



Fundación para la  
Innovación Agraria  
MINISTERIO DE AGRICULTURA

RESULTADOS Y LECCIONES EN

# Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate

HORTALIZAS Y TUBÉRCULOS



Proyecto de innovación en  
**Región del Maule**







---

1 3 9

---





RESULTADOS Y LECCIONES EN

# Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate



Proyecto de innovación en  
**Región del Maule**

Valorización a diciembre de 2019



## Agradecimientos

En la realización de este trabajo, agradecemos la colaboración de los profesionales e investigadores entrevistados y vinculados al proyecto “Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate para la reducción de plaguicidas y protección de la salud humana”, y en especial la valiosa cooperación de:

- Jorge Riquelme, ingeniero agrónomo, investigador  
en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
- Luis Devotto, ingeniero agrónomo, investigador  
en el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)
- Pablo Castillo, asesor de hortalizas bajo plástico en SAE Ltda. (Asesoría agrícola)

Resultados y lecciones en

### **Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate**

Proyecto de innovación en Región del Maule

Serie **Experiencias de innovación para el emprendimiento agrario**

**FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA**

Registro de Propiedad Intelectual N° A-5121

ISBN 978-956-328-247-4

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

Sergio Lara Pulgar, consultor externo.

REVISIÓN Y EDICIÓN TÉCNICA DEL DOCUMENTO

Gabriela Casanova, Fundación para la Innovación Agraria.

DISEÑO GRÁFICO Y EDICIÓN DE TEXTOS

Guillermo Feuerhake

Se autoriza la reproducción parcial de la información aquí contenida, siempre y cuando se cite esta publicación como fuente.

# Presentación

---

La Fundación para la Innovación Agraria (FIA) es la agencia del Ministerio de Agricultura orientada a promover la cultura de la innovación en el sector silvoagroalimentario nacional. Para ello, la Fundación apoya con incentivos financieros (convocatorias de proyectos), información, capacitación y redes para innovar.

Fundamental para que los productores puedan innovar es contar con información relevante para tomar decisiones que les permitan acercarse de manera plausible al éxito de las iniciativas que realicen. Por su parte, los proyectos e iniciativas que se desarrollan bajo el alero de FIA generan resultados que representan un gran caudal de valioso conocimiento para el sector silvoagroalimentario nacional e internacional. Como toda innovación conlleva un riesgo, y tanto los resultados promisorios como aquellos de proyectos que no lograron alcanzar los objetivos esperados son puestos en valor por FIA, ya que ambos constituyen aprendizajes relevantes.

FIA desarrolló una metodología de valorización de resultados orientada a analizar la validez y potencial de aplicación de las experiencias, lecciones aprendidas y resultados de los proyectos al momento de su cierre. Es una metodología cercana a la de un estudio de viabilidad, compuesta de distintos análisis en los ámbitos comerciales, técnicos, de gestión, legal y/o financieros, dependiendo de la naturaleza del proyecto.

En este marco, el presente documento tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas del proyecto **“Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate para la reducción de plaguicidas y protección de la salud humana”**. Este tuvo como objetivo desarrollar y validar un sistema más seguro y efectivo de aplicación de plaguicidas en invernaderos de tomate, sin la intervención humana en su interior.

Espero que la información contenida en este documento sirva como aprendizaje y se transforme en un insumo provechoso, especialmente para productores de tomate bajo invernadero, que buscan implementar nuevas tecnologías para la aplicación de fitosanitarios cuidando la salud de los trabajadores agrícolas.

**Álvaro Eyzaguirre**  
Director Ejecutivo FIA





# Contenidos

---

Presentación .....	5
Introducción .....	9

---

<b>Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas</b> .....	11
1. Antecedentes .....	12
1.1. El cultivo de tomate en Chile .....	12
1.2. Uso de plaguicidas en cultivo de tomate en Chile.....	15
2. Base conceptual de la tecnología .....	18
2.1. Alternativas para aplicación de plaguicidas en invernadero.....	18
2.2. Tecnología aplicada en el proyecto precursor.....	21
3. La innovación tecnológica .....	26
4. El valor de la herramienta desarrollada .....	28
5. Conveniencia económica para el productor.....	30
6. Claves de viabilidad.....	32
7. Asuntos por resolver .....	33

---

<b>Sección 2. El proyecto precursor</b> .....	35
1. Características generales.....	35
2. Validación de la tecnología .....	45

---

<b>Sección 3. El valor del proyecto precursor y aprendido</b> .....	47
---	----

---

<b>Sección 4. Anexos</b>	
1. Bibliografía .....	51
2. Entrevistas realizadas.....	53



# Introducción

---

La presente publicación pone en valor los resultados del proyecto **“Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate para la reducción de plaguicidas y protección de la salud humana”**, iniciativa que fue apoyada y cofinanciada por FIA, con la finalidad de desarrollar y validar un sistema de aplicación de plaguicidas en invernaderos de tomate, más eficiente y efectivo, disminuyendo el peligro para la salud de los trabajadores y la cantidad de residuos en los frutos.

El proyecto fue ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) a través de su Centro Regional Raihuén, entre los años 2014 y 2017, en asociación con la empresa SAE Ltda., realizando las pruebas piloto en predios de pequeños productores de tomate bajo invernadero en la zona de Colín, Región de Maule.

El presente documento está estructurado en tres secciones principales. La primera de ellas, **“Resultados y lecciones aprendidas”**, tiene como finalidad proveer una visión sistematizada del nuevo servicio o herramienta tecnológica que derivó de los resultados y aprendizajes generados en el proyecto ejecutado. En su desarrollo, esta visión contiene los elementos que permiten a los productores interesados apreciar si la opción responde a sus necesidades y permite mejorar o hacer más eficientes sus procesos productivos y de gestión.

La segunda sección consiste en la descripción del **“Proyecto precursor”**,<sup>1</sup> donde se ilustran las experiencias que condujeron a la validación y sistematización de la herramienta tecnológica evaluada, como forma de exponer el entorno, metodologías y aplicaciones prácticas que le dieron origen.

Finalmente, considerando el análisis realizado en la primera y segunda sección del documento, en una tercera, denominada **“Valor del proyecto”**, se resumen los aspectos más relevantes y determinantes del aprendizaje para la viabilidad futura de la innovación realizada.

Se espera que esta información, sistematizada en la forma de una **“innovación aprendida”**,<sup>2</sup> aporte a los interesados elementos clave respecto de los beneficios del uso o incorporación de nuevos servicios y herramientas tecnológicas desarrolladas.

---

<sup>1</sup> **“Proyecto precursor”**: proyecto de innovación a escala piloto financiado e impulsado por FIA, cuyos resultados fueron evaluados a través de la metodología de valorización de resultados desarrollada por la Fundación, análisis que permite configurar la innovación aprendida que se da a conocer en el presente documento. Los antecedentes del proyecto precursor se detallan en la Sección 2 de este documento.

<sup>2</sup> **“Innovación aprendida”**: análisis de los resultados de proyectos orientados a generar un nuevo servicio o herramienta tecnológica. Este análisis incorpora la información validada del proyecto precursor, las lecciones aprendidas durante su desarrollo, los aspectos que quedan por resolver y una evaluación de los beneficios económicos de su utilización en el sector.



# Resultados y lecciones aprendidas

El presente documento tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas a partir de la realización de un proyecto apoyado por la Fundación para la Innovación Agraria, que estuvo orientado a desarrollar una tecnología innovadora para el control de plagas y enfermedades en el cultivo de tomates bajo invernadero.



## ► 1. Antecedentes

### 1.1. El cultivo de tomate en Chile

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una planta herbácea anual o bianual, de origen americano, cuyo hábito de crecimiento puede ser determinado o indeterminado y, sobre esta base, ser cultivada con diversas modalidades y objetivos. Actualmente se cultiva en todo el mundo, tanto para consumo fresco como industrializado.

Para lograr una amplia gama de sistemas productivos y cosechas en toda época del año, se hace necesaria la incorporación de nuevas tecnologías. En la actualidad el cultivo de tomate se realiza bajo diversos sistemas productivos; por ejemplo, en invernaderos con cubierta de policarbonato, polietileno o malla antiáfido, acompañado de gran variedad de portainjertos según requerimientos (tolerancia a sales, nemátodos, gran vigor, internudos cortos, entre otros). De esta forma se mantiene la oferta durante todo año con altas producciones (INIA, 2017).

Estimaciones de la FAO indican que el tomate es la hortaliza más cultivada en el mundo, siendo el consumo fresco el destino principal con cerca del 75% del volumen cosechado. Según FAO, al año 2017 se cultivaban aproximadamente 4,8 millones de hectáreas y se cosechaban 182 millones de toneladas de tomate en el mundo.

En Chile, el tomate es una de las principales hortalizas cultivadas en términos de superficie y producción. Según información de ODEPA, en el año 2018 se registraron 5.294,2 hectáreas de tomate para consumo fresco, equivalentes al 6,9% de la superficie hortícola nacional, solo por detrás del choclo y la lechuga. El 69% de la superficie se ubica en la zona centro sur (regiones de Valparaíso hasta el Maule) y un 16% en la Región de Arica y Parinacota. El tomate para uso industrial, por su parte, alcanzó en la temporada 2018/2019 una superficie de 9.874 hectáreas, concentradas casi exclusivamente en las regiones de O'Higgins y Maule.

A nivel mundial, nuestro país ocupa el 4° lugar en superficie, y el lugar 24° en producción, con 872.485 toneladas, cuyo rendimiento promedio (63 t/ha) supera a países como China, Italia, México y Brasil, entre otros (INIA, 2017).

**Cuadro 1. Superficie cultivada de tomate en Chile (hectáreas)**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Tomate consumo fresco	4.902,0	5.463,5	4.908,3	5.038,2	4.954,9	4.936,1	5.269,3	5.294,2
Tomate industrial	7.149,0	7.630,0	8.404,0	8.420,4	9.332,0	9.343,0	10.564,0	9.874,0
<b>Total (ha)</b>	<b>12.051,0</b>	<b>13.093,5</b>	<b>13.312,3</b>	<b>13.458,6</b>	<b>14.286,9</b>	<b>14.279,1</b>	<b>15.833,3</b>	<b>15.168,2</b>

Fuente: elaboración propia con información de ODEPA.



A nivel nacional, el cultivo de tomate ha presentado una alta rentabilidad, lo que permitió que experimentase un desarrollo sostenido en la última década, incorporando tecnologías desde países mediterráneos con gran tradición en el cultivo de tomate. Sin embargo, los altos volúmenes de comercialización y la elevada competencia local han ido presionando los márgenes de ganancia, forzando a los agricultores a mejorar la eficiencia en costos y a aumentar su productividad (INIA 2017).

