



Fundación para la
Innovación Agraria
MINISTERIO DE AGRICULTURA

RESULTADOS Y LECCIONES EN

Sistema de control biológico de plagas utilizando drones

AGRICULTURA SUSTENTABLE



Proyecto de innovación en
Región de Ñuble





1 4 9



RESULTADOS Y LECCIONES EN

Sistema de control biológico de plagas utilizando drones



Proyecto de innovación en
Región de Ñuble

Valorización a diciembre de 2020



Agradecimientos

En la realización de este trabajo agradecemos sinceramente la colaboración de los profesionales vinculados al proyecto, en especial a Luis Devotto y Stanley Best, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, y a los investigadores y profesionales entrevistados.

Resultados y lecciones en

Sistema de control biológico de plagas utilizando drones

Proyecto de innovación en Región de Ñuble

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

FUNDACIÓN PARA LA INNOVACIÓN AGRARIA

Santiago de Chile, diciembre 2020

Registro de Propiedad Intelectual N° 2021-A-2722

ISBN 978-956-328-262-7

ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO

Sergio Lara Pulgar, Médico Veterinario y consultor.

REVISIÓN DEL DOCUMENTO

Gabriela Casanova, ingeniera agrónoma, Fundación para la Innovación Agraria

FOTOGRAFÍAS

Archivos FIA, proyecto precursor, Guillermo Feuerhake.

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, 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 **“Manejo sustentable de plagas mediante el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para la dispersión de agentes de control biológico”**. Este tuvo como objetivo desarrollar y validar un prototipo de dron para la liberación de controladores biológicos de forma más eficaz y sustentable.

Espero que la información contenida en este documento sirva como aprendizaje y se transforme en un insumo provechoso, especialmente para productores y empresas que buscan incorporar nuevas tecnologías en sus predios para incrementar la eficiencia y competitividad de sus sistemas productivos.

Álvaro Eyzaguirre
Director Ejecutivo FIA



Contenidos

Presentación	5
Introducción	9

Sección 1. Resultados y lecciones aprendidas.....	11
1. Antecedentes	12
1.1. El proyecto precursor	12
1.2. Control biológico de plagas agrícolas	12
1.3. Tecnologías para la liberación de controladores biológicos	20
2. Base conceptual de la tecnología	26
3. La innovación tecnológica	34
4. El valor de la herramienta desarrollada	37
5. Conveniencia económica para el productor.....	40
6. Claves de viabilidad.....	43
7. Asuntos por resolver	44

Sección 2. El proyecto precursor.....	45
1. Características generales.....	45
2. Validación de la tecnología	47
3. La asesoría	55
4. Estado de ejecución actual.....	55

Sección 3. El valor del proyecto precursor y aprendido	57
---	-----------

Sección 4. Anexos	
1. Bibliografía	61
2. Entrevistas realizadas	63



Introducción

La presente publicación pone en valor los resultados del proyecto “Manejo sustentable de plagas mediante el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para la dispersión de agentes de control biológico”, iniciativa que fue apoyada y cofinanciada por FIA, con la finalidad de desarrollar un sistema innovador de dispersión de controladores biológicos para el combate de plagas agrícolas.

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, 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”,¹ aporte a los interesados elementos clave respecto de los beneficios del uso o incorporación de nuevos servicios y herramientas tecnológicas desarrolladas.

¹ “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 libro tiene el propósito de compartir con los actores del sector los resultados, experiencias y lecciones aprendidas sobre el desarrollo de un sistema innovador de dispersión de controladores biológicos para el combate de plagas agrícolas, a partir de un proyecto financiado por la Fundación para la Innovación Agraria (FIA) en la Región de Ñuble. Se espera que la información sistematizada en este documento aporte a los interesados elementos relevantes para apoyar la toma de decisiones respecto del uso de la herramienta tecnológica desarrollada.



Fuente: empresa de drones Parabug, sitio web.

