



## **ALERTA TEMPRANA PARA EL MANEJO DEL TIZÓN TARDIO DE LA PAPA. ATN/RF 16678 RG.**

**Producto 14. Potencial de desarrollo de tizón tardío en el sur de Chile.**

**Rodrigo Bravo H. Ivette Acuña B. Juan Quintana A. y María Carolina Vidal G.**

**2023**





Copyright, licencias CC y Disclaimer.

Códigos JEL: Q16

ISBN:

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Rodrigo Bravo Herrera, Ivette Acuña Bravo, Juan Quintana Arena y María Carolina Vidal Gajardo

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos



**Contenido**

Resumen ..... 4

Metodología..... 6

Resultados..... 9

Conclusiones .....18

Referencias Bibliográficas .....19

Instituciones participantes .....20



## Resumen

Una de las enfermedades que afecta al cultivo de la papa en todo el mundo es el tizón tardío producido por *Phytophthora infestans*. Esta enfermedad es altamente dependiente de las condiciones meteorológicas para su desarrollo y propagación. La amenaza de la enfermedad en un lugar determinado está dada por el potencial de daño que puede tener y que puede ser distinto en otro lugar con condiciones diferentes. Para evaluar dichas condiciones en el proyecto “Alerta temprana para el manejo de tizón tardío de la papa” se estimó el potencial de daño utilizando la información acumulada en el Sistema de Alerta Temprana de Tizón Tardío en el sur de Chile y el modelo de simulación Lateblight.

Los resultados de las simulaciones indican que el potencial de daño de tizón tardío bajo las condiciones meteorológicas interanuales y niveles de susceptibilidad del hospedero, alcanza valores cercanos a 100% con muy baja variabilidad interanual utilizando cultivares susceptibles y medianamente susceptibles. De acuerdo a las simulaciones, esto se reduce sólo si se utilizan cultivares resistentes (en ausencia de otros controles de la enfermedad).

**Palabras Clave: Tizón tardío, potencial de daño, simulación**



## Introducción

El tizón tardío producido por *Phytophthora infestans* cuyos ataques pueden llegar a afectar la totalidad de la cosecha del cultivo, representa un problema sanitario de gran importancia en la agricultura del sur de Chile, y las ocasiones en que no es bien manejado con las herramientas de protección existentes en la actualidad puede provocar resultados desastrosos en la economía de los productores agrícolas.

En la zona de estudio, existe en la actualidad un sistema de información para la toma de decisiones que está dedicado exclusivamente al monitoreo de las condiciones de desarrollo de la enfermedad durante la temporada del cultivo. Este sistema denominado Sistema de Alerta Temprana de Tizón Tardío (<https://tizon.inia.cl/>) utiliza la información meteorológica disponible para advertir a los productores de papa acerca de las condiciones ambientales para el desarrollo y eventual aparición de tizón tardío.

El sistema ha sido desarrollado desde el año 2003, y acumula información agrometeorológica desde el año 2010 hasta la actualidad. Considerando esto en el presente documento se realiza una estimación del potencial de daño del tizón tardío a partir de modelos de simulación aplicados a diferentes zonas del cultivo en el sur de Chile.

Estimar el potencial de daño de la enfermedad en las diferentes localidades permite proponer recomendaciones de uso de las herramientas de manejo integrado de acuerdo al nivel de riesgo de cada lugar. Para esto se cuantificó el potencial de riesgo utilizando la información meteorológica existente bajo el enfoque propuesto por Savary et al (2012).



## Metodología

### Zona de estudio

El estudio se realiza para la zona que abarca el sur de Chile donde se concentra la mayor parte de la producción del cultivo de papa entre las latitudes 36° y 42° sur. El clima del área de estudio es templado húmedo y templado húmedo frío. Dentro de esta gran zona de Chile, la producción de papa tiene algunas diferencias en la fecha de plantación y condiciones agrometeorológicas de acuerdo a las localidades, no obstante, la temporada de crecimiento de las plantas comienza desde el 1 de julio hasta marzo del año siguiente. Es el periodo en que la temperatura va en ascenso hacia la primavera-verano y el aporte de agua a los agroecosistemas producto de las lluvias va decreciendo.

Dentro de ese periodo el cultivo de papa se realiza con fechas de plantación diversas las que fueron utilizadas en el desarrollo de las simulaciones (Tabla 1). Las diferencias son, en general, fechas más tempranas desde norte hacia el sur pero en algunos casos, cercanos al océano pacífico o grandes masas de agua como lagos, se producen condiciones de temperatura para plantaciones tempranas aprovechando una oportunidad de mercado donde la oferta de papas es menor.

