



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

Producto 16. Validación del sistema de alerta temprana con pronóstico.

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

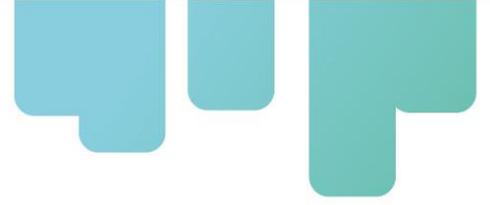
www.fontagro.org



Tabla de Contenidos

Contenido

Resumen	4
Introducción	5
Metodología	7
Resultados	12
Conclusiones.....	19
Referencias Bibliográficas.....	22
Instituciones participantes.....	23

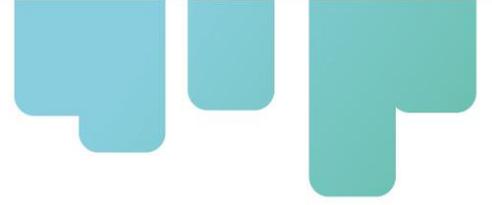


Resumen

El Tizón tardío es una de las enfermedades más importantes en el cultivo de papa en el sur de Chile. Puede producir grandes pérdidas en el cultivo afectando los ingresos de los productores agrícolas. En el sur de Chile, se ha consolidado el Sistema de Alerta de Tizón tardío (<https://tizon.inia.cl/>) del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el cual se ha desarrollado desde el año 2003, como herramienta de divulgación y transferencia tecnológica. Este sistema utiliza información de la red de estaciones meteorológicas de INIA (<http://agrometeorologia.cl>) y entrega las alertas a los agricultores mediante sus teléfonos móviles y/o a los correos electrónicos, facilitando las decisiones de control de la enfermedad. Actualmente, el sistema es utilizado por más de 5 mil usuarios, siendo la gran mayoría agricultores y profesionales relacionados al sector de papa.

Una necesidad detectada es generar información con el historial que ya se tienen desde el año 2010, y combinarla con otras fuentes para generar información de valor agregado para los tomadores de decisión. Con esta finalidad, se explora la relación entre la precipitación estacional y el grado de severidad de la enfermedad, como indicadores para la utilización en la toma de decisiones en un horizonte mayor a la escala diaria para el control de Tizón tardío. Por su parte, el análisis retrospectivo de la relación entre precipitación mensual acumulada y el indicador de grados de severidad acumulados, pueden orientar la toma de decisiones a nivel estacional para anticipar el posible comportamiento e incidencia de la enfermedad en un territorio o región. Los resultados logrados indican que no fue posible obtener resultados adecuados para su utilización en modelos de decisión, como la predicción estacional para la toma de decisiones en el control de la enfermedad.

Palabras claves: Análisis de Riesgo, Tizón tardío, Pronóstico estacional



Introducción

La alta dependencia climática de la agricultura no es sólo por el efecto que tiene por la temperatura y la precipitación sobre las plantas en el rendimiento de los cultivos, sino también por las condiciones ambientales que permiten la mayor o menor incidencia de enfermedades, en presencia del hospedero y el inóculo del patógeno. La variabilidad interanual del clima, así como las diferencias espaciales dentro de una misma temporada, es la que establece los distintos niveles de severidad en la incidencia de las enfermedades de plantas, en ausencia de medidas de control, situación que puede expresar el potencial de daño de una enfermedad sobre un hospedero susceptible.

En la actualidad existen diferentes herramientas operativas que son utilizadas en la toma de decisiones respecto al control de plagas y enfermedades de los cultivos, y que se basan en predecir la posible ocurrencia de enfermedades de plantas utilizando datos meteorológicos, ya sea en forma retrospectiva o en forma de pronóstico. Esto es posible gracias al conocimiento científico respecto a las relaciones y ciclos de vida de hospederos, patógenos y la interacción con el ambiente, lo que ha dado paso al desarrollo de diferentes sistemas de control operativos para que los agricultores protejan los cultivos, entre los que destacan los que utilizan los datos meteorológicos para generar información para el control oportuno. Estos sistemas van desde reglas simples hasta modelos estadísticos que permiten establecer las variables más importantes en la incidencia de una enfermedad. Al establecer un enfoque estratégico preventivo, el uso de los modelos predictivos permite mejorar la oportunidad y la eficacia de las aplicaciones, minimizando el costo, el impacto ambiental y el rendimiento de los cultivos.