► 1. Antecedentes

1.1. El proyecto precursor

Los análisis y resultados que se presentan en este documento han sido desarrollados a partir de las experiencias y lecciones aprendidas de la ejecución de un proyecto financiado por FIA (proyecto precursor²), denominado “*Manejo sustentable de plagas mediante el desarrollo de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para la dispersión de agentes de control biológico*”, Código PYT-2016-0121. La finalidad de esta iniciativa fue desarrollar un sistema de precisión para la liberación de controladores biológicos utilizando drones, contribuyendo con ello a un control más eficaz y sustentable de las plagas agrícolas.

El proyecto fue ejecutado por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias a través de su Centro Regional Quilamapu, entre los años 2016 y 2019, realizando las pruebas piloto en predios de las regiones del Biobío y de Ñuble.

1.2. Control biológico de plagas agrícolas

El control biológico implica el uso de enemigos naturales como un componente esencial en un esquema de manejo integrado de plagas, pudiendo utilizarse solo o en combinación con otros métodos de control. En un sentido amplio, un enemigo natural es un organismo considerado benéfico que causa la muerte o el deterioro de otro organismo considerado plaga. El objetivo de todos los programas de control biológico en la silvicultura y la agricultura es reducir los impactos de las plagas por debajo de los umbrales aceptables (Kenis *et al*, 2019).

Son tres los principales enfoques para la utilización de enemigos naturales (Devotto, 2010):

- **Control biológico de conservación:** pone énfasis en el ambiente donde se desarrollan los enemigos naturales, a través de prácticas culturales que eliminen los factores negativos y estimulen aquellos que favorecen su desarrollo (plantas que provean polen o néctar, microhábitats, reducción uso de agroquímicos, entre otros).
- **Control biológico inoculativo o clásico:** se basa en el concepto de que las plantas en sus lugares de origen conviven con organismos que se alimentan de ellas, y a su vez estos son consumidos por otros organismos. Al domesticar y trasladar plantas a un hábitat nuevo se enfrentan con diversas plagas, en ausencia de los enemigos naturales de estas,

² “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.

por lo cual los organismos fitófagos pueden multiplicarse de forma muy elevada. A través del enfoque clásico se busca restituir las condiciones originales, llevando enemigos naturales a las áreas donde las plagas agrícolas se han establecido y prosperado, buscando su establecimiento en forma permanente.

- **Control biológico inundativo o aumentativo:** este enfoque implica criar, multiplicar y liberar repetidamente enemigos naturales de una plaga, generalmente en grandes cantidades en el mismo lugar, aumentando varias veces el impacto que ellos tienen de forma natural sobre la plaga. No se persigue que el enemigo natural se establezca permanentemente. Principalmente se utiliza con enemigos naturales que ya estén presentes en el agroecosistema, pero en cantidades bajas. Este enfoque también incluye el uso de microorganismos entomopatógenos (bacterias, hongos, nematodos) como bioplaguicidas.

Como enemigos naturales se utilizan tanto microorganismos patógenos para plagas (bacterias, hongos) como diversos artrópodos (insectos y ácaros), cuya acción es analizada para favorecer su multiplicación e introducción en las áreas de interés. El ámbito en que se enfocó el proyecto precursor es el control biológico inundativo mediante insectos, por lo cual en adelante el documento se centrará con mayor énfasis en esta línea.

Por el tipo de interacción que se establece entre la plaga y los insectos controladores, estos pueden clasificarse como depredadores o parasitoides, siendo ambas relaciones de la clase en que una de las especies se beneficia mientras que la otra resulta perjudicada en algún grado. En el cuadro siguiente se presentan las diferencias entre los dos conceptos.