### Estimación del potencial de daño de tizón tardío en el cultivo de papa

El potencial de daño de tizón tardío sobre el cultivo de papa se considera como el promedio del máximo daño medido por la curva de progreso de la enfermedad a través del tiempo y la desviación estándar para el conjunto de temporadas evaluadas sin que se tomen medidas de protección del cultivo (Savary et al., 2012). La estimación del potencial de daño se cuantificó mediante simulaciones utilizando el modelo LATEBLIGHT en la versión escrita en R con la función *lateblight* del paquete *agricolae*. Las simulaciones consideraron 15 sitios y sus datos meteorológicos durante las temporadas indicadas en la tabla 1 con bajo los parámetros de resistencia de tres cultivares diferentes y en fechas de plantación escogidas en forma aleatoria



entre las semanas de inicio y término indicadas en la misma tabla.

**Tabla 1. Listado de estaciones meteorológicas utilizadas en el desarrollo de simulaciones de tizón tardío, periodo de inicio y final de fechas de plantación en número de semana del año.**

<b>Estación/localidad</b>	<b>Comuna</b>	<b>Región</b>	<b>Semana de inicio</b>	<b>Semana final</b>	<b>Temporadas simuladas</b>
<b>Navidad</b>	El Carmen	Ñuble	37	43	2012-2013 a 2020-2021
<b>Carillanca</b>	Vilcún	La Araucanía	39	43	2010-2011 a 2020-2021
<b>San Luis</b>	Curacautín	La Araucanía	40	48	2011-2012 a 2020-2021
<b>Quiripio</b>	Carahue	La Araucanía	28	45	2010-2011 a 2020-2021
<b>Domínguez</b>	Saavedra	La Araucanía	28	45	2010-2011 a 2020-2021
<b>Llollinco</b>	Teodoro Schmidt	La Araucanía	39	43	2010-2011 a 2020-2021
<b>Remehue</b>	Osorno	Los Lagos	42	47	2010-2011 a 2020-2021
<b>La Pampa</b>	Purranque		40	45	2010-2011 a 2020-2021
<b>Octay</b>	Puerto Octay	Los Lagos	42	47	2012-2013 a 2020-2021
<b>Colegual</b>	Llanquihue	Los Lagos	37	47	2012-2013 a 2020-2021
<b>Los Canelos</b>	Los Muermos	Los Lagos	37	47	2010-2011 a 2020-2021
<b>Butalcura</b>	Dalcahue	Los Lagos	36	45	2010-2011 a 2020-2021
<b>Tara</b>	Chonchi	Los Lagos	29	43	2012-2013 a 2020-2021
<b>Lago Verde</b>	Paillaco	Los Ríos	42	46	2012-2013 a 2020-2021
<b>El Cardal</b>	Río Bueno	Los Ríos	42	47	2012-2013 a 2020-2021

Con los resultados de las simulaciones se evaluó el potencial de daño de la enfermedad frente a diferentes escenarios de variabilidad climática interanual y localización espacial (Figura 1). Se utilizaron los parámetros definidos por diferentes trabajos de investigación (Bruhn et al, 1981; Andrade-Piedra et al., 2005 a, Andrade-Piedra et al., 2005 b). Los modelos de simulación de este tipo son muy adecuados para establecer estrategias de manejo de acuerdo a las relaciones existentes entre patógeno, ambiente y resistencia de los cultivares utilizados.

