



INFORME FINAL

Alerta temprana para el manejo del Tizón tardío de la papa. ATN/RF 16678 RG

Ivette Acuña, Florencia Lucca, Cristina Tello, Rodrigo Morales, Constanza Sepúlveda, Arnulfo Gutiérrez, Rodrigo Bravo.

2023



Códigos JEL: Q16

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 Ivette Acuña, Constanza Sepúlveda, Rodrigo Bravo, Camila Sandoval.

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

Abstract.....	4
Resumen	5
Antecedentes.....	6
Objetivos.....	8
Metodología.....	9
Resultados.....	14
Indicadores Técnicos	50
Hallazgos Destacados.....	51
Historias en el campo.....	52
Discusión	54
Conclusiones	60
Recomendaciones.....	62
Referencias Bibliográficas.....	63
Instituciones participantes	70



Abstract

Climate change constitute several challenges, including the effect of biotic and abiotic factors. This is how new plant health problems and the reemergence of others have been detected. The latter is the case of potato late blight caused by the oomycete *Phytophthora infestans*, a disease capable of causing 100% loss of production when environmental conditions are favourable. For the control of this disease, an integrated management is necessary considering the epidemiology of the disease, the characteristics of the pathogen, the varietal susceptibility, and the agronomic and chemical management.

The objective of this project was to form a platform of specialists in potato late blight, to implement an early warning system as a tool to support decision-making in productive systems of family farming in the participating countries, for a preventive and sustainable management of the disease, as a measure of adaptation to the variability of climate change. The network of specialists was formed and included members from Chile, Argentina, Ecuador, and Panama, in addition to the collaboration of specialists from other countries in Latin America, Europe and the United States. This network works as a community of practice, with communication through virtual meetings and training workshops.

In addition, early warning systems are support tools that help make better decisions for preventive management of the disease, based on the prevailing environmental conditions. However, it is necessary to validate them in the respective territories and train farmers and the entire production chain for their implementation and thus reduce the risk against a potential epiphytic of the disease.

During the project, the work focused on the validation of early warning systems in each of the countries through 29 experimental plots to determine the efficiency of disease control with the use of alerts, incorporating integrated management criteria and varietal resistance. The results showed a decrease in the number of applications, environmental quotient (IEQ), and the cost of fungicide by more than 50%. We have worked on the monitoring of *P. infestans* in the participating countries, with a collection of 528 isolates, including samples from other countries such as Brazil, Uruguay, Peru, and Costa Rica, which have been characterized genotypically and a gene flow map has been built.

Finally, we worked in the dissemination of knowledge. There were 44 workshops, 8 field days and seminars, 7 workshops for results analysis with beneficiaries and partners, an international symposium, two workshops for co-executors and associates, 4 meetings and workshops with the production chain and decision makers, with the total participation of 2761 people, of which 41.6% were women (1148 women and 1613 men). In addition, we prepared 13 informative publications and technical videos, a scientific publication, and a web platform where the project information is hosted.

Key words: Decision support system, Integrated diseases management, *Phytophthora infestans*, Potato diseases, Late blight, Warning system.

Resumen

El cambio climático plantea una serie de desafíos, entre los que se encuentran el efecto de factores bióticos y abióticos. Es así como se han detectado nuevos problemas sanitarios y la reemergencia de otros. Este último es el caso del Tizón tardío de la papa cuyo agente causal es *Phytophthora infestans*, enfermedad capaz de causar un 100% de pérdida de la producción cuando las condiciones ambientales son favorables. Para el control de esta enfermedad es necesario un manejo integrado considerando la epidemiología de la enfermedad, las características del patógeno, la susceptibilidad varietal y el manejo agronómico y químico.

Este proyecto propone formar una plataforma de especialistas en Tizón tardío de la papa, para implementar un sistema de alerta temprana como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en sistemas productivos de la agricultura familiar en los países participantes, para un manejo preventivo y sustentable de la enfermedad, como medida de adaptación frente a la variabilidad del cambio climático. La plataforma está conformada e incluye a miembros de Chile, Argentina, Ecuador y Panamá, además de la colaboración de especialistas de otros países en Latinoamérica, Europa y Estados Unidos. Esta red de especialistas trabaja como una comunidad de práctica, con comunicación a través de reuniones virtuales y talleres de capacitación.

Además, los sistemas de alerta temprana son herramientas de apoyo que ayudan a tomar mejores decisiones de manejo preventivo de la enfermedad, basados en las condiciones ambientales predominantes. Sin embargo, es necesario validarlos en los respectivos territorios y capacitar a los agricultores y a toda la cadena productiva para su implementación y así disminuir el riesgo frente a una potencial epifitía de la enfermedad.

Durante el desarrollo del proyecto, el trabajo se enfocó en la validación de sistemas de alerta temprana en cada uno de los países mediante 29 parcelas de validación para determinar la eficiencia de control de la enfermedad con uso de alertas, incorporando criterios de manejo integrado y resistencia varietal. Los resultados muestran una disminución de más del 50 % en la cantidad de aplicaciones, el índice de Impacto ambiental (IEQ) y el costo de fungicidas. Se ha trabajado en el monitoreo de *P. infestans* en los países participantes, con una colección de 528 aislamientos, incluyendo muestras de otros países como Brasil, Uruguay, Perú y Costa Rica, los cuales se han caracterizado genotípicamente y se ha elaborado un mapa de flujo génico.

Junto a lo anterior se trabajó fuertemente en la diseminación del conocimiento. Se realizaron 44 talleres, 8 días de campo y seminarios, 7 talleres para análisis de resultados con los beneficiarios y asociados, un simposio internacional, dos talleres para co-ejecutores y asociados, 4 reuniones y talleres con la cadena de producción y tomadores de decisiones, con la participación de 2761 personas, de las cuales el 41,6 % fueron mujeres (1148 mujeres y 1613 hombres). Además, se elaboraron 13 publicaciones divulgativas y videos técnicos, una publicación científica y una plataforma web donde se aloja la información del proyecto.

Palabras Claves: Alerta temprana, Enfermedades de la papa, Herramientas de apoyo a la toma de decisiones, Manejo Integrado, *Phytophthora infestans*, Tizón tardío.



Antecedentes

El cambio climático plantea una serie de desafíos, entre los que se encuentran el efecto de factores bióticos y abióticos frente a la intensificación de eventos climáticos. Es así como se ha detectado nuevos problemas sanitarios y la reemergencia de otros. Este último es el caso del Tizón tardío de la papa cuyo agente causal es *Phytophthora infestans*. El Tizón tardío de la papa es la enfermedad de mayor importancia a nivel mundial, causando pérdidas de hasta un 100% de la producción cuando las condiciones ambientales son favorables. El agente causal es originario de América, coevolucionando junto a su principal hospedero, la papa (*Solanum tuberosum*), cultivo base de la alimentación de varios países en Latinoamérica, especialmente en la agricultura familiar. Esta enfermedad ha aumentado por la inestabilidad genética del patógeno, la globalización del comercio y la variabilidad climática, lo que favorece su presencia y dispersión, con una alta incidencia y severidad (Oliva et al., 2010; Adler et al., 2003; Acuña, 2014; Lucca & Huarte, 2014; Lindqvist-Kreuzer et al., 2016; Forbes et al., 2013; Krause et al., 1975). Para su control, los agricultores utilizan pesticidas en forma excesiva e inoportuna, aumentando el impacto ambiental y el riesgo para la salud de las personas.

Es por esto que para el control de esta enfermedad es necesario un manejo integrado, considerando la epidemiología de la enfermedad y las características del hospedero y el patógeno, es decir, el uso de varias medidas de manejo que ayuden a reducir la presencia y el ataque de una enfermedad. Así, contar con un paquete de manejo relacionado al objetivo de producción y tipo de explotación agrícola es clave para ser exitoso. Un paquete de manejo considera el uso de cultivares menos susceptibles, manejo cultural y agronómico y control químico (Schepers, 2002; Garret & Dendy, 2001; Acuña et al., 2007).

Hay que considerar que las condiciones ambientales determinan la severidad del daño que el Tizón tardío puede ocasionar. Dado lo anterior, se han desarrollado modelos de alerta temprana para detectar las condiciones del momento para el desarrollo de la enfermedad, indicando cuando es más oportuno el control químico, disminuyendo así la cantidad de aplicaciones y los costos de producción con un manejo más sostenible (Binsteine & Turka, 2002; Fry et al., 2002; Andrade et al., 2005; Hyre, 1954; Wallin, 1962). Estos modelos se están utilizando en diferentes países con relativo éxito (Small, 2015; Acuña, 2007; Pérez et al., 2016; Lucca & Rodríguez, 2015; Schepers, 2002). Así en la zona sur de Chile (Bravo et al., 2016; Acuña & Bravo, 2019) y en Argentina en la zona sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Lucca & Rodríguez, 2015) se han desarrollado e implementado sistemas de alerta, basado en datos meteorológicos. Estos sistemas han permitido mejorar el control del tizón reduciendo el uso de fungicidas hasta en 50% y las



pérdidas económicas hasta el 47% y logrando un menor impacto ambiental, comparado con un sistema de control calendario fijo de aplicación. También, en la zona andina, el Centro Internacional de la papa CIP ha trabajado en Ecuador y Perú con un sistema manual de discos (DSS-HH), el cual ha mostrado funcionar bien en zonas donde no hay datos meteorológicos, ni sistemas de comunicación masiva (Pérez et al., 2016). Sin embargo, en Centro América, hay muy poca información sobre el manejo del problema, así en Panamá las pérdidas pueden llegar a ser muy altas, principalmente por falta de capacitación tanto de asesores como agricultores.

Los sistemas de alerta temprana ayudan a tomar mejores decisiones de manejo preventivo del Tizón tardío de la papa, sin embargo, hay desafíos aún por resolver, tales como la validación e implementación en otros territorios, adopción de tecnología, comunicación de la información y saber qué hacer frente a esta información. Esto último se logra con capacitaciones a la cadena productiva mediante técnicas de aprender haciendo. Pero, también, es necesario que los actores de la cadena de producción y tomadores de decisiones cuenten con herramientas de apoyo para planificar la temporada de cultivo y contar con la disponibilidad de recursos y acciones, para disminuir el riesgo frente a una potencial epifitía de la enfermedad.

Esta propuesta plantea formar una plataforma de especialistas en Tizón tardío de la papa, con el objetivo de implementar un sistema de alerta temprana como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en sistemas productivos de la agricultura familiar en los países participantes, para un manejo preventivo y sustentable de la enfermedad, como medida de adaptación frente a la variabilidad del cambio climático.

Se plantea que el uso de información basada en alertas temprana ayuda a los agricultores a realizar un control químico en forma oportuna y eficiente y solo cuando es necesario. Así, esta información, junto a capacitaciones en manejo integrado y buenas prácticas agrícolas, fomenta la adaptación y mitigación al cambio climático para la intensificación sostenible de la producción de papa. Con esto se espera la reducción del 50% del uso de pesticidas necesarios para el control del Tizón tardío con su uso seguro y eficiente y la implementación de una estrategia de manejo integrado, de acuerdo a la condición ambiental y el sistema productivo, disminuyendo los costos al menos en 20%. Además, se fortalece las capacidades de investigación aplicada para incorporarlas en los sistemas productivos de los países miembros.

En este proyecto participaron INIA Chile como ejecutor, INTA Argentina, IDIAP Ecuador e INIAP Panamá como co-ejecutores, junto al apoyo de instituciones y empresa públicas y privadas.



Objetivos

Objetivo general

Implementar un sistema de alerta temprana como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en sistemas productivos de AFC en los países participantes, para un manejo preventivo y sustentable de la enfermedad, como medida de adaptación frente a la variabilidad del cambio climático.

Objetivos específicos

1. Formar una red de especialistas en Tizón tardío de la papa en Latinoamérica.
2. Validar e implementar un sistema de alerta temprana de Tizón tardío en los países miembros de la plataforma según tecnología disponible y capaz de disminuir las pérdidas causadas por esta enfermedad.
3. Desarrollar un sistema de alerta temprana, basada en información meteorológica y pronóstico estacional a 3 meses que apoye a los tomadores de decisiones.
4. Implementar un sistema de monitoreo del agente causal en los países miembros para detectar cambios en las poblaciones.
5. Capacitar a los miembros de la cadena productiva del cultivo de papa, especialmente a agricultores de la agricultura familiar, en la implementación de técnicas de manejo integrado (MIP) y buenas prácticas agrícolas (BPA) basado en el uso de alertas tempranas.



Metodología

Para cumplir con los objetivos se implementó una metodología basada en 5 componentes relacionados a la gestión de la plataforma de especialistas, la validación de los sistemas de alerta en cada país, el desarrollo y validación de una alerta estacional, el monitoreo y caracterización del patógeno y la comprensión y adopción de la innovación tecnológica en los beneficiarios del proyecto.

A continuación, se describe la metodología:

Componente 1. Conformación y articulación de la plataforma regional de especialistas

Una vez adjudicado el proyecto, se realizó una reunión virtual de conformación de la plataforma de trabajo con los equipos de INIA Chile, INTA Argentina, INIAP Ecuador, IICA Ecuador e IDIAP Panamá para la formación de la comunidad de práctica y forma de interacción de pares.

Posteriormente, se firmó el acuerdo entre INIA Chile y el Banco Interamericano de Desarrollo BID, para dar inicio a la propuesta. Para la conformación de la plataforma, se firmaron acuerdos de ejecución y colaboración entre las instituciones participantes.

Con el fin de coordinar las actividades técnicas y administrativas, se organizaron reuniones periódicas virtuales, entre los ejecutores y co-ejecutores del proyecto para analizar avances, protocolos y ajustes del plan de trabajo.

Adicionalmente, se realizaron 2 talleres de trabajo con ejecutores, co-ejecutores y asociados en Chiloé, Chile, y en Cerro Punta, Panamá. Estas actividades fueron reuniones técnicas y administrativas, donde se plantearon propuestas y resultados, se realizaron visitas a terreno y se capacitó en metodologías de trabajo.

Igualmente, como parte del trabajo de coordinación e intercambio de conocimiento y resultados con FONTAGRO y el comité directivo, la líder del proyecto participó en los talleres de seguimiento técnicos anuales con la fuente de financiamiento.



Componente 2: Validación del sistema de alerta temprana en los territorios elegidos.

Cada país junto a su equipo de trabajo organizó los sitios de validación y evaluaciones en terreno, de acuerdo a los protocolos establecidos en las reuniones del equipo de trabajo. Se establecieron parcelas experimentales para la validación en diferentes sitios con cultivares de papa de diferente susceptibilidad a la enfermedad, donde se evaluaron tratamientos para control de Tizón tardío con fungicidas estándares aplicados según: 1. calendario fijo, 2. alerta temprana y 3. testigo sin aplicación de fungicida. Adicionalmente, se establecieron parcelas experimentales para determinar la susceptibilidad varietal de los cultivares de papa más importantes en cada país con el fin de utilizar esta información como parte de un manejo integrado de Tizón tardío.

En estas parcelas se evaluó el daño de follaje por Tizón tardío en forma periódica durante el desarrollo de las plantas durante toda la temporada de cultivo. Con esta información se determinó la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) y el Área relativa de progreso de la enfermedad (rAUDPC). Al finalizar la temporada se determinó el rendimiento de tubérculos.

En Ecuador y Panamá se validó el sistema de alerta temprana DSS-HH, en las provincias de Cotopaxi, Pichincha y Chimborazo y en Cerro Punta, Chiriquí, respectivamente. Se utilizó este sistema ya que estas zonas no cuentan con información meteorológica de una red de estaciones.

En Chile se trabajó en la Isla de Chiloé, Región de Los Lagos, donde se validó el sistema de alerta de la plataforma <https://tizon.inia.cl>, sistema que se basa en la información entregada por la red de estaciones meteorológicas de INIA Chile. Mientras en Argentina se validó PhytoAlert DSS, para lo cual se establecieron parcelas de validación en dos zonas productoras de papa de la Provincia de Tucumán con condiciones agroecológicas diferentes en 4 campañas de cultivo de papa en el invierno-primavera y en primavera-verano.

Adicionalmente, se realizaron talleres entre ejecutores, asociados y beneficiarios en cada país para analizar y validar la información de cada temporada, definir avances y conclusiones sobre resultados e implementación y capacitar a los participantes. Además, se elaboraron publicaciones divulgativas y videos, con información sobre alertas, uso, manejo integrado y recomendaciones de implementación. Estas publicaciones están disponibles en la página web del proyecto <https://enfermedadespapa.inia.cl/fontagro>.



Componente 3. Desarrollo y validación de un sistema de alerta temprana estacional para predicción de Tizón tardío.

Se desarrolló un Sistema de alerta temprana estacional para predicción de la severidad de Tizón tardío en la temporada, con la utilización de datos históricos de incidencia y severidad de Tizón tardío y registro de información meteorológica en los sectores de evaluación disponibles en Chile. La dirección meteorológica de Chile facilitó información del pronóstico de la oscilación térmica del sur a 3 meses. Con la comparación de estos datos se determinó la probabilidad de ocurrencia de la enfermedad bajo una condición ambiental predominante. La información se validó con los datos históricos. Para la validación, también se determinó la interacción del patógeno hospedero mediante la evaluación de susceptibilidad de las variedades comerciales que se producen en cada país.

Adicionalmente, con la información de alertas se realizaron capacitaciones con los actores de la cadena de producción, para evaluar medidas preventivas al inicio de la temporada según la predicción, para disminuir los riesgos de una epifitía. Esta innovación permite que la cadena de actores y tomadores de decisiones puedan apoyar la prevención frente a un alto riesgo de la enfermedad. Así al tener un pronóstico favorable para Tizón tardío, los agricultores, especialmente de la agricultura familiar, tengan apoyo y recursos con anticipación para prevenir el problema y las pérdidas potenciales.

Componente 4. Monitoreo y caracterización del agente causal.

Phytophthora infestans es un patógeno que a nivel mundial presenta una alta variabilidad genética en sus poblaciones, la cual se puede expresar como resistencia a fungicidas, mayor agresividad o cambio en umbrales requeridos. De modo que es clave determinar las características predominantes en cada sector. A su vez esta información sirve para estimar los potenciales flujos génicos de esta población a otros territorios. Dado lo anterior, se realizó un monitoreo y caracterización fenotípica y genotípica de *P. infestans* en los territorios de estudio.

Primero se realizó un Taller de capacitación de toma de muestras y caracterización del agente causal. Los equipos de trabajo de los países participantes fueron capacitados por INTA para la toma de muestras en terreno y su envío al laboratorio para análisis.