Si bien estas herramientas “resuelven el día a día”, la variabilidad climática interanual y las posibilidades que entrega el monitoreo del clima a través de las nuevas tecnologías resultan en que sea de interés explorar hasta qué punto es posible tener “señales” de mediano plazo a nivel sub estacional (mes) y/o estacional (trimestre) respecto a el potencial de incidencia de



enfermedades de plantas, especialmente, aquellas que pueden producir gran daño económico. En el horizonte de pronóstico de mediano plazo, la predicción estacional permite estimar los valores medios del tiempo en los próximos meses, especialmente si las temperaturas y la precipitación se ubicarán en torno a “lo normal” como valor de referencia. En la forma probabilística, el pronóstico estacional proporciona información sobre la probabilidad de observar una de tres categorías: bajo lo normal cuando está bajo el percentil 33, en el rango normal, correspondiente a los valores entre el percentil 33 y 66, o sobre lo normal, que corresponde a los valores sobre el percentil 66. Con estas categorías se configuran 3 escenarios posibles, que pueden tener amplia variabilidad de efectos sobre los problemas de decisión agrícola, y en particular, la aparición e incidencia de enfermedades. En relación a la variabilidad climática, la precipitación es el elemento que genera mayor incertidumbre, por los profundos efectos que trae sobre distintas actividades económicas, entre ellas la agricultura. Tanto los periodos de déficit como los excesos de precipitación tienen efectos sobre la agricultura, el tema es dilucidar sobre qué problema se está evaluando. En el caso de Tizón tardío, es probable que el exceso de precipitación ponga escenarios favorables a la enfermedad, por la humedad en el ambiente y temperaturas templadas que favorezcan el establecimiento y propagación de la enfermedad. En estos escenarios el pronóstico estacional se puede utilizar para tener en forma anticipada señales de lo que puede ocurrir y, por lo tanto, reducir la incertidumbre en la toma de decisiones. Una limitante respecto al desarrollo de este estudio fue que en el caso de Argentina no fue posible contar con la información meteorológica con la extensión suficiente para aplicar los modelos utilizados. No obstante, con la información que se ha elaborado a través del tiempo, es posible explorar alternativas de pronóstico estadístico que relacione las variables meteorológicas como precipitaciones sub estacionales y/o estacionales, con indicadores de la intensidad de condiciones para el desarrollo de Tizón tardío. Para esto hay que explorar la habilidad de un pronóstico estadístico para poder aplicarlo a problemas de decisión como el control de una enfermedad de cultivo.



Metodología

Zona de estudio y base de datos utilizados para el pronóstico

La zona de estudio se ha definido el sur de Chile entre las latitudes 36 y 42 grados sur. Esta es la zona de mayor producción de papa en Chile y donde opera el sistema de alerta de Tizón tardío para el cultivo de papa. En la Figura 1 se pueden visualizar los datos de localización de las estaciones meteorológicas automáticas, identificadas por el nombre de la localidad en que están emplazadas. En la Tabla 1 se muestra la localización en forma gráfica de la zona de estudio. Este grupo de estaciones meteorológicas automáticas forman parte de la Red Agrometeorológica del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (<http://agrometeorologia.cl>), entregan datos para el monitoreo de Tizón tardío en el sistema de alerta temprana (<http://tizon.inia.cl>).

Tabla 1. Estaciones meteorológicas automáticas y de referencia utilizadas en el estudio.

Nombre de la estación meteorológica automática	Latitud	Longitud	Elevación	Región	Provincia	Comuna	Estación de referencia
Navidad	-36.9	-71.8	314	Ñuble	Diguillín	El Carmen	Maria Dolores
San Luis	-38.4	-71.9	549	La Araucanía	Malleco	Curacautín	
Quiripio	-38.6	-73.2	322	La Araucanía	Cautín	Carahue	
Carillanca	-38.7	-72.4	200	La Araucanía	Cautín	Vilcún	Maquehue
Dominguez	-38.9	-73.2	93	La Araucanía	Cautín	Saavedra	
Llollinco	-39.0	-73.0	24	La Araucanía	Cautín	Teodoro Schmidt	
Lago Verde	-40.2	-72.6	248	Los Ríos	Valdivia	Paillaco	No hay
El Cardal	-40.4	-72.9	80	Los Ríos	Ranco	Río Bueno	
Remehue	-40.5	-73.1	73	Los Lagos	Osorno	Osorno	
Octay	-41.0	-72.9	178	Los Lagos	Osorno	Puerto Octay	Cañal Bajo
Colegual	-41.2	-73.3	177	Los Lagos	Llanquihue	Llanquihue	
Los Canelos	-41.5	-73.5	105	Los Lagos	Llanquihue	Los Muermos	
Butalcura	-42.3	-73.7	148	Los Lagos	Chiloé	Dalcahue	
Tara	-42.7	-73.8	145	Los Lagos	Chiloé	Chonchi	El Tepual

Se seleccionó este grupo de estaciones porque son las que poseen la mayor cantidad de registros desde el año 2010, lo cual permite capturar parte de la variabilidad climática interanual para analizar el comportamiento de Tizón tardío a través del tiempo. Todos los datos

fueron elaborados a partir de los resultados de 11 temporadas del sistema de alerta de Tizón tardío, desde 2010-2011 al 2020-2021.