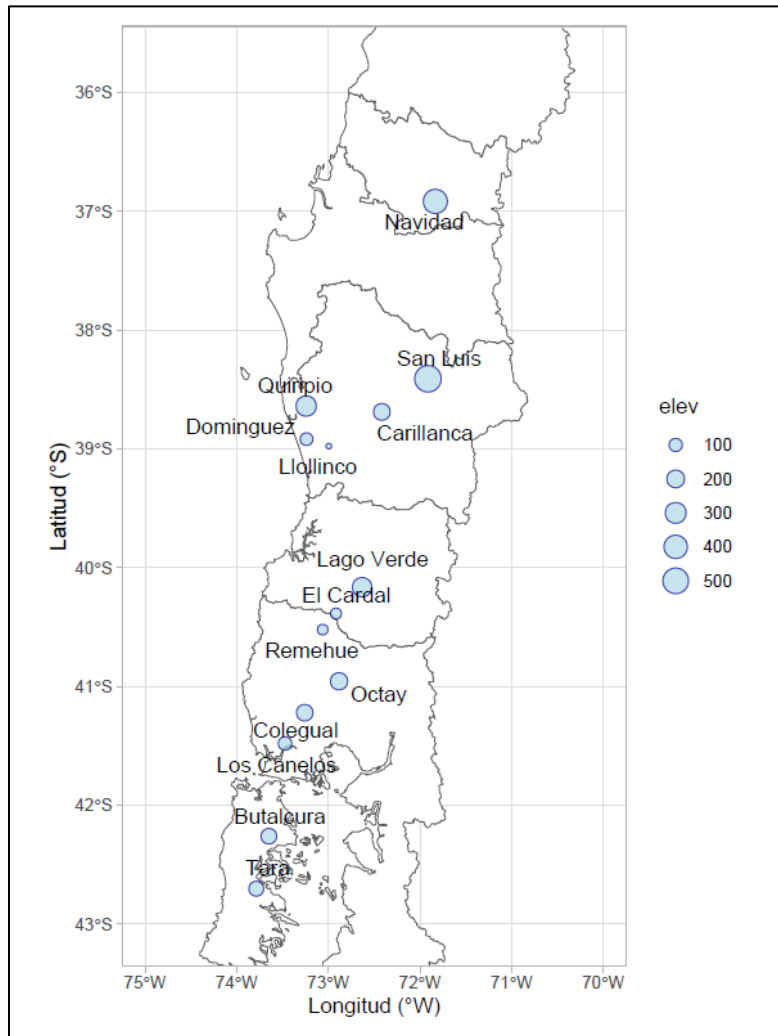


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas utilizadas para el desarrollo de las simulaciones. Tamaño del círculo indica elevación sobre el nivel del mar.





## Resultados

### Potencial de desarrollo de daño de Tizón Tardío.

Para cada localidad y temporada se generaron escenarios de avance de la enfermedad. Un ejemplo de los componentes de las simulaciones realizadas se muestra en la figura 2, donde el panel 'a' representa las condiciones meteorológicas para el desarrollo de tizón tardío, considerando la precipitación diaria (barras azules), las horas de humedad relativa mayor a 85% como un estimador de la duración de la hoja mojada (sombra celeste), y temperatura media en los momentos de humedad relativa mayor a 85%. La línea punteada celeste representa el umbral de 24 horas. Estos valores están estimados sobre la base de un ciclo diario de medio a medio día siguiente.

En el panel 'b', se pueden ver los escenarios de desarrollo de la enfermedad bajo la condición de un cultivar susceptible, un cultivar medianamente susceptible y finalmente uno medianamente resistente, todas sin protección de fungicidas, de tal forma que la curva de avance de la enfermedad muestra el potencial esperado según el nivel de resistencia. La temporada se inicia el 1 de julio de cada año, y el cultivo de papa está marcado por la fecha de emergencia (flecha azul), y el inicio de la enfermedad el día de la primera alerta entregada por el sistema Blitecast (Krause et al., 1975). La curva de desarrollo de la enfermedad (línea azul) va marcando la severidad del progreso a través del tiempo para cada categoría de resistencia. La línea roja corresponde a los eventos de esporulación del hongo.

El panel 'c' muestra las fechas en que deberían ocurrir las aplicaciones de fungicidas según el criterio de "Calendario fijo" (CF) y bajo el esquema de recomendaciones "BliteCast" (BC). La celda blanca indica no aplicar, la celda roja indica aplicación. Nótese en el ejemplo de la figura 2 que BC recomienda 3 aplicaciones de fungicidas versus 10 aplicaciones que se utilizarían con "Calendario fijo" en una frecuencia de 10 días, es decir BC recomienda en función de las condiciones ambientales para el desarrollo de la enfermedad, lo que permite el uso racional de



los fungicidas.

Con los resultados de las simulaciones se relacionaron a las condiciones de precipitación subestacional, como *proxy* para definir escenarios sub estacionales para las condiciones de tizón tardío.

Junto con ello el conjunto de simulaciones para cada estación meteorológica se utilizó para establecer el potencial de daño de la enfermedad en presencia de cultivares susceptibles, medianamente susceptibles y medianamente resistentes. El potencial de la enfermedad en un lugar determinado se calcula por el promedio del máximo de daño medido por la curva de progreso de la enfermedad a través del tiempo y su desviación estándar para el conjunto de temporadas evaluadas y en el caso que no se hagan medidas de protección. Si el promedio del potencial de daño es alto y su desviación estándar es baja, la enfermedad es endémica en el sitio evaluado. Esto también va a depender del nivel de resistencia del cultivar (Savary et al., 2012)