El uso de cubiertas de protección es una tecnología ampliamente difundida en el cultivo del tomate. La malla antiáfido utilizada en el norte del país permite protección de plagas, mejorando a su vez la condición ambiental bajo la estructura. El uso de polietileno en la zona centro sur del país permite salir al mercado con cosecha de manera anticipada. Del total de la superficie de tomate destinada a consumo fresco, se estima que un 20% corresponde al cultivo bajo invernaderos (polietileno y malla antiáfido), lo que supera las 1.000 ha bajo este tipo de producción. Otra tecnología es el uso de plantas injertadas, cuyos patrones pueden ser tolerantes a sales y/o enfermedades, lo que ha permitido extender los ciclos productivos, logrando plantas hasta de 24 racimos de calibre extra (INIA, 2017).





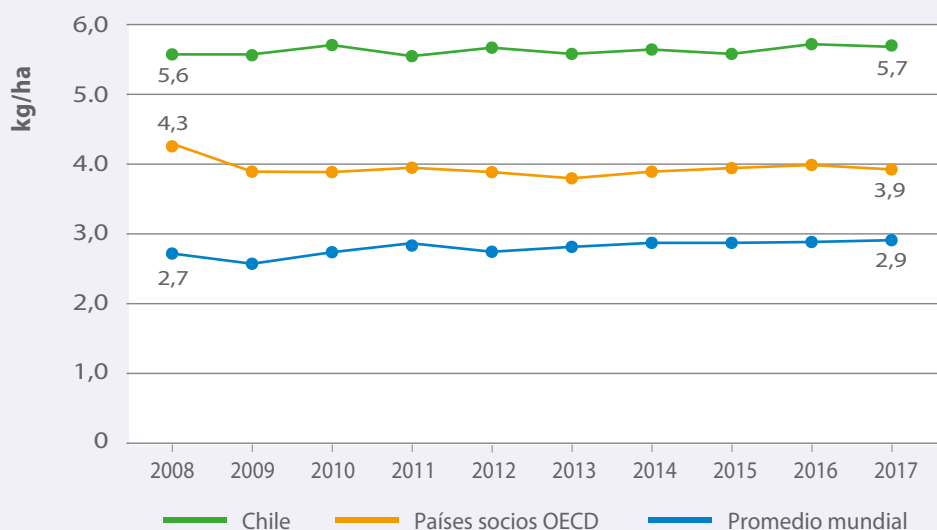
## 1.2. Uso de plaguicidas en cultivo de tomate en Chile

El modelo productivo intensivo, con elevado uso de plaguicidas y fertilizantes de síntesis, es el que predomina en la agricultura nacional. El desarrollo que ha tenido en las últimas décadas la fruticultura orientada a las exportaciones, con estrictos protocolos fitosanitarios para acceder a los mercados más exigentes, requiere estar libre de plagas y enfermedades, lo que se traduce en una mayor presión para el uso de químicos en los huertos (INIA, 2013).

Resultado de ello es que Chile se ubica entre los 25 países con niveles más altos de uso de plaguicidas a nivel mundial, con un total de 5,7 kg de agroquímicos por hectárea arable al año 2017, según datos de FAO, lo que prácticamente duplica al promedio mundial y supera largamente al promedio de los países miembros de la OECD.

En total, el uso de fertilizantes nitrogenados y pesticidas ha aumentado a mayor velocidad que la producción agrícola total y la expansión de las tierras agrícolas. Entre los países de la OECD, Chile experimentó el mayor crecimiento anual promedio de la venta de pesticidas, principalmente a causa del crecimiento de los subsectores de la horticultura y la viticultura (OCDE/CEPAL, 2016).

Figura 1. Uso de plaguicidas por superficie de tierras de cultivo



Fuente: elaboración propia con información de FAOSTAT.

Para los cultivos bajo cubierta el control de plagas representa uno de los mayores desafíos, dado que las condiciones de temperatura y humedad bajo los invernaderos, unidas a la falta de rotación con otros cultivos, favorecen la proliferación de insectos perjudiciales.

Entre éstos, las especies que más pérdidas provocan en los invernaderos de tomate son la mosquita blanca de los invernaderos (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)) y la polilla del tomate (*Tuta absoluta* (Meyrick)) (INIA, 2012).

Para evitar las pérdidas económicas por el daño de estas plagas, los agricultores con frecuencia recurren al uso constante y frecuente de insecticidas, generalmente de amplio espectro y, en ocasiones, altamente tóxicos. El uso reiterado de los mismos ingredientes activos genera resistencia de las plagas a dicha sustancias, lo que a su vez lleva a utilizar dosis mayores de las recomendadas, agravando la situación. Esta práctica pone en riesgo la salud de los trabajadores agrícolas, sobre todo en ambientes cerrados como los invernaderos, así como para los consumidores, por la probabilidad de presentarse residuos de agroquímicos en los frutos cosechados. Para el agricultor el uso constante e intensivo de fitosanitarios implica un alto costo económico, y va en contra de las tendencias de producción limpia de hortalizas, orientadas a la obtención de productos de alta calidad, libres de residuos de pesticidas, y a la protección de la salud de los trabajadores y del medio ambiente (INIA, 2012).

A pesar de que los plaguicidas están regulados por disposiciones legales, su adquisición y aplicación es libre y no necesariamente obedece a una recomendación técnica responsable. Si a esto se agrega la insuficiente capacitación y ausencia de diferenciación del entrenamiento respecto de los riesgos al momento de su uso y manejo, esta práctica constituye una fuente de riesgo para la salud de los operadores y produce contaminación de alimentos, aguas y suelos (INIA, 2013).

El Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) es la institución que fiscaliza los plaguicidas y fertilizantes agrícolas, en sus condiciones de uso, manejo y comercio de estos productos a nivel nacional. A través del Programa de Monitoreo de Residuos de Plaguicidas en Vegetales, se determina el cumplimiento de LMR (límites máximos de residuos) en función de la regulación nacional y el referente internacional Codex Alimentarius, al cual Chile adhiere. Por su parte, el Ministerio de Salud fiscaliza la aplicación terrestre de plaguicidas agrícolas, el almacenamiento de sustancias peligrosas y la eliminación de residuos y envases, desde el punto de vista de la salud pública y la seguridad laboral.

De los aproximadamente 400 principios activos plaguicidas registrados y autorizados en Chile, 102 son altamente peligrosos por sus efectos agudos, crónicos y ambientales, según los sistemas de clasificación de la Unión Europea, el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de productos químicos (SGA), y la Agencia de Protección Ambiental, EPA, de Estados Unidos. Precisamente en este rango está gran parte de los insecticidas, herbicidas y fungicidas más usados en el país. Además, se constata que un número importante de ellos está prohibido en otros países, por su efecto crónico; sin embargo, se comercializan en el país con etiqueta verde o como productos que normalmente no ofrecen peligro (Rozas, 2019).



Aplicación manual de fitosanitarios en invernadero. Fuente: proyecto precursor.

Los plaguicidas pueden causar daño a la salud mediante intoxicación aguda, que afecta principalmente a trabajadores agrícolas expuestos de manera directa a los químicos, o cuadros crónicos por exposición prolongada o consumo de alimentos contaminados en bajas dosis, que pueden causar alteraciones cognitivas, motoras, sensoriales, endocrinas o enfermedades neurológicas (González, 2019).

En Chile las intoxicaciones agudas por plaguicidas (IAP) son de notificación obligatoria a la autoridad sanitaria. En la última década, se registra un total de 6.522 casos de intoxicaciones agudas por plaguicidas, de los cuales cerca del 85% son de carácter laboral (con causa u ocasión de su trabajo) y accidental no laboral (exposición inesperada, excluyendo la laboral e intencional). La tasa de intoxicaciones agudas por plaguicidas a nivel país para el año 2018 fue calculada en 3,3 por 100.000 habitantes (MINSAL, 2019).

En el periodo 1998-2013, la Región del Maule ocupó el segundo lugar a nivel nacional con una tasa de 10,6 IAP por 100.000 habitantes. El año 2009, en esa misma región, se presentó el brote más masivo de la historia del uso de plaguicidas en Chile, resultando ocho fallecidos y, según medios de prensa, se estimó en más de 300 los trabajadores afectados por ese brote. Se supone que en Chile por cada caso notificado hay al menos cinco sin notificar, por lo cual esa cifra podría ser más alta (Rozas, 2019). Esto refleja que la intoxicación aguda por plaguicidas es un gran problema de salud pública, especialmente en las regiones con mayor actividad agrícola (Peña, 2016).

En síntesis, los antecedentes expuestos muestran que en Chile el cultivo del tomate es altamente dinámico, pero, como muchos de los cultivos en nuestro país, presenta con frecuencia prácticas inadecuadas en el manejo de plagas, que ponen en riesgo la salud de los trabajadores, de los consumidores y del medio ambiente.

## ► 2. Base conceptual de la tecnología

---

### 2.1. Alternativas para aplicación de plaguicidas en invernadero

---

La producción de tomate bajo invernadero se caracteriza por una alta densidad de plantación, lo que sumado a sus condiciones ambientales de altas temperaturas y elevada humedad relativa provoca una elevada incidencia de plagas y enfermedades. Para el control de ellas, la aplicación de productos químicos es una de las herramientas más utilizadas.

En un contexto nacional y mundial de mayor preocupación por la salud de trabajadores y consumidores, y una mayor conciencia sobre la protección del medio ambiente, se hace imprescindible optimizar la aplicación de fitosanitarios, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Es decir, empleando sustancias de baja peligrosidad, en la dosis apropiada, y aplicándolas de forma eficiente y uniforme en la masa vegetal, minimizando las pérdidas en el suelo y por deriva.

Se resumen a continuación algunas de las técnicas utilizadas para la aplicación de fitosanitarios en invernadero.