Para la caracterización se realizó un monitoreo en los sectores de influencia a cargo de las instituciones participantes por país. Para esto se utilizaron muestras *in vivo* y con tarjetas FTA. La caracterización fenotípica se determinó para la resistencia a los principales fungicidas utilizados en cada país, según metodología propuesta por la Red Euroblight <http://Euroblight.net>. A su vez, la caracterización de genotipos se ejecutó en INTA Argentina, quienes tienen establecido la metodología de genotipificación en el laboratorio de Biotecnología de la Unidad de CICVyA. Para realizar estos estudios se utilizó un conjunto de marcadores de microsatélites (SSR) completamente estandarizados.

Con la información obtenida se elaboró un mapa de la situación poblacional de *P. infestans* para Latinoamérica, mediante el monitoreo y caracterización. Para esto se utilizaron los paquetes estadísticos de R: PoppR y Polysat.

Componente 5. Comprensión y adopción de la innovación tecnológica e implementación de Manejo integrado (MIP) y Buenas prácticas (BPA).

El proyecto plantea que la capacitación de agricultores y miembros de la cadena productiva en manejo integrado, buenas prácticas agrícolas y uso de alerta temprana disminuye las pérdidas producidas por Tizón tardío, disminuyendo el riesgo de las personas y el ambiental por el uso de pesticidas y fomenta una producción intensiva sostenible del cultivo de papa. En cada país se capacitó a través de talleres, parcelas demostrativas, días de campo y seminario a los agricultores y asesores en las diferentes técnicas para el manejo integrado y buenas prácticas agrícolas.

Para ello, primero se caracterizó el sistema de producción familiar de las personas beneficiarias objetivo en cada territorio y país. Se definió una línea base al inicio del proyecto mediante una visita y encuesta y con estos resultados, se priorizaron las temáticas a profundizar durante el proyecto. Al terminar el proyecto se realizó una encuesta de seguimiento a los beneficiarios, con el objetivo de analizar la comprensión y adopción de la tecnología transferida.

Durante el proyecto se realizaron talleres de manejo de pesticidas seguro y calibración de equipos de aplicación con los usuarios; talleres sobre estrategias de manejo integrado preventivo de la enfermedad, con énfasis en técnicas de MIP incluyendo control cultural, químico y genético de la enfermedad dando énfasis en buenas prácticas y registros y talleres sobre estrategias de control basado en los sistemas de alerta temprana validado en cada país. Se enseñó a utilizar la información de las alertas para tomar decisiones, enfatizando en eficiencia y costos de control.



Adicionalmente, se realizaron días de campo y seminarios para capacitar a los actores relevantes, tomadores de decisiones y beneficiarios directos e indirectos en análisis de riesgo y potenciales medidas preventivas a tomar, para disminuir la incidencia y severidad del problema.

Se elaboraron instructivos temáticos sobre manejo de pesticidas, control integrado y uso de sistemas de alerta, los cuales son complementados con publicaciones divulgativas y videos temáticos

Finalmente, se elaboró una plataforma web de riesgo para Tizón tardío con información general del proyecto, donde se tendrá acceso a los resultados e información de la enfermedad y su manejo. Esta plataforma será la herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el manejo preventivo de la enfermedad <https://enfermedadespapa.inia.cl/fontagro>.

Resultados


A continuación, se muestran los principales resultados y productos comprometidos en esta propuesta:

Componente 1. Conformación y articulación de la plataforma regional de especialistas

El Proyecto Alerta temprana para el manejo del Tizón tardío de la papa ATN/RF-16678-RG comenzó el 8 de junio de 2018 con la firma del Convenio entre el Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Chile y el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria FONTAGRO.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA Chile es el Organismo Ejecutor de la propuesta y el encargado de la ejecución del Proyecto y la utilización de los recursos de la Contribución de FONTAGRO, y es donde se centra la coordinación técnica y administrativa prevista en el proyecto. A su vez, en la ejecución de las actividades de investigación, en calidad de co-ejecutores, están las siguientes entidades: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la República Argentina; Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) de la República del Ecuador; el Instituto de Investigación Agropecuaria (IDIAP) de la República de Panamá; y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), a través de su oficina en el Ecuador. A su vez, para la realización de las tareas de investigación acordadas y establecidas en el Proyecto, INIA Chile, traspasó recursos de la Contribución a los co-ejecutores (**Producto 1**). Posteriormente, para la conformación de la plataforma se firmaron acuerdos de ejecución y colaboración entre INIA Chile y las instituciones participantes. También, como una forma de asegurar la capacidad legal y financiera de los co-ejecutores arriba nombrados, y bajo su sugerencia, se realizó convenios de co-ejecución con ArgenINTA para apoyo de INTA y con IICA Ecuador para apoyo de IDIAP. Adicionalmente, en el proyecto participan Organizaciones Asociadas, quienes colaboran en la ejecución del proyecto. Estas entidades son: Dirección Meteorológica (DMC) de la República de Chile; Consorcio Papa Chile SpA de la República de Chile; Ilustre Municipalidad de Puqueldón, Chiloé, de la República de Chile; y Agroquímicos Caballero, S.A., de la República de Panamá (**Producto 2**).

Para la coordinación y planificación de actividades técnicas y administrativas, se realizaron reuniones virtuales semestrales del equipo de trabajo del INIA Chile, INTA Argentina, INIAP Ecuador, IICA Ecuador e IDIAP Panamá, entre ellos y con los asociados (**Producto 3**).



Además, se realizaron 2 reuniones talleres, en Chile y Panamá con los miembros de la plataforma latinoamericana en la ciudad de Castro, Chiloé y en Cerro Punta, respectivamente. En estos talleres se trabajó en metodologías experimentales, validación de sistemas de alerta temprana, caracterización y mapeo del patógeno y evaluación de impacto. También, se capacitó en terreno para los protocolos para tomar y procesar muestras del patógeno desde tejido enfermo con uso de tarjetas FTA.

El taller de la plataforma regional de especialistas en Chile, fue organizado por Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA Remehue y participaron los Ejecutores, co-ejecutores, asociados del proyecto y asesores técnicos de los agricultores beneficiarios de Chile, se realizó los días 20-21-22 marzo de 2019 en la ciudad de Castro, Isla de Chiloé, Región de Los Lagos, Chile (Foto 1). Participaron 71 personas (27 mujeres y 44 hombres) **(Producto 4)**.

Las lecciones aprendidas en este taller fueron:

- Tener el conocimiento de la situación actual de Tizón tardío en cada país involucrado en la propuesta (Ecuador, Panamá, Argentina y Chile).
- Saber sobre los avances de la caracterización de *P. infestans*, sobre el uso de variedades resistentes, fungicidas utilizados para su control, sistemas de alerta y uso de información meteorológica.
- Dar a conocer sobre las diferentes metodologías de transferencia tecnológica utilizadas por cada país miembro de la iniciativa.
- Uniformizar la toma de muestra de Tizón tardío en campo mediante tarjetas FTA, utilizando una aplicación móvil.
- Conocer sobre la experiencia de los sistemas de alerta en base a información meteorológica en Chile y Argentina.
- Conocer la realidad del manejo del cultivo de papa en la Isla de Chiloé, mediante la visita a agricultoras de la Isla Lemuy, teniendo un contacto directo del equipo técnico del proyecto con la realidad local del cultivo de papa en la isla de Chiloé.



Foto 1. Equipo plataforma con los ejecutores (INIA Remehue), co-ejecutores (INTA, INIAP, IDIAP) y asociados (Dirección meteorológica de Chile DMC) del programa, asistentes a las actividades.

El taller de la plataforma regional de especialistas en Panamá fue organizado por el IDIAP Panamá y participaron Ejecutores, co-ejecutores y los agricultores beneficiarios, se realizó entre el 26 y 30 de septiembre de 2023. En esta ocasión, además se realizaron eventos de capacitación sobre las principales enfermedades limitantes del cultivo de papa, análisis de datos experimentales y giras técnicas a los ensayos (Foto 2). A estos eventos asistieron 111 participantes (62 hombres y 49 mujeres) **(Producto 5)**.

Las lecciones aprendidas en este taller fueron:

- La implementación programática del seguimiento y evaluación del desarrollo y promoción del proyecto permitió realizar los ajustes para el perfeccionamiento y la reorientación oportuna. Se aplicó de acuerdo a la realidad operativa técnica científica y administrativa institucional a fin de lograr la producción sustentable de papa.
- Es estratégica la vinculación directa y permanente con todos los actores de la red de producción de papa, incluyendo a los técnicos pertenecientes a los INIA's ejecutor, co-ejecutores, socios y beneficiarios en general, para la generación y validación tecnológica del proyecto de la alerta temprana para el manejo del Tizón tardío de la papa. Se reconoce que la vinculación es clave para consensuar las tecnologías, implementar las actividades en campo, interpretar los resultados y lograr la adopción.

- La integración del enfoque de género impacto en el componente fitosanitario del cultivo de papa. Ello por el tipo de responsabilidades, limitaciones y oportunidades entre mujeres y hombres, al interior de la unidad familiar, dentro de las unidades productivas, del sistema de producción y las comunidades.
- Todo proceso de investigación e innovación conlleva el registro de datos para generar información científica y la aplicación e interpretación de los análisis estadísticos y el procesamiento de la información según la programación inicial. En los conocimientos generados en el proyecto, se destaca la importancia del método científico para la adecuada comprensión de resultados, los análisis y toma de decisión a corto plazo. Para nuestro caso, con la implementación comercial de tecnologías de manejo integrado del cultivo de papa, se debe generar beneficios directos a los productores, al pleno de la sociedad y al ambiente.



Foto 2. Equipo plataforma participante de las actividades en el taller de la red en Panamá.

Finalmente, la líder del proyecto participó en todos los talleres de seguimiento técnico, donde presentó los avances y resultados del proyecto. Participó en el taller presencial que se ejecutó en República Dominicana (2019), en 2 talleres virtuales (2020 y 2021), en el taller realizado en Argentina (2022) y en el de España (2023) Información del proyecto se puede encontrar en la plataforma <https://www.fontagro.org/new/proyectos/alerta-temprana-para-el-manejo-del-tizon-tardio-d/es> (Foto 3). Adicionalmente, cada año se presentó la propuesta de trabajo y el informe anual de trabajo (**Producto 6**).



Componente 2: Validación del sistema de alerta temprana en los territorios elegidos

Durante los cuatro años del proyecto se ha logrado validar los sistemas de alerta temprana para Tizón tardío en los 4 países: Ecuador, Panamá, Chile y Argentina, para lo cual se han establecido más de 29 parcelas experimentales de validación para calibrar la eficiencia de uso del sistema de alerta en el control de la enfermedad, parcelas experimentales para determinar la resistencia relativa a Tizón tardío de los principales cultivares de papa por país y uso de control químico con uso de alertas. Estas parcelas, además, han servido de apoyo como unidades demostrativas para las actividades de extensión y difusión del conocimiento con los beneficiarios del proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el uso de los sistemas de alerta han demostrado una alta eficiencia de control, con más de 50% en la reducción de aplicaciones necesarias, impacto ambiental y económico y de rendimientos similares, respecto a un calendario fijo de aplicaciones.

Validación de alerta en Ecuador

En Ecuador, se generó una herramienta denominada Sistema de Apoyo a la Toma de Decisiones (SAD o DSS-HH), la cual integra información de las condiciones climáticas, susceptibilidad del cultivo, características y frecuencia de aplicación de fungicidas, para orientar a los agricultores a tomar una adecuada decisión para el control químico del Tizón tardío.

Durante el proyecto se evaluó el SAD en campos de agricultores de diferentes zonas de la Sierra Ecuatoriana con 9 parcelas experimentales de validación durante los ciclos de cultivo del 2019 al 2022. Los resultados obtenidos indican que las parcelas manejadas con el SAD, tuvieron control de la enfermedad con igual eficacia que la estrategia aplicada por los agricultores de forma convencional (Figura 1).

De igual manera, se registraron valores similares de rendimiento, mientras que, la utilización del SAD generó una reducción del 36,6% del número de aplicaciones de fungicidas para controlar Tizón tardío, una reducción del 48,2% de impacto ambiental y del 49,16% del costo de fungicidas, en promedio de todas las parcelas evaluadas (Cuadro 1) **(Producto 7)**.

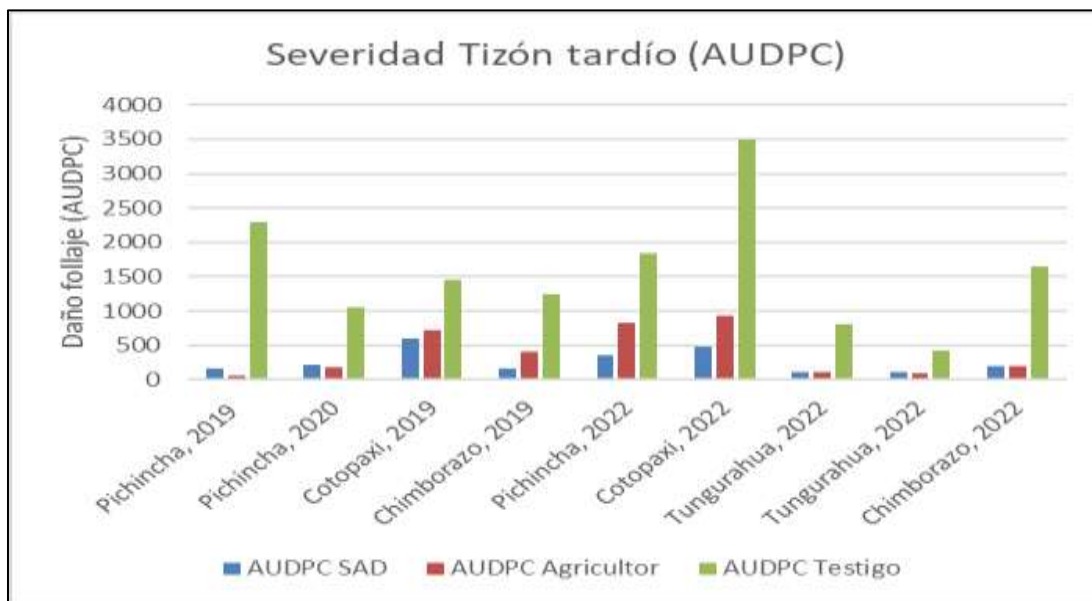


Figura 1. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad de Tizón tardío en la validación del SAD, variedad Superchola/Libertad, en Ecuador, 2019 – 2022.

Cuadro 1. Reducción de impacto ambiental y costos de aplicación de fungicidas al utilizar la herramienta SAD en Ecuador, 2019 – 2022.

Año	Localidad	% Reducción de parámetros con el uso del SAD		
		Número de aplicaciones	EIQ DSS	Costos fungicidas DSS
2019	Mejía, Pichincha	31,2	42,3	32,00
2019	Riobamba, Chimborazo	41,7	47,6	54,54
2019	Latacunga, Cotopaxi	20,0	50,6	58,29
2020	Rumiñahui, Pichincha	33,3	31,5	40,16
2022	Quito, Pichincha	44,2	59,6	57,42
2022	Pujilí, Cotopaxi	42,8	46,5	49,11
2022	Tisaleo, Tungurahua	32,7	45,8	39,31
2022	Ambato, Tungurahua	43,5	54,3	55,13
2022	Riobamba, Chimborazo	40,1	55,2	56,47
Promedio General		36,6	48,2	49,16

Validación de alerta en Panamá

Se estableció una parcela experimental para caracterizar la susceptibilidad de los cultivares de papa al Tizón tardío disponibles en Las Tierras Altas, Panamá. Con los registros semanales de la severidad del Tizón tardío se trazaron y estimaron los parámetros epidemiológicos Curvas de Progreso de la Enfermedad (CPE), Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC), Área Bajo las Escaleras de Progreso de la Enfermedad (AUDPS), los respectivos valores relativos, y los valores resultantes de la escala de susceptibilidad. Se seleccionó al clon 398017.53 como resistente, a las variedades IDIAP Roja 17 y Ultra como medianamente resistentes y Granola como susceptible. Con estos cultivares se establecieron las dos primeras parcelas de validaciones del HH-DSS, en las épocas lluviosas de 2019 y 2020 y sin Ultra en 2022, utilizando los parámetros que conforman los discos de colores relacionados a resistencia varietal, así el rojo para el cultivar susceptible, disco amarillo para los medianamente resistentes y disco verde para el resistente al Tizón tardío. Se establecieron 4 parcelas para validar el sistema de alerta. Con la implementación del HH-DSS, se realizaron menos aplicaciones de fungicidas que la práctica de control de los productores. La reducción fue de hasta 69.23% con el clon 398017.53 y la ampliación del intervalo de las aplicaciones de fungicidas de hasta 13 días, con el inicio de los síntomas de Tizón tardío. Pero, con la práctica convencional de los productores se registraron los menores valores de severidad en el tiempo y se calculó el menor valor promedio estadístico del AUDPC, AUDPS y los respectivos valores relativos, comparado a la implementación del HH-DSS. Los rendimientos comerciales promedio de las variedades Granola, Ultra, fueron similares con el control de los productores y con el HH-DSS. Los rendimientos de las variedades IDIAP Roja 17 y 398017.53 fueron superiores con la práctica de los productores. En estos cultivares se estimaron los menores costos y los menores valores del EIQ (Environment Impact Quocient), lo que indica que hay reducción en los costos de producción y menores impactos negativos ecológicos

En la Granola con la herramienta HH-DSS para el control del Tizón tardío se redujeron seis aplicaciones (38%), en IDIAP Roja 17 la reducción fue de hasta ocho aplicaciones (50%) y en el clon resistente 398017.53 reducción fue de 69.23%. Esto se reflejó en la reducción de los costos, siendo vital el uso de cultivares medianamente resistentes y resistentes. Además, el uso de la alerta temprana redujo significativamente los valores del EIQ, reflejo de los menores impactos negativos ecológicos (Figura 2) **(Producto 8)**.