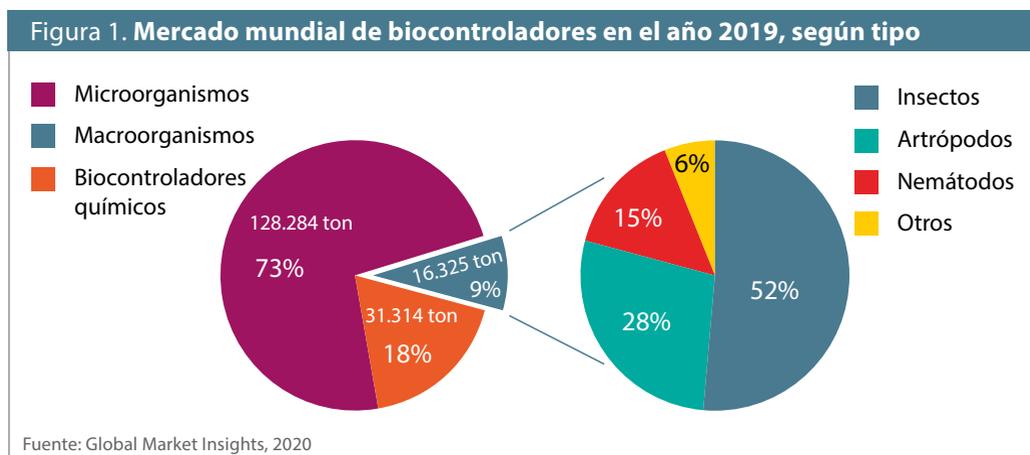
Cuadro 1. Características de la depredación y parasitoidismo en control biológico de plagas

Característica	Depredador	Parasitoide
Estados inmaduros de vida libre	Si	No
Adultos de vida libre	Si	Si
Número de presas u hospederos necesarios para alcanzar el estado adulto	Muchas	Una
Tamaño relativo frente a la presa u hospedero	Grande o similar	Pequeño
Resultado para la presa u hospedero	Muere	Muere

Fuente: Devotto, 2010.

Se han utilizado numerosas especies de parasitoides y depredadores para el control de plagas silvoagropecuarias, lo que ha evitado la pérdida de valiosos recursos, además de reducir o eliminar el uso de otros métodos de control más riesgosos, como los plaguicidas. El uso científico del control biológico comenzó en California hacia la segunda mitad del siglo XIX, donde se utilizaron coleópteros para el control de plagas en cítricos.

En las últimas décadas, con la creciente exigencia por inocuidad y la preocupación por los efectos de los pesticidas sintéticos en el medio ambiente y la salud humana, el control biológico ha experimentado un sostenido crecimiento. Para el año 2019, se estima que el volumen total de mercado mundial de biocontroladores alcanzó 175.924 toneladas, equivalente a US\$3.431,2 millones, con una tasa compuesta de crecimiento anual de aproximadamente 13 % desde 2015, tanto en volumen como en valor.



El mercado de agentes de biocontrol está liderado por Europa, con un 33 % del volumen anual en 2019 e ingresos cercanos a los US\$1.000 millones, seguido de Norteamérica con un 30% del volumen. La mayor parte de la demanda en Europa está altamente asociada con la creciente conciencia de los peligros químicos para el medio ambiente y los seres humanos. Además, la adopción temprana de regulaciones y políticas de agricultura orgánica en la región tuvo un gran impacto en el mercado de estos productos. Europa también tiene la presencia de varios fabricantes de productos de alta calidad, como Syngenta, Biobest, BASF SE, sistemas biológicos Koppert, etc., que atienden la demanda regional y mundial.

Actualmente, la mayoría de las aplicaciones de biocontroladores se aplican sobre productos hortofrutícolas, los que seguirán predominando, pero se anticipa que en los cereales y los granos tendrán una tasa de crecimiento más alta en los próximos años debido al aumento significativo en la demanda de alimentos para animales.

Las proyecciones señalan una tasa compuesta anual de crecimiento del 15 % a 16 % en valor al año 2025, superando los US\$10 billones, y de cerca del 10 % en volumen, equivalente a 222 mil toneladas (Global Market Insights, 2020 y Meticulous Market Research, 2019).