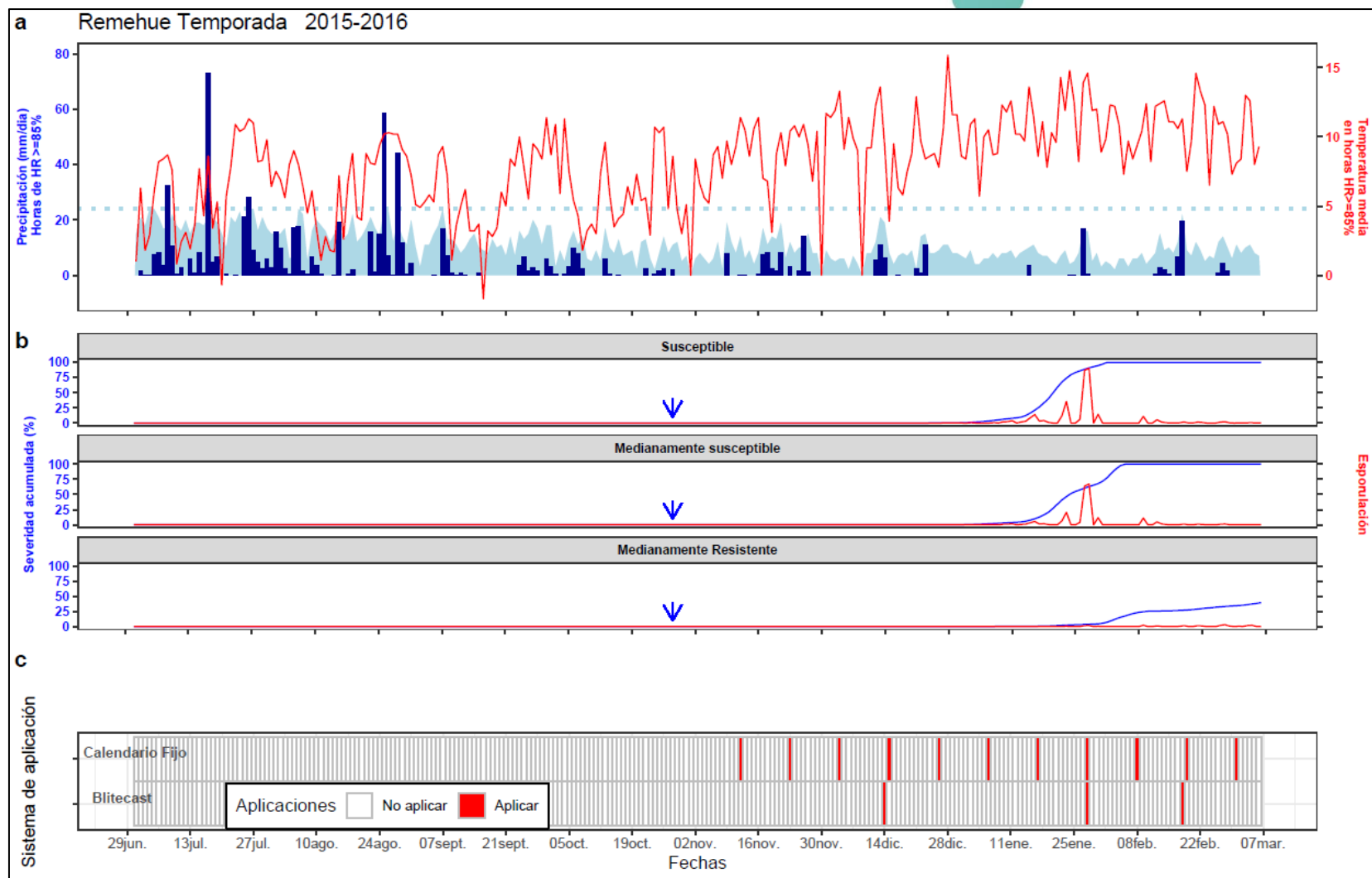


Figura 2. Componentes de las simulaciones realizadas para 11 temporadas de cultivo de papas x 15 estaciones meteorológicas (165 simulaciones) y una fecha de plantación-emergencia. Ejemplo: temporada 2015-2016 en Osorno, Región de Los Lagos. Panel a meteorología en la temporada (precipitación con barras azules, horas de humedad relativa alta con sombreado celeste y temperatura con línea roja). Panel b, curvas de desarrollo de la enfermedad (línea azul) bajo diferentes susceptibilidades del cultivo. Panel c, número de aplicaciones de fungicidas según calendario fijo y según modelo Blitecast.



### **Potencial interanual del daño de tizón tardío.**

Para evaluar el potencial de daño de tizón tardío se utilizaron el conjunto de simulaciones realizadas para todas las localidades y las tres categorías de nivel de resistencia de los cultivares. En la figura 3 se muestra, para cada categoría de resistencia utilizada en el modelo de simulación, el promedio interanual de nivel de daño (%) producido por tizón tardío y la desviación estándar del conjunto evaluado. Cada punto representa la localidad donde está emplazada la estación meteorológica.

Para la categoría medianamente resistente, los diferentes puntos quedan distribuidos con una gran dispersión, donde el daño promedio se reduce y presenta altas diferencias interanuales. Se espera que la interacción entre el ambiente y el nivel de resistencia de los cultivares favorezca esta mayor fluctuación del potencial inter anual de la enfermedad, como herramienta de protección de los cultivos.