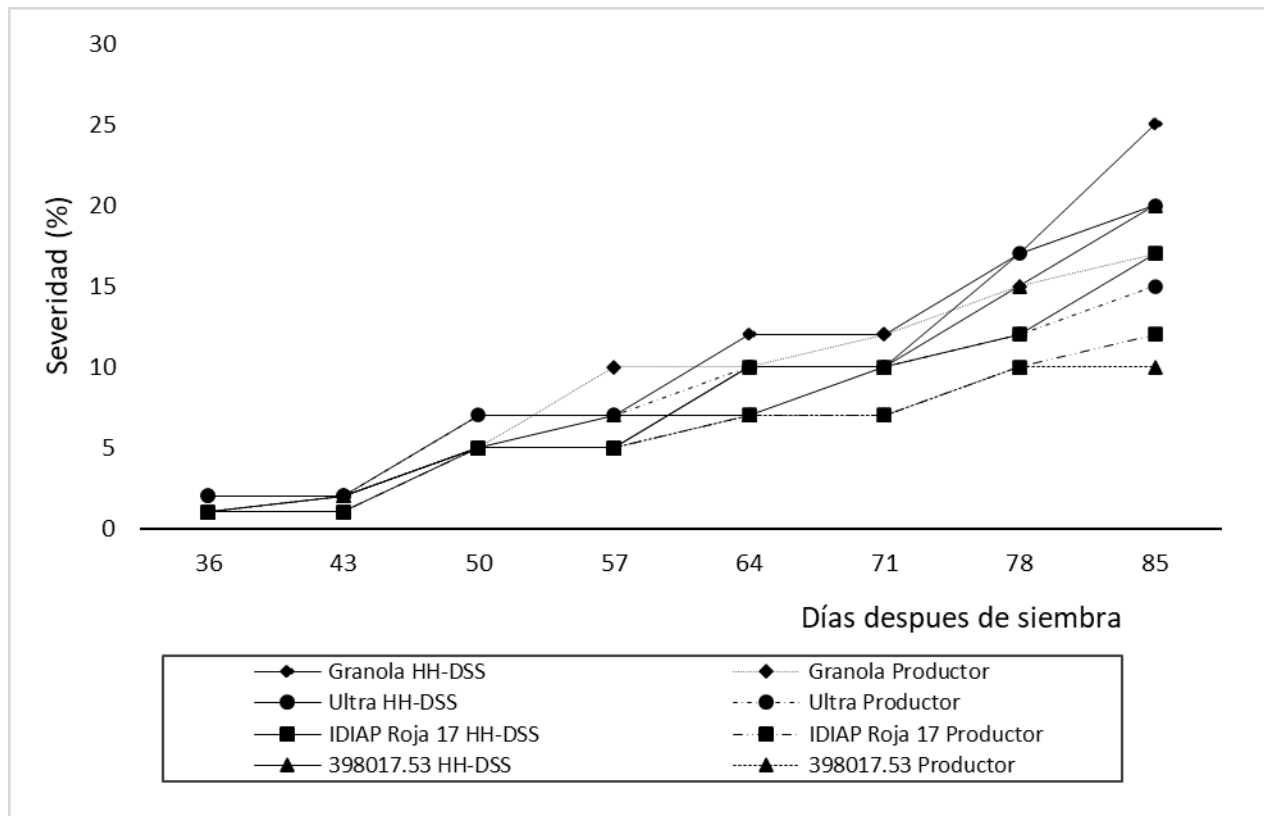


Figura 2. Curvas de progreso del Tizón tardío por cultivar de papa, resultantes del uso de la alerta temprana, HH-DSS (líneas sólidas con diamante de Granola, Ultra con círculo, IDIAP Roja 17 con cuadro y de 398017.53 con triángulo), comparadas al control convencional de los productores en Granola (línea de puntos redondos con diamante), Ultra (línea de guion, punto con círculo), IDIAP Roja 17 (línea de guion, punto, punto con cuadro) y 398017.53 (línea de puntos cuadrados con triángulo). Cerro Punta, 2019.

Validación de alerta en Chile

Para validar el sistema se utilizó información meteorológica de la Red de estaciones INIA <http://agrometeorologia.cl>. La Isla de Chiloé cuenta hoy con 6 estaciones automáticas conectadas en tiempo real, cuyos datos son procesados diariamente con el sistema de alerta temprana INIA <http://tizón.inia.cl>. El usuario al acceder a la plataforma puede observar las condiciones para el desarrollo de la enfermedad, según colores: Rojo: muy favorable; naranja: favorable; amarillo: media y verde: sin condición favorable. El usuario en base a esta información toma la decisión de aplicar fungicida, según el conocimiento de productos y susceptibilidad varietal. Para su



validación se establecieron 12 parcelas experimentales de validación entre las temporadas 2018 al 2023. Los resultados del control de Tizón tardío para todas las temporadas, comparando las aplicaciones a calendario fijo, alerta y el testigo sin aplicación, muestran claramente que las aplicaciones según las alertas ofrecen un control muy similar al calendario fijo, y ambas mejor que el testigo al presentarse la enfermedad. Adicionalmente, el rendimiento de tubérculos está muy relacionado al nivel de daño por Tizón tardío en el follaje. Así, bajo la misma condición, el testigo presenta un menor rendimiento, pero no hay diferencias entre los tratamientos aplicados con alerta o a calendario fijo. Al comparar la cantidad de aplicaciones realizadas utilizando una estrategia basada en el sistema de alerta temprana con la estrategia de aplicación a calendario fijo, se detecta que en promedio se realizaron 3,6 y 10 aplicaciones, respectivamente, esto es equivalente a una reducción del 65,6% (Cuadro 2), obteniendo resultados de control y rendimiento muy similares. Además, dado lo anterior, el índice de impacto ambiental se reduce en un 65,3% y los costos asociados al uso de fungicidas en un 67,7%. Así, la cantidad de aplicaciones necesarias, el índice de Impacto ambiental y los costos de fungicidas es de un 30%, aproximadamente, al utilizar un sistema de alerta respecto al calendario fijo (**Producto 9**).

Además, se establecieron dos parcelas experimentales para determinar la susceptibilidad a Tizón tardío de cultivares nativos de papa chilota (*Solanum tuberosum grupo chilotanum*) y cultivares comerciales. Se evaluó un total de 10 variedades chilotas en un experimento en Chiloé en la temporada 2019-20 y 19 variedades chilotas y comerciales en INIA Remehue en la temporada 2020-21. Los resultados, en general, muestran que los cultivares nativos son muy susceptibles a Tizón tardío de la papa. Esta información es relevante, por cuanto el uso de variedades con mayor resistencia es de gran importancia en el desarrollo de un paquete de manejo integrado (Figura 3).

Cuadro 2. Reducción en la cantidad de aplicaciones, el índice de impacto ambiental y los costos de aplicaciones de una estrategia con uso del sistema de alerta temprana frente a una con calendario fijo. INIA Chile, para las temporadas de cultivo 2018-19 a la 2022-23, en la localidad de Butalcura y Remehue, Región de Los Lagos, Chile.

Temporadas	Cantidad de aplicaciones (u)			Índice de Impacto ambiental (IEQ)			Costos en fungicidas (US\$)		
	Calendario fijo	Alerta	Reducción (%)	Calendario fijo	Alerta	Reducción (%)	Calendario fijo	Alerta	Reducción (%)
2018-19 Butalcura	14	5	64,3	471,8	166,7	64,7	597,5	242,5	59,4
2018-19 Remehue	10	2	80,0	327,1	69,2	78,8	586,9	56,3	90,4
2019-20 Butalcura	9	6	33,3	292,5	195,0	33,3	558,8	372,5	33,3
2019-20 Remehue	8	0	100,0	264,2	0,0	100,0	428,8	0,0	100,0
2020-21 Remehue	13	6	53,8	430,9	201,3	53,3	671,3	270,6	59,7
2021-22 Remehue	9	2	77,8	292,5	62,9	78,5	558,8	158,1	71,7
2022-23 Remehue	8	4	50,0	257,9	132,1	48,8	530,6	214,4	59,6
Promedio	10,1	3,6	65,6	333,8	118,2	65,3	561,8	187,8	67,7

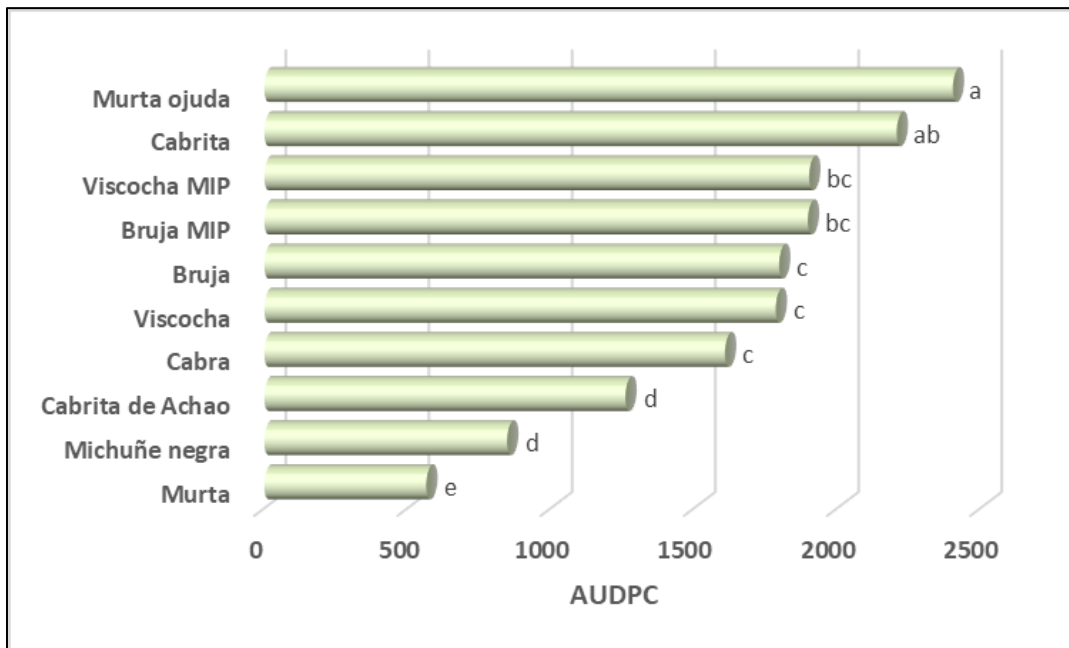


Figura 3. Resistencia relativa a Tizón tardío de 10 cultivares de papa nativa chilota. INIA Butalcura. Chiloé. 2019-20. Cifras con igual letra en cada columna, no son estadísticamente diferentes a $p \leq 0.05$.



Validación de alerta en Argentina

PhytoAlert es un sistema de apoyo a la decisión o DSS (por sus siglas en inglés de *Decision Support System*) que se implementó en campos de alta producción del sudeste de la provincia de Buenos Aires. PhytoAlert DSS genera un esquema de aplicaciones de fungicidas dinámico que coinciden con los períodos de alto riesgo para evitar aplicaciones innecesarias, proporcionando un esquema óptimo de aplicaciones para el control de la enfermedad. La implementación de PhytoAlert DSS ha demostrado disminuir el impacto económico y ambiental en el control del Tizón tardío con una reducción del número de fungicidas aplicaciones y en la cantidad de fungicida aplicado, consiguiendo así menores costos y tasas de impacto ambiental, sin aumentar los riesgos.

En Argentina se estableció una parcela experimental de validación en la zona de Tafí del Valle. Además, se validó el sistema con agricultores en dos zonas de producción de Tucuman, a quienes se les enviaba las alertas de riesgo (Figura 4).

PhytoAlert DSS logró el mismo nivel de control del tizón tardío que el Control Calendario, pero con menos aplicaciones de fungicidas durante el ciclo de cultivo en todos los años evaluados y, por lo tanto, en la cantidad de ingredientes activos aplicados por unidad de área. El porcentaje de reducción de aplicaciones químicas rondó entre 25 al 66,67%, según la presión de la enfermedad que se presentó en cada campaña. Esto condujo a menores costos de producción. Considerando los costos de fungicidas (producto y costo de aplicación) se redujeron entre un 29,11 al 68,35% al comparar PhytoAlert DSS con la estrategia de Control Calendario.

Al analizar el Cociente de Impacto Ambiental a la dosis utilizada en el campo o EIQ-FUR, PhytoAlert DSS mostró reducciones de 22,06 al 70% sin que ello tuviese un efecto negativo sobre el rendimiento. Los puntajes EIQ más bajos de PhytoAlert DSS se debieron principalmente a la reducción en el uso de fungicidas y al uso de fungicidas con un menor impacto ambiental, que fueron aplicados principalmente en forma preventiva en los cultivos.

En promedio, las parcelas de validación mostraron que PhytoAlert DSS permitió reducir (en todas las campañas y ubicaciones) el número de aplicaciones en un 46,67 %, logró un mayor ahorro económico del 54,43% y una reducción del impacto ambiental del 45,99% (**Producto 10**).

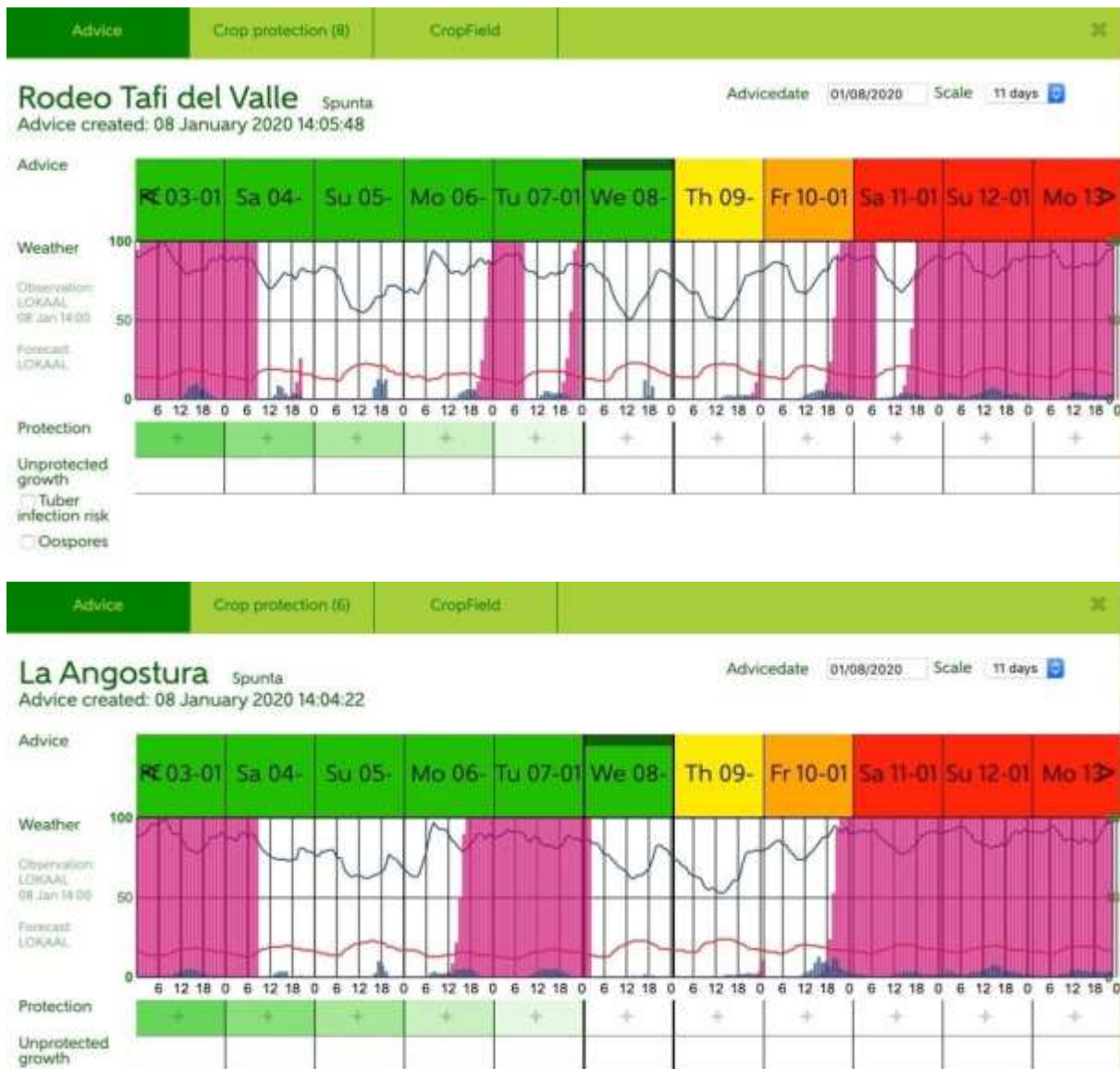


Figura 4. Ejemplo de salidas gráficas de PhytoAlert DSS de los Ensayos 5 y 6 localizados en Tafí del Valle en la campaña 2019-20. Detalle de la figura: las líneas azules muestran la humedad relativa, las líneas rojas, la temperatura, las barras azules la lluvia/riego y las barras rosas el riesgo de tizón. En la barra de las fechas, el color verde indica que no es necesario realizar una aplicación de fungicidas, el color amarillo sugiere la aplicación de un fungicida de acción preventiva, el color naranja recomienda la aplicación de un fungicida curativo y en color rojo indica que se deben emplear fungicidas con acción erradicante para poder controlar la enfermedad.



Talleres de análisis de datos y material de divulgación

Durante el proyecto se desarrollaron 7 talleres para analizar y validar la información de cada temporada de papa entre los ejecutores, asociados y beneficiarios en cada uno de los países con el fin de definir avances y conclusiones sobre resultados e implementación de los programas. En total participaron 256 agricultores y asesores técnicos en todos los países (**Producto 11**).

De los talleres realizados se puede obtener algunas lecciones y/o conclusiones tales como:

- La incorporación de temas relacionados a la sintomatología, condiciones ambientales favorables, fuentes de inóculo, prácticas de manejo integrado es la base para prevenir y controlar Tizón tardío de la papa.
- La utilización de buenas prácticas, principalmente en el uso de pesticidas es fundamental al elegir realizar un control químico.
- Reconocer tempranamente un foco de la enfermedad y controlarlo es importante para evitar una epifitía de la enfermedad.
- Se debe capacitar en cómo los agricultores deben manejar el riesgo sanitario para evitar esta enfermedad y qué hacer si se presenta.
- Es necesario conocer la estrategia de control y la oportunidad de las aplicaciones al utilizar el Sistema de alerta temprana para Tizón tardío de la papa.
- Compartir resultados y experiencias locales sobre enfermedades en el cultivo de la papa, como el Tizón tardío, permite una retroalimentación y un crecimiento de los equipos de trabajo y agricultores.

Es importante destacar que en los talleres realizados durante el proyecto se observó una gran participación femenina (52%), con mucho compromiso y aportes a la discusión, por lo que se espera poder seguir incentivando su participación en otras actividades (Figura 5).