- **Bomba de espalda o mochila:** sistema sencillo que consiste en un estanque de 10 a 20 litros, cargado en las espaldas del operador, en que se deposita la mezcla de producto y agua a aplicar. El equipo cuenta con una lanza o barra con una o más boquillas por donde es expulsado el líquido a presión, lo cual se consigue accionando manualmente una palanca. A consecuencia de ello, la uniformidad de la aplicación es muy dependiente de la habilidad o capacidad del operador. Existen también equipos donde el flujo es impulsado por motor a combustión. Se utiliza principalmente en pequeñas superficies o cuando la masa vegetal es reducida (INIA, 2011).
- **Pistolas o lanzas pulverizadoras manuales con carretilla:** en este caso la barra de aplicación se conecta mediante una manguera a una carretilla que se desplaza por el interior del invernadero, portando el depósito de producto y la motobomba. Existen también sistemas donde la pistola de aplicación se conecta a una red de tuberías distribuidas por el invernadero, por las que circula el caldo fitosanitario a presión, procedente de un depósito situado en una instalación externa al invernadero, donde también se encuentra la bomba. Estos equipos presentan baja eficacia, debido a las elevadas pérdidas de producto en el suelo y a la falta de uniformidad (Sánchez-Hermosilla *et al*, 2012).
- **Pulverizadores hidroneumáticos tipo cañón atomizador:** equipos técnicamente más evolucionados que las pistolas manuales, aún de baja difusión. Se conectan a un tractor que circula por el costado interior del invernadero, generando una corriente de aire a alta presión que expulsa pequeñas gotas, similar a una llovizna, a una larga distancia.

Permite ahorrar tiempo en la realización del tratamiento; sin embargo, hay estudios que demuestran que estos equipos son menos eficaces que las pistolas cuando se trabaja en cultivos tutorados, con una alta densidad de vegetación y configurados en líneas, debido a la baja uniformidad longitudinal y transversal de la distribución de fitosanitario dentro de las líneas de cultivo, al empleo de mayor volumen de caldo y a importantes pérdidas en el suelo (Sánchez-Hermosilla *et al*, 2012).



Cañón atomizador.

Fuente: <https://mavillenaquinariaagricola.com>



Carro con bomba, aplicación.

Fuente: proyecto precursor

- **Pulverizador electrostático:** funciona también con una bomba y estanque ubicado en un carro de arrastre manual o mecánico, con manguera y pistola. El sistema induce una carga electrostática a la solución, con lo cual se consigue que el fluido fitosanitario se dirija a la planta con mayor uniformidad, reduciendo las pérdidas al suelo y el chorreo (<http://alboransq.com>).



Pulverizador electrostático. Fuente: proyecto precursor.



Termonebulizador. Fuente: <http://unnoambiental.com.br>

- **Termonebulizadores:** equipos que utilizan calor para vaporizar cualquier tipo de producto líquido, creando una niebla uniforme de partículas muy pequeñas, que se expande gracias al calor y la presión con que es impulsada, depositándose sobre las plantas ([www.grupojuva.com](http://www.grupojuva.com)).
- **Nebulización automática mediante red fija:** este sistema fue el desarrollado por el proyecto precursor, por lo cual será descrito con mayor detalle más adelante. Está constituido por redes de tuberías distribuidas en el interior del invernadero, donde circula el fluido fitosanitario procedente de un depósito e impulsado por una bomba, ambos situados en una instalación externa al invernadero. Existen modelos de este tipo donde hay una tubería paralela por la que circula aire a presión generado por un compresor y que se conecta con la red de fitosanitario mediante pequeños conductos, de tal forma que el choque del líquido con la corriente de aire origina la división en finas gotas. Es utilizado también para el control de la temperatura en el invernadero (Sánchez-Hermosilla *et al*, 2012).
- **Nebulizadores móviles:** en los últimos años se han desarrollado y comercializado equipos dotados de barras pulverizadoras verticales, con varios portaboquillas, ubicadas en un móvil, el cual puede ser un carro manual que el operador traslada por los pasillos entre líneas, un vehículo con motor manejado por un operario, e incluso se han probado vehículos no tripulados operados externamente. Este tipo de equipos permite un mejor control de variables como la presión y la velocidad de trabajo, lo que en conjunto con la disposición vertical de las boquillas se traduce en aplicaciones más eficaces, más uniformes, con menores pérdidas en el suelo y con menores riesgos de exposición de los aplicadores. Sin embargo, su uso aún es poco difundido (Sánchez-Hermosilla *et al*, 2012).



Robot aplicador fitosanitarios.  
Fuente: AgriEngineering 2019, 1, 391–402



Vehículo para aplicación de fitosanitarios.  
Fuente: proyecto precursor.

## 2.2. Tecnología aplicada en el proyecto precursor

En general, a pesar de existir en el mercado equipos de aplicación técnicamente avanzados, tanto en Chile como en el mundo su empleo es muy escaso y se utilizan mayoritariamente las pistolas o lanzas pulverizadoras. Esto, unido a las condiciones en las que se desarrollan los cultivos en los invernaderos (alta densidad de plantación, humedad y temperatura elevada, escasa renovación del aire), origina una serie de problemas asociados a los tratamientos fitosanitarios, como son:

- Baja eficacia de los tratamientos.
- Elevados riesgos de contaminación ambiental.
- Riesgos para la salud de los operarios.

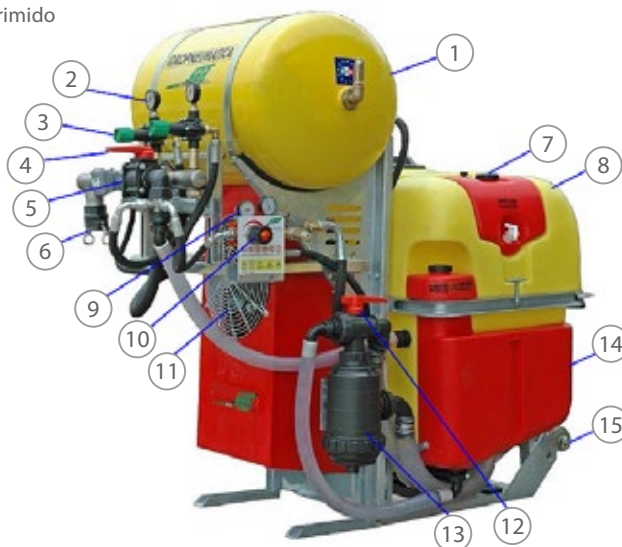
La solución innovadora planteada corresponde a un **sistema de pulverización hidráulica en una red fija de conducción**, es decir, se impulsa líquido a presión en tuberías mediante una bomba, el cual al atravesar una boquilla calibrada y encontrarse con la resistencia que le ofrece el aire, se dispersa en finas gotas.

El principio de funcionamiento del sistema se basa en agua y aire comprimido. En primer lugar, se inyecta aire en el sistema a 2,5 bar, e inmediatamente después se libera el agua a una presión de 3 bar. Cuando se ha completado el volumen de agua a aplicar, de acuerdo con el requerimiento de las plantas, y que puede leerse en el caudalímetro del equipo, se continúa aplicando solo aire; luego se abre la válvula de expulsión del líquido en las tuberías y se recoge en un recipiente el líquido remanente.

El equipo utilizado es un **pulverizador hidráulico** especialmente diseñado para la operación en invernaderos, de fabricación italiana. Cuenta con un estanque con capacidad de 500 litros. Para su funcionamiento, se ubica en el exterior del invernadero y se conecta a la toma de fuerza de un tractor, el cual puede ser de tracción simple o tracción asistida, con una potencia igual o superior a 80 HP.

**Figura 2. Componentes principales de pulverizador hidráulico utilizado en el proyecto**

1. Estanque de acero para aire comprimido
2. Manómetro de líquido
3. Regulador de presión de líquido
4. Válvula líquido
5. Cuenta litro digital
6. Conexión manguera principal
7. Estanque agua, lavado de manos
8. Estanque polietileno de 500 litros para líquido fitosanitario
9. Manómetros de aire
10. Regulador de presión de aire
11. Compresor de aire
12. Válvula de retrolavado
13. Filtro de aspiración de líquido principal
14. Estanque de retrolavado
15. Chasis principal



Fuente: proyecto precursor.

El equipo cuenta con una bomba pistón-membrana LT 300 que aspira el líquido desde el estanque y lo hace pasar por el filtro principal hacia la unidad reguladora de presión. La presión debe ajustarse en 3 bar para la correcta operación. El líquido pasa por un caudalímetro, que registra el volumen de líquido que se está aplicando, para lo cual se requiere conexión al sistema eléctrico del tractor.

Para la inyección de aire comprimido, se pone en marcha el compresor hasta alcanzar una presión de 10 bar; luego se abre la válvula de entrega de aire e inmediatamente se abre también la válvula de impulsión de líquido por 15 segundos; luego se cierra la válvula del líquido y la entrega de aire continúa funcionando. Transcurridos 20 segundos de la aplicación del último emisor, un operador abre la válvula final para descargar el remanente del líquido que se encuentra en el interior de las tuberías. La aplicación de aire continúa funcionando hasta completar 2 minutos y 10 segundos desde el inicio de la aplicación; en ese momento se cierra la válvula de entrega de aire y se abre la válvula más externa para aliviar la presión dentro del sistema.



La preparación de las mezclas de fitosanitarios a aplicar se realiza de acuerdo con las indicaciones de cada producto, tomando las mismas precauciones y medidas de seguridad personal que en cualquier otro sistema convencional. En este punto el operador está expuesto a la posible toxicidad del producto, por lo cual deben utilizarse los equipos de protección personal reglamentarios.

El pulverizador se conecta a una red de tuberías principales de PVC (cloruro de polivinilo) ubicadas en el exterior del invernadero, las que distribuyen el líquido en el interior mediante una serie de tuberías de LDPE (polietileno de baja densidad).

Algunas de las piezas del sistema de distribución son:

- Conexión: pieza metálica que conecta la salida del fluido del pulverizador con las tuberías principales del invernadero.
- Válvulas de bola: para la apertura y cierre de la distribución del líquido en las tuberías principales.
- Tubería de PVC: líneas principales de ingreso del líquido al invernadero.
- Tubería de LDPE: para la distribución del fluido en el interior del invernadero.
- Abrazaderas metálicas: sujeción de tuberías a estructura de madera de invernadero.
- Fitting LDPE y PVC: uniones de tuberías.
- Emisores: rociadores o “mister”, modelo 4191, marca Tavit. El rociador va unido a una válvula antidrenante o antigoteo (NDV) para la apertura y cierre simultaneo de los emisores, deteniendo el drenaje o goteo de agua al momento del cierre. El emisor seleccionado corresponde a un caudal de 35 litros por hora, a una presión de 2 bar (0,58 litros por minuto), tamaño de boquilla 0,8 milímetros. Permite distribuir líquido en un ángulo de 320°, alcanzando un diámetro de riego de 2,5 metros de ancho cuando se ubica a 2,0 metros de altura con 2 bar de presión. Genera gotas de 0,15 mm de diámetro a 3 bar de presión, solo con agua; el tamaño de la gota disminuye al aumentar la presión y al agregar aire comprimido.