Como se mencionó anteriormente, las estaciones meteorológicas mostradas en la Tabla 1 corresponden a equipos automáticos que han sido emplazados entre el año 2009 y 2010, de tal forma que no registran un periodo climático completo de 30 años, que es el periodo recomendado para establecer relaciones y descripciones climatológicas.

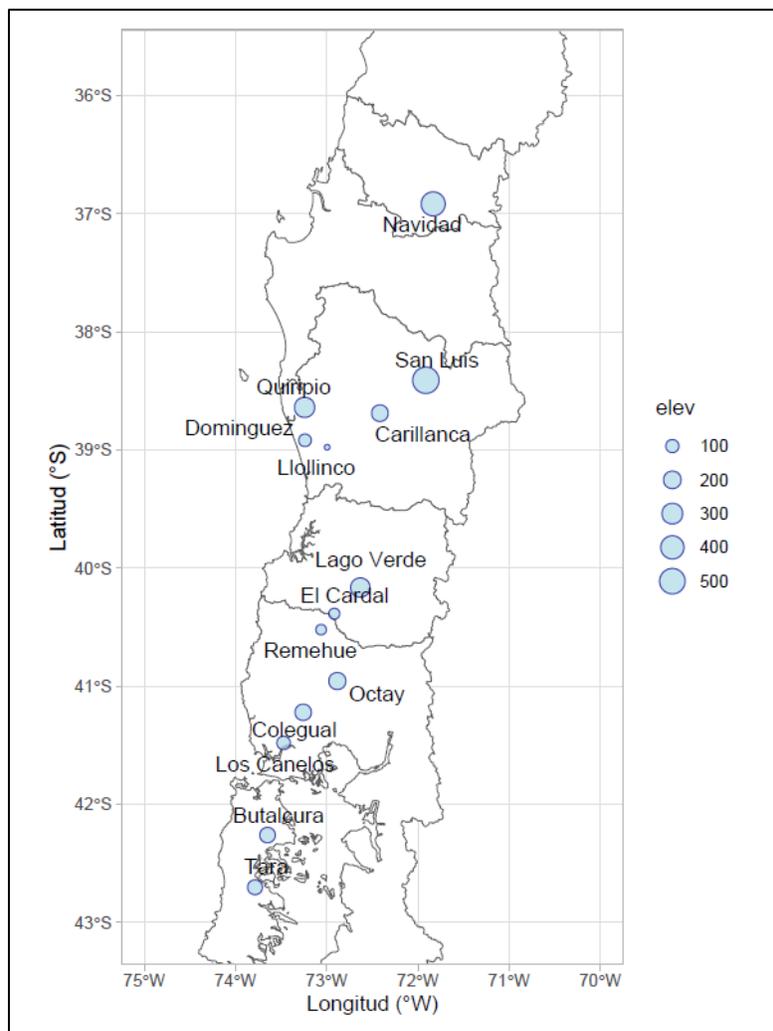


Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas automáticas en el sur de Chile



No obstante, con el fin de relacionar el comportamiento de Tizón tardío en el largo plazo, se asimiló cada una de las estaciones meteorológicas automáticas de la red a estaciones climatológicas de referencia que tienen registros de al menos 30 años (Tabla 1). Estas pertenecen a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), la cual es la autoridad nacional oficial en meteorología. De esta forma cada estación meteorológica automática, con la excepción de las estaciones meteorológicas Domínguez, Lago Verde y Lollinco, queda representada por una estación meteorológica de referencia para los fines de establecer relaciones respecto al comportamiento de la enfermedad en relación a la climatología de cada lugar, especialmente, respecto a los rangos de precipitación que se expresan en terciles para el periodo 1980-2022, donde el primer tercil es el rango de precipitación bajo lo normal o “seco”, el segundo tercil es el rango “normal”, y el tercer tercil es el rango sobre lo normal o “húmedo”. La relación entre estaciones automáticas y de referencia se realizó mediante un análisis de componentes principales y luego conglomerados jerárquicos, entre datos promedio de precipitación acumulada, temperatura mínima y máxima, en el periodo 2010-2021. Se asume que las estaciones automáticas tienen un comportamiento similar a la estación de referencia en los 30 años.

