed.). *Memorias del Taller Internacional Complementando la Resistencia al Tizón (Phytophthora infestans) en los Andes*. Cochabamba, Bolivia. 59-66.
- Kalazich, J. 1993. Nuevas variedades de papa, objetivos, aptitudes y usos. En: V Jornadas de extensión Agrícola. Manejo Agronómico del Cultivo de Papa y las perspectivas de mercado. Universidad Católica de Temuco. Temuco, Chile.
- Montaldo, A. 1984a. Cultivo y mejoramiento de la papa. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. Costa Rica. pp.359-414.

- Montaldo, A. 1984b. Papas de Chile, valor agronómico, utilización y proyecciones futuras. En: Actas de la Cuarta Reunión Nacional de la papa: 49-80. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Naerstad, R., A. Hermansen y T. Bjor. 2007. Exploiting host resistance to reduce the use of fungicides to control potato late blight. *Plant Pathology*. 56: 156-166.
- Navia, O., R. Torrez, A. Trujillo, E. Fernández-Northcote, A. Gandarillas y J. Gabriel. 2001. Blight of potato (*Phytophthora infestans*) in Bolivia Country Profile. Pages in: Proceeding of the International Workshop on Complementing Resistance to Late Blight (*Phytophthora infestans*) in the Andes. February 13-16, 2001. Cochabamba, Bolivia. GILB Latin American Workshops 1. E.N. Fernandez-Northcote, ed. International Potato Center, Lima, Perú.
- Oyarzun, P., J. Taipe y G. Forbes. 2001. *Phytophthora infestans* su actividad y particularidades en el Ecuador. perfil de País. . IN: Proceeding of the International Workshop on Complementing Resistance to Late Blight (*Phytophthora infestans*) in the Andes. February 13-16, 2001. Cochabamba, Bolivia. GILB Latin American Workshops 1. E.N. Fernandez-Northcote, ed. International Potato Center, Lima, Perú.
- Pérez, M., F. Marquez, y A. Peña. 1998. Mejoramiento genético de hortalizas. Universidad Autónoma de Chapingo. Mundi Prensa México, S.A. de C.V. México. 380 p.
- Santana, R. 1998. La papa chilota como patrimonio cultural. Revista líder de la Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile [En línea] <[http://membros.lycos.fr/chiloe/papa\\_patrimonio.htm](http://membros.lycos.fr/chiloe/papa_patrimonio.htm)>.
- Solano, J., D. Morales y L. Anabalón. 2007. Molecular description and similarity relationships among native germplasm potatoes (*Solanum tuberosum ssp, tuberosum* L.) using morphological data and AFLP markers. *Electronical Journal of Biotechnology*, Vol. 10 N 3, Issue of July 15, 2007.
- Solano, J., L. Anabalón y D. Morales. 2006. Colecta, caracterización molecular y multiplicación de la especie *Solanum fernandezianum*. 57 Congreso Agronómico de Chile. Santiago. 17-20 de Octubre de 2006.
- Spooner, D., K. Mclean, G. Ramsay, R. Waugh y G. Bryan. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, vol. 102, no. 41, p. 14694-14699.
- Torres, H. s/f. Manual de las enfermedades más importantes de la papa en el Peru.[en línea]: documento electrónico fuente en internet. [fecha de consulta: 7 Abril 2004]. Disponible en < <http://www.cipotato.org/raining/Materials/HtorresCarb on.pdf>>.

Zlesak, D. y C. Thill. 2004. Foliar Resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary (US-8) in 13 Mexican and South American *Solanum* Species Having EBNs of 1, 2, and 4 and Implications for Breeding. *American Journal of potato Research*. Nov/Dec 2004. Find Articles.com. 24 Apr 2007.





Boletín INIA / N° 399  
[www.inia.cl](http://www.inia.cl)