En el caso de las categorías medianamente susceptibles y susceptibles, los resultados de las simulaciones indican que hay alto potencial de daño promedio y una muy reducida desviación estándar, indicando que es una enfermedad endémica, donde es necesario utilizar medidas de protección al cultivo para reducir su incidencia. Todas las localidades se agrupan en los niveles más altos de daño y con una muy baja diferencia interanual. La única localidad que tiene un nivel de daño promedio menor que las demás, bajo las categorías susceptible y medianamente susceptible, es Navidad, que es la localidad más al norte evaluado. Los valores de desviación estándar indican que tiene una alta variabilidad interanual en el nivel de daño, es decir, hay temporadas en que las condiciones pueden llegar a ser muy favorables para el desarrollo de la enfermedad, sin protección del cultivo, y otras en que pueden ser poco favorables. No obstante, el uso de cultivares resistentes es una opción conveniente, pues, aunque no se reduce la variabilidad interanual de potencial de daño, si se reduce el nivel de daño promedio.

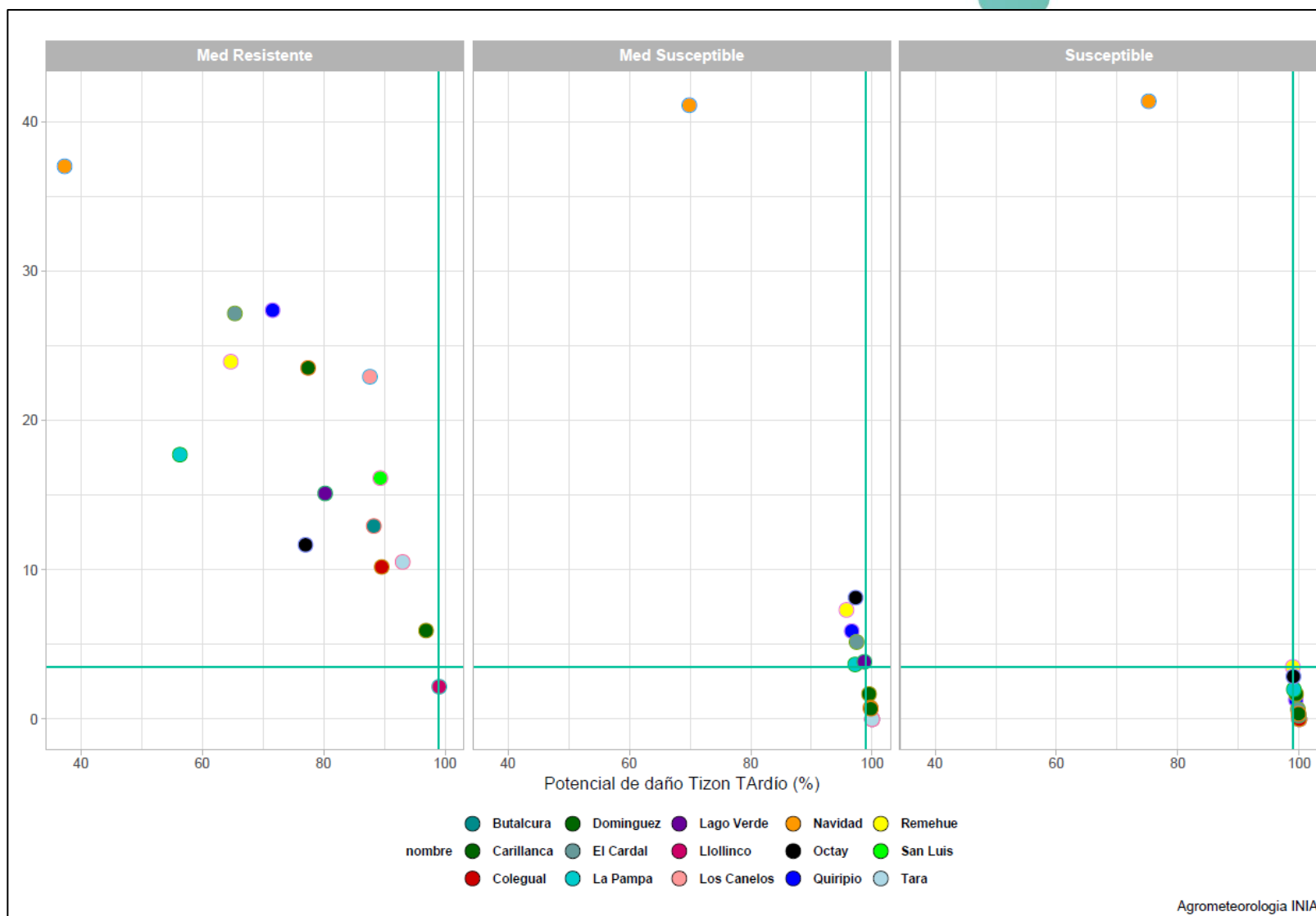


Figura 3. Daño potencial y su variación interanual en el cultivo de papa producido por tizón tardío. Datos simulados para 15 localidades del sur de Chile. Líneas verticales y horizontales corresponden a los valores medianos de daño promedio (eje x) y desviación interanual del daño (eje y).