Algunos componentes del sistema de distribución de fitosanitarios.



Vista general y detalle de conexión de pulverizador con tuberías principales (proyecto precursor).



Detalle de conexión de tubería externa de PVC con tubería interna (proyecto precursor).

La forma de instalación y sujeción de las tuberías dentro del invernadero depende de la estructura de este. Tratándose de una estructura con vigas o largueros de madera en el interior, las tuberías deben ser fijadas a la madera mediante abrazaderas; mientras que en aquellos cuya estructura interior es estabilizada con alambres tensados, las tuberías deben amarrarse a estos alambres. De este modo las tuberías y los emisores mantienen la posición de trabajo correcta.



Sujeción de tubería con amarras a alambre (proyecto precursor).



Sujeción de tuberías a largueros de madera (proyecto precursor).

En los módulos implementados en el proyecto se instalaron tres tuberías paralelas, en sentido longitudinal del invernadero, con emisores cada 2 metros.

Como en cualquier método de aplicación de fitosanitarios, es fundamental calcular de manera objetiva y con la mayor precisión posible el volumen de producto a aplicar según el estado fenológico de las plantas y la dosificación de cada producto. Debe tenerse en cuenta que el modelo fue diseñado para una nave de 240 m<sup>2</sup>, obteniéndose después de la aplicación un volumen de 15,4 litros en la válvula de recogida final. Por lo tanto, al volumen de producto calculado para la nave debe adicionarse 15,4 litros de solución fitosanitaria.



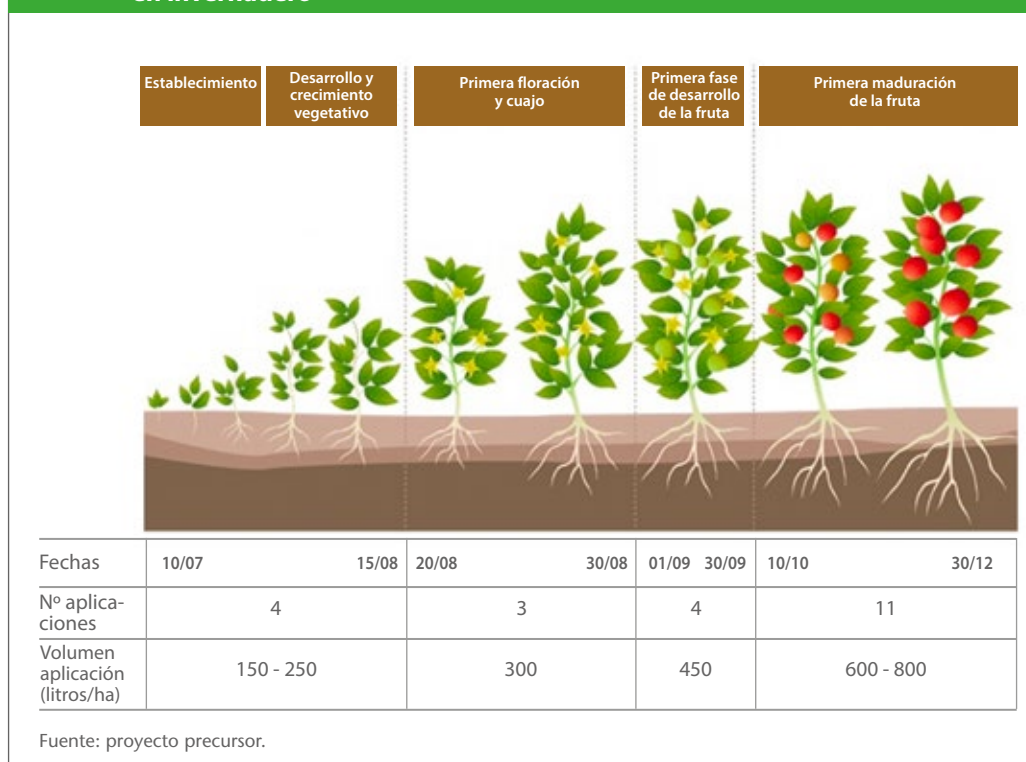
Bomba conectada a sistema de tuberías (proyecto precursor).

### ► 3. La innovación tecnológica

El sistema desarrollado permite automatizar las aplicaciones de fitosanitarios y reducir la exposición del personal a los agroquímicos, ya que se realiza sin la presencia de operarios en el interior del invernadero. Sin embargo, en publicaciones realizadas en España (país líder en cultivo protegido de tomate), se ha descrito que este sistema genera distribuciones poco uniformes, sobre todo cuando la vegetación está muy desarrollada. En esta situación las gotas tienen dificultad para alcanzar las partes bajas de la planta y el envés de las hojas, y se concentra más fluido en las proximidades de los emisores. Para evitar este problema, algunas instalaciones incorporan ventiladores con el objetivo de distribuir mejor las gotas en el invernadero. Otro inconveniente de estos sistemas es que distribuyen el fluido en todo el volumen del invernadero, sin tener en cuenta las zonas donde no hay vegetación, generando importantes depósitos en el suelo y un mayor consumo de fitosanitarios (Sánchez-Hermosilla *et al*, 2012). Algunas de estas debilidades fueron también observadas en el proyecto precursor, especialmente en lo referido al mayor volumen de aplicación.

La tecnología utilizada en este proyecto existe y se aplica en otros países y en otros rubros agrícolas, como en viveros, por lo cual se desarrolló un sistema de conducción para adaptar el sistema a las dimensiones y el diseño de los invernaderos en la zona aplicada.

**Figura 3. Volúmenes de aplicación según estado de desarrollo de plantas de tomate en invernadero**



De acuerdo con los términos en que se desarrolló, el sistema sería operativo para módulos de una superficie de 240 m<sup>2</sup>, los que pueden ser replicados según la realidad de cada agricultor. El sistema alcanza adecuados niveles de eficiencia en el volumen de producto aplicado cuando la demanda de aplicación es de un mínimo de 800 litros por hectárea, aproximadamente, lo que equivale a unos 20 litros en 240 m<sup>2</sup>. Para la Región del Maule, esto se alcanza en las últimas etapas del cultivo, cuando las plantas superan los 120 cm de altura, en los meses de noviembre y diciembre.

De este modo, el modelo tecnológico probado podría ser competitivo, en términos de eficacia con los métodos tradicionales de aspersión, en la segunda mitad del ciclo productivo. Antes de eso, el mayor volumen de aplicación del sistema innovador genera un costo adicional y una sobredosificación dentro del invernadero. Bajo este mismo concepto, el sistema tendría un mayor retorno sobre la inversión en zonas donde se realizan ciclos productivos más largos, como sucede en el extremo norte de Chile, donde se utiliza plantas injertadas en ciclos de 10 meses. En esos casos, la tecnología podría ser más efectiva que la aplicación tradicional durante un lapso de aproximadamente 8 meses, lo que la haría más atractiva para el agricultor.

Por otro lado, el hecho de no requerir personal al interior de las naves es una ventaja por sobre cualquier otra tecnología que deba ser operada por un trabajador.

La inversión estimada alcanza aproximadamente a \$19 millones para 1 hectárea, lo que incluye el equipo de nebulización y el sistema de conducción. Este alto valor de la inversión total hace que el sistema sea difícil de implementar en forma individual por un pequeño o mediano agricultor; sin embargo, si cada agricultor invierte solamente en el sistema de conducción y los aspersores, y a través del cooperativismo el mismo equipo puede ser utilizado por un grupo de agricultores, la tecnología podría bajar sustancialmente sus costos de implementación. Aun así, la inversión en la red de tuberías supera ampliamente a la inversión en equipos convencionales de carretilla o bomba de espalda.

Si bien los principios de la tecnología son replicables a cualquier cultivo en invernadero, todo el diseño se realizó de acuerdo con los requerimientos del tomate, por lo cual debe ser evaluado para su posible réplica en otras especies.

Dado que el sistema requiere ser optimizado en varios aspectos, especialmente en lo referido a la mejora en la uniformidad de distribución entre los emisores, la tecnología no se ha mantenido en el tiempo y no se visualiza una rápida introducción en el mercado.

## ► 4. El valor de la herramienta desarrollada

---

Desde el punto de vista del productor, los principales beneficios de la tecnología utilizada fueron la significativa reducción de la exposición a plaguicidas del personal a cargo de las aplicaciones de agroquímicos y la reducción en el tiempo de aplicación. Esto implica un beneficio económico, por concepto de menor requerimiento de mano de obra y menor riesgo de intoxicaciones, lo que a su vez implica menor ausentismo laboral, menor pérdida de productividad y disminuir otros costos asociados. Cualquier sistema que opere sin personal dentro del invernadero conlleva inmediatamente a una reducción drástica de la probabilidad de sufrir intoxicaciones agudas, y a largo plazo contribuye a bajar la incidencia de alteraciones crónicas de salud por exposición prolongada a plaguicidas.

La aplicación semiautomatizada implica también una distribución más homogénea a nivel de planta, ya que no es dependiente de la pericia o precisión del operador.

En términos de resultados observados, el control de plagas/enfermedades y la presencia de residuos de plaguicidas en los frutos no fueron distintos del sistema tradicional, por lo cual el sistema es eficaz para cumplir su objetivo.

Desde el punto de vista social, la protección de la salud de los trabajadores genera un beneficio social que difícilmente puede ser calculado en términos monetarios, tanto por las intoxicaciones agudas como por las consecuencias a largo plazo de la exposición a plaguicidas de los trabajadores agrícolas y sus familias. A lo anterior debe agregarse los costos en los que debe incurrir el Estado por atención médica y hospitalizaciones derivadas de esas alteraciones a la salud, algunas de las cuales pueden manifestarse años después.

En este ámbito de orden social, numerosas organizaciones no gubernamentales y organismos internacionales han alertado sobre la necesidad de que las políticas públicas incorporen en sus análisis de costo/beneficio los costos económicos, sanitarios y ambientales derivados del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos. En el informe de Hilal Elver (2017), Relatora Especial de Naciones Unidas sobre el Derecho a la Alimentación, se señala que “los plaguicidas peligrosos implican un costo considerable para los Gobiernos y tienen consecuencias desastrosas para el medio ambiente, la salud humana y la sociedad en su conjunto, afectando a diversos derechos humanos y sometiendo a determinados grupos a un mayor riesgo de ver vulnerados sus derechos”. Existe, por lo tanto, una estrecha relación entre el uso de plaguicidas peligrosos, la salud pública y los derechos humanos, que debería ser tomada en consideración en conjunto con las variables económicas y productivas.