Los gobiernos de todo el mundo están haciendo esfuerzos para el crecimiento de la agricultura sostenible y esto ha llevado a realizar cambios legislativos que impulsarán la agricultura ecológica en los próximos años. Por ejemplo, la Unión Europea ha aprobado una nueva legislación sobre agricultura orgánica que entrará en vigor en 2021, lo que junto con un ma-



Fuente: Empresa de drones Parabug, sitio web.

yor interés de los consumidores en los productos orgánicos, seguros y sostenibles, impulsará el mercado durante el período de pronóstico. España, Francia, Reino Unido y Alemania mantendrán un mercado importante con la presencia de un gran número de agricultores en la región.

Como limitación para la expansión más acelerada del mercado de este tipo de productos, se asocia su capacidad de respuesta más lenta en el control de plagas que la de pesticidas químicos. Por otra parte, en el corto plazo se estima que la pandemia de Covid 19 tendrá un severo impacto sobre la demanda hasta el año 2022, a causa de la interrupción en la cadena de suministro por bloqueo de fronteras, y restricción de transporte nacional e internacional. Este impacto tendería a hacerse leve hacia el 2026.

En Latinoamérica la implementación de control biológico ha sido más lenta que en Europa y Norteamérica. Se estima que cerca de 32 millones de hectáreas están bajo control clásico, 31 millones de hectáreas bajo control aumentativo y cientos de miles de hectáreas bajo control biológico de conservación. Entre los factores que han limitado el desarrollo de este sector están el dominio de la industria de los plaguicidas, el efecto negativo de los plaguicidas en el control biológico y natural de plagas, los subsidios gubernamentales para mantener el control químico a bajo costo, la falta de fondos para la investigación e implementación de biocontrol, y un marco normativo lento y costoso (Lenteren y Cock, 2020).

En Chile, desde principios del siglo XX se hicieron introducciones de insectos para combatir plagas de forma aislada, pero en el año 1921 se realizó la importación y liberación planificada de la avispa *Aphelinus mali* (Haldeman) para el control del pulgón lanífero del manzano. Esta plaga había causado severos daños en los huertos, por lo cual el éxito alcanzado por el controlador biológico permitió demostrar, por primera vez en Chile y de forma contundente, la eficacia y economía que podía lograrse con el método (Rojas, 2005).

Actualmente, el mercado de biocontrol en Chile se desarrolla en forma lenta pero sostenida. El rubro donde más se ha aplicado control biológico es el de los frutales, dada su impor-

tancia comercial y las exigencias de los mercados de destino. Las empresas que prestan estos servicios se han ido especializando, aumentando su capacidad de producción y la diversidad de organismos de control. Los más utilizados son los insectos parasitoides, destacándose *Trichogramma nerudai* para el control de diversas especies de polilla, que en la temporada 2019 se utilizó en más de 2.000 hectáreas agrícolas y forestales (Gerding, 2020).

En el siguiente cuadro se presentan las características de los principales insectos utilizados en Chile para control biológico.

Cuadro 2. Principales insectos utilizados en control biológico de plagas en Chile

Tipo	Nombre científico	Taxonomía	Plagas que controla	Cultivos en que se aplican
Parasitoides	<i>Trichogramma nerudai</i>	Orden: Hymenoptera Familia: Trichogrammatidae	Polilla de la uva, Polilla del tomate, Polilla de la manzana, enrolladores (<i>Proeulia</i> sp.), polilla del brote del pino	Vid, tomate, manzano, pino
	<i>Encarsia formosa</i>	Orden: Himenópteros Familia: Aphelinidae	Mosca blanca de los invernaderos	Tomate
	<i>Anaphes nitens</i>	Orden: Hymenoptera Familia: Mymaridae	Gorgojo del eucaliptus	Eucaliptus
	<i>Ibalia leucospoides</i>	Orden: Hymenoptera Familia: Ibalidae	Avispa taladradora del pino	Pino
	<i>Orgilus obscurator</i>	Orden: Hymenoptera Familia: Braconidae	Polilla del brote del pino	Pino
	<i>Aphelinus mali</i>	Orden: Hymenoptera Familia: Aphelinidae	Pulgón lanífero del manzano	Manzano
Depredadores	<i>Chrysoperla defreitasi</i>	Orden: Neuroptera Familia: Chrysopidae	Pulgones, mosquita blanca, chanchito blanco, conchuelas, trips y arañas	Palto, arándanos, olivos, cítricos, pomáceas, carozos, hortalizas, ornamentales
	<i>Criptolaemus monstrouzieri</i>	Orden: Coleoptera Familia: Coccinellidae	Chanchito blanco	Palto, cítricos, arándanos, manzanos, vid, carozos
	<i>Tupiocoris cucurbitaceus</i>	Orden: Hemiptera Familia: Miridae	Mosquitas blancas, polilla del tomate, pulgones, ácaros	Tomate