En la figura 4 se muestran los resultados de las simulaciones para daño potencial por nivel de resistencia y distribuidos latitudinalmente de norte a sur, dentro de la zona de estudio. Se reafirma el caso del cultivar susceptible, donde el tizón tardío se presenta como una enfermedad endémica, por su potencial de daño alto y una baja variabilidad interanual, desde la latitud -38 hacia el sur. En el caso de Navidad, se observa una alta variabilidad, ubicándose en latitud -37, bajo niveles de resistencia susceptibles y medianamente susceptibles.

En el caso de la categoría medianamente resistente, se puede ver que las localidades entre las latitudes 38 y 39, hay dos puntos (Llollinco y Domínguez) con una baja variabilidad interanual, lo cual se debe a que están cercanas al mar, lo que mantiene el nivel de humedad ambiental alto con temperaturas templadas menos fluctuantes. Esas condiciones cambian hacia las estaciones San Luis, Quiripio, Carillanca, que se encuentran en el valle central de Chile, donde el ambiente es menos húmedo, y fluctuaciones mayores de temperaturas a nivel diario y mensual. Entre las latitudes -40 a -42, el potencial de daño se reduce levemente, pero la variabilidad interanual es similar a las estaciones anteriores mencionadas. Y en las latitudes más al sur de la zona de estudio, se encuentran dos lugares en la Isla de Chiloé, donde el potencial de daño es similar a las condiciones de mayor susceptibilidad de los cultivares y la variabilidad interanual aumenta levemente. Es decir, en lugares como Tara y Butalcura, el uso de cultivares medianamente resistencia, no disminuye significativamente el potencial de daño promedio, pero aumenta la variabilidad interanual del mismo.

Estos son elementos muy importantes a la hora de considerar la planificación de estrategias de manejo en zonas de alto potencial de daño, como lo que se puede ver en la figura 5 en situaciones de ejemplos extremos: por una parte, Llollinco, que es una localidad cercana al mar con temperatura templadas y baja fluctuación, lo que produce condiciones favorables a tizón tardío, por lo que presenta un alto potencial de daño y una reducida variabilidad interanual. Por otra parte, Navidad que corresponde a la localidad de menor potencial de daño del conjunto



analizado y la más alta variabilidad interanual, lo que indica que no todos los años se producen condiciones favorables para tizón tardío.

Comparando ambas situaciones, en forma general, se puede ver que las simulaciones señalan que el inicio de la enfermedad en Llollinco es antes que en Navidad tanto para la categoría de cultivar susceptible como medianamente resistente. Las condiciones para el desarrollo de la enfermedad ocurren todas las temporadas en Llollinco, en cambio en Navidad hay temporadas que no se presenta (2012-2013, 2019-2020). En el caso de Llollinco, en todas las temporadas el progreso de la enfermedad llega a 100% en categoría susceptible, y cerca de 100% en el caso de categoría resistente, en cambio, solo en algunas temporadas, la categoría medianamente susceptible llega a 100 % de severidad, por otro lado, con una variedad medianamente resistente es muy variable, incluso inexistente el desarrollo y avance de tizón tardío. El desarrollo de estos ejemplos extremos muestra la necesidad de establecer estrategias diferenciadas para la protección de los cultivos.