Se utilizaron estos rangos porque es la forma en que la DMC divulga la información de predicción estacional (horizonte de tres meses siguientes) o subestacional (horizonte de mes siguiente) respecto a las precipitaciones acumuladas en el periodo, y temperatura máxima y mínima del periodo. Siendo uno de los objetivos el poder contar con herramientas que relacionen el pronóstico estacional y subestacional al comportamiento de Tizón tardío, se considera que es la referencia más adecuada para luego mejorar la escala temporal a un nivel diario para establecer información operativa para los tomadores de decisión.

Todos los datos tanto de las estaciones meteorológicas utilizadas como los datos de las simulaciones realizadas se entregaron en el Anexo 1, en forma digitalizada (**Producto 15**).



Pronostico estadístico.

Para explorar alternativas de pronóstico estadístico subestacional, se utiliza la relación entre el monto de agua caída y los índices atmosféricos que tienen cierta influencia en la ocurrencia de precipitaciones en el sur de Chile.

Los datos de agua caída utilizados corresponden a las estaciones Cañal Bajo, representativa de la comuna de Osorno, y El Tepual, representativa de la comuna de Puerto Montt. Sólo se analizan los datos de precipitación del mes de octubre desde el año 1991 al 2020. Este mes corresponde al inicio de la temporada de papa. Los montos de precipitación se exploran en categorías de cuantiles para evaluar si el modelo clasifica adecuadamente los montos de agua caída de acuerdo a los rangos (Tabla 2), según lo sugiere Dantas et al. (2020). Los datos utilizados se dividieron en un grupo de entrenamiento del modelo y un grupo de prueba en una proporción 0.7 y 0.3, respectivamente.

Tabla 2. Clasificación en cuantiles para la precipitación aplicada a cada estación meteorológica.

Cuantil	Osorno (mm)	Puerto Montt (mm)
$p < Q(0.15)$	<38.9	<61.8
$Q(0.15) < p < Q(0.33)$	38.5 a 47.8	61.8 a 87.8
$Q(0.33) < p < Q(0.66)$	47.8 a 96.3	87.8 a 135.4
$Q(0.66) < p < Q(0.85)$	96.3 a 112.9	135.4 a 173.5
$Q(0.85) < p$	>112.9	>173.5

La agregación propuesta, de ser adecuada, sería más adecuada para la toma de decisiones agrícolas que la utilizada en meteorología en términos de terciles, lo cual deja rangos muy amplios e inciertos para algunos problemas de decisión en la agricultura.

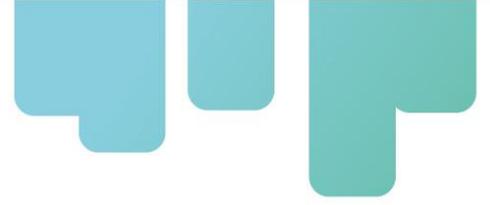
Junto a lo anterior los resultados pronosticados también se evalúan utilizando los indicadores



Error Medio Absoluto (MAE), Sesgo, Raíz del error medio cuadrático (RMSE) y el coeficiente de determinación R^2 .

Modelo estadístico.

El análisis utilizado corresponde a la aplicación de Modelos Aditivos Generalizados de localización, forma y escala (GAMLSS). Se propone esta metodología por la flexibilidad para ajustar modelos de regresión donde la variable respuesta puede pertenecer a distribuciones distintas a la exponencial, incluyendo respuestas continuas, discretas, y altamente asimétricas. La variable respuesta es función de funciones lineales, no lineales suavizadas de las variables predictoras (Stasinopoulos et al. 2007). Se utilizaron los paquetes de R *gamlss* y *gamlss.dist*.



Resultados

Sistema de alerta con análisis estacional

Bajo este objetivo se buscó relacionar las precipitaciones subestacional (mensual) con grados de severidad, como indicador de las condiciones para el desarrollo de Tizón tardío. En el informe de avance sobre este punto se vio que la relación positiva entre precipitación mensual y grados de severidad acumulados (Figura 3) es un buen indicador de las condiciones ambientales para el desarrollo y propagación de Tizón tardío, lo que puede anticipar decisiones.

Para establecer un indicador relacionado al pronóstico subestacional y la intensidad de condiciones para el desarrollo de Tizón tardío, se utilizó la información climatológica de la estación de referencia respecto a los terciles de precipitación según se indica en la Tabla 2, donde para los meses de octubre, noviembre y diciembre se establece el rango normal. Bajo el límite inferior del rango es “seco” y sobre el límite superior es “húmedo”. A los límites mencionados para cada estación meteorológica de referencia fueron establecidas las estaciones meteorológicas automáticas.