Fuente: Gerding, 2020; Servicio Agrícola y Ganadero.

Entre las empresas y entidades en Chile que se han especializado en la producción y distribución de macrocontroladores biológicos se encuentran Xilema, Controlbest, Biobichos,

Biofuturo, Koppert Chile, BioBee, Centro Tecnológico de Control Biológico de INIA Quilmapu y Consorcio Protección Fitosanitaria Forestal. No siendo un número muy amplio, han logrado consolidarse y expandirse en los últimos años. Cinco de estas empresas formaron en el año 2016 una asociación gremial denominada “Asociación Chilena de Productores de Agentes de Control Biológico” (ACHPACB), la cual a la fecha se encuentra inactiva.

En la Resolución N° 1557 de Registro de Plaguicidas, donde se indican los requisitos que estos productos deben cumplir para ser autorizados, se incluye la definición de plaguicidas biológicos como “aquellos basados en agentes de control biológico (microorganismos o macroorganismos) nativos o exóticos, y extractos de fermentación microbiológica”. Es decir, en principio tanto los controladores biológicos como los plaguicidas químicos estarían sometidos a la misma regulación. Para subsanar esto, se emitió una norma específica para los plaguicidas microbiológicos y extractos de fermentación microbiológica (Resolución Exenta N° 9074/2018), pero para los macroorganismos aún no se cuenta con una norma. Por lo tanto, la autoridad sanitaria utiliza un “criterio de aplicabilidad” para evaluar qué partes de la Resolución N° 1557 serían pertinentes de cumplir según la naturaleza del insumo. Ante esta situación se tiene contemplada la emisión de una norma específica, pero no existe un plazo definido para ello.³

La mayoría de las entidades que producen y distribuyen controladores biológicos en Chile se encuentran registradas como proveedores de insumos visados para uso en agricultura orgánica, de acuerdo a las normas del Sistema Nacional de Certificación de Productos Orgánicos. En este registro existen 48 especies de macroorganismos, producidos por 6 empresas, donde predominan los insectos tanto depredadores como parasitoides. Las especies más utilizadas son los depredadores *Criptolaemus monstrouzieri* y *Chrysoperla defreitasi*, distribuidos por 5 y 4 empresas, respectivamente.

Cuadro 3. Distribuidores y especies de macroorganismos para control biológico registrados para producción orgánica en Chile

Fabricante / Distribuidor	Nemátodo	Ácaro	Insecto depredador	Insecto parasitoide
BioBee Chile	1	1	2	1
Biobichos			1	4
Biofuturo		3	17	14
Control Best		1	6	1
Koppert Chile	1	7	4	4
Xilema		1	7	5
Total especies registradas	1	5	21	21

Fuente: elaboración propia en base a Servicio Agrícola y Ganadero.

³ Comunicación personal, Subdepartamento Plaguicidas y Fertilizantes, Departamento Regulación y Control de insumos y productos silvoagrícolas. División Protección Agrícola y Forestal. Servicio Agrícola y Ganadero.