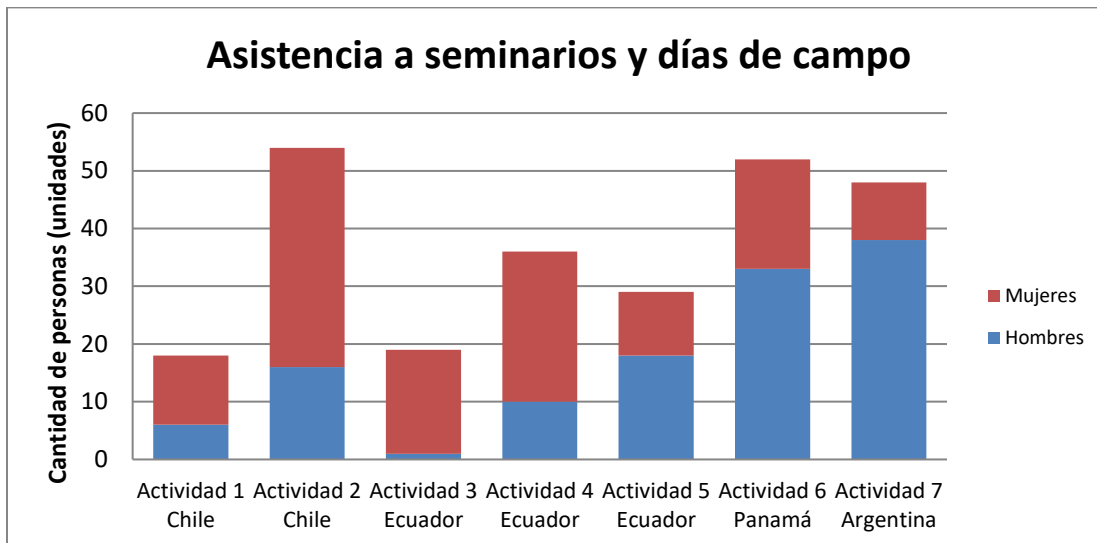


Figura 5. Participación en talleres de evaluación y análisis de datos durante 2019 a 2023.

Adicionalmente, para llegar mejor con la información a los usuarios se realizaron publicaciones divulgativas y videos sobre manejo integrado, reconocimiento de la enfermedad, buenas prácticas agrícolas, monitoreo del patógeno, entre otras (**Producto 12**).

Todas estas publicaciones están disponibles en la plataforma del proyecto <https://enfermedadespapa.inia.cl/fontagro>

Las publicaciones son:

1. Ficha técnica: Requena, J. y Gutiérrez, A. 2021. Calibración de equipos de pulverización manual de espalda. Instituto de Innovación agropecuaria IDIAP, Panamá. 4 p.
[https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Calibracion equipos terrestre \(1\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Calibracion equipos terrestre (1).pdf)
2. Ficha técnica: Requena, J. y Gutiérrez, A. 2021. Calibración pulverizadora de tractor. Instituto de Innovación agropecuaria IDIAP, Panamá. 6p
[https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Calibracion equipo tractor \(1\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Calibracion equipo tractor (1).pdf)
3. Ficha técnica: Requena, J. y Gutiérrez, A. 2021. Selección de boquillas. Instituto de Innovación agropecuaria IDIAP, Panamá. 4 p.
[https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Seleccion boquillas \(1\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/Seleccion boquillas (1).pdf)
4. Informativo: Inostroza F., Juan, Sepúlveda T., Constanza y Acuña B., Ivette. 2023. Regulación

del equipo pulverizador: Ejemplo práctico. Temuco, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Informativo INIA Carillanca N° 180. Disponible en:

<https://hdl.handle.net/20.500.14001/68986>

5. Informativo: Acuña B., Ivette y Sepúlveda T., Constanza. 2023. Control químico preventivo del Tizón tardío con alerta temprana. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Informativo INIA Remehue N° 307. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68985>.
6. Video: Lucca, F. 2022. Muestreo de Tizón tardío de la papa con tarjetas FTA. <https://www.youtube.com/watch?v=megn7uohtww>.
7. Video: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. 2022. Manejo del Tizón tardío en papa con Phytoalert. <https://www.youtube.com/watch?v=hNzoF5baa80>.
8. Video: Tello, C. 2022. Juego de ruedas Manejo TTP final. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Ecuador. <https://www.youtube.com/watch?v=jYFmlZnINOs>.
9. Video: Tello, C. 2023. Manejo seguro de agroquímicos. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP, Ecuador. <https://www.youtube.com/watch?v=YCqZrOb-AEU>
10. Video: Acuña, I. 2023. Sintomatología del Tizón tardío de la papa. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Videos INIA Remehue N° 124. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/69042>
11. Video: Acuña B., Ivette y Sepúlveda T., Constanza (eds.). Manejo Integrado del Tizón tardío de la papa. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Videos INIA Remehue N° 123. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/69040>
12. Video: Sepúlveda T., Constanza. 2023. Plataforma de alerta temprana para el manejo del Tizón tardío de la papa. Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Videos INIA Remehue. N° 116. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/68994>
13. Video: Acuña B., Ivette. 2023. Implementación de un sistema de alerta temprana para un manejo preventivo sustentable del Tizón tardío de la papa (*Phytophthora infestans*), como medida de adaptación frente a la variabilidad el cambio climático en Latinoamérica (ATN/RF 16678-RG). Osorno, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Videos INIA Remehue. N° 118. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/68999>



Componente 3. Desarrollo y validación de un sistema de alerta temprana estacional para predicción de Tizón tardío

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, diferentes instituciones han trabajado en generar y consolidar sistemas de información que apoyan la toma de decisiones de los productores para reducir la incidencia de la enfermedad y realizar prácticas de manejo racional en el uso de fungicidas. Una de estas experiencias es 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 para el control de la enfermedad.

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 en este proyecto se aborda el potencial de daño de la enfermedad en diferentes localidades del sur de Chile mediante simulaciones con la información climática, y las características de los cultivares, indicando que el uso de variedades resistentes es la mejor forma de protección del rendimiento del cultivo.

Tabla de susceptibilidad varietal

Para la implementación de un paquete de manejo integrado para prevenir el Tizón tardío de la papa, se debe considerar una serie de factores, entre los que se nombran el uso de semilla sana, manejos culturales y agronómicos que eviten las condiciones para el desarrollo de la enfermedad, el uso de control químico en el momento adecuado y oportuno y, también, el uso de variedades menos susceptibles (Figura 6). Este último factor es de gran importancia para disminuir el riesgo de la presencia de la enfermedad (Acuña & Bravo, 2019). En este proyecto se elaboró una tabla de susceptibilidad varietal de los cultivares más utilizados por los agricultores, lo cual es de gran apoyo para planificar el paquete a implementar en la temporada (**Producto 13**).

En este proyecto se plantea el desarrollo de un sistema de alerta estacional para validar en la zona sur de Chile. Este sistema pretende dar información a 3 meses sobre la condición ambiental y asociarla a un modelo predictivo de la condición favorable para Tizón tardío. El modelo a validar requiere el conocimiento del comportamiento de las variedades frente a la enfermedad, para evaluar el riesgo de la presencia de Tizón tardío en el territorio.

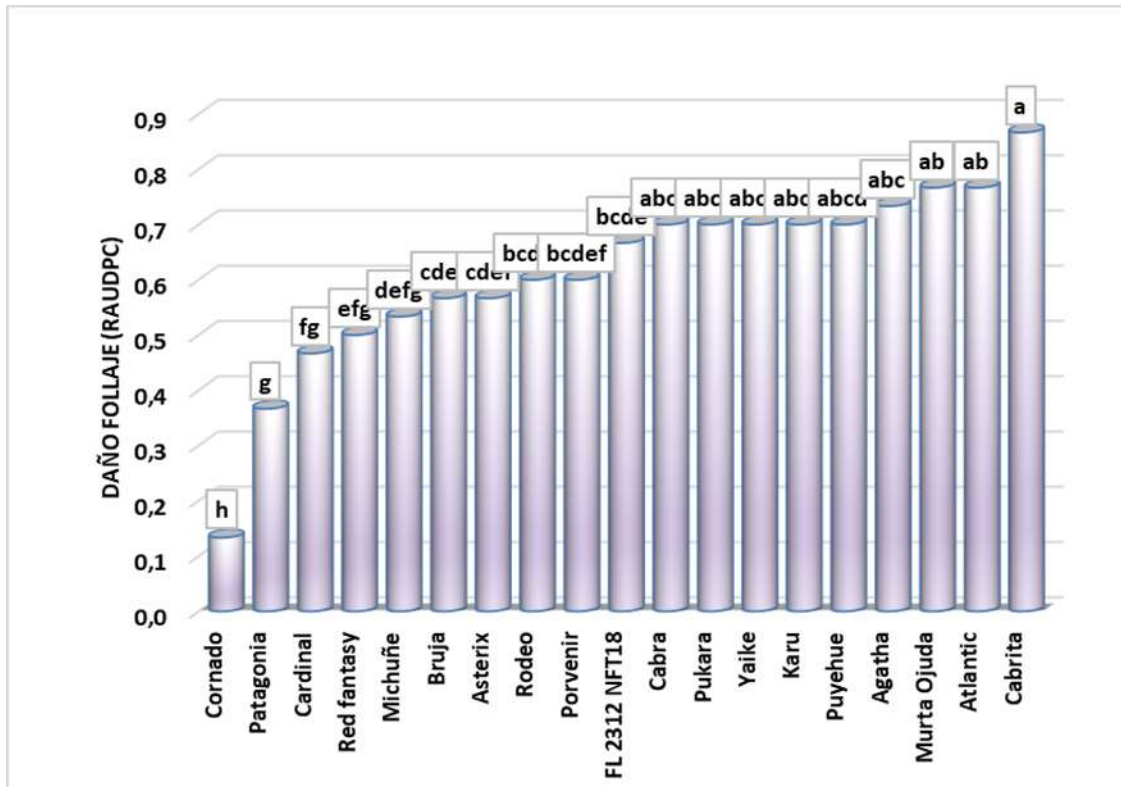



Figura 6. Área relativa de daño en follaje por Tizón tardío en plantas de papa de diferentes cultivares comerciales y nativos, INIA Remehue. Osorno, Chile. Temporada 2020-21.

Cifras de igual letra en cada columna no son significativamente diferentes, LSD $p = 0.05$

Curva potencial y validación de un pronóstico de alerta estacional

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

Se estimó 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. Además, se puede ver que es una metodología adecuada para sectorizar la región productora de papa en Chile, para establecer estrategias de manejo.



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 7 en situaciones de ejemplos extremos: por una parte, Lollinco es una localidad cercana al mar con temperatura templada 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 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 (Figura 7).

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. Sin embargo, 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 influyó negativamente en los resultados (**Productos 14, 15 y 16**).

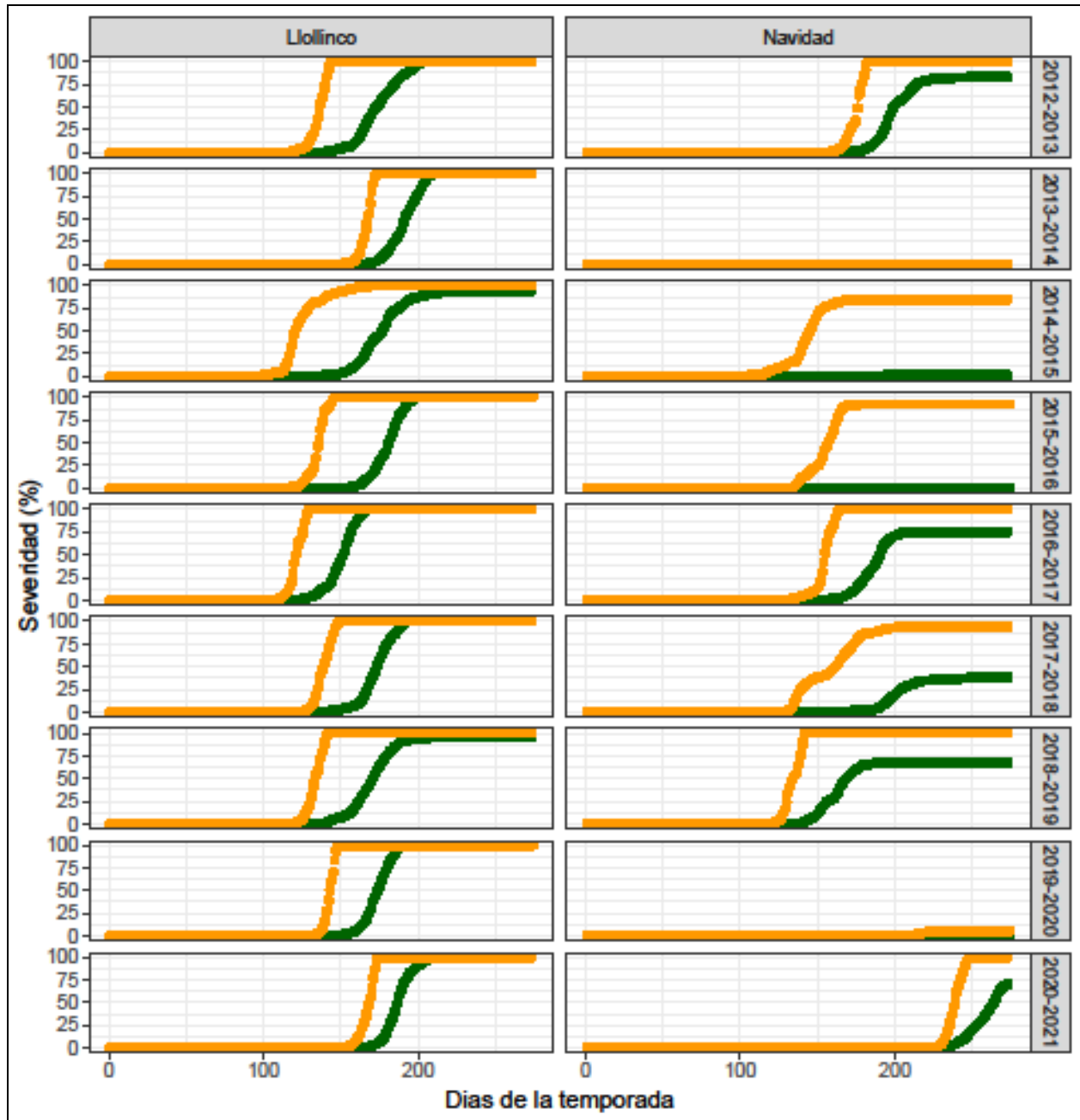


Figura 7. Curvas de progreso de la enfermedad simuladas en Lollinco (localidad de alto potencial de daño) y Navidad (con bajo potencial de daño). Ejemplos extremos entre las localidades estudiadas. La curva anaranjada es categoría susceptible y la verde es medianamente resistente. Cada fila de grafico es una temporada desde 2012-2013 hasta el 2020-2021



Capacitaciones a los agentes de la cadena de producción y tomadores de decisiones


La implementación de los sistemas de alerta temprana ha apoyado a realizar aplicaciones solo cuando es necesario, con un eficiente control del problema para quienes lo implementan. Esto a través del tiempo se ha ido perfeccionando. Sin embargo, aún quedan brechas que cubrir. Así, con el apoyo de FONTAGRO se ha logrado implementar este sistema en territorios donde aún había problemas.

Sin embargo, para enfrentar este desafío, es fundamental el apoyo de toda la cadena de producción, especialmente de quienes toman decisiones políticas y técnicas para estar preparados cada temporada, según el pronóstico estacional, y así evitar nuevas epifitias de Tizón tardío.

Durante el proyecto se capacitó a la cadena de producción de papa considerando actores a diferentes niveles de toma de decisiones, tales como investigadores y científicos, asesores, profesionales, técnicos y agricultores relacionados al rubro, como también a autoridades relacionadas a la agricultura (**Producto 17**).

Durante el proyecto se realizaron 4 actividades para capacitar a la cadena de producción y tomadores de decisiones, quienes no eran beneficiarios directos del proyecto.

1. Un Simposio Internacional sobre Tizón tardío de la papa: Avances en su manejo en Latinoamérica, realizado el 8 de octubre de 2020 y organizado por INIA Chile. Este Simposio Internacional tuvo como objetivo el mostrar a la comunidad científica, técnica, profesionales y agricultores la propuesta FONTAGRO, los objetivos y avances de resultados relacionados a la caracterización del agente causal en Latinoamérica, su epidemiología, manejo de la enfermedad basado en sistemas de alerta temprana y buenas prácticas agrícolas. El fin fue el de dar alternativas y conocimientos sobre el uso de herramientas de apoyo a la toma de decisiones y su potencial implementación en Latinoamérica para disminuir el riesgo de la enfermedad. En esta actividad participaron 103 personas conectadas 100% del tiempo en la plataforma zoom.
2. Taller Estrategias de manejo de Tizón tardío para la temporada de papa que comienza. GTT papa empresarial Fresia, realizado el 29 de noviembre de 2022. El GTT de Papa Empresarial de Fresia, es un grupo que lleva más de 10 años trabajando conjuntamente, el cultivo de papa, incluso los hijos de los primeros miembros son parte del grupo hoy en día, siguiendo el legado de sus padres. En su sistema productivo, la papa es el principal producto y, dada la



intensidad productiva y calidad que requieren, el manejo sanitario es fundamental. El Tizón tardío para ellos es una amenaza constante, por lo que han implementado estrategias de manejo eficientes. Sin embargo, en este tema les interesa trabajar en forma eficiente, pero también, sustentable y costo razonable, manteniendo los rendimientos y calidad. En este taller participaron 12 personas miembros del GTT.

3. Taller para tomadores de decisiones. Gabinete Ministerial Regiones Los Ríos y Los Lagos. Chile, realizado el 16 de agosto de 2022 en Valdivia, Chile y 7 de octubre de 2022 en Osorno, Chile. El Gabinete Regional de la Subsecretaría de Agricultura se reúne periódicamente para planificar y priorizar acciones relacionadas al ámbito agrícola. Este gabinete está compuesto por los Directores Regionales de los servicios del Ministerio de Agricultura: Secretaría Regional Ministerio de Agricultura (SEREMIA), Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP), Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Instituto Forestal (INFOR), Comisión Nacional de riego (CNR), Corporación Nacional Forestal (CONAF) y otros. Además, en la Región de Los Lagos se conformó la Mesa Regional de la papa el año 2012, con representantes del sector privado y público. Ambas instancias son claves para dar a conocer el problema del Tizón tardío, los desafíos y propuestas para tomar decisiones informados, planificar la temporada y el apoyo posible para enfrentar la temporada con el menor riesgo posible. En estos talleres participaron 21 personas, 10 hombres y 11 mujeres.
4. Taller para Tomadores de decisiones. Capacitación de Asesores de pequeña agricultura, realizado el 26 de octubre de 2022 en INIA Remehue, Osorno, Chile. En Chile el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y los Municipios apoya a la pequeña agricultura a través de los departamentos agrícolas en cada comuna. Los departamentos agrícolas cuentan con técnicos y profesionales que trabajan directamente con agricultores(as) de la comuna, y los apoyan con asesorías técnicas y financieras. En este taller participaron 20 personas, 12 hombres y 8 mujeres.