El pronóstico subestacional entrega valores acumulados de precipitación mensual como representación del estado estacional del tiempo (Figura 2).



Tabla 3. Estaciones meteorológicas automáticas y de referencia climatológica para establecer el rango normal de precipitaciones en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Nombre de la estación meteorológica automática	Región	Provincia	Comuna	Estación de referencia	Mes	Rango normal (mm)
El Cardal	Los Ríos	Ranco	Río Bueno		Octubre	47-98
Remehue	Los Lagos	Osorno	Osorno	Cañal Bajo	Noviembre	48-75
Octay	Los Lagos	Osorno	Puerto Octay		Diciembre	38-60
Colegual	Los Lagos	Llanquihue	Llanquihue		Octubre	88-135
Los Canelos	Los Lagos	Llanquihue	Los Muermos	El Tepual	Noviembre	76-121
Butalcura	Los Lagos	Chiloé	Dalcahue		Diciembre	66-95
Tara	Los Lagos	Chiloé	Chonchi			

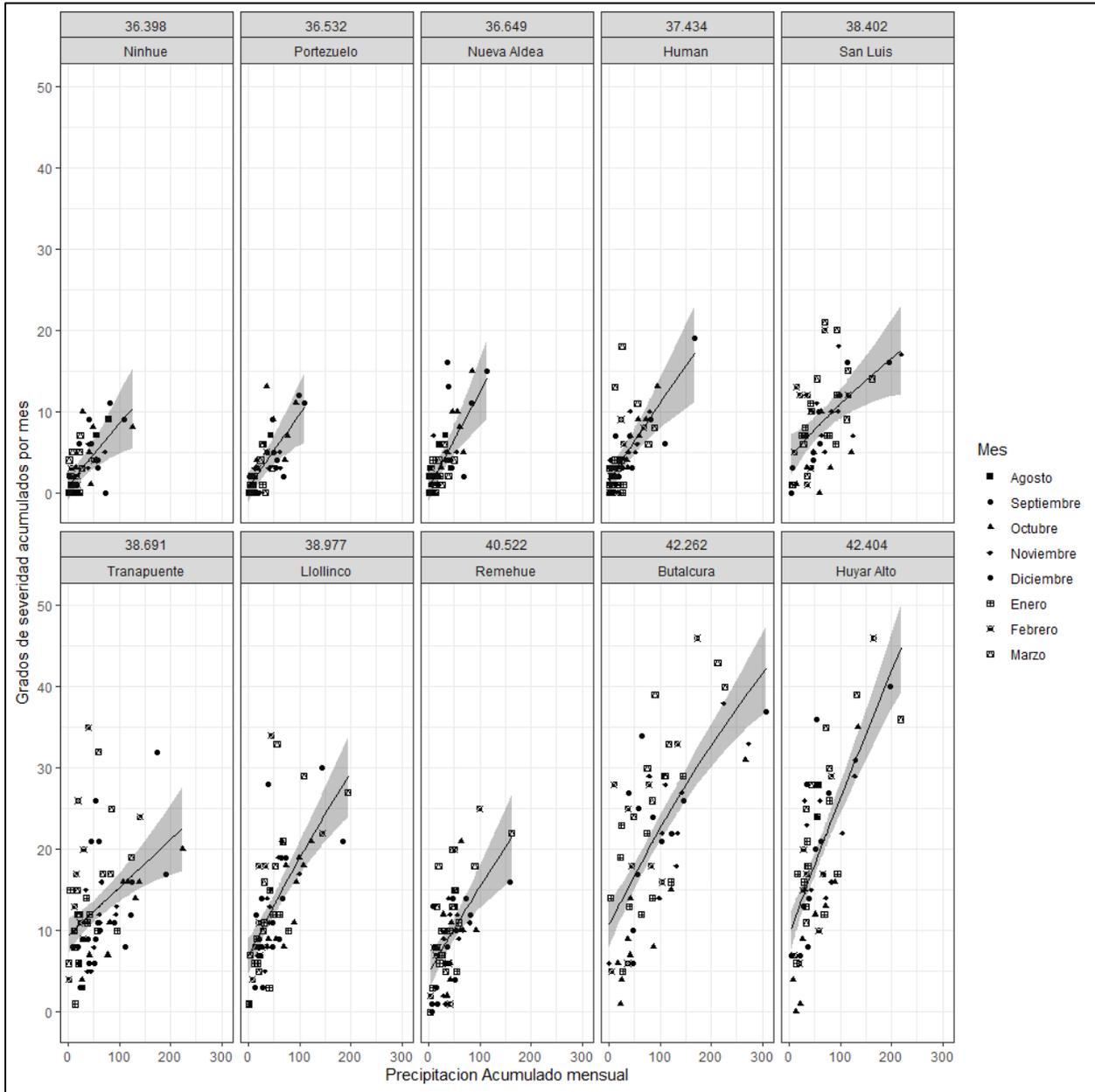
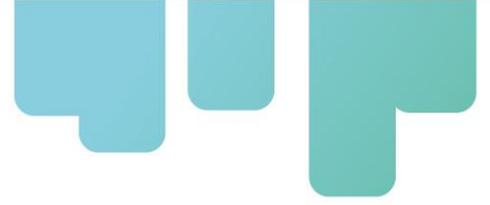