No se han realizado en Chile análisis sistemáticos de los impactos económicos y sociales del uso de plaguicidas agrícolas. En esta línea, un estudio realizado en la Región de Coquimbo (Ramírez *et al*, 2014) se orientó a determinar los costos asociados con los servicios de atención médica utilizados por las personas que sufrieron intoxicación aguda por plaguicidas relacio-



nados con el trabajo, así como los costos económicos para sus familias, para el empleador y la industria. Los resultados arrojaron que el 77% de los casos son de carácter ambulatorio y recibirían asistencia en una sala de emergencias, con un costo promedio de US\$ 330 por caso. El 23% restante serían casos que podrían necesitar hospitalización y, por lo tanto, más días de ausentismo laboral, y que tienen un costo promedio de US\$ 1.158 por caso. Teniendo en cuenta el número de pacientes reportados cada año en el país, el costo anual sería de aproximadamente US\$ 185.000, pero considerando el subregistro de intoxicaciones y la subestimación de los costos en las tarifas del sistema público de seguros, esta cantidad podría ser de seis a ocho veces mayor (US\$ 1,1 a US\$ 1,4 millones por año).

## ► 5. Conveniencia económica para el productor

De acuerdo con los módulos productivos implementados en el proyecto, el modelo más económico de implementación consiste en una red de tuberías de LDPE (polietileno de baja densidad o polietileno virgen) instaladas en un invernadero preexistente con estructura y vigas de madera. A esta red de tuberías se conecta la bomba que inyecta el líquido a presión para aplicar el producto fitosanitario.

En el siguiente cuadro se presentan los costos para la implementación de la unidad productiva desarrollada en el proyecto, formada por 3 naves de 6 x 40 metros y una superficie total de 720 m<sup>2</sup>.

**Cuadro 2. Inversiones proyecto individual de aplicación semiautomatizada de agroquímicos en invernadero**

Ítem costo	Unidad	Nº unidades por modulo 720 m <sup>2</sup>	Costo total (\$) modulo 720 m <sup>2</sup>	Costo total (\$) equivalente 1 ha
<b>Equipo de aplicación</b>	unidad	1	12.500.000	12.500.000
<b>Materiales instalación<sup>3</sup></b>				
Tubería de LDPE	metro	380	63.026	875.365
Tubería de PVC	tira de 6 m	3	4.976	69.108
Abrazaderas metálicas	unidad	180	26.467	367.594
Fitting LDPE	unidad	10	1.223	16.991
Fitting PVC	unidad	9	24.349	338.187
Emisores	unidad	180	250.400	3.477.775
Válvulas	unidad	1	1.529	21.239
Conexión	unidad	1	14.469	200.952
Pegamentos	unidad	1	4.352	60.449
Tornillos	unidad	360	6.352	88.223
Coplas LDPE	unidad	5	465	6.453
Tapón	unidad	1	10.587	147.038
<b>Subtotal materiales</b>			408.195	5.669.373
<b>Mano de obra instalación</b>				
Mano obra especializada	Jornadas	9	225.000	3.125.000
<b>Sub total mano de obra</b>				3.125.000
<b>TOTAL</b>			13.133.195	21.294.374
<b>Total / m<sup>2</sup></b>			18.241	2.129

Fuente: elaboración propia en base a proyecto precursor.

<sup>3</sup> Valores actualizados a UF de diciembre 2019, a partir de costos reales del proyecto. Emisores cotizados con proveedor, diciembre 2019.





Puesto que el sistema es eficiente en la última etapa del cultivo, cuando los volúmenes de aplicación alcanzan aproximadamente los 800 litros por hectárea, la recomendación sería utilizar sistema tradicional de aspersión cuando las plantas midan menos de 120 cm, y el sistema innovativo cuando las plantas superen esta altura. De este modo, no se genera sobredosificación y no se elevan los costos por fitosanitarios.

Utilizando el sistema innovador, se estima que el requerimiento de mano de obra para la aplicación en la última etapa podría **reducirse en un 90%**, lo que genera que la mano de obra total utilizada en el nuevo sistema alcance un 36% del sistema tradicional. Valorizando la mano de obra a \$ 18.000 por jornada, se obtiene un ahorro de \$ 712.800 por hectárea.

**Cuadro 3. Comparación mano de obra aplicación, entre sistema tradicional e innovador**

	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4 (600-800 L/ha)	Total JH	\$ Mano de obra
N° aplicaciones: 22	4	3	4	11		
<b>Sistema tradicional</b>						
JH/aplicación	1	1,5	2,25	4,0		
JH/Ha	4	4,5	9	44	61,5	1.107.000
<b>Sistema innovador</b>						
JH/aplicación	1	1,5	2,25	0,4		
JH/Ha	4	4,5	9	4,4	21,9	394.200

Fuente: elaboración propia en base a proyecto precursor.

Para reducir el monto individual de inversión y optimizar el uso del equipo, este podría ser adquirido mediante un modelo asociativo donde pueda ser compartido entre un grupo de agricultores. A pesar de ello, dada la inversión en habilitación del sistema de aspersión cercana a los \$9 millones por hectárea, no se logra rentabilizar el proyecto desde el punto de vista privado.

## ► 6. Claves de viabilidad

La tecnología requiere optimizar diversos aspectos propios de la operación, como el diseño hidráulico, la disposición de las tuberías y el tipo de aspersor, entre otros aspectos que permitan un mayor grado de uniformidad en la aplicación.

Se requiere también evaluar un diseño más versátil que permita hacer aplicaciones con menores volúmenes en las etapas más tempranas del cultivo, sin perder uniformidad. Por otra parte, para hacerlo atractivo en invernaderos de mayor superficie y masa vegetal, el diseño debiera ser modificado para poder cubrir una mayor superficie sin perder efectividad.

La capacitación de operadores y agricultores es fundamental para el éxito de cualquier tecnología de aplicación, especialmente cuando existe riesgo para la salud del personal. Debe considerarse que incluso las técnicas más sencillas pueden realizarse de forma segura si se siguen las directrices y normativas de seguridad, muchas de las cuales incluso están consagradas en la legislación nacional y son de carácter obligatorio.

Si bien los aspectos mencionados podrían ser mejorados mediante nuevos ensayos y modificaciones de diseño, para recomendar un sistema de este tipo deberían evaluarse también, desde un punto de vista técnico y económico, alternativas como los equipos nebulizadores móviles y otras tecnologías ya existentes en el mercado internacional, o bien prototipos en desarrollo.



## ► 7. Asuntos por resolver

---

- Optimizar el diseño del sistema de conducción de forma integral, de modo de asegurar una uniformidad de aplicación de acuerdo con estándares aceptables. Considerar el diseño en espina de pescado u otros que favorezcan una menor pérdida de volumen de emisión en los distintos sectores del invernadero.
- Evaluar la distribución global del caldo en toda la superficie del invernadero, distinguiendo el volumen depositado en suelo, paredes interiores y en plantas.
- Reevaluar la efectividad en el control de plagas y la generación de residuos en fruta, de acuerdo con los nuevos parámetros de funcionamiento.
- Comparar la técnica no solo con bomba de espalda, sino también con sistema de carretilla, utilizado en muchos invernaderos de tomate de mayor tamaño.
- Evaluar la factibilidad económica de implementación para el tipo de agricultor potencialmente usuario, de acuerdo con los nuevos parámetros de funcionamiento.





# El proyecto precursor

## ► 1. Características generales

---

El proyecto “Control semiautomatizado de plagas y enfermedades en invernaderos de tomate para la reducción de plaguicidas y protección de la salud humana” tuvo una duración de 3 años, finalizando en abril de 2017. Su objetivo fue desarrollar y validar un sistema de aplicación segura y efectiva de plaguicidas en invernaderos de tomate, sin la intervención humana en su interior. Se estructuró en torno a los siguientes objetivos específicos:

1. Diagnosticar la línea base actual del sistema de aplicación de plaguicidas en Colón.
2. Establecer 4 unidades demostrativas en predios de los productores, donde se evalúe la nueva tecnología.
3. Efectuar las aplicaciones de acuerdo con un sistema de monitoreo debidamente validado.
4. Capacitar a la mayoría de los productores de Colón en la utilización de la nueva tecnología

Cada uno de los objetivos específicos se desarrolló de acuerdo con la siguiente metodología:



## Diagnóstico de línea base del sistema de aplicación de plaguicidas en Colín

Con el fin de conocer la situación de los productores de tomate en Colín, zona donde se desarrollaron las actividades del proyecto, se realizó un diagnóstico a 65 productores de la zona.

Los resultados más relevantes indican que a lo largo de los años ha habido un aumento en la superficie productiva, mediante el incremento del número de naves por productor. En el año 2006 se describía que la mayoría de los agricultores tenía 11 a 20 naves, con un 82% de los productores entrevistados con menos de 20 naves. En el último diagnóstico, el 50% de los productores registraron 21 a 40 naves, con un 6% que sobrepasa las 60 naves por productor.

El incremento de la superficie de invernaderos es un factor que estimula la incorporación de nuevas tecnologías, ya que los sistemas convencionales de aplicación demandan mayor dedicación de mano de obra y se van haciendo menos rentables conforme aumenta la superficie.

Con respecto al uso de plaguicidas, resulta relevante destacar que los productores no mantienen registros de sus aplicaciones, es decir, no mantienen cuadernos de campo. Por lo tanto, no es posible evaluar la aplicación efectiva de los productos, sino que solo se puede deducir en base a los productos declarados y las indicaciones de uso. Con estos supuestos, se describe que los productores de Colín en conjunto utilizan 30 productos comerciales para el control de plagas, con 21 ingredientes activos que corresponden a 12 grupos químicos de acuerdo con la clasificación de la IRAC (*Insecticide Resistance Action Committee*). De los productos empleados, el de mayor impacto ambiental, dado por las características del principio activo y el volumen de aplicación, es el insecticida "Monitor® 600", de principio activo Metamidofos. Según los registros del SAG, desde junio de 2019 este producto se encuentra en estado de "caducado o expirado", lo que significa que a causa de elevada toxicidad solo puede ser distribuido, exportado o vendido hasta una fecha límite (15 junio de 2021) o hasta agotar existencias.