Dado que fueron utilizados en la realización del proyecto precursor, a continuación se presentan algunas características específicas de los controladores *Trichogramma* y *Chrysoperla*.

***Trichogramma* sp.**

El género *Trichogramma* abarca alrededor de 220 especies de microavispa parasitoides de huevos de insectos, principalmente de lepidópteros. Son el grupo de insectos más utilizado en control biológico inundativo en el mundo, con más del 80 % de las ventas y de la superficie protegida. Este modelo requiere de liberaciones frecuentes con un gran número de individuos, lo cual sólo es posible si existen insectarios o empresas dedicadas a su crianza y multiplicación.



Adulto de *Trichogramma* sp.
Fuente: INIA Programa Sanidad Vegetal, Chile

La hembra de *Trichogramma* (de unos 2 a 3 mm de largo como máximo) deposita sus huevos dentro de los huevos de polillas, como la polilla del tomate, del gusano del choclo, del brote del pino, y de la manzana, entre otras. Su larva se alimenta del embrión y otros contenidos del huevo parasitado, destruyéndolo, lo que impide el desarrollo de la plaga antes que ésta cause daño a los cultivos. Además, las hembras adultas también contribuyen al control al alimentarse del contenido de los huevos de sus hospederos (Devotto y Salas, 2016).

Existen diferentes métodos de liberación, pudiéndose mencionar los de tarjetas de cartulina con huevos adheridos, aspersión en agua o sólidos, cápsulas de celulosa, liberación de adultos, dispensadores protectores contra depredadores, y en sobres que se cuelgan a los árboles o cultivos de mayor altura (Gerding y Torres, 2001). Para liberación de adultos usualmente se requiere diseminar entre 150 mil y 300 mil microavispa por hectárea cada 1 o 2 semanas, dependiendo del cultivo y plaga.

***Chrysoperla* sp.**

Las especies de la familia Chrysopidae son los insectos más abundantes y más importantes entomófagos del orden Neuroptera, con alrededor de 15 géneros con potencial de control biológico. Las larvas de todas las especies y los adultos de algunos géneros son depredadores y se alimentan de una amplia variedad de insectos fitófagos tales como áfidos, cóccidos, mosquitas blancas y otros insectos de cuerpo blando que se localizan en el follaje. Por esta

razón, algunas especies se reproducen actualmente de manera masiva y se utilizan exitosamente para el control biológico de plagas agrícolas (Palomares *et al*, 2017).

La especie utilizada en Chile como enemigo natural es *Chrysoperla defreitasi* (Brooks), nativa de nuestro país. En estado adulto alcanza 15 a 30 mm de largo, de color verde claro con una franja amarilla dorsal desde la cabeza hasta el abdomen. Posee grandes alas membranosas, más grandes que su cuerpo, y se alimenta de néctar, polen y exudados de pulgones. Las



Adulto de *Chrysoperla* sp. Fuente: *Biología, manejo y control de chanchitos blancos*. Capítulo III. Control biológico del chanchito blanco de la vid con parasitoides y depredadores (*Pseudococcus viburni*). Chile. Fotografía: Renato Ripa.

larvas poseen dos largas mandíbulas en forma de pinzas con las cuales atrapa a sus presas, siendo activos predadores de pulgones, arañitas rojas, trips, mosquita blanca, chanchito blanco de cola larga, estados juveniles de escamas, huevos de polillas y minadores. Para su liberación se esparcen huevos y larvas sobre el follaje en las zonas más afectadas del cultivo (Xilema, s/f).

Considerando la progresiva reducción de principios activos autorizados para uso fitosanitario en Chile y en los mercados de destino de sus exportaciones frutícolas, la necesidad de métodos más inocuos de control de plagas debiera generar un mayor interés por el control biológico. Como ejemplo, en los últimos 2 años el SAG ha declarado la cancelación del registro para los insecticidas carbofurano (límite año 2020), clorpirifós, azinfós-metilo, imidacloprid, aceite parafínico y metomilo (límite año 2021), clorpirifós/dimetoato, clorpirifós/cipermetrina y clorpirifós/metilo (límite año 2022). Una vez alcanzada la fecha límite, dos años después de la declaración de cancelación, dichos plaguicidas ya no pueden ser distribuidos, exportados o vendidos.