Figura 2. Relación entre Grados de severidad acumulada y precipitación mensual acumulada para distintas estaciones meteorológicas.



Validación de la utilización de pronóstico estacional para alerta de Tizón tardío

Para la utilización del pronóstico estacional, se relacionaron las estaciones meteorológicas automáticas a las estaciones meteorológicas de referencia (Figura 1), de tal forma de utilizar los terciles climatológicos correspondientes al periodo climatológico 1991-2020 (Tabla 3).

En la Figura 3, se puede ver las relaciones entre grados de severidad y precipitación mensual para los meses en octubre, noviembre y diciembre, que es el periodo de crecimiento de emergencia y primer desarrollo del cultivo de papa (crecimiento del follaje y tuberización). Las relaciones son prácticamente lineales, con la excepción del mes diciembre. Probablemente, a pesar de existir meses de precipitación mayor a lo normal, esto no se traduce a mejores condiciones para Tizón tardío, producto de temperaturas más altas de lo requerido.

En los meses de octubre y noviembre, las relaciones son lineales en ambos grupos de estaciones, y los terciles climatológicos de las estaciones de referencia representan adecuadamente el comportamiento de las estaciones meteorológicas más nuevas, con la excepción de Butalcura en el mes de noviembre, en relación a la estación de referencia de El Tepual.

Hechas estas relaciones, es necesario reducir la escala de los indicadores, ya que cada tercil climatológico de las precipitaciones en la escala subestacional abarca un rango amplio de escenarios, que es necesario inferir que implican. Por ejemplo, en el mes de octubre, en el grupo de estaciones relacionadas a la estación de referencia “El Tepual”, si se pronostica que lloverá sobre lo normal, se debe inferir qué efectos se pueden esperar probabilísticamente entre 135.4 mm y más.