Plan de contingencia

Un plan de contingencia busca prever los posibles riesgos potenciales, dado cierto nivel de riesgo y recomienda ciertas acciones a implementar en el sector de influencia. El modelo de alerta estacional generará información sobre los potenciales riesgos de presencia de Tizón tardío, de acuerdo a la condición ambiental pronosticada para un determinado territorio.



Las acciones a seguir se condicen con los objetivos de atender los posibles impactos en el funcionamiento del modelo, de manera de controlar y/o mitigar los efectos adversos para la comunidad agrícola, según contingencia.

Este plan, además de insistir en la urgencia de las Acciones preventivas/preparativas, también busca contar con los Recursos necesarios para un correcto abastecimiento. Adicionalmente, pretende establecer quienes son los actores involucrados que mantienen la característica de tomadores de decisión a cierto nivel de influencia, ya sea a nivel Nacional, Regional o Local **(Producto 17)**.

Componente 4. Monitoreo y caracterización del agente causal.

El protocolo de muestreo del patógeno con tarjetas FTA fue adaptado con éxito, resultando en una herramienta valiosa para los estudios genéticos de poblaciones de *P. infestans* en Latinoamérica, donde las zonas productoras de papa se distribuyen en un amplio territorio. Con el fin de estandarizar la metodología, se realizó un taller de trabajo con los especialistas de la red durante la reunión de trabajo realizada en marzo de 2019 en Chile. Se generó un instructivo de toma de muestras y un video tutorial **(Producto 18)**.

Durante el transcurso del proyecto se logró coleccionar un total de 528 muestras de hojas con síntomas compatibles con el Tizón tardío de la papa. De este material prospectado, 160 aislamientos provinieron de Ecuador, 106 aislamientos de las tierras altas de Panamá, 99 muestras de Chile y 163 de las principales zonas productoras de Argentina. Se ha realizado la caracterización fenotípica, encontrándose aislamientos resistentes a metalaxil en algunos países. Del total de muestras coleccionadas, se han caracterizado genéticamente a la fecha 241 aislamientos mediante la reacción de PCR multiplexada de 12 marcadores SSR propuesta por Li et al., 2013), demostrando ser apropiado para el análisis de aislamientos de *P. infestans* de Latinoamérica **(Producto 19, 20, 21)**.

Para complementar este estudio de la diversidad genética del patógeno, se incluyeron un conjunto de datos de perfiles de SSR de aislamientos provenientes de Brasil, Uruguay y Costa Rica. Como resultado, se obtuvo que las poblaciones de *P. infestans* coleccionadas en Argentina, Chile, Panamá, Uruguay y Brasil fueron clasificadas como pertenecientes a la línea clonal EU_2_A1, por comparación de perfiles con bases de datos de poblaciones mundiales publicadas (Li et al., 2013; Cooke, et al 2012., Alor Romero et al., 2019, Njoroge et al., 2019) y con los reportados en la EuroBlight Network (David Cooke, comunicación personal); Zanotta, 2019; Lucca et al., 2019. Los perfiles del genotipo EU_2_A1 de Argentina y Uruguay se agruparon más próximos, posiblemente

debido a un flujo génico significativo entre ambos países. En cuanto a Brasil si bien fue identificado como perteneciente a la línea clonal EU 2_A1, se agrupan más distanciados de las muestras de Chile, Argentina y Uruguay, identificándose variantes alélicas según el país de origen. Los aislamientos de *P. infestans* en cultivos de papa en Ecuador pertenecen al linaje clonal EC-1, donde la población está compuesta por un alto número de genotipos que exhiben una alta similitud entre sí. En el caso particular de Panamá y Costa Rica, se detectó un patrón de amplificación nuevo, este nunca reportado en poblaciones de *P. infestans* del mundo, por lo que su genotipo aún está por definirse, consignándolo en este trabajo como "other" (otros). Además, en Costa Rica se identificó la línea clonal US_8 (Figura 8).

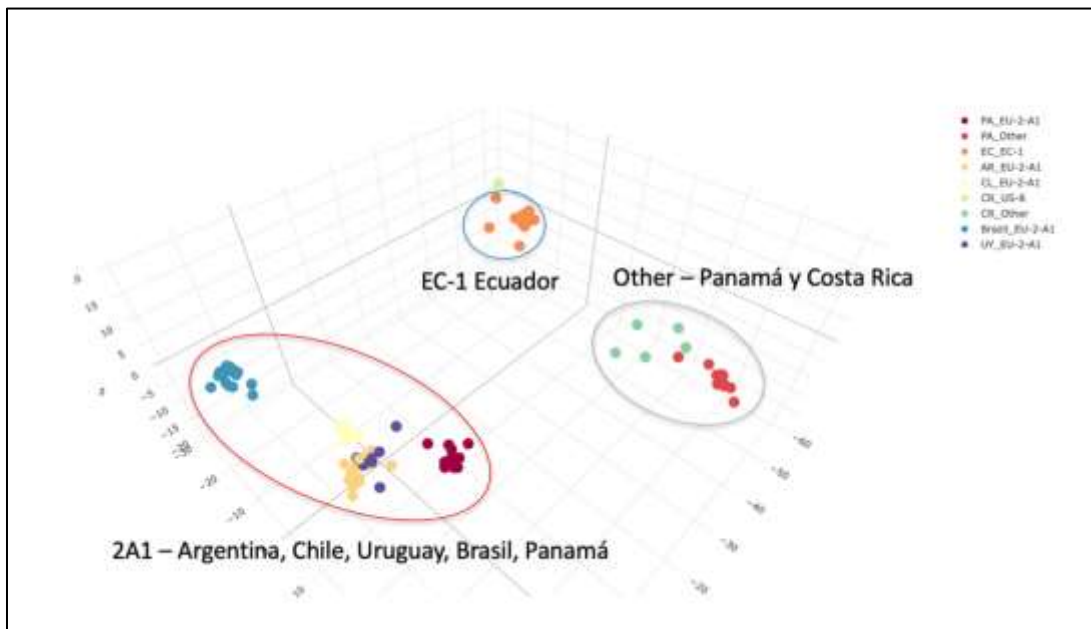


Figura 8. Análisis discriminante de componentes principales (DAPC) utilizando 12 loci microsatélites. Este diagrama de dispersión 3D muestra los dos primeros componentes principales del DAPC de los genotipos de *Phytophthora infestans* encontrados en Latinoamérica en este estudio. Los grupos se muestran con diferentes colores según el genotipo asignado.

A continuación, se muestra el mapa genotípico poblacional de *P. infestans* en Latinoamérica en base a las muestras analizadas de Panamá, Ecuador, Chile y Argentina. Se distingue cada genotipo por color (Figura 9) **(Producto 22)**.



Figura 9. Mapa de *P. infestans* en Latinoamérica utilizando aislamientos colectados de Panamá, Ecuador, Chile y Argentina en el marco del Proyecto FONTAGRO ATN/RF 16678-RG.

Componente 5. Comprensión y adopción de la innovación tecnológica e implementación de Manejo integrado (MIP) y Buenas prácticas (BPA).

Línea base y seguimiento

La inversión en proyectos de investigación para generación de tecnologías para el medio rural exige un tiempo de maduración y desfase para impactar (Avila, F. et al, 2009), es decir, el impacto se hace efectivo en la producción agrícola entre cinco (5) a seis (6) años de una inversión dada en investigación (IICA, 1986), lo que implica un rezago en los beneficios anuales generados por los tiempos de transferencia tecnológica, adopción, dinámica de mercados, etc. Por lo tanto, el impacto o resultado final de un proyecto de investigación podrá obtenerse sólo en el mediano (adopción) y largo plazo (impacto). En el caso del presente proyecto su duración cubrió 4 temporadas agrícolas (2018-19 a 2022-23), pero con la limitante de la situación de la Pandemia causada por COVID 19 en los años 2020 y 2021, por lo tanto, los efectos de la intervención puede que no vayan a generar los impactos previstos en el largo plazo.

Como caracterización inicial de los agricultores beneficiarios, la edad promedio de todos los beneficiarios del proyecto va desde los 40 a 59 años siendo el 38% de ellos, mujeres agricultoras. Se destacan países como Chile y Ecuador donde más del 50% de sus beneficiarios son mujeres. El 96% de los (as) beneficiarios (as) conocen la enfermedad Tizón tardío y el 69% conoce además las principales condiciones para que se exprese la enfermedad en el cultivo. A pesar de lo anterior, aún existe un bajo porcentaje de agricultores que conoce cuales son las principales fuentes de infección de la enfermedad (45%) y un gran porcentaje de ellos utiliza fungicidas como principal método de control (76%). El número de aplicaciones de fungicidas depende de cada país y de cada condición climática local en donde se encuentre en desarrollo el cultivo de papa. Como número más bajo de aplicaciones, señalado por los asesores técnicos de los beneficiarios de Chile, va de 3 a 5 aplicaciones de fungicidas durante la temporada. Como números más altos se aplicaciones se observa en Panamá donde se señalan incluso 19 aplicaciones en promedio en la temporada lluviosa, aplicaciones que disminuyen a 12 en la temporada seca. Existe un bajo uso de sistema de alerta temprana para Tizón tardío o similar (Figura 10). En relación a buenas prácticas agrícolas (BPA) y uso seguro de agroquímicos, existe aún deficiencias en capacitaciones relacionadas al tema y el la utilización de elementos de protección personal (EPP) para la seguridad de las familias y agricultores que realizan las aplicaciones (**Producto 23**). El Cuadro 3 resume distintos aspectos de importancia para el cultivo en los países y sus respectivos beneficiarios encuestados.

En el primer año de levantamiento de información, los agricultores señalan conocer el Tizón



tardío y es nombrada dentro de las enfermedades de importancia en el cultivo, en general, el conocimiento era bajo y no conocían las principales fuentes de infección de la enfermedad. Además, gran parte de los agricultores utilizaba como única estrategia la aplicación de fungicidas para el control del Tizón, o la combinación de este con otra estrategia, no considerando el manejo integrado de ella (Cuadro 3). Por lo anterior, es de suma importancia entregar información sobre el uso consciente y eficiente de ellos, incluyendo buenas prácticas agrícolas.

La caracterización de los sistemas familiares de producción, de las familias beneficiarias del proyecto FONTAGRO ATN/RF-16678-RG permitió determinar las características de su entorno, en los aspectos socio-económicos, agronómicos, de manejo fitosanitario del cultivo de papa y de la pos cosecha, información de gran importancia para estratificar los grupos de sistemas de producción existentes y determinar una estrategia para la capacitación en los aspectos que se identificaron como débiles, así favorecer una adecuada intervención, acorde a las demandas de tecnología agrícola determinados, como son aspectos sanitarios, uso correcto de agroquímicos y manejo integrado del cultivo.

Para cumplir con lo anterior, las actividades propuestas en el proyecto fueron:

1. Visitas anuales: Se lograron hacer visitas principalmente al inicio del proyecto y su término, lo anterior debido la crisis sanitaria global que ocurrió desde el año 2020. Lo anterior produjo un cese de actividades presenciales dando prioridad y continuidad, en lo posible, vía remota (mensajerías instantáneas, reuniones virtuales, etc).
2. Doce Talleres de manejo de pesticidas seguro y calibración de equipos: se lograron realizar 14 talleres con beneficiarios del proyecto (**Producto 24**).
3. Doce Talleres sobre estrategias de manejo preventivo de la enfermedad: se lograron realizar 13 talleres con beneficiarios del proyecto (**Producto 25**).
4. Doce Talleres estrategia de control basado en un sistema de alerta temprana: se lograron realizar 18 talleres con beneficiarios del proyecto (**Producto 26**).
5. Cuatro días de campo y seminarios: se lograron realizar 8 días de campo con beneficiarios directos e indirectos, agente de la cadena y estudiantes (**Producto 27**).
6. Instructivos: Se lograron hacer 3 instructivos relaciones a calibración de equipos, control de Tizón tardío y uso de sistemas de alertas. Lo anterior detallado como anexo 5 en sus respectivos productos (**25, 26 y 27**, respectivamente).

Cuadro 3. Línea base de la situación por país. (Encuesta 2018-19)

Variable	Chile	Argentina	Ecuador	Panamá
Número encuestados	20	13	62	85
Edad (años)	52	49	40 a 59	50 a 59
Mujeres beneficiarias (%)	70	0	81	6
Beneficiarios (as) con conocimientos de tizón tardío (%)	95	92	100	95
Beneficiarios (as) con conocimientos En condiciones favorables para la enfermedad (%)	80	54	53	89
Beneficiarios (as) con conocimientos en fuentes de infección (%)	55	77	41	6
Beneficiarios (as) que utilizan fungicidas como principal control de T.T (%)	70	61.5	81	93
N° aplicaciones temporada	3 a 5	12 a 15	11 a 15	12 a 19
Beneficiarios (as) que utilizan Sistema de Alerta Temprana para Tizón tardío o similar (%)	20	23	0	0
Beneficiarios (as) que se han capacitado en BPA (%)	80	61.5	21	59
Beneficiarios (as) que utilizan EPP (%)	70	85	35	73

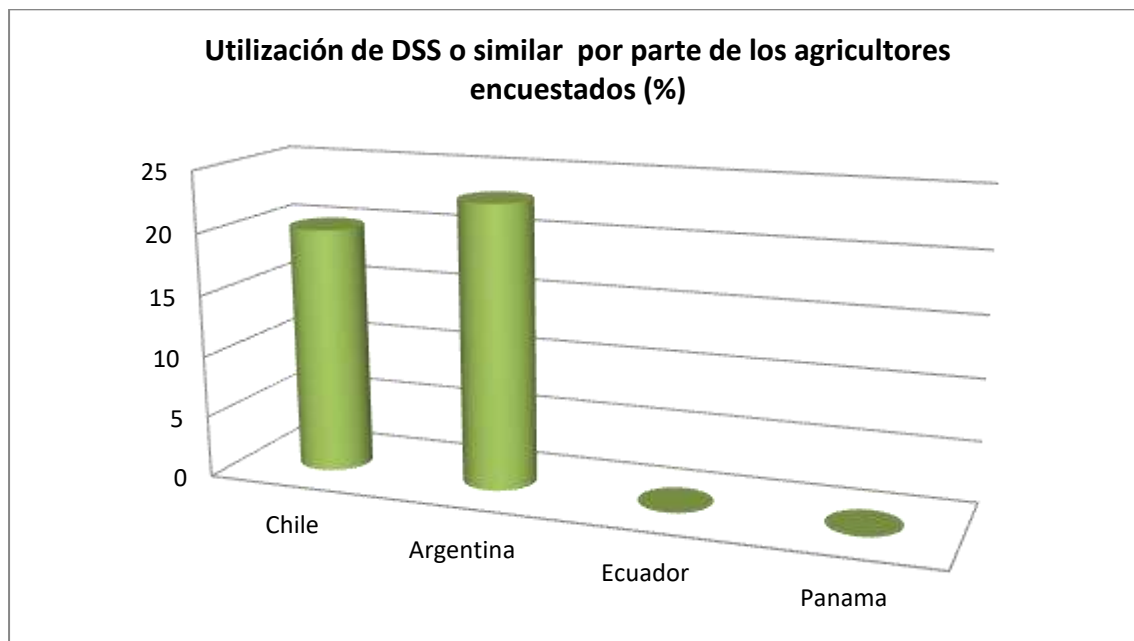


Figura 10. Uso de sistemas de alerta por parte de los encuestados como parte de una estrategia de prevención y control de Tizón tardío.

Talleres de manejo seguro de pesticidas y calibración de equipos

Se realizaron 14 talleres relacionados a manejo seguro y calibración de equipos de aplicación en todos los países participantes de la propuesta desde el año 2019 al año 2022 (**Producto 24**). Cada taller tuvo sus propios objetivos específicos, pero se pueden señalar objetivos comunes para todas las actividades como: uso seguro y eficiente de pesticidas, protección personal, adecuada dosificación, lectura de etiquetas de productos, calibración de equipos pulverizadores, resistencia a plaguicidas. Participaron 549 agricultores (as), asesores (as), estudiantes en total con una participación femenina del 32%. De los talleres realizados se puede obtener algunas lecciones y/o conclusiones tales como: la importancia y el valor del uso eficiente de plaguicidas y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), con el fin de evitar pérdidas producidas por el Tizón tardío. De lo anterior también la importancia de capacitar para que el riesgo para las personas y el ambiente sea el menor posible, es fundamental para una producción de papa de alto rendimiento, pero consciente con el medio en donde se produce. Además de poner énfasis en el uso seguro de los pesticidas, correcto uso de protección personal al momento de utilizarlos y la correcta lectura de etiquetas junto a la calibración adecuada de los equipos de aplicación. La correcta prevención de




la aparición de resistencias a los productos fitosanitarios utilizados en la protección de los cultivos es fundamental para asegurar un óptimo funcionamiento de dichas herramientas dentro de las estrategias de control destinadas a combatir los ataques de plagas, enfermedades y malezas. La producción debe estar orientada al uso de alertas tempranas como herramienta de apoyo a la toma de decisiones para realizar un control químico en forma oportuna y eficiente, disminuyendo el impacto ambiental y el riesgo de las personas. Se espera poder seguir incentivando la participación femenina en los distintos talleres que se imparten en este programa.