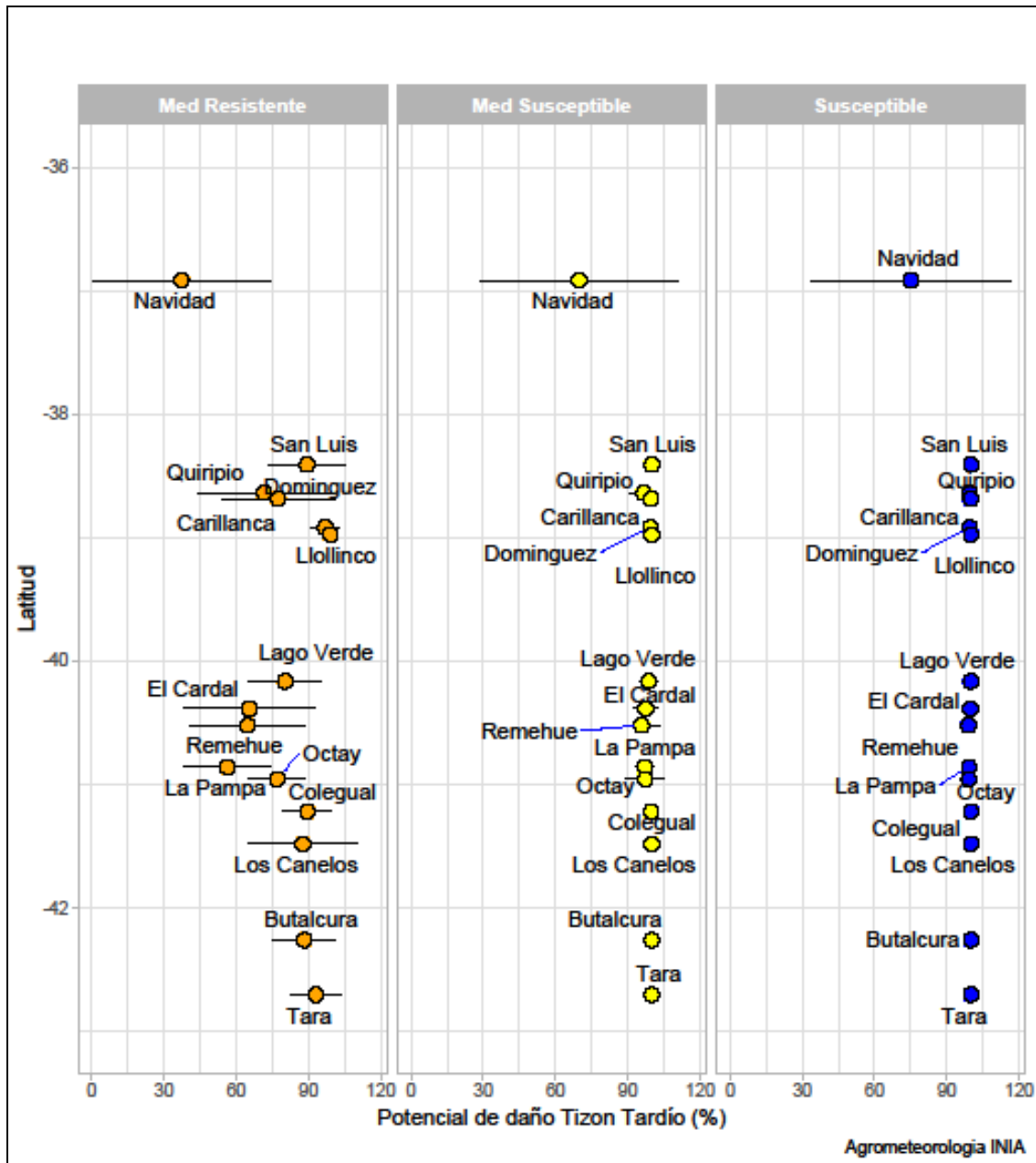


Figura 4. Distribución latitudinal de la variabilidad interanual del potencial de daño en el cultivo de papa producido por tizón tardío. (Datos simulados para 15 localidades del sur de Chile). Cada panel representa diferentes niveles de resistencia de los cultivares.