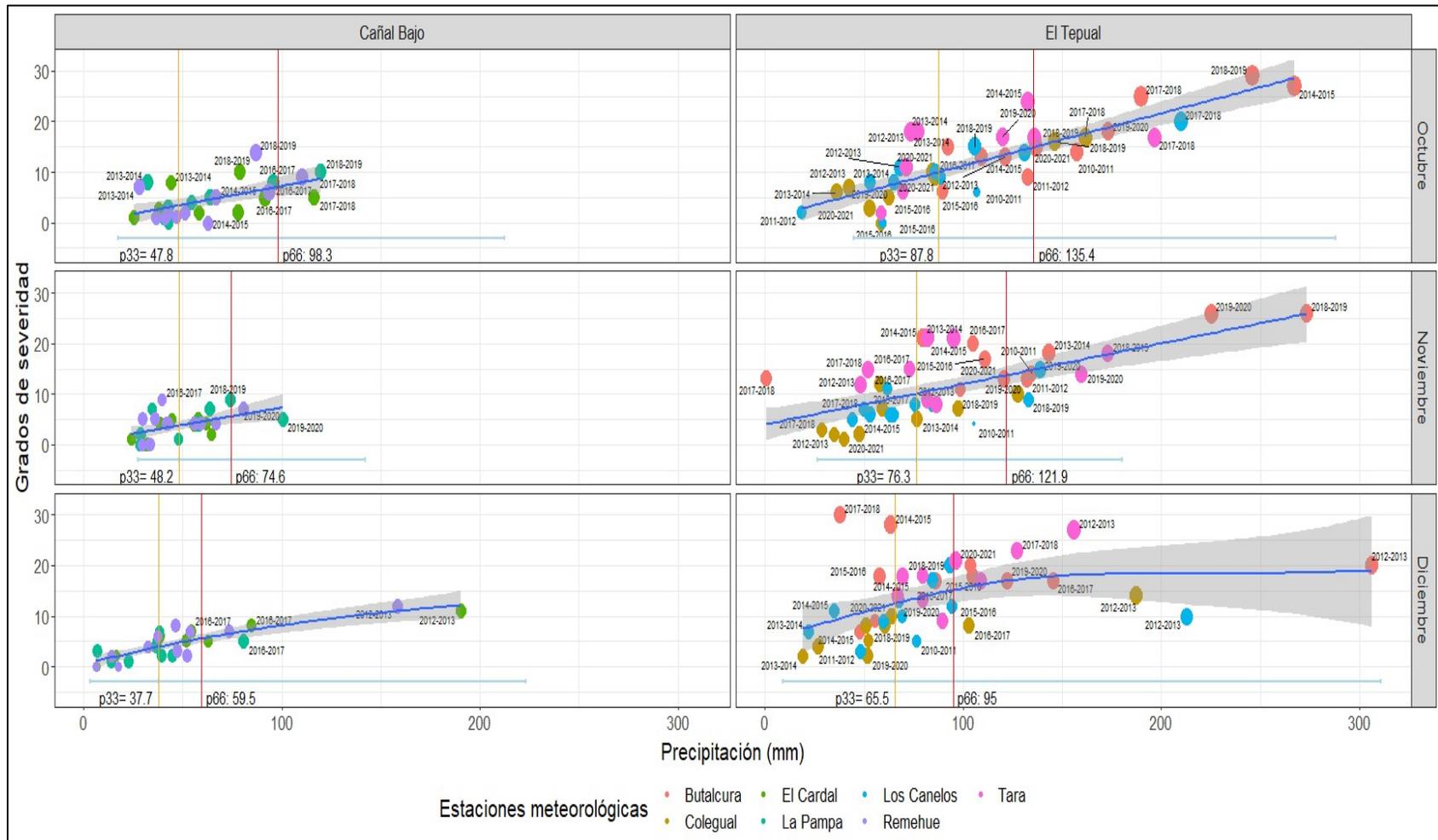


Figura 3. Relación entre precipitación mensual y grados de severidad acumulados en octubre, noviembre y diciembre en dos grupos de estaciones meteorológicas asimiladas a los terciles climatológicos de la estación de referencia. Las líneas verticales representan los terciles 33 y 66, la línea celeste indica los tres terciles climatológicos y los colores representan las diferentes estaciones. Cada punto se indica con la temporada.



Figura 3. Relación entre precipitación mensual y grados de severidad acumulados en octubre, noviembre y diciembre en dos grupos de estaciones meteorológicas asimiladas a los terciles climatológicos de la estación de referencia. Las líneas verticales representan los terciles 33 y 66, la línea celeste indica los tres terciles climatológicos y los colores representan las diferentes estaciones. Cada punto se indica con la temporada.



Utilización de modelos predictivos

Se elaboraron dos modelos estadísticos utilizando el marco GAMLSS, cada uno utilizando los datos meteorológicos de Cañal Bajo, representando a Osorno, y El Tepual, representando a Puerto Montt. Los modelos estadísticos utilizados se muestran en la Tabla 4. La variable respuesta precipitación tiene una distribución Gamma, lo que define los parámetros μ y σ de valor medio y variabilidad. Los predictores fueron la anomalía del índice Niño 4 rezagada dos meses, para ambos casos. En el caso de Osorno, se suma una función suavizada de la anomalía Niño 3, también rezagada 2 periodos. La variabilidad de la precipitación (σ) fue modelada por una función suavizada de la anomalía de la oscilación antártica rezagada 1 periodo, para el caso de Cañal Bajo, y en El Tepual se suma una función suavizada de la anomalía Niño 1.2 rezagada dos meses.

Tabla 4. Modelos utilizados para la predicción de precipitación.

Estación	Modelo	Distribución
Cañal Bajo (Osorno)	$\mu \sim \text{pb}(\text{anomalía Niño 4 } t-2) + \text{pb}(\text{anomalía Niño 3 } t-2),$ $\sigma = \sim \text{pb}(\text{anomalía OA } t-1)$	Gamma (GA)
El Tepual (Puerto Montt)	$\mu \sim \text{pb}(\text{anomalía Niño 4 } t-2)$ $\sigma \sim \text{pb}(\text{anomalía OA } t-1) + \text{pb}(\text{anomalía Niño 1.2 } t-2)$	Gamma (GA)

Una manera de analizar la habilidad de los modelos es utilizar los resultados en términos de la pertenencia a los cuantiles señalados en la Tabla 2 y compararlos con el cuantil observado en el mes analizado. Si los predictores y sus coeficientes están seleccionados adecuadamente el análisis de los cuantiles debería clasificar los resultados adecuadamente en la mayor parte de los casos, y con ello poder reproducir la variabilidad observada. Los resultados que se muestran en la Tabla 5 indican una muy baja habilidad en la clasificación de los cuantiles utilizando el set de datos de prueba. En el caso de Osorno, no supero el 33 % de los casos, y El Tepual el desempeño fue mejor con un 58 %, pero no adecuado para la utilización del modelo como herramienta predictiva. Con el nivel de habilidad mostrado, la incertidumbre de la respuesta es muy alta.