Talleres de estrategias de manejo integrado de Tizón tardío

Se realizaron 13 talleres relacionados a estrategias de manejo integrado preventivo de la enfermedad desde el año 2019 al año 2023 (**Producto 25**). Cada taller tuvo objetivos específicos, pero se pueden señalar objetivos comunes para todas las actividades como: estrategias de manejo integrado de enfermedades que incluyen el uso de semilla certificada y de calidad, rotaciones de cultivos, uso de distancias adecuadas de hileras, control de malezas, uso de alertas, entre otros. Además de estrategias de control químico como parte de una estrategia de control integrado. Participaron 368 agricultores (as), asesores (as), estudiantes en total con una participación femenina del 43%. De los talleres realizados se pueden obtener algunas lecciones y/o conclusiones como: se debe seguir capacitando a agricultores y sobre todo a sus asesores sobre cómo disminuir el riesgo sanitario a presentar esta enfermedad y qué hacer si se presenta en la temporada condiciones favorables para su desarrollo. Por lo anterior, es de importancia que todos en la cadena productiva conozcan las fuentes de inóculo de la enfermedad y las condiciones que la favorecen para así diseñar de forma anticipada una estrategia de control integrado acorde a cada uno y a las condiciones de cada temporada. A lo anterior, agregar también la importancia de mantener actualizados a la cadena productiva sobre la situación actual de Tizón tardío y sobre herramientas disponibles para un manejo sustentable y sostenible. Hay renovado y genuino interés por parte de los productores en recibir diversas alternativas de manejo del Tizón tardío. Es vital disponer de cultivares avanzados agrónomicamente, con alta resistencia al Tizón tardío y a su vez, continuar validando en campos de productores de papa sistemas de alerta temprana frente a Tizón tardío.

Talleres de estrategias de control con alerta temprana

Se realizaron 18 talleres relacionados a estrategias de control basado en un sistema de alerta temprana desde el año 2019 al año 2022 (**Producto 26**). Cada taller tuvo objetivos específicos, pero en cada uno de los talleres se recalcó la importancia de utilizar un sistema de alerta como



herramienta de apoyo a la toma de decisiones para implementar así una estrategia de control químico más eficiente y oportuno para el control del Tizón tardío de la papa. Participaron 466 agricultores (as), asesores (as), estudiantes en total con una participación femenina del 40%. De los talleres realizados se puede obtener algunas lecciones y/o conclusiones como: se debe seguir capacitando a agricultores y sobre todo a sus asesores sobre cómo disminuir el riesgo sanitario a presentar esta enfermedad y qué hacer si se presenta en la temporada condiciones favorables para su desarrollo. El uso exagerado de fungicidas puede causar daños en la salud humana y el medio ambiente, ya que muchos agricultores aún no usan equipos de protección para evitar el contacto con este tipo de plaguicidas. El uso de los sistemas de alerta o HH-DSS con discos de colores, como estrategia de control de tizón, además de disminuir la incidencia del patógeno y su consecuente disminución en el rendimiento, contribuye directamente a la economía y la salud de los agricultores y sus familias. Es importante que la intervención de la gestión integrada del conocimiento y la innovación del manejo integrado de cultivo de papa, esté basado en la experiencia y los saberes de todos los actores de la red productiva de papa y dar espacios para generar confianza en torno al desempeño de los sistemas de alerta.

Días de campos y seminarios y material de difusión

Se realizaron, además, 8 días de campo y seminarios (**Producto 27**) donde participaron actores relevantes, tomadores de decisiones y beneficiarios directos e indirectos con el objetivo de capacitar en el reconocimiento, manejo integrado del Tizón tardío y buenas prácticas agrícolas (BPA) junto con dar a conocer avances de resultados de ensayos de manejos sanitarios del cultivo de papa, en el marco de la iniciativa. desde el año 2019 al año 2023. Participaron 531 actores de la cadena productiva con una participación femenina del 50% (Foto 4).

Para complementar el aprendizaje a través de los talleres y días de campo, se elaboraron instructivos temáticos (**Producto 24, 25, 26 y 27**) sobre manejo de pesticidas, control integrado y uso de sistemas de alerta que alimentaron fichas divulgativas (**Producto 12**) en cada uno de los países como material de divulgación. Se generaron además 7 videos técnicos y 1 video del proyecto (**Producto 12**) donde se plasma la vida rural del rubro de la papa en los distintos países junto con la historia de la problemática del proyecto, las soluciones tecnológicas de la propuesta y resultados del mismo desde la mirada de los integrantes de la plataforma de especialistas, de los agricultores y agricultores beneficiarios (as) del proyecto y sus asesores técnicos que los acompañan en sus procesos productivos. Todos este este material de divulgación se encuentra alojada en una plataforma web de riesgo para Tizón tardío (**Producto 28**) generada que contiene, además, información general del proyecto con acceso a los resultados e información de la enfermedad y su manejo (<https://enfermedadespapa.inia.cl/fontagro>).



Foto 4. Día de campo con actores de la cadena productiva en Cerro Punta, Panamá año 2021.

Evaluación de impacto

Frente a la problemática de que los agricultores pierden producción de papa por desconocimiento del control de Tizón tardío, se propone mejorar y avanzar (indicadores) en conocimientos y manejos relacionados a la problemática para lograr superar esa pérdida productiva.

Frente a estos indicadores se pueden observar cambios en cada uno de los países participantes y de forma global del proyecto, a corto plazo (Figura 11).

- Agricultores reconocen la enfermedad Tizón tardío.

Es posible observar cambios en los conocimientos de las condiciones favorables para el desarrollo de Tizón tardío en gran parte de los países. Se destaca Ecuador con un aumento



de conocimiento desde 53% de agricultores que conocen en el año 1 a 93% de agricultores. Las condiciones que más se señalan son humedad relativa cercana al 90% y temperatura entre 15° y 25° C. También es posible observar cambios en el conocimiento sobre fuentes de infección tales como: tubérculo semilla infectados, plantas voluntarias y cultivos de papa enfermos de vecinos, que son los más nombrados en países con gran aumento de conocimientos (Chile y Ecuador, aumento de 45 y 55%, respectivamente).

- Agricultores entienden cómo prevenir y controlar la enfermedad de Tizón tardío.


Se logra mejorar y aumentar las medidas de control que conoce el agricultor. Chile se destaca con un aumento de 80% de los agricultores que antes conocía una medida principal (utilización de fungicidas) y hoy conocen 2 y más medidas. Sumado a lo anterior, cuando se analiza los momentos de aplicación (aplicación oportuna), se observan una disminución en las aplicaciones de fungicidas cuando “se ven los síntomas” en planta, sabiendo que lo anterior es una aplicación tardía, inoportuna y poco eficaz. Chile fue capaz de disminuir este tipo de aplicaciones de 55% de los agricultores que lo hacían a sólo un 15% de ellos, Ecuador bajó a un 5% y Panamá a un 7% de los agricultores que realizan aplicaciones al aparecer síntomas.

- Agricultores conocen MIP para prevenir Tizón tardío.

Es de importancia tener una estrategia para el manejo preventivo de la enfermedad que incluya todas las medidas posibles para combatirla y la integración de las medidas apropiadas que disminuyan el desarrollo del problema. En relación a lo anterior, los agricultores encuestados están utilizando por lo general más de una única medida de control, así, sumado a la aplicación de fungicidas se observan la utilización de semilla libre de la enfermedad, buen drenaje de los suelos, aporque alto y la eliminación de tubérculos enfermos antes del almacenamiento. En Chile, dentro del universo de encuestados no existen agricultores que solo utilizan un método de control, esto conduce a una transición hacia un manejo más integrado de la enfermedad.

- Agricultores conocen BPA para prevenir Tizón tardío.

Un concepto importante que se destacó en este proyecto es incorporar conceptos de BPA sobre todo en la utilización de fungicidas, lo anterior conociendo el alto porcentaje de agricultores que los utilizan. En relación a lo anterior, luego del proyecto desde un 70% a un 100% de los beneficiarios de todos los países fueron capacitados en BPA, uso seguro de agroquímicos y calibración de equipos. Agricultores conocen y saben interpretar y reaccionar ante una alerta de Tizón (de acuerdo a cada país). Agricultores entienden el riesgo al momento de aplicar un fungicida, y reconocen principalmente que el mayor



peligro es para la salud.

- Agricultores saben interpretar y reaccionar ante alertas de Tizón tardío.

El uso de sistemas de alertas fue altamente incentivado, sobre todo en países en que no existía una metodología establecida. Por lo anterior, se ven grandes cambios en el uso de sistemas para la ayuda a la toma de decisiones en Ecuador y Panamá, donde se observan aumentos de 81 y 27% respectivamente. A pesar de que en Chile se ha implementado un sistema de alerta temprana para Tizón tardío hace varios años, se logra igualmente un avance en el uso del mismo en los agricultores encuestados.

A mediano plazo, los efectos del proyecto que se estiman son:

- Agricultores reconozcan la enfermedad en sus predios.

Hoy los agricultores conocen que el cultivo de papa puede verse afectado en hojas, tallos y también en tubérculos y que esto trae consecuencias en el rendimiento. Los agricultores son capaces de evidenciar ataques de tizón en plantas y asociarlo a una baja de rendimiento potencial.

- Agricultores prevengan y controlen Tizón tardío.


La aplicación de fungicidas es y seguirá siendo el principal método de control para el agricultor, pero es importante que éste se aplique de forma oportuna para que pueda ser eficaz. En este sentido, los agricultores están siendo capaces de optar a calendarios fijos y/o uso de sistemas de alerta en vez de las aplicaciones al visualizar síntomas en la planta, lo que se refleja en un control más eficaz y menores pérdidas.

- Agricultores adopten MIP en sus predios

Un buen indicador de adopción de MIP en los predios de los agricultores beneficiarios es la medición de la cantidad de manejos que realizan para prevenir la enfermedad. Hoy los agricultores se encuentran en una transición hacia un manejo integrado, dejando de lado al fungicida como único método de control.

- Agricultores adopten BPA en sus predios

Aumentan los agricultores que realizan mantenciones a sus equipos aplicadores de agroquímicos, pero no se logra en todos los países el mismo nivel de respuesta. Al igual que el logro de que los agricultores lean las etiquetas de los productos antes de aplicarlos



fue bajo. Se detecta aumento en Ecuador y Panamá, donde en Panamá indican que el 100% lee las etiquetas. El desafío es saber si entienden lo que leen en las etiquetas y lo aplican. Hoy más del 70% de todos los encuestados utilizan elementos de protección personal, incluso algunos con equipos completos.

➤ **Agricultores reaccionan ante alerta de Tizón tardío**

Si se toma a Chile como ejemplo, a inicios de proyecto existía un alto porcentaje de agricultores encuestados que no reaccionaba de buena manera a las distintas alertas. Con alertas amarillas existía un 50% de agricultores que aplicaban fungicidas sin que así el color de la alerta lo indicara, al contrario también existía un 50% de los encuestados que ante una alerta de color naranja no aplicaba fungicidas. Hoy solo un 13% aplica con alertas color amarilla y un 90% aplica con alertas naranjas.

Cambios a largo plazo no fue posible detectar en su totalidad, pero se puede comentar:

➤ **Agricultores aplican de manera oportuna y eficiente los agroquímicos**

Cuando se observan disminuciones en las aplicaciones de fungicidas recién cuando se observan síntomas en la planta, y aumentos en el uso de sistemas de alerta junto mejoras en las interpretaciones de las alertas.

➤ **Agricultores tienen mayor conciencia en el manejo y uso de agroquímicos**

El poder tener la posibilidad de capacitarse en BPA logró que los agricultores entendieran la importancia del uso seguro de agroquímicos y gracias al sistema de alerta solo cuando es necesario.



Figura 11. Cambios en el conocimiento de los beneficios del proyecto por la intervención del proyecto. Comparación datos encuesta año 1 y año 4, por país.



Indicadores Técnicos

N°	Indicador detalle	Unidad del Indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
1	Mujeres capacitadas	Número	0	1148	Cantidad de participantes en las actividades del proyecto (41,6%).
2	Total de personas capacitadas	Número	0	2761	Cantidad total de participantes en las actividades del proyecto.
3	Mujeres que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Número	0	10	Mujeres participantes del grupo de trabajo del proyecto que estuvieron a cargo de alguna actividad (62,5%).
4	Total de personas que conforman el grupo de trabajo del proyecto	Número	0	16	Personas totales del grupo de trabajo que estuvieron a cargo de una actividad.
5	Beneficiarios Totales	Número	0	542	Personas que participaron activamente en los talleres de capacitación.
6	Mujeres beneficiarias	Número	0	217	Mujeres que participaron activamente en los talleres de capacitación (40%).
7	Reducción de emisiones	Porcentaje	0	50%	Reducción en la cantidad de aplicaciones de fungicidas.
8	Reducción de emisiones	Porcentaje	0	52%	Reducción de índice de impacto ambiental (IEQ).
9	Reducción de costos	Porcentaje	0	48%	Reducción de costos de Fungicida utilizados para el control de Tizón tardío en la temporada.
10	Soluciones tecnológicas	Número	2	4	Sistemas de alerta para Tizón tardío validados en el proyecto en nuevos territorios.
11	Soluciones tecnológicas	Número	0	1	Sistema prototipo de alerta estacional para condiciones de Tizón tardío.
12	Cantidad de publicaciones	Número	0	13	Publicaciones divulgativas y videos generados para apoyo técnico (13) para los beneficiarios.




13	Cantidad de publicaciones científicas	Número	0	1	Publicación científica en estado de revisión sobre monitoreo y caracterización de <i>Phytophthora infestans</i> en Latinoamérica.
14	Plataforma web mejorada	Número	1	1	Plataforma de riesgo sanitario que se complementó con información del proyecto.

Hallazgos Destacados

Durante el transcurso del proyecto se han realizado observaciones importantes:

1. Durante el período de pandemia por COVID 19 en el mundo, los problemas de acceso a las comunicaciones de las zonas rurales quedaron fuertemente en evidencia en este proyecto, dificultando fuertemente el acceso a la información con los beneficiarios del proyecto. Todo esto aumenta la brecha de acceso al conocimiento, especialmente en la pequeña agricultura.
2. El rol de la mujer en la agricultura, es y seguirá siendo de importancia. Por lo anterior, es de gran importancia incorporar sus conocimientos en las decisiones de manejos, por lo que, se debe seguir incentivando la participación femenina en los distintos talleres que se realizaron en este programa. A pesar de la contingencia sanitaria por COVID 19, existen las ganas y la necesidad por parte de los agricultores (as) de seguir aprendiendo y de ser guiados en sus procesos productivos. Existe una brecha tecnológica importante para poder seguir realizando actividades técnicas en modalidad online con una mayor participación de usuarios.
3. Una brecha de importancia en la agricultura de pequeña escala, es la no utilización de indumentaria apropiada para la aplicación de pesticidas, con bajo conocimiento de buenas prácticas y manejo de productos agroquímicos. Muchos de los agricultores no utilizan protección personal o usan indumentaria inadecuada. Por lo que en las capacitaciones se dio énfasis en la protección personal, considerando que existe la limitante económica por parte de los agricultores para la adquisición de los implementos apropiados. Igualmente, los agricultores de menos recursos no tienen el conocimiento para el uso eficiente de agroquímicos, tales como superficie a aplicar, dosificación de producto y agua, calibración de equipos, entre otros.



4. Es recomendable trabajar en forma muy cercana con los asesores de los agricultores para que estén capacitados en solucionar los problemas que se presentan y sean el nexo entre los investigadores y los agricultores. En Chile y en Argentina existen extensionistas especializados, dependiente de las municipalidades y del INTA que trabajan en cercanía en transferencia de tecnología, por lo tanto, han sido invitados a trabajar activamente en el proyecto. Así, la formación de recursos humanos técnicos que trabajan directamente con agricultores de la agricultura familiar y que están constantemente cercanos a ellos, deberían ser focos de las capacitaciones. Durante este proyecto se ha enfatizar trabajar con asesores en el cultivo de papa y sanidad del cultivo, para llegar con la información a los agricultores.

5. Durante el proyecto se trabajó en la caracterización de aislamientos de *P. infestans*. Los resultados muestran la presencia de genotipos descritos previamente en Europa, pero no Latinoamérica. Esto podría indicar introducciones de genotipos desde Europa hacia algunos países en Latinoamérica. La fuente de estas introducciones no se conoce, pero probablemente es por el uso de tubérculo semilla importado desde Europa. Esto releva la importancia de continuar con el monitoreo del patógenos para detectar cambios en las poblaciones y tomar medidas preventivas para evitar la introducción y diseminación de nuevos genotipos, a la vez, se debe fortalecer la producción de semilla local.

Historias en el campo

En la Isla Lemuy, Chiloé, Chile y dentro de los beneficiarios (as) directos (as) del proyecto se destaca la participación femenina ligada a la agricultura y principalmente al cultivo de la papa. La mujer que trabaja en el campo, además de agricultura tiene otras labores como el cuidado de la familia, adultos mayores, alimentación, entre otras. A pesar de esto, la labor de la mujer en el cultivo se hace notar en la incorporación de varios manejos integrados para prevenir la aparición de Tizón tardío en sus cultivos. Se observan cambios en la densidad de plantación y la aparición de distancias entre hileras de mayor tamaño o pasillos cada cierta cantidad de hileras, lo que permite que la planta logre una mayor ventilación, considerando que la Isla tiene una fuerte influencia del mar. Adicionalmente, las constantes capacitaciones en relación a la temática del cultivo de la papa han permitido un mayor empoderamiento de las mujeres agricultoras frente a la opinión familiar masculina, logrando así incorporar la innovación y la tecnología propuesta y un buen manejo en las aplicaciones de fungicidas con el sistema de alerta temprana. El sistema de



alerta no solo ha logrado disminuir el número de aplicaciones durante la temporada, sino que también la carga de tiempo que considera cada una de las aplicaciones, muchas agricultoras señalan que no tienen mucha ayuda familiar y que el cultivo lo llevan prácticamente solas, por lo que disminuir labores y manejos significa mayor tiempo para sus hogares y familias.

En Ecuador se trabajó con tres Organizaciones de la Agricultura Familiar Campesina (AFC) distribuidas en las provincias de Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo, están ubicadas en altitudes desde los 2800 a 3200 msnm, se encuentran en los quintiles de pobreza y extrema pobreza. Cada organización está formada aproximadamente por 20 socios de los cuales 60% son mujeres, el nivel de escolaridad es primaria terminada, nivel de tenencia de tierra es 0.5 a 3 hectáreas. Existe el problema fitosanitario Punta Morada de la Papa (PMP) y el manejo de Tizón tardío de la papa (TTP), es usando moléculas solo a base de Mancozeb, sin protección personal necesaria ni uso de BPA, ocasionando problemas a la salud y el medio ambiente. En la localidad de Puichig, se dejó de sembrar papas debido a los problemas ocasionados por PMP, porque sus rendimientos en los ciclos 2016 y 2017 fueron 2.5 t/ha sembrado la variedad de papa Superchola, susceptible al Tizón tardío. En el 2019, producto del proyecto FONTAGRO ANT/RF 16678-RG y por el trabajo coordinado con el Ministerio de Agricultura, se alcanzó 22 t/ha de la variedad de papa Superchola, utilizando el Sistema de Apoyo a la Decisión (SAD) para el manejo de Tizón tardío y recomendaciones generadas para manejo de PMP. Entre los resultados alcanzados tenemos que se obtuvo una producción de 22 t/ha; el 100% de la cosecha se comercializó por un circuito corto de comercialización, es decir, venta por canastas y que dejó una relación beneficio costo de 2.05 USD; producto de la parcela de aprendizaje y la capacitación continua con el enfoque de aprender haciendo, las personas dejaron de utilizar productos a base de Mancozeb para el control de Tizón tardío, ahora los productores de esa organización utilizan el SAD para el manejo del TTP, que incluye rotación de fungicidas de menor toxicidad; se realizó en esa localidad un día de campo que contó con la participación de 100 productores de la zona de influencia; además, se difundió la tecnología para el manejo de PMP.