## Establecimiento de unidades demostrativas en predios de los productores para evaluación de la nueva tecnología

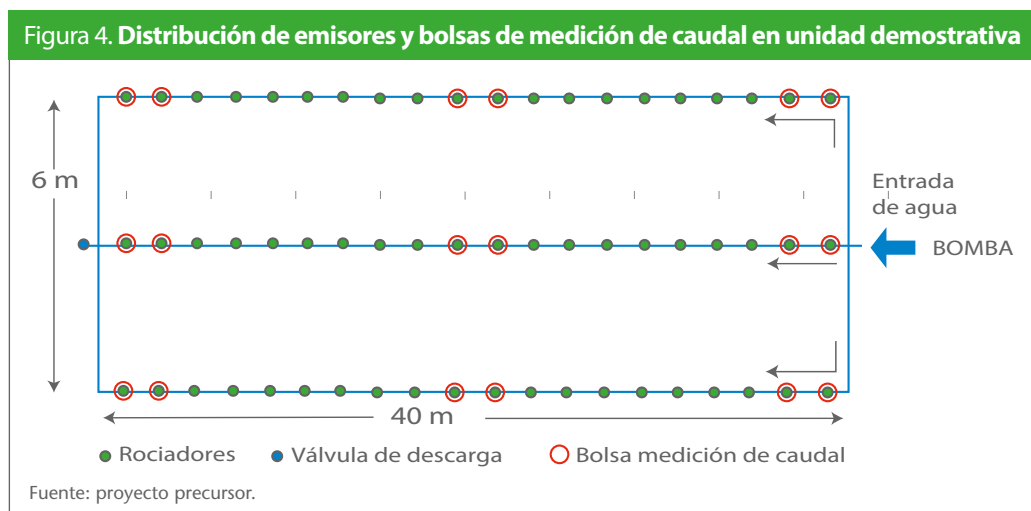
Se implementaron unidades demostrativas en invernaderos de dos agricultores (sectores Colín y Unihue), siendo uno de ellos un profesional ingeniero agrónomo que realiza asesorías a los agricultores de la zona. En la primera temporada, se evaluó una nave en cada unidad demostrativa, mientras que en la segunda temporada se implementó el sistema en cuatro naves de una unidad y en tres naves de otra unidad, con el propósito de realizar una evaluación en condiciones más cercanas a la realidad productiva.

Se importó una máquina nebulizadora de origen italiano diseñada específicamente para invernaderos, con estanque de 500 litros y una bomba de 300 litros/minuto. Las unidades demostrativas consistieron en naves de 40 metros de largo por 6 de ancho. En el interior de estas naves se instaló bajo el techo una red de tres tuberías con aspersores cada 2 metros. Estos aspersores, del tipo rociador o “mister”, aplican un caudal de 0,58 l/min cada uno. Toda esta red se une a la entrada de la nave en una tubería de enganche rápido a la cual se conecta una manguera que sale del pulverizador y puede entregar un caudal de líquido y/o un caudal de aire comprimido.



Modulo agricultor en sector Unihue, de cuatro naves (proyecto precursor).

Se midió el caudal de uniformidad de los emisores en distintos sectores del invernadero mediante un método basado en Merriam y Keller (1978). Para ello se seleccionaron seis emisores en la entrada del invernadero, otros seis al centro y seis al fondo del invernadero, donde se ubicaron bolsas plásticas que permitieran recoger el volumen aplicado durante una prueba.

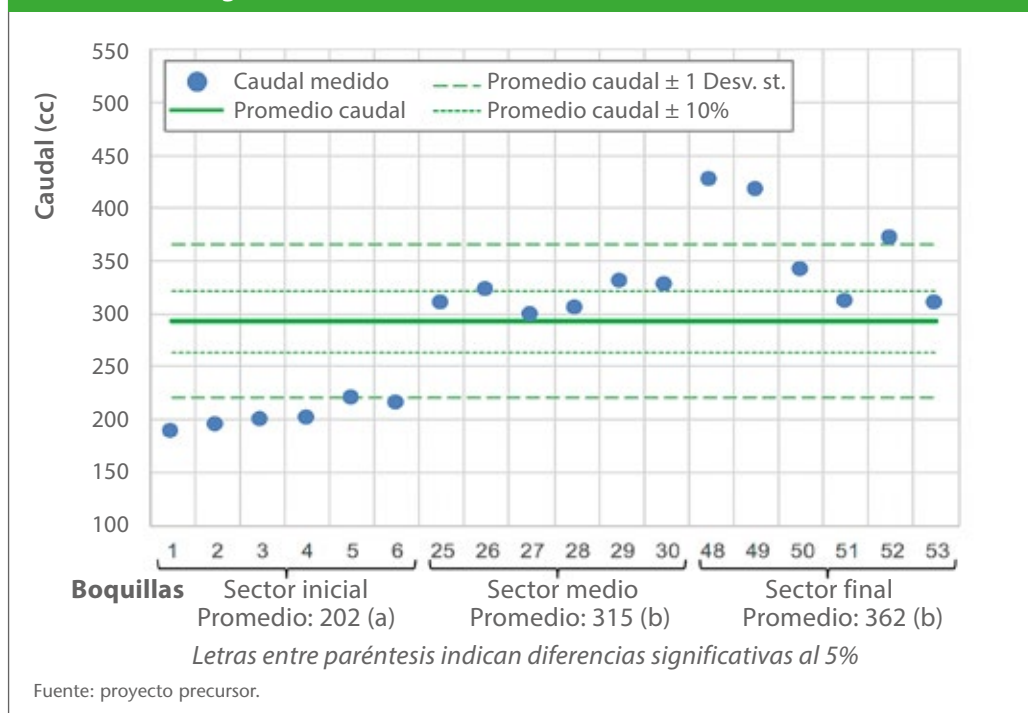


Se efectuaron cinco ensayos de uniformidad en la primera temporada, probando diversos volúmenes de agua y aire comprimido:

- Ensayo 1. Aplicación de agua y al final aire comprimido aplicando un equivalente a 917 L/ha (22 litros)
- Ensayo 2. Aplicación de aire, luego agua y finalmente aire para un equivalente a 917 L/ha (22 litros)
- Ensayo 3. Aplicación de aire, luego agua más aire y finalmente aire equivalente a 917 L/ha (22 litros)
- Ensayo 4. Igual al 3 para un equivalente a 750 L/ha (18 litros)
- Ensayo 5. Igual al 3 para un equivalente a 625 L/ha (15 litros)

De acuerdo con las pruebas realizadas, se obtuvo una baja uniformidad en la aplicación al utilizar el sistema convencional de agua y aire, alcanzando solo un 38,5%. Al modificar el sistema y aplicar aire, agua y aire, se logró mejorar la uniformidad hasta un valor de un 65%, y al utilizar el sistema de inyección de aire, agua más aire, y aire nuevamente, se logró incrementar la uniformidad hasta un 79%. Estas primeras pruebas se efectuaron con un volumen equivalente de aplicación de 917 L/ha, pero al tratar de disminuir los volúmenes de aplicación, el coeficiente de uniformidad se redujo a un 53% para un volumen de aplicación de 750 L/ha, y cuando el volumen equivalente disminuyó a 625 L/ha el coeficiente de uniformidad bajó a un 56%.

**Figura 5. Medición de uniformidad de caudal en ensayo con mejores resultados (aire – agua/aire – aire, volumen 917 L/ha)**





En la segunda temporada se realizaron otros ensayos de uniformidad probando distintas variables de operación:

Ensayo 1. Influencia de la apertura de la válvula de salida en el volumen de aplicación:

- C3: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba alto caudal Unidad Colín, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de la válvula de salida una vez completados los tres minutos de aplicación.
- C4: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba alto caudal Unidad Colín, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 30 segundos.
- C5: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba alto caudal Unidad Unihue, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 30 segundos.
- C6: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba bajo caudal Unidad Colín, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 20 segundos.
- C7: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba bajo caudal Unidad Unihue, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 20 segundos.

Ensayo 2. Influencia del tipo de aplicación para un sistema fijo de nebulización:

- C8: Caudal promedio (L/ha) de microjet Unidad Colín, usando inyección de agua (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 20 segundos.
- C6: Caudal promedio (L/ha) de microjet prueba bajo caudal Unidad Colín, usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar), bajo criterio de apertura de los 20 segundos.

Ensayo 3. Influencia del diseño del sistema para un sistema fijo de nebulización:

- C9: Caudal promedio (L/ha) de microjet Unidad Colín, con sistema de aplicación mejorado usando inyección de agua (3 bar) más aire (2,5 bar).
- C10: Caudal promedio (L/ha) de microjet Unidad Colín, con sistema de aplicación mejorado usando inyección de aire (2,5 bar) más agua-aire (3 bar) más aire (2,5 bar).

Todos los ensayos de la segunda temporada arrojaron valores de uniformidad más bajos que la primera temporada, con valores que fluctuaron entre el 25% y el 48%.

Al final del proyecto se realizó un ensayo en una empresa forestal de la Región del Biobío, la que contaba con un vivero de plantas en invernadero. Esta instalación ya contaba con una red de tuberías instalada en su interior, utilizada para humidificar el aire y regular la temperatura, por lo cual se probó con la bomba de fumigación conectándola a esta red, con una aplicación equivalente a 915 L/ha, alcanzando niveles de uniformidad del 83%. Esta experiencia demostró que, con un diseño hidráulico diferente, los niveles de uniformidad pueden ser incrementados de forma significativa.