Una estrategia de control biológico bien planificada, con adecuado monitoreo y aplicación, puede llegar a ser tanto o más eficaz y económica que el uso de plaguicidas, puesto que los enemigos naturales pueden establecerse en un sistema productivo (reduciendo el costo de liberación en temporadas posteriores), controlar las plagas en lugares donde los plaguicidas de contacto no llegan, y controlar estados de desarrollo (huevo o pupas) que los plaguicidas no controlan. Incluso pueden ser compatibles con plaguicidas químicos, bajo ciertos parámetros de selección de productos y oportunidad de aplicación (Alvear, 2011).

1.3. Tecnologías para la liberación de controladores biológicos

La diseminación de controladores biológicos en Chile es realizada casi totalmente de forma manual, con personal que se desplaza caminando por los cultivos esparciendo los insectos a granel o depositándolos en cajas o tiras sobre las plantas, de acuerdo a una planificación realizada en virtud de la densidad y distribución de la plaga. Esta labor meticulosa consume gran cantidad de tiempo, requiere de personal entrenado y resulta dificultosa en superficies extensas, en cultivos muy densos como el maíz o muy elevados, y en lugares con pendiente o de difícil acceso, como en cultivos forestales.

Los agricultores pueden optar por la compra de controladores y aplicación con personal propio, o bien contratar el servicio de empresas especializadas que proveen los enemigos naturales y realizan la liberación con sus equipos. Esta última modalidad ha ido tomando fuerza en nuestro país, ya que permite al agricultor externalizar totalmente la labor, dejándola en manos de empresas que cuentan con personal bien entrenado. Junto con ello, las empresas ofrecen servicios integrales, como el monitoreo de diagnóstico y seguimiento, puesto que la estrategia de control biológico, para ser eficaz, requiere de un estudio acabado del cultivo, plaga y controlador en todo el ciclo productivo. Las empresas que brindan estos servicios consiguen también una mayor estabilidad económica, puesto que los agricultores suscriben planes por la temporada.

Liberación manual control biológico.
Fuente: Diario La Discusión Chillán,
Chile.



Liberación manual control biológico.
Fuente: Biobichos, empresa de control
biológico, Chile.



Dado el intensivo uso de mano de obra y el tiempo que demanda la liberación, lo cual es reconocido por las empresas del sector, han surgido alternativas para facilitar este proceso mediante el uso de la tecnología. Uno de los medios que ha comenzado a experimentarse en los últimos años es el uso de aeronaves no tripuladas o drones, de lo cual ya existen en el mundo experiencias comerciales.

El uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV), también conocidos como drones, ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década, tanto en tamaño de mercado como en diversificación de tipos y aplicaciones. En 2016 Goldman Sachs cifraba en US\$100 billones el mercado global de drones en el periodo 2016-2020, donde el sector agrícola ocuparía el segundo lugar en uso industrial y comercial, con un mercado de casi US\$6 billones. Los rápidos avances tecnológicos y la disminución de costos han hecho que los UAV sean centrales para la agricultura de precisión y la agricultura inteligente, así como para un amplio espectro de campos de investigación. Esto se debe en parte a su flexibilidad para transportar muchos tipos diferentes de sensores, su rentabilidad y su idoneidad para trabajar a diferentes escalas y en áreas remotas. Las imágenes basadas en UAV superan a otras tecnologías de adquisición de imágenes, como satélites y sistemas aéreos tripulados, en términos de mayor resolución temporal y espacial, y mayor flexibilidad y reducción de costos, especialmente cuando se utilizan para objetivos de pequeña y mediana escala (Librán-Embíd *et al*, 2020).