En Chiloé, Chile, dado la contingencia de COVID 19 y sus restricciones, se trabajó con las agricultoras a través de reuniones online con zoom o con WhatsApp para hacer el plan de trabajo para la temporada. Las que no podían acceder a zoom, se conectaban a través del teléfono, escuchando indirectamente a través del teléfono del asesor, así se forma una cadena de comunicación que nos permitió conversar y discutir el trabajo que se estaba realizando. Aun cuando, la situación no era tan eficiente como la reunión presencial para aclarar dudas o explicar la actividad, sirvió para continuar en contacto y difundir el conocimiento.

Discusión


El proyecto Alerta temprana para el manejo del Tizón tardío de la papa ATN/RF 16678-RG comenzó en junio de 2018 con fecha original de término en diciembre del 2021, sin embargo, dado la condición mundial de la pandemia por COVID 19 y sus restricciones que impedía la realización de las actividades comprometidas, se solicitó una extensión del proyecto, la cual fue aceptada hasta junio de 2023. Hoy en día, el proyecto está en su etapa de cierre, con gran parte de las actividades comprometidas ejecutadas.

Componente 1. Conformación y articulación de la plataforma regional de especialistas

Como antecedente previo, se debe comentar que en Latinoamérica el año 2014 se formó una red de trabajo en torno al problema sanitario del Tizón tardío, involucrando 15 países (Tizón Latino: <https://tizonlatino.wordpress.com/>), considerando la importancia de este problema y la necesidad de trabajar juntos en un tema que es un problema mundial con origen en Latinoamérica, nace la idea de postular a una propuesta a FONTAGRO. En su formación se consideró situaciones de la enfermedad en Latinoamérica y la necesidad de incorporar nuevas tecnologías para su manejo. Hay muchos trabajos que indican que las condiciones ambientales determinan la severidad del daño de la enfermedad, además, los sistemas de alerta temprana en Chile, Argentina y en CIP-Perú habían demostrado ser exitosos en su validación, de modo tal que surge la idea de validar e implementar estos sistemas en otros territorios y en otros países latinoamericanos, con diversidad de condiciones ambientales. Así, nace la idea de este proyecto con actividades en Chile, Argentina, Ecuador y Panamá.

La red de especialistas se formó exitosamente con investigadores de INIA Chile, INTA Argentina, INIAP Ecuador e IDIAP Panamá, pero, además, empresas e instituciones del sector privado y público se vieron interesados en participar activamente en esta iniciativa, así el Consorcio Papa Chile SpA, Agrícola Caballero de Panamá, La dirección Meteorológica de Chile y la Municipalidad de Puqueldón, Chiloé, son parte de esta red. También se involucró activamente en las actividades a los asesores que trabajan directamente con los agricultores como una forma de que la tecnología y el conocimiento llegue más fácilmente a los agricultores.

Como parte de la continuidad de la red, se ha promocionado las actividades del proyecto a través de Simposios Internacionales, presentación de resultados en talleres de la Red Europea



Euroblight, de la Asociación Latinoamericana de la papa y la reunión de Tizon Latino. Se espera que el trabajo continúe con esta enfermedad y se pueda ampliar a otras patologías del cultivo de papa, también de importancia y alto riesgo en Latinoamérica.

Componente 2: Validación del sistema de alerta temprana en los territorios elegidos.

Los modelos de alerta temprana para detectar las condiciones del momento para el desarrollo de la enfermedad, indican cuándo es más oportuno la aplicación del control químico, disminuyendo así la cantidad de aplicaciones y los costos de producción con un manejo más sostenible.

Estos modelos ya se estaban utilizando en diferentes países con relativo éxito. Así en la zona sur de Chile el sistema de alerta disponible en la plataforma <https://tizon.inia.cl> se implementó con éxito en la zona sur, pero, aún faltaba la validación en Chiloé con agricultoras que trabajan con papas nativas y en sistemas de producción diferentes a los utilizados en otros sectores (Acuña y Bravo, 2019).


En Argentina el sistema PhytoAlert, también disponible desde hace unos años, había sido validado con agricultores empresariales cerca de Balcarce, pero no en el sector norte en Tucumán, con condiciones ambientales diferentes a las previamente evaluadas.

También, en la zona andina, el Centro Internacional de la papa había trabajado en Ecuador y Perú con un sistema manual de discos (DSS-HH), el cual ha mostrado funcionar bien en zonas donde no hay datos meteorológicos, ni sistemas de comunicación masiva, pero no había sido validado por los agricultores directamente (Pérez et al., 2020).

A su vez, en Centro América, había muy poca información sobre el manejo de Tizón tardío de la papa, pero, con condiciones ambientales muy predisponentes para esta enfermedad, para lo cual los agricultores aplicaban muchas veces en cada producción, así en Panamá las pérdidas llegaban a ser muy altas, principalmente, por falta de capacitación tanto de asesores como agricultores en estrategias de control.

Durante el proyecto se trabajó en estos países y territorios validando mediante parcelas experimentales los sistemas de alerta, combinando estrategias de control químico según alerta, resistencia varietal y manejo integrado.

En todos los sectores evaluados los resultados fueron exitosos, logrando disminuir la cantidad de aplicaciones en un 50%, por ende, el índice de impacto ambiental en un 52% y los costos en fungicidas en un 48%, obteniendo niveles de daño y rendimientos similares a los obtenidos al



hacer control con una estrategia a calendario fijo de aplicación. Cabe destacar que para que estos sistemas sean exitosos es necesario implementar el manejo integrado en el cultivo, con el fin de disminuir la presión de inóculo y el riesgo de infección. Así, bajo condiciones muy favorables y uso de variedades susceptibles, la enfermedad igualmente se produce, sin embargo, al utilizar variedades de resistencia media a baja, el control de la enfermedad utilizando aplicaciones según alerta es óptimo.

Componente 3. Desarrollo y validación de un sistema de alerta temprana estacional para predicción de Tizón tardío.

El INIA Chile existe experiencias en Sistema de Alerta de Tizón tardío (<https://tizon.inia.cl/>) el cual se ha desarrollado desde el año 2003 como herramienta de divulgación y transferencia tecnológica para el control de la enfermedad. Existe el interés para generar información con el historial que ya se tiene desde el año 2010, y combinarla con otras fuentes para generar información de valor agregado para los tomadores de decisión. Durante este proyecto se abordó el potencial de daño de la enfermedad en diferentes localidades del sur de Chile mediante simulaciones con la información climática, y las características de los cultivares, indicando que el uso de variedades resistentes es la mejor forma de protección del rendimiento del cultivo. Pero a su vez existe la necesidad de contar con información a mediano plazo que pueda ser de utilidad para tomar decisiones en un horizonte mayor a la acción del momento para controlar Tizón tardío en forma eficiente. La Dirección meteorológica de Chile cuenta con pronóstico estacional para predicción a 3 meses, entonces nace la idea de combinar variables del modelo para Tizón tardío y este pronóstico estacional. Así, esta información tiene el potencial de contribuir al manejo de cultivos de manera más resiliente, lo que puede mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica de los productores agrícolas.

Como una forma de evaluar el potencial del uso de una alerta estacional se trabajó con la cadena de producción y los tomadores de decisiones, planteando y elaborando un plan de contingencia según la condición pronosticada, se espera que con esta información se pueda estar preparado para disminuir el riesgo de presencia de la enfermedad de forma epifítica.

Este es un modelo que aún está en desarrollo y que debe validarse bajo condiciones *in situ*.



Componente 4. Monitoreo y caracterización del agente causal.

En el presente trabajo se pudieron genotipificar aislamientos de *P. infestans* mediante 12 marcadores microsatélites propuestos por la red EuroBlight. Estudios poblacionales globales de finales de los 90 realizados por Adler et al., 2002 y Forbes et al., 1998 describen en Chile la dominancia de la línea clonal US-1 (tipo de apareamiento A1), en Argentina de las líneas clonales AR1, AR2, AR3, AR4 y AR5 (tipo de apareamiento A2) y en Brasil la línea clonal BR-1 principalmente (tipo de apareamiento A2) (Reis et al., 2005). Esta misma base de datos mostró en Ecuador la dominancia del linaje clonal EC-1 asociada al cultivo de papa. De Panamá no se disponía de reportes de la caracterización molecular *P. infestans* hasta este estudio.


Los aislamientos colectados en este estudio demostraron que la línea clonal EU_2_A1 está presente en poblaciones de Argentina, Chile, Brasil y Uruguay, evidenciando un cambio poblacional a lo anteriormente reportado. La línea clonal EC-1 identificada en Ecuador coincide con reportes previos del patógeno asociado con la papa y la papa amarilla (Oyarzun et al., 1998). Para Panamá, este estudio corresponde a la primera caracterización de *P. infestans*, identificándose un genotipo no descrito previamente en el mundo, por lo que se está trabajando en su designación.

Por lo tanto, en el sur de América Latina, el protagonismo lo toma la línea clonal EU_2_A1, predominando en Argentina, Chile, Brasil y Uruguay. Esta fue descrita en Europa a principios de los 80 (Cooke et al., 2012), presentándose en la actualidad en baja proporción (Potato blight tracking in Europe, 2019). Si bien la presencia de la línea clonal EU_2_A1 en Europa ha disminuido, ha empezado a identificarse en otras zonas alejadas de Europa en los últimos años. La aparente mayor aptitud de linaje EU_2_A1 hizo que este genotipo fuera capaz de desplazar a las poblaciones establecidas y mantenerse en el tiempo como sucedió en Argentina y Chile a partir de las temporadas 2007 y 2006, respectivamente (Lucca & Huarte, 2012; Acuña et al., 2019).

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en este reporte, el monitoreo continuo de las poblaciones de *P. infestans* es crucial para identificar cambios en la población del patógeno.

Contar con información actualizada y comprender su dinámica poblacional, permitirá avanzar en estudios complementarios como, por ejemplo, de sensibilidad a fungicidas que permitan asistir al productor en la selección del fungicida más adecuado para el control del Tizón tardío, acoplando la epidemiología a la toma de decisiones, en pos de un uso sostenible de productos fitosanitarios.

Importante también es considerar que el desplazamiento del patógeno se produce



principalmente por semilla, por lo que la comercialización de semilla tiene un gran rol considerando que hay varios países que importan semilla desde Europa hoy día.

Componente 5. Comprensión y adopción de la innovación tecnológica e implementación de Manejo integrado (MIP) y Buenas prácticas (BPA).

Los sistemas de alerta temprana ayudan a tomar mejores decisiones de manejo preventivo de Tizón tardío, sin embargo, para la adopción de la tecnología es importante considerar la comunicación del conocimiento y saber qué hacer con esta información.

Durante el desarrollo del proyecto se realizó el levantamiento de una línea base para conocer la realidad del agricultor frente al control de este problema sanitario y una encuesta de seguimiento al final del proyecto. Las personas encuestadas al inicio del proyecto conocen la enfermedad, la identifican como la más importante, pero no conocen su epidemiología ni los factores que la favorecen. Se destaca que la principal forma de control de Tizón tardío es el control químico, del cual no existe un conocimiento acabado sobre estrategias con productos, ni cómo aplicarlos en forma eficiente y segura. Cabe destacar que el uso exagerado de fungicidas puede causar daños en la salud humana y el medio ambiente, aun así, muchos agricultores no usan equipos de protección al aplicar plaguicidas. Considerando esto, se planificó las actividades de capacitación con enfoque de manejo integrado, buenas prácticas agrícolas, uso seguro de agroquímicos y estrategias de control con uso de alertas. Al finalizar el proyecto se logró detectar avances en la comprensión y adquisición del conocimiento, especialmente en el adecuado de fungicidas, uso de alertas y equipos de protección personal al aplicar agroquímicos.

Sin embargo, de los talleres realizados es importante considerar que la formación es un continuo, al cual hay que integrar a los asesores y toda la cadena de distribución. Hay decisiones o conocimiento que para el agricultor son complejas, por lo que se recurre al asesor, al distribuidor de insumos o incluso al vecino para aclarar sus dudas. Por lo anterior, es de importancia que todos en la cadena productiva conozcan las fuentes de inóculo de la enfermedad y las condiciones que la favorecen para así diseñar de forma anticipada una estrategia de control integrado acorde a cada uno y a las condiciones de cada temporada. A lo anterior, agregar también la importancia de mantener actualizados a la cadena productiva sobre la situación actual de Tizón tardío y sobre herramientas disponibles para un manejo sustentable y sostenible. Sin embargo, hay que considerar que hay renovado y genuino interés por parte de los productores en recibir diversas alternativas de manejo del Tizón tardío.



Para el manejo de la enfermedad, es de gran relevancia la calidad de la semilla y la susceptibilidad del hospedero, por lo que es vital disponer de cultivares avanzados agronómicamente, con alta resistencia al Tizón tardío como parte de un paquete de manejo integrado. Esto es especialmente relevante en zonas que presentan condiciones ambientales muy favorables para la enfermedad. También, considerar que, en la pequeña agricultura, la mujer juega un rol importante en el manejo del cultivo, tanto como base de la alimentación de la familia, como parte de la comercialización del productos e ingresos familiares. Dado lo anterior, cobra mayor importancia la formación en la implementación de buenas prácticas agrícolas y uso seguro de plaguicidas. Se debe integrar parámetros como niveles de resistencia de las variedades de papa, el clima y el intervalo de aplicaciones, criterios para realizar un manejo eficiente y con menor uso de agroquímicos, lo que permitirá reducir costos de producción y la tasa de impacto ambiental, comparados con el manejo convencional de la mayoría de los agricultores.

El uso de los sistemas de alerta, como estrategia de control de Tizón, además de disminuir la incidencia del patógeno y su consecuente disminución en el rendimiento, contribuye directamente a la economía y la salud de los agricultores y sus familias. Es importante que la intervención de la gestión integrada del conocimiento y la innovación del manejo integrado de cultivo de papa esté basada en la experiencia y los saberes de todos los actores de la red productiva de papa y dar espacios para generar confianza en torno al desempeño de los sistemas de alerta.

Conclusiones

Del trabajo realizado se pueden obtener las siguientes conclusiones:

- La red de especialistas en Tizón tardío de la papa se formó exitosamente, logrando trabajar en forma conjunta entre las instituciones, los especialistas, incluyendo al sector público y privado.
- Los resultados para validación del sistema de alerta temprana en el proyecto muestran que las estrategias de control químico con aplicaciones basada en alerta lograron controlar el Tizón tardío con un nivel de daño similar al tratamiento a calendario fijo, sin afectar el rendimiento, especialmente en variedades medianamente resistentes y resistentes.
- La estrategia de control de Tizón tardío utilizando alerta temprana disminuyó la cantidad de aplicaciones, el índice de impacto ambiental (IEQ) y los costos de fungicidas en un 50%, 52% y 48% promedio, respecto a una estrategia con aplicaciones a calendario fijo.
- Las evaluaciones de resistencia varietal muestran que hay una gran variabilidad en la respuesta de los cultivares evaluados, cuya información es de gran relevancia para desarrollar un paquete de manejo integrado para Tizón tardío.
- El uso de Información de pronóstico estacional es una herramienta que tiene el potencial de contribuir al manejo de cultivos de manera más resiliente, lo que puede mejorar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad económica de los productores agrícolas.
- Es necesario trabajar con la cadena de producción del cultivo de papa para prevenir en forma exitosa el riesgo de Tizón tardío y las pérdidas que produce.
- Las poblaciones recientes de *P. infestans* de Argentina, Chile, Brasil y Uruguay están dominadas por el linaje clonal EU_2_A1, asociadas con el tipo de apareamiento A1. Los aislamientos de *P. infestans* de Ecuador fueron identificados como pertenecientes a la línea clonal EC-1. Dos perfiles genotípicos fueron descritos en Panamá, uno de ellos aún no reportado en otras regiones productoras de papa de Latinoamérica y del mundo por lo que la caracterización de su perfil está en análisis.
- Estudiar las poblaciones de manera conjunta y no aisladamente, permitirá conocer cómo es la evolución del patógeno y poder así trabajar mancomunadamente en estrategias de



mitigación de la enfermedad más eficientes y sostenibles.

- El uso de los sistemas de alerta como estrategia de control de Tizón tardío, además de disminuir la incidencia del patógeno y su consecuente disminución en el rendimiento, contribuye directamente a la economía y la salud de los agricultores y sus familias.
- Es importante que la intervención de la gestión integrada del conocimiento y la innovación del manejo integrado de cultivo de papa esté basada en la experiencia y los saberes de todos los actores de la red productiva de papa y dar espacios para generar confianza en torno al desempeño de los sistemas de alerta.
- La diseminación del conocimiento se realizó fuertemente con toda la cadena productiva, logrando realizar 44 talleres, 8 días de campo y seminarios, 7 talleres para análisis de resultados con los beneficiarios y asociados, un simposio internacional, dos talleres para co-ejecutores y asociados, 4 reuniones y talleres con la cadena de producción y tomadores de decisiones, con la participación de 2761 personas, de las cuales el 41,6 % fueron mujeres (1148 mujeres y 1613 hombres). Además, se elaboraron 13 publicaciones divulgativas y videos técnicos, una publicación científica y una plataforma web donde se aloja la información del proyecto.
- Finalmente, el uso de información basada en alertas temprana ayuda a los agricultores a realizar un control químico en forma oportuna y eficiente y sólo cuando es necesario. Así, esta información, junto a capacitaciones en manejo integrado y buenas prácticas agrícolas, fomenta la adaptación y mitigación al cambio climático para la intensificación sostenible de la producción de papa.