### **Realización de aplicaciones y monitoreo del sistema**

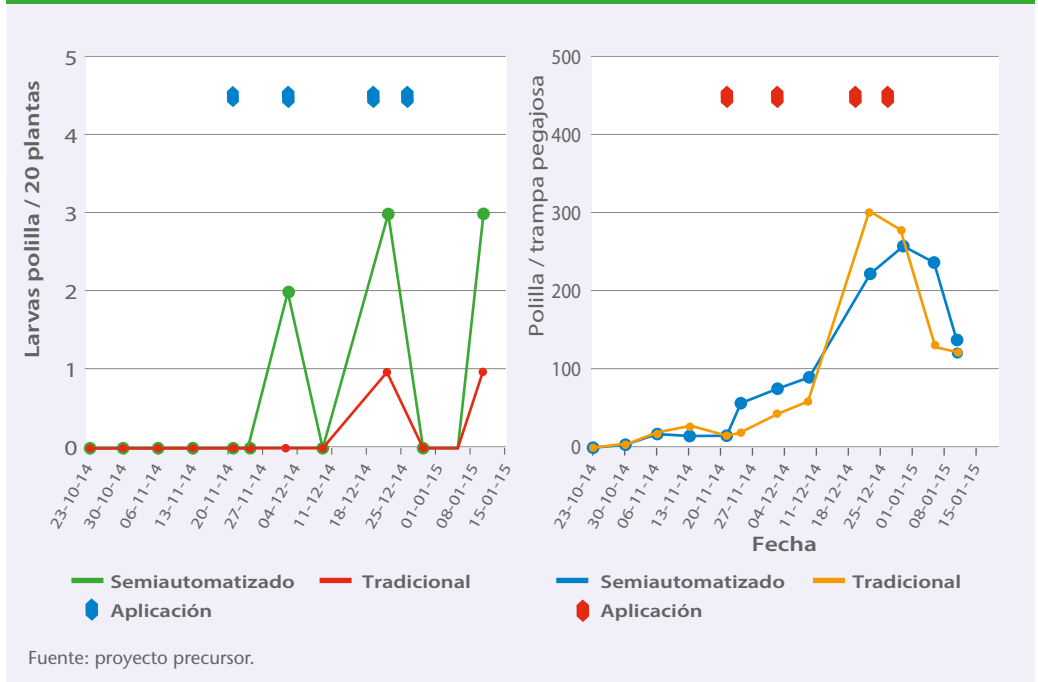
Durante dos temporadas seguidas se monitorearon las plagas y enfermedades presentes en los invernaderos de las unidades demostrativas, comparando el nuevo sistema con el tradicional aplicado con bomba de espalda.

- Monitoreo para larvas de polilla del tomate: número de galerías por folíolo, 5% de las plantas muestreadas.
- Monitoreo de adultos de polilla del tomate. Trampas pegajosas con cebo en base a feromona específica para *Tuta absoluta*, una trampa por nave de invernadero o sector diferenciado.
- Monitoreo de mosquita blanca. Conteo directo de huevos, ninfas y adultos por folíolo, al menos 3% de las plantas.
- Incidencia de *Botrytis cinerea* (número de plantas enfermas v/s número total de plantas) y severidad (grado de expresión de síntomas de acuerdo a escala relativa de 1 a 9) en plantas y frutos de tomate. Para determinar la incidencia se monitoreó en 8 fechas en la temporada 2014-2015 y 7 fechas en la temporada 2015-2016. En cada oportunidad se evaluaron 20 plantas por tratamiento. También se monitoreó en estas mismas fechas la aparición de otras enfermedades durante el cultivo en invernadero.

No se observaron otras especies de insectos o plagas que justificaran implementar otras mediciones.

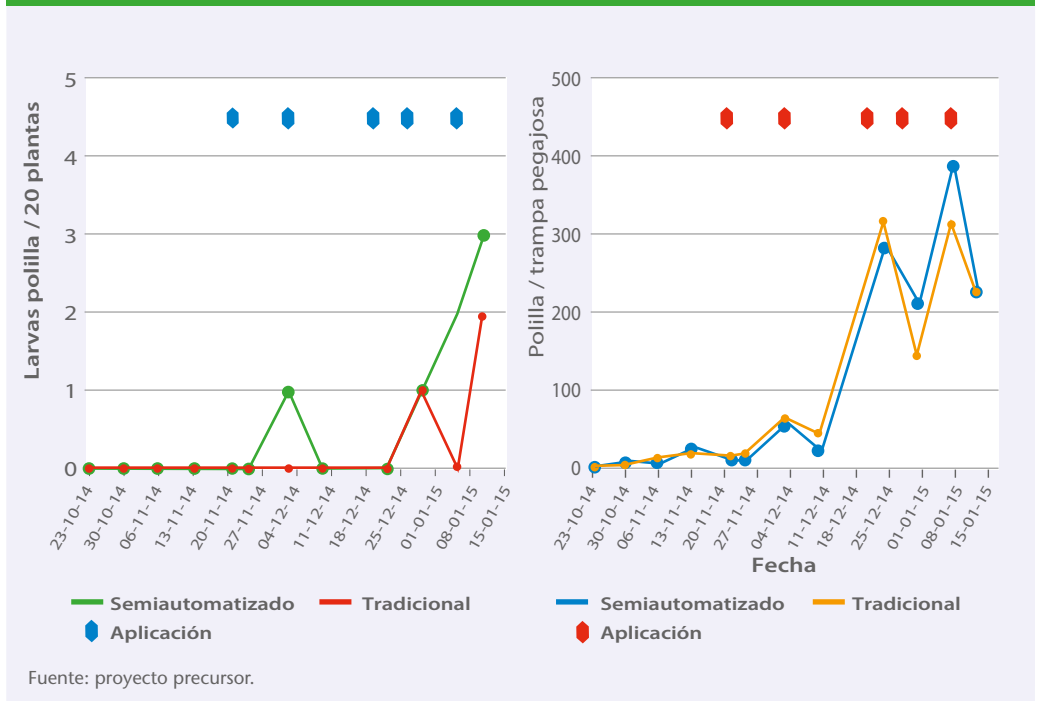
Los resultados para la polilla del tomate no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos sistemas de aplicación en las dos unidades demostrativas, tanto en la primera temporada como en la segunda temporada.

**Figura 6. Control polilla del tomate según sistema de aplicación, unidad demostrativa Colín (temporada 2014-2015)**



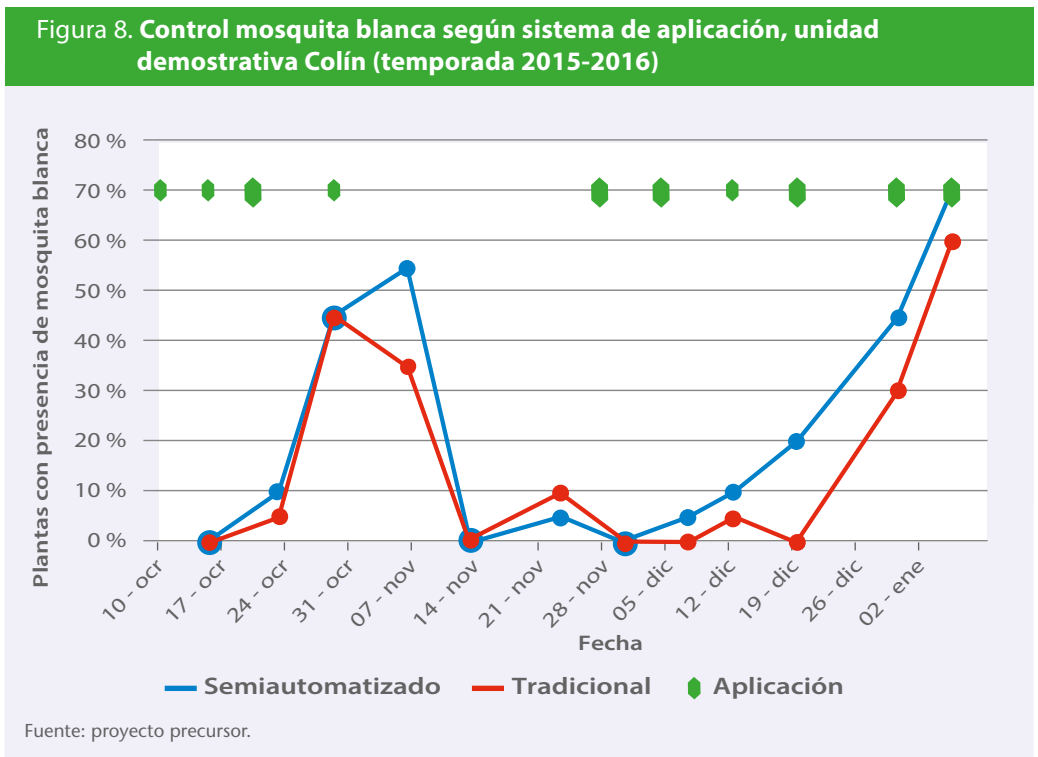
Fuente: proyecto precursor.

**Figura 7. Control polilla del tomate según sistema de aplicación, unidad demostrativa Unihue (temporada 2014-2015)**

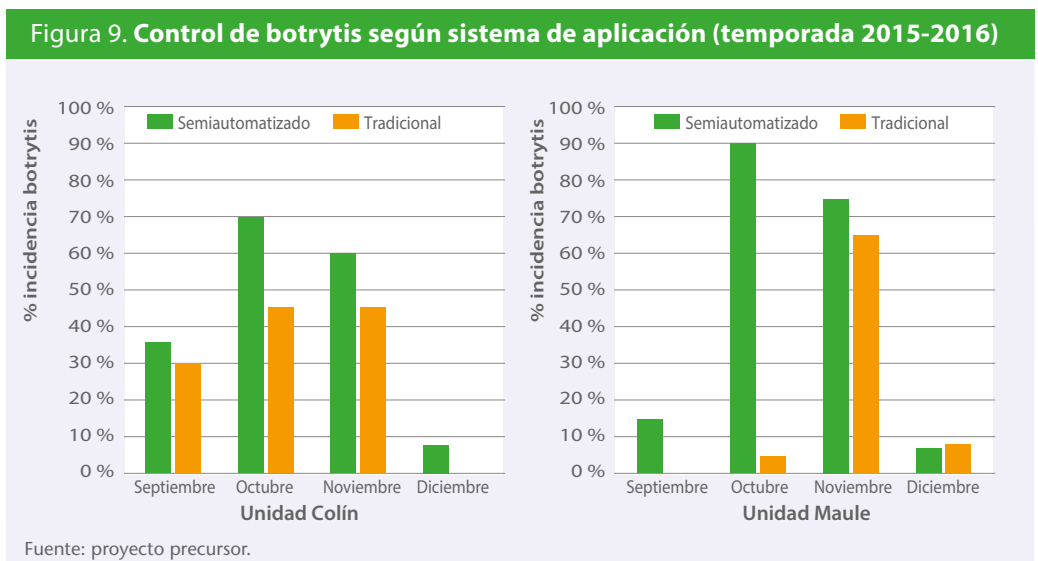


Fuente: proyecto precursor.

El control de la mosquita blanca tampoco presentó diferencias en ambos sistemas, como se observa en la siguiente figura, en que se muestran los resultados de la unidad demostrativa de Colín.



Tampoco se registraron diferencias estadísticamente significativas en el control de botrytis entre ambos sistemas.



Normalmente la presión de botrytis no es la misma en toda la temporada, al principio es muy baja y en noviembre alcanza los valores más altos. En invernadero la presión de botrytis es muy grande, por lo cual más relevante que la incidencia es la severidad, es decir, el porcentaje de la planta que está afectada por la enfermedad. En este caso la severidad fue muy baja (inferior a 2) para ambos tratamientos, incluso en el mes de noviembre, cuando se detectaron las más altas incidencias.