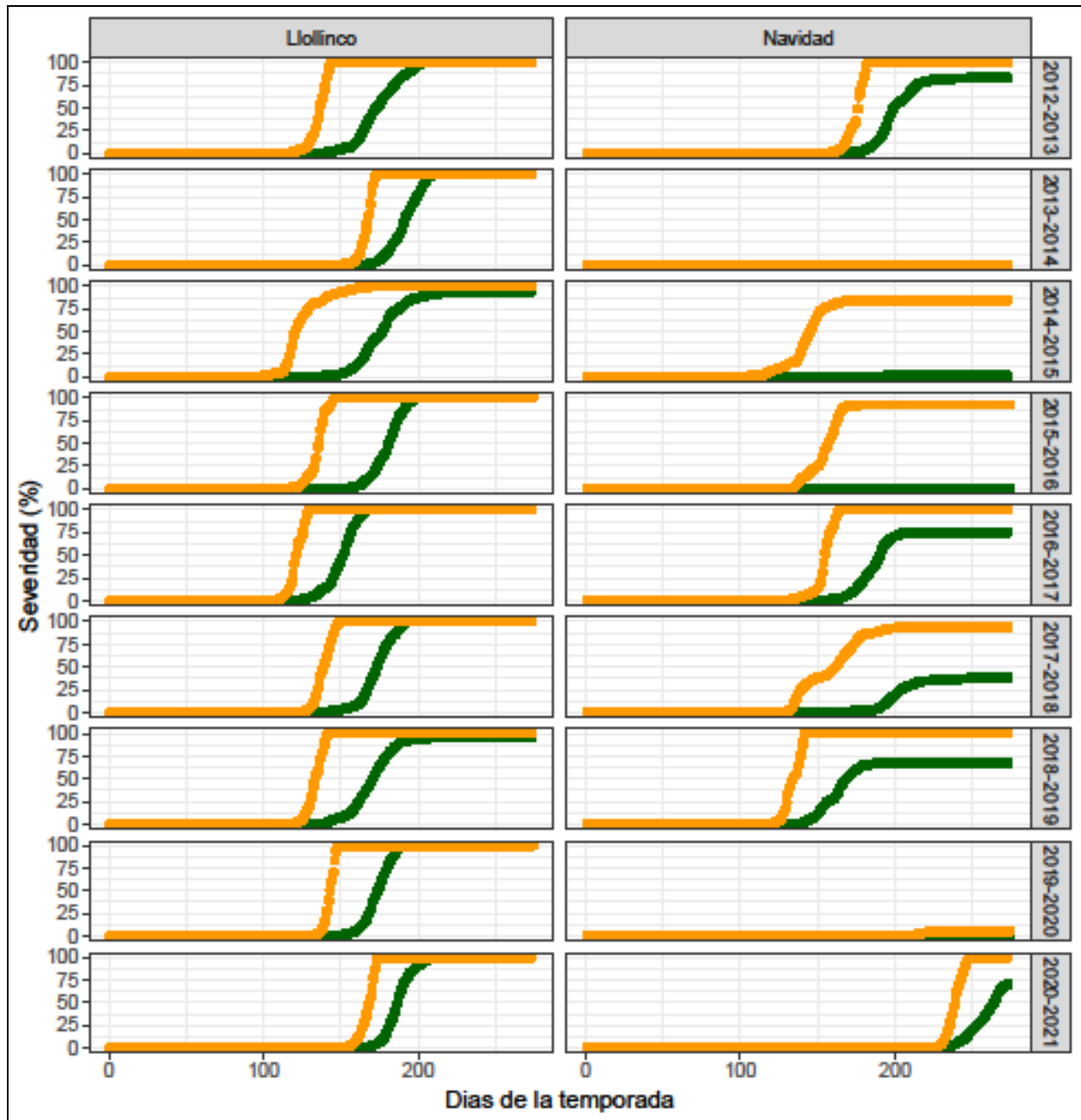


Figura 5. Curvas de progreso de la enfermedad simuladas en Lollinco (localidad de alto potencial de daño) y Navidad (con bajo potencial de daño). Ejemplos extremos entre las localidades estudiadas. La curva anaranjada es categoría susceptible y la verde es medianamente resistente. Cada fila de grafico es una temporada desde 2012-2013 hasta el 2020-2021



## Conclusiones

En el presente documento se presenta un resumen de los datos obtenidos de simulaciones de avance la enfermedad tizón tardío en el cultivo de la papa con el fin de estimar el potencial de daño en el sur de Chile. De la información obtenida se puede concluir que:

- a) el tizón tardío es una enfermedad crónica dadas las condiciones meteorológicas favorables para su desarrollo y propagación en el cultivo de la papa en el sur de Chile con un alto potencial de daño en todas las temporadas analizadas.
- b) Lo anterior es muy homogéneo en toda el área de estudio con la excepción de un solo lugar ubicado al norte del área de estudio.
- c) El potencial de daño se reduce en forma significativa si la variedad de papa es medianamente resistente a la enfermedad, con la excepción de los lugares cercanos al océano Pacífico como Lollinco y Domínguez, donde las condiciones ambientales para el desarrollo de tizón tardío son intensamente favorables.



## Referencias Bibliográficas

- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Forbes, G. A., Fry, W. E., & Nelson, R. J. (2005). "Simulation of potato late blight in the Andes. I: Modification and parameterization of the LATEBLIGHT model". *Phytopathology*. 95(10), 1191–1199. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1191>.
- Andrade-Piedra, J. L., Forbes, G. A., Shtienberg, D., Grünwald, N. J., Chacón, M. G., Taípe, M. V., Hijmans, R. J., and Fry, W. E. (2005). Qualification of a plant disease simulation model: Performance of the LATEBLIGHT model across a broad range of environments. *Phytopathology* 95:1412-1422.
- Bruhn, J. A., and Fry, W. E. (1981). Analysis of potato late blight epidemiology by simulation modeling. *Phytopathology* 71:612-616
- Fry, W.E., Milgroom, M.G., Doster, M.A., Bruhn, J.A., and Bruck, R.I. 1991. *LATEBLIGHT: a plant disease management game - User Manual*. Version 3.1. Microsoft Windows Adaptation by B. E. Ticknor, and P. A. Arneson. Ithaca, Cornell University, Department of Plant Pathology, Ithaca, NY, USA.
- De Memdiburu, F (2020). *Agricolae: Statistical procedures for agricultural research*. R package. Version 1.3-6, Recuperado de <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Savary, S., Nelson, A., Willocquet, L., Pangga, I., & Aunario, J. (2012). Modeling and mapping potential epidemics of rice diseases globally. *Crop Protection*, 34, 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2011.11.009>

# Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)