Tabla 5. Análisis de cuantiles en la predicción de los modelos en el mes de octubre.

Estación	Bien clasificado	Mal clasificado
Cañal Bajo (Osorno)	4	8
El Tepual (Puerto Montt)	7	5

El análisis de cuantiles se confirma al revisar los indicadores de ajuste de la regresión realizada (Tabla 6). Tanto el MAE como el RMSE muestran un nivel de error de la predicción similar al monto de agua caída en el mes analizado (octubre). El sesgo de la estimación subestima los valores entregados por lo modelos, y finalmente, el R^2 es tan bajo que confirma lo anteriormente señalado.

Tabla 6. Indicadores de desempeño de los modelos utilizados.

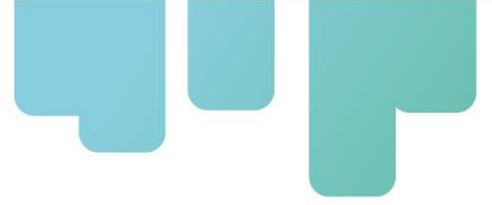
Indicador	Cañal Bajo (Osorno)	El Tepual (Puerto Montt)
MAE (mm)	41.7	39.9
RMSE (mm)	50.16	48.0
Bias	-9.02	-4.26
R2	0.05	0.144

Bajo estos resultados no es posible utilizar estos modelos para predecir los niveles de precipitación a nivel mensual, y a su vez, relacionar esos resultados con el nivel de intensidad de las condiciones meteorológicas para la aparición de tizón tardío. No obstante, no se descarta que la metodología para escoger las variables predictoras no haya sido la adecuada.

Conclusiones

El trabajo realizado ha sistematizado buena parte de la información que ha sido colectada por el Sistema de Alerta de Tizón tardío en el Sur de Chile (<http://tizon.inia.cl>), y sobre esta, se han propuesto algunas metodologías para agregar valor a dicha información.

Se ha estimado el potencial de daño de Tizón tardío sobre el cultivo de la papa a diferentes niveles de resistencia varietal para diferentes lugares en el sur de Chile. Se puede concluir que el alto potencial de daño en el sur de Chile, y la baja variabilidad interanual, hacen de Tizón tardío



una enfermedad endémica, por lo cual es necesario difundir todas las medidas de control necesarias. Se puede ver que es una metodología adecuada para sectorizar la región productora de papa en Chile, para establecer estrategias de manejo.

Respecto a la relación con la climatología y el pronóstico estacional entregado por los servicios nacionales de meteorología, hay una relación positiva entre precipitación mensual (subestacional) e intensificación de las condiciones favorables para el desarrollo de Tizón tardío, no obstante, es necesario aplicar metodologías estadísticas que permitan reducir la escala a niveles diarios, para la toma de decisiones con un horizonte de tiempo más amplio en la temporada.

Finalmente, el uso de modelos estadístico para estimar el monto de agua caída y la clasificación en cuantiles no fue posible obtener resultados adecuados para su utilización en modelos de decisión, como la predicción estacional para la toma de decisiones en el control de la enfermedad. Hay dos causas que se ven posibles: la primera la insuficiencia de datos considerando el conjunto de años, y la necesidad de dividir en set de entrenamiento y set de prueba. Por otra parte, la selección de predictores probablemente influyo negativamente en los resultados.



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
- Dantas, L. G., dos Santos, C. A. C., de Olinda, R. A., de Brito, J. I. B., Santos, C. A. G., Martins, E. S. P. R., Brunzell, N. A. (2020). Rainfall prediction in the state of Paraíba, Northeastern Brazil using generalized additive models. *Water* (Switzerland), 12(9), 1–26. <https://doi.org/10.3390/w12092478>.
- 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>.
- 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.
- 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>
- Stasinopoulos, D. M., & Rigby, R. A. (2007). Generalized additive models for location scale and shape (GAMLSS) in R. *Journal of Statistical Software*, 23(7), 1–46. <https://doi.org/10.18637/jss.v023.i07>
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 698 p. Elsevier.

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org