Donde sí se registraron diferencias fue en el volumen de producto aplicado, ya que con el sistema semiautomatizado se requiere un volumen de aproximadamente 24 litros para llenar la red de tuberías. Esto equivale a un volumen de 800 L/ha, lo cual es superior a lo requerido en las primeras etapas del cultivo. La causa de esta sobredosificación fue que si no se llenan las tuberías no se genera presión en el sistema y no se logra una distribución homogénea dentro de la nave.

**Cuadro 4. Volumen de aplicaciones según sistema y unidad demostrativa**

	Tradicional	Semiautomatizado	Diferencia
<b>Unidad demostrativa Maule</b>			
Aplicaciones/temporada	7	7	0
Volumen total (L/temporada)	4375	6576	+50%
Carga total (L o kg P.C./temporada)	2938	4374	+49%
Carga total (L o kg I.A./temporada)	534	788	+48%
<b>Unidad demostrativa Colín</b>			
Aplicaciones/temporada	11	11	0
Volumen total (L/temporada)	6250	8335	+33%
Carga total (L o kg P.C./temporada)	4625	6142	+33%
Carga total (L o kg I.A./temporada)	1489	1956	+31%

Fuente: proyecto precursor.

Para la evaluación de los residuos de plaguicidas, se recolectaron muestras en épocas de cosecha, en dos temporadas. Para cada muestra se tomaron dos kilogramos, recolectados de manera aleatoria, usando uno para los análisis y manteniendo el resto congelado como contramuestra.

La determinación analítica se realizó con un método multiresidual, y para la identificación de los plaguicidas se usaron cromatógrafos de gases, con detectores de captura de electrones y de nitrógeno/fósforo. Para el caso de los metil-carbamatos se utilizó un cromatógrafo líquido de alta resolución (HPLC) con reactor post-columna y detector de fluorescencia.

Pese a que el sistema presurizado aplicó un 50 % más de agua y por ende, mayor cantidad de plaguicidas, esto no se reflejó en una mayor cantidad de residuos de los ingredientes activos en los frutos, en los cuales no se tuvo trazas detectables de residuos, versus el sistema

tradicional de aplicaciones, en cuyo caso sí se encontraron algunas trazas de residuos. En todos los casos se encontraron bajo el límite permitido para residuos según la normativa nacional.

### **Difusión y capacitación de agricultores en la utilización de la nueva tecnología**

Los resultados del uso de la nueva tecnología fueron expuestos en diversas actividades de campo en las unidades demostrativas, ubicadas en el sector de Colín, comuna de Maule. La vinculación del equipo técnico y los asociados con los agricultores de la zona permitió una alta afluencia de productores a las actividades de difusión, por lo cual la iniciativa fue ampliamente conocida y divulgada.



Exposición en día de campo (proyecto precursor).

## ► 2. Validación de la tecnología

El proyecto desarrolló diversas metodologías que generaron resultados verificados de carácter técnico, los que pueden agruparse en torno a tres líneas principales:

- El sistema puede ser operado sin ingreso de personal al interior del invernadero durante la aplicación, por lo cual, si se toman las medidas adecuadas de manipulación de fitosanitarios, periodo de reingreso al invernadero y otras prácticas generales de seguridad, el riesgo para la salud es significativamente menor al del sistema tradicional.
- El control de mosquita blanca, polilla del tomate y botrytis fue estadísticamente equivalente al alcanzado con el sistema tradicional de aplicación de plaguicidas.
- Se verificó que la técnica desarrollada, en comparación con el sistema tradicional de aplicación con bomba de espalda, aplicó entre un 33% a un 50% más de agua y de plaguicidas en las etapas iniciales del cultivo, dependiendo de la unidad demostrativa analizada. Este hecho mostró que, en el estado actual de la tecnología, esta es más adecuada cuando las plantas ya han alcanzado su tamaño final, que a su vez coincide con el período de mayor demanda de fitosanitarios. Para las etapas iniciales, con plantas muy pequeñas, se podría utilizar el sistema tradicional o rediseñar el sistema nuevo.
- Los tomates bajo el nuevo sistema mostraron muy bajos niveles de residuos de pesticidas, en comparación con los tomates tratados de la forma tradicional.



Vista del sistema de aplicación en el interior de un módulo (proyecto precursor).





# El valor del proyecto precursor y aprendizaje

El proyecto inició las pruebas para implementar un sistema de aplicación de fitosanitarios mucho más seguro para los trabajadores agrícolas. Los resultados obtenidos son prometedores, en el sentido de que es posible instalar un sistema de esta naturaleza para pequeñas o medianas unidades productivas en el último periodo de desarrollo, cuando se aplican los volúmenes más elevados de productos.

Se logró efectuar un control de plagas y enfermedades similar al sistema tradicional con bomba de espalda, sin aumentar la cantidad de residuos en los frutos, pese al mayor volumen de fitosanitarios aplicado.

Mediante días de campos, talleres y seminarios se capacitó a los productores en la instalación y funcionamiento del sistema, quienes manifestaron un gran interés por aplicar la tecnología para reducir su exposición a los productos potencialmente tóxicos.

Si bien la tecnología requiere una mayor maduración y optimización para poder ser aplicada, se han sentado las bases para incorporar nuevas técnicas y equipos que pongan la salud y seguridad de los trabajadores como un objetivo indispensable en un sistema productivo.





# Anexos

---

Anexo 1. Bibliografía

---

Anexo 2. Entrevistas realizadas

---



## ANEXO 1. Bibliografía

---

González, P. 2019. Efecto de los plaguicidas sobre la salud humana. Exposición e impactos. Elaborado para la Comisión de Agricultura del Congreso Nacional, en el marco de la discusión del “Proyecto que prohíbe plaguicidas de elevada peligrosidad” (Boletín N° 6.969-01).

[https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=5301&tipodoc=docto\\_comision](https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=5301&tipodoc=docto_comision)

INIA. 2011. Manual de Campo Uso de Equipos Pulverizadores. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación INIA Carillanca. Boletín INIA N° 25. Temuco, Chile.

<http://biblioteca.inia.cl/medios/carillanca/boletines/NR38166.pdf>

INIA. 2012. Exitosa Experiencia de Manejo de Plagas en Invernaderos de Tomates con Métodos de Exclusión. Revista Tierra Adentro N° 99, julio-agosto 2012, pp 26-39.

<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/ta/NR38434.pdf>

INIA 2013. Estrategias de manejo fitosanitario para reducir el uso de plaguicidas. 190 p. Boletín INIA N° 268. Carlos Quiroz *et al* (eds), Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena.

<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR39117.pdf>

INIA. 2017. Manual de cultivo del tomate bajo invernadero. Boletín INIA N° 12, Editora Andrea Torres P. Instituto de Investigaciones Agropecuarias - Instituto de Desarrollo Agropecuario.

<http://www.inia.cl/wp-content/uploads/ManualesdeProduccion/12%20Manual%20de%20Tomate%20Invernadero.pdf>

M. Rozas, 2019. Situación de los Plaguicidas Altamente Peligrosos en Chile. Red de Acción en Plaguicidas, RAP-Chile.

<https://rap-al.org/wp-content/uploads/2019/04/INFORME-FINAL-HHP-0419-1.pdf>

MINSAL, 2019. Vigilancia Nacional de Intoxicaciones Agudas por Plaguicidas – REVEP. Departamento de Epidemiología, División Planificación Sanitaria, Subsecretaría de Salud Pública Chile.

[https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=5780&tipodoc=docto\\_comision](https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=tramitacion&ac=getDocto&iddocto=5780&tipodoc=docto_comision)

Naciones Unidas. 2017. Informe de la Relatora Especial sobre el derecho a la alimentación. Consejo de Derechos Humanos, 34º período de sesiones, 27 de febrero a 24 de marzo de 2017. Tema 3 de la Agenda, Promoción y protección de todos los derechos humanos, civiles, políticos, económicos, sociales y culturales, incluido el derecho al desarrollo.

<http://agripa.org//download-doc/137213>

OCDE/CEPAL, 2016. Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE).

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40308/1/S1600413\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40308/1/S1600413_es.pdf)

Peña, J. 2016. Caracterización de los casos por intoxicaciones agudas por plaguicidas en la Región de Arica y Parinacota, periodo 2005-2010. Tesis para optar al Grado de Magister en Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

[http://bibliodigital.saludpublica.uchile.cl:8080/dspace/bitstream/handle/123456789/505/Tesis\\_Jaime%20Pe%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigital.saludpublica.uchile.cl:8080/dspace/bitstream/handle/123456789/505/Tesis_Jaime%20Pe%C3%B1a.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ramírez M., Iglesias J., Castillo M. and P. Scheepers. 2014. Assessment of Health Care and Economic Costs Due to Episodes of Acute Pesticide Intoxication in Workers of Rural Areas of the Coquimbo Region, Chile. Value in Health Regional Issues Volume 5, December 2014, Pages 35-39.

<https://doi.org/10.1016/j.vhri.2014.07.006>

Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Páez, F. y M. Fernández. 2012. Equipos para Tratamientos Fitosanitarios en Invernaderos. Almería. Consejería de Agricultura y Pesca, Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2012. 1-17 p. (Producción Agraria).

<https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83&i3sc&contentId=86899ac7-a13e-41eb-a746-372ad1b8d3b1>

### **Páginas web consultadas:**

FAOSTAT – Sistema de Estadísticas. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

<http://www.fao.org/faostat/es/#home>

ODEPA. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, Ministerio de Agricultura, Chile.

<https://www.odepa.gob.cl/estadisticas-del-sector/estadisticas-productivas>

## ANEXO 2. Entrevistas realizadas

---

En la elaboración de este documento y su validación técnica, se utilizó información obtenida de entrevistas realizadas a las siguientes personas:

<b>Nombre</b>	<b>Cargo</b>
Luis Devotto y Jorge Riquelme	Equipo Ejecutor proyecto precursor, Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Pablo Castillo	Profesional asociado al proyecto y responsable unidad demostrativa
Francisco Silva	Agricultor, responsable unidad demostrativa
Robert Giovanetti	Encargado Macrozonal O'Higgins y Maule, Fundación para la Innovación Agraria
Boris Vicencio	Asesor cultivos protegidos, Auditor en Buenas Prácticas Agrícolas







139



---

SERIE EXPERIENCIAS DE INNOVACIÓN PARA EL EMPRENDIMIENTO AGRARIO

---