Recomendaciones

Como parte de las recomendaciones generadas en esta iniciativa se puede comentar:

Es necesario continuar trabajando en el desarrollo e incorporación de herramientas de apoyo a la toma de decisiones para implementar una agricultura más sostenible. En este proyecto se demostró que, bajo diferentes condiciones ambientales, la alerta para Tizón tardío obtuvo resultados positivos.

Sin embargo, es necesario relevar la difusión del conocimiento en cuanto a metodologías. Los agricultores en Latinoamérica desarrollan agricultura con diferentes objetivos y de manera distinta, además manejan conocimientos y recursos a diferente escala. De ahí la importancia de trabajar en forma cercana. En este proyecto incorporamos a los asesores como parte fundamental de las capacitaciones para que ellos tomen un rol base en las recomendaciones, especialmente cuando se trabaja con pequeños agricultores.


Adicionalmente, el control químico es utilizado ampliamente para el control de esta enfermedad, sin embargo, no hay un conocimiento acabado por parte de los agricultores en cuanto a su manejo y los riesgos personales y ambientales que implica. De ahí que es fundamental capacitar en el uso adecuado de agroquímicos, tanto para protección personal como para uso correcto y racional. En este proyecto se trabajó fuertemente en capacitaciones prácticas en terreno para demostrar cómo hacer una aplicación eficiente y la importancia del uso de equipamiento adecuado de protección personal.

Es importante considerar que en la agricultura familiar las mujeres son parte activa del sistema productivo, por lo que en las capacitaciones se debe considerar un enfoque de género. Esto implica horario de las actividades que sean compatibles con otras actividades familiares y del hogar, recomendaciones de tecnologías que se adapten a los requerimientos femeninos, actividades que consideren la presencia de niños, entre otras.


Finalmente, la situación de pandemia causada por COVID 19 profundizó las brechas tecnológicas existentes en cuanto a comunicación y diseminación del conocimiento. Esta situación se dio por varios motivos entre las que se pueden nombrar: poco conocimiento de uso de sistemas de comunicación por parte de los agricultores, poca señal de internet en los sectores rurales, uso de métodos de difusión tradicionales y lejanía de los investigadores y extensionistas de los sectores productivos, entre otras. En el proyecto frente a esta situación se trabajó a distancia con los asesores de los territorios y se elaboró videos técnicos con el fin de que las personas puedan tener acceso a la información.


Referencias Bibliográficas

- Acuña, I y R. Bravo (Ed.). 2019. Tizón tardío de la papa: Estrategias de manejo integrado con alerta temprana. Boletín INIA N°399. SSN 0717 – 4829. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA-Chile. Pp 138 <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6777>
- 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. <https://manualinia.papachile.cl>. Certificado de Registro Dibam 264.876.
- Acuña, I., Sagredo, B., Bravo, R., Gutiérrez, M., Maldonado, I., Gaete, N., Inostroza, J., Secor, G., Rivera, V., Kalazich, J., Solano J. and y Rojas, J. 2007. Using a forecasting system to develop integrated pest management strategies for control of late blight in southern Chile. Proceedings of the Tenth Workshop of European network for development of an integrated control strategy of potato late blight. Bologna, Italy, 2nd - 5th May 2007. PPO Special report N° 12: 237-249.
- Adler, N., Chacon, G., Forbes, G., y Flier, W. 2002. *Phytophthora infestans* sensu lato in South America population substructuring through host-specificity. In *Proceedings of the Global Initiative on Late Blight Conference*. International Potato Center, Lima. Pp 13-17.
- Alor Romero, N., Tierno, R., Cooke, D. E., y De Galarreta, J. I. R. 2019. Characterisation of *Phytophthora infestans* Isolates of Potato Crops from Spain. *Potato Research*, 62(4): 453-463.
- Andrade-Piedra, J., R. J. Hijmans, G. A. Forbes, W. E. Fry, and R. J. Nelson. 2005. Simulation of Potato Late Blight in the Andes. I: Modification and Parameterization of the LATEBLIGHT Model. *Phytopathology* 95(10): 1191-1199. <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PHYTO-95-1191>
- Andrade-Piedra, J. L., Hijmans, R. J., Juárez, H. S., Forbes, G. A., Shtienberg, D., & Fry, W. E. 2005. Simulation of Potato Late Blight in the Andes. II: Validation of the LATEBLIGHT Model. *Phytopathology*, 95(10), 1200–1208. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-95-1200>
- 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.
- Andrison, D., Avendaño-Córcoles, J., Cameron, A. M., Carnegie, S. F., Cooke, L. R., Corbière, R. & Griffin, D. G. 2011. Stability and variability of virulence of *Phytophthora infestans* assessed in a ring test across European laboratories. *Plant Pathology*, 60(3): 556-565.


- 
- Avila, F., Salles-Filho, S. y Alonso, J. 2009. Evaluación de impacto del INCAGRO: proyecto de investigación y extensión agrícola (PIEA). Ministerio Agricultura - INCAGRO, Lima, Perú.
- Beaumont, P. 1993. Pesticides, policies and people. *Pesticides Trust*, London, 211pp.
- Bimsteine, G and I. Turka. 2002. Efficiency of potato Late Blight control models. *Proceedings in Agronomy* N° 4 p. 35-39 (Abstract). CIP. 2001. Isozyme analysis. In: Laboratory manual for *P. infestans* work at CIP-Quito. Pp 17-23.
- Brasier, C. M. 2009. *Phytophthora* biodiversity: how many *Phytophthora* species are there? *Phytophthoras. In Forests and Natural Ecosystems*, vol. 101.
- Bourke, A. 1993. The visitation of God? The potato and the great Irish famine. *Lilliput Press Ltd*.
- Bruvo, R., Michiels, N. K., D'souza, T. G., & Schulenburg, H. 2004. "A simple method for the calculation of microsatellite genotype distances irrespective of ploidy level". *Molecular Ecology*, 13(7): 2101-2106.
- Bruhn, J. A., and Fry, W. E. 1981. Analysis of potato late blight epidemiology by simulation modeling. *Phytopathology* 71:612-616.
- Contreras, E. y Zapata, M. 2000. Técnicas de aplicación de pesticidas utilizando pulverizador manual. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín N° 29.
- Cooke D.E.L y Lees A.K. 2004. Markers, old and new, for examining *Phytophthora infestans* diversity. *Plant Pathology* 53 (6): 692–704.
- Cooke, D. E., Lees, A. K., Lassen, P., & Gronbech-Hansen, J. 2012. Making sense of *Phytophthora infestans* diversity at national and international scales. In: *Proceedings of the Proceedings of Thirteenth EuroBlight workshop*. PPO-Special Report no. 15 (2012), 37 - 44.
- De Bary, A. 1876. Researches into the nature of the potato-fungus-*Phytophthora infestans*. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, 12. Pp 239-269.
- Faostat (2019) [en línea] < <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> > [consulta: febrero 2022].
- 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., Goodwin, S. B., Drenth, A., Oyarzun, P., Ordoñez, M. E., & Fry, W. E. 1998. A global marker database for *Phytophthora infestans*. *Plant Disease*, 82(7): 811-818.
- Forbes, G. A.; Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. 2014. Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a *Phytophthora infestans* bajo condiciones de campo: Guía para colaboradores internacionales. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú.
- 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.
- 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.
- Fry W. E. 2016. *Phytophthora infestans*: New tools (and Old Ones) Lead to New Understanding and Precision Management. *Annual Review of Phytopathology*. Córdoba, España. 54(1):529-547.
- Fry W. E., Birch P. R. J., Judelson H. S., Grünwald N. J., Danies G., Everts K. L., Gevens A. J., Gugino B. K., Johnson D. A., Johnson S. B., McGrath M. T., Myers K. L., Ristaino J. B., Roberts P. D., Secor G., and Smart C. D. 2015. Five Reason to Consider *Phytophthora infestans* a Reemerging Pathogen. *Phytopathology*. Vol (105), Number 7. Pp. 966-981.
- Fry, W.E. 2020. *Phytophthora infestans*: the itinerant invader; “late blight”: the persistent disease. *Phytoparasitica* 48, 87–94. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12600-019-00778-3>
- Fry, W.E., Goodwin, S.B., Dyer, A.T., Matuszak, J.M., Drenth, A., Tooley, P.W., Sujkowski, L.S., Koh, Y.J., Cohen, B.A., Spielman, L.J., Deahl, K.L., Inglis, D.A. y Sandlan, K.P. 1993. “Historical and recent migrations of *Phytophthora infestans*: chronology, pathways, and implications”. *Plant Disease*. 77, 653–661
- Fry W.; E. G. Mizubuti; H.S. Mayton; D.E. Aylor and J. Andrade-Piedra. 2002. Late blight forecasting: Quantifying the risk from a known 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.
- Garbers, R. 2003. La U.T.A. costo y su variación cronológica. *Federación Argentina de Contratistas de Maquinaria Agrícola*. Disponible en: <http://facma.com.ar/PDF/Biblioteca/UTA%20Su%20Variacion%20Cronologica.PDF> [acceso febrero 2022].
- Garrett, K.A., and Dendy, S.P. 2001. Cultural practices in the potato late blight management. Pages in: Proceedings 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. Fernández-Northcote, ed. International Potato Center, Lima, Peru.
- Hastie, T.J. 2017. Generalized additive models. *Stat. Model.* S 249–307. Hyre, R.A. 1954. Progress in forecasting late blight of potato and tomato. *Plant Disease Reports*: 245-253.
- Haverkort, A. J., Boonekamp, P. M., Hutten, R. Jacobsen, E., Lotz, L. A. P., Kessel, G. J. T., Vossen, J. H. and Visser, R. G. F. 2016. “Durable Late Blight Resistance in Potato Through Dynamic Varieties Obtained by Cisgenesis: Scientific and Societal Advances in the DuRPh Project.” *Potato Research* 59: 35–66.

- 
- Hijmans, R.J., Graham, C.H. 2006. The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions. *Glob. Chang. Biol.* 12, 2272–2281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01256.x>
- Kessel, G., Huarte, M., Lucca, F., Santini, M., Rijzebol, C., Raatjes, P., Rovers, J., Den Boer, J. and Schepers, H. 2010. Opportunities for Potato Late blight DSS's in Argentina. H.T.A.M. Schepers (editor). *PPO-Special Report* no. 14, 75-78.
- Kamvar, Z. N., Tabima, J. F., & Grünwald, N. J. 2014. “Poppr: An R package for genetic analysis of populations with clonal, partially clonal, and/or sexual reproduction”. *PeerJ*. pp 281.
- Krause, R.A.; L.B. Massie and A. Hyre. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Disease Report* 59: 95-98.
- Kovach, J., C. Petzoldt, J. Degni, and J. Tette. 1992. A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides. *IPM Program, Cornell University, N Y State Agricultural Experiment Station Geneva, N Y.* Number 139, 8 pages. Disponible en: <http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/> acceso febrero, 2022.
- Kroon, L.P.N.M., Brouwer, H., De Cock A., Govers, F. 2012. The Genus *Phytophthora* Anno 2012. *Phytopathology*, 102. pp 348-364.
- Johnson, A. C. S., Frost, K. E., Rouse, D. I., & Gevens, A. J. 2015. Effect of Temperature on Growth and Sporulation of US-22, US-23, and US-24 Clonal Lineages of *Phytophthora infestans* and Implications for Late Blight Epidemiology. 105(4), 449–459.
- Krause, R.A., L.B. Massie, and R.A. Hyre. 1975. Blitecast: A computerized forecast of potato late blight. *Plant Dis. Rep.* 59(2):95–98.
- Lees Ak, Wattier R, Shaw Ds, Sullivan L, Williams Na Y Cooke, D.E.L. 2006. Novel microsatellite markers for the analysis of *Phytophthora infestans* populations. *Plant Pathology* 55 (3): 311–319.
- Levitan, L. 2000. How to and Why: assesing the enviro-social impacts of pesticides”. *Crop Protection*, 19:8, 629-636.
- Levitan, L., Mervin, I. and Kovach, J. 1995. Assessing the relative environmental impacts of agricultural pesticides: the quest for a holistic method. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 55:3, 153-168.
- Li, Y., Cooke, D. E., Jacobsen, E., & van der Lee, T. 2013. Efficient multiplex simple sequence repeats genotyping of the oomycete plant pathogen *Phytophthora infestans*. *Journal of microbiological methods*, 92(3): 316-322.
- Lucca, M., y Huarte, M. 2012. Avances en el control de Tizón tardío. *XXV Congreso Latinoamericano de la Papa*. Consultado el (Vol. 8).
- Lucca, M.F., Restrepo, S., Danies, G., Acuña, I., Zanotta, S. 2019. Monitoring of *Phytophthora* spp on potato crops and Solanaceous host in Latin America. In: *Proceedings of the Seventeenth*

- 
- Euroblight Workshop*. Special Report 19: 137-142.
- Magnasco, E.; Di Paola, M. M. 2015. Agroquímicos en argentina ¿Dónde estamos? ¿A dónde vamos?. pp.147-164. En: Di Pangraccio, A.; Nápoli, A.; Sangalli F. (Eds.) Informe Ambiental Anual 2015. - 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Ambiente y Recursos Naturales. Pp 416.
- Mariette N, Mabon R, Corbiere R, Boulard F, Glais I, Marquer B, Pasco C, Montarry J, Andrivon D, 2016. Phenotypic and genotypic changes in French populations of *Phytophthora infestans*: are invasive clones the most aggressive?. *Plant Pathology* 65: 577-586.
- 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
- Moreno, G. 2003. Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud humana. McGraw Hill Editores.
- Muñoz Ibáñez, F.G., 2007. Patrones espaciales y temporales de la exposición y efecto de la contaminación atmosférica en Santiago de Chile 2598–2622.
- 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.
- Launay, M., Caubel, J., Bourgeois, G., Huard, F., Garcia de Cortazar-Atauri, I., Bancal, M.O., Brisson, N. 2014. Climatic indicators for crop infection risk: Application to climate change impacts on five major foliar fungal diseases in Northern France. *Agric. Ecosyst. Environ.* 197, 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.07.020>
- Nei, M. 1978. The theory of genetic distance and evolution of human races. *Japanese Journal of Human Genetics*, 23(4): 341-369.
- Njoroge, A. W., Andersson, B., Lees, A. K., Mutai, C., Forbes, G. A., Yuen, J. E., & Pelle, R. 2019. Genotyping of *Phytophthora infestans* in Eastern Africa reveals a dominating invasive European lineage. *Phytopathology*, 109(4): 670-680.
- Ogg, C.L.; Hygnstrom, J.R.; Bauer, E.C.; Hansen, P. J. 2012. Management Pesticide Poisoning Risk and Understanding the Signs and Symptoms. University of Nebraska. Pp. 16.
- Oyarzún, P.J., Pozo, A., Ordoñez, M.E., Doucett, K., & Forbes, G.A. 1998. Host specificity of *Phytophthora infestans* on tomato and potato in Ecuador." *Phytopathology* 88:265-271.
- Pérez, W. y G. Forbes. 2008. El Tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima Perú. Pp 41.
- Pérez, W.; Arias, R.; Taipe, A.; Ortiz, O.; Forbes,G.; Andrade-Piedra, J. and Kroman P. 2020. A simple, hand-held decision support designed tool to help resource-poor farmers improve

- potato late blight management. *Crop Protection* 134:105186.
<https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105186>
- Pedersen, E.J., Miller, D.L., Simpson, G.L., Ross, N., 2019. Hierarchical generalized additive models in ecology: An introduction with mgcv. *PeerJ* 2019. <https://doi.org/10.7717/peerj.6876>
- Reigart, R- 1999. Reconocimiento y manejo de los envenenamientos por pesticidas. U.S. Environmental Protection Agency. Quinta edición.
- Reis, A.; Fabiana, H.S.; Ribeiro, L.A.; Maffia, E; Mizubuti, S.G. 2005. Sensitivity of Brazilian Isolates of *Phytophthora infestans* to Commonly Used Fungicides in Tomato and Potato Crops. *Plant Disease*. 89(12):1279-1284.
- Rekad, F. Z., Cooke, D. E. L., Puglisi, I., Randall, E., Guenaoui, Y., Bouznad, Z., Y Cacciola, S. O. 2017. Characterization of *Phytophthora infestans* populations in northwestern Algeria during 2008–2014. *Fungal Biology*, 121(5), 467-477.
- Report, C.S.C., n.d. CSC Report 13 Statistical methods for the analysis of simulated and observed climate data Applied in projects and institutions dealing with climate change impact and adaptation.
- Pretty, J. and Hine, R. 2005. Pesticide use and the environment. En J. Pretty (editor). *The pesticide detox: towards a more sustainable agriculture*. 1-22.
- 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>
- Shepers, H. 2002. Potato late blight IPM in the industrialized countries. Global Initiative in Late Blight Conference. Late blight: Managing the global threat. March 11-13, 2002. Hamburg, Germany. Pp 89-92.
- Schepers, H.T.A.M., Kessel, G.J.T., Lucca, F. et al. 2018. “Reduced efficacy of fluazinam against *Phytophthora infestans* in the Netherlands”. *Eur J Plant Pathology* 151, 947–960.
<https://doi.org/10.1007/s10658-018-1430-y>
- Shannon C.E. 2001. A mathematical theory of communication. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review* 5:3–55.
- Simpson, E. H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148): 688-688.
- Solano, J., Mathias, M., Esnault, F. and Brabant, P. 2013. Genetic diversity among native varieties and commercial cultivars of *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum* L. present in Chile. *Electronic Journal of Biotechnology*, 16(6), 8-8.
<http://www.ejbiotechnology.info/index.php/ejbiotechnology/article/view/1474>.
- Sparks, A.H. 2009. Disease risk mapping with metamodels for coarse resolution predictors: global potato late blight risk now and under climatic change. Department of Plant Pathology.
- Tordoir, W.; Maroni, M. y Fengsheng, H. 1994. Health Surveillance of pesticide workers. A manual



for occupational health professionals, Volume 91.

Stoddart Ja., Taylor Jf. 1988. Genotypic diversity: Estimation and prediction in samples. *Genetics* 118:705–711.

Available at: <http://www.genetics.org/content/118/4/705>

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.

Wood, S.N., 2001. mgcv: GAMs and generalized ridge regression for R. *R News*.
<https://doi.org/10.1159/000323281>

Zanotta, S. 2019. Caracterização da população de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary em regiões produtoras de batata (*Solanum tuberosum* L.) no Brasil. 124f. Tese (Doutorado em Segurança Alimentar e Sanidade no Agroecossistema) - Instituto Biológico, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, São Paulo, 2019.

Instituciones participantes



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



www.fontagro.org

Correo electrónico: fontagro@fontagro.org