El uso principal de los drones ha sido el monitoreo de los campos mediante diversos sensores e imágenes que entregan información sobre:

- Altura de la planta y biomasa
- Rendimiento y estado de nutrientes
- Daño por plagas y patógenos
- Fertilidad del suelo
- Malezas y otras plantas no cultivadas

Adicionalmente, los drones están siendo equipados para desarrollar no solo monitoreo, sino que intervenciones directas sobre los campos. Es aquí donde aparecen el uso de estos dispositivos para la fumigación, práctica que ya se encuentra bastante difundida, y la labor aún emergente de dispersión de controladores biológicos. Una de las características más valiosas que ofrece esta tecnología es realizar aplicaciones a tasa variable, es decir, distribuir el plaguicida o controlador biológico de forma diferenciada de acuerdo a la distribución espacial de las plagas.

En nuestro país ya existen empresas que ofrecen el servicio de fumigación,⁴ habiendo desarrollado experiencias exitosas en distintos cultivos, aunque aún a precios que resultan elevados en relación a la fumigación terrestre convencional (El Mercurio, 2020).

⁴ FUMIDRONE <http://fumidrone.cl> ; ROBOMOTIC www.robomotiv.cl ; ECODRONES <https://ecodrones.cl>



Fumigación mediante drones. Fuente: empresa Sky Drones, publicado revista *Pesquisa*, Brasil.

Respecto al uso de drones para la liberación de controladores biológicos, se reportan aplicaciones en Alemania, Estados Unidos, Brasil, Italia, Francia, Dinamarca, Austria, China y Australia, entre otros. La mayor parte de los desarrollos reportados por la literatura corresponde a empresas tecnológicas que ya prestaban servicios de drones para la agricultura y otras industrias, y que expandieron su servicio diseñando o adaptando vehículos para los controladores biológicos. Por lo tanto, establecen alianzas con otras empresas que realizan la crianza de los controladores. Una excepción a esta situación es la empresa multinacional Koppert, originaria de Países Bajos, que produce enemigos naturales y a la vez desarrolló una línea propia de drones, además de estar asociada con la empresa estadounidense de drones UAV-IQ. De esta alianza han surgido numerosas experiencias de aplicación, tanto en Europa y Estados Unidos como en Latinoamérica.

En el siguiente cuadro se presenta una síntesis de algunos de los emprendimientos detectados en el mercado mundial, listado que no es exhaustivo y que se encuentra en permanente actualización.

Cuadro 4. Algunos proveedores de drones para control biológico de plagas agrícolas

País origen	Controlador liberado	Proveedor tecnológico	Contacto
Canadá	<i>Trichogramma</i> sp.	Canopee	http://canopee.io
Alemania	<i>Trichogramma</i> sp.	Heighttech	https://heighttech.com
Estados Unidos	<i>Amblyseius</i> sp. <i>Orius</i> sp. <i>Chrysoperla</i> sp.	Parabug	www.parabug.solutions
	<i>Tamarixia radiata</i> <i>Orius</i> sp. <i>Amblyseius swirskii</i> <i>Criptolaemus</i> sp.	UAV-IQ	www.uaviq.com
Francia	<i>Trichogramma</i> sp.	Instadrone	www.instadrone.fr
Australia	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Aerobugs	https://aerobugsglobal.com
Holanda	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Koppert	www.koppert.com/natutec-drone
Brasil	<i>Cotesia</i> sp. <i>Trichogramma</i> sp. <i>Telenomus</i> sp.	NCB Sistemas Embarcados	https://ncb.ind.br
Italia	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Aermatica 3D	www.aermatica.com
Dinamarca	<i>Amblyseius cucumeris</i> <i>Phytoseiulus persimilis</i> <i>Harmonia axyridis</i> and <i>Hippodamia convergens</i> <i>Aphidoletes aphidimyza</i> <i>Chrysoperla carnea</i>	Ecobotix	https://ecobotix.com/
Chile	<i>Trichogramma</i> sp. <i>Chrysoperla</i> sp.	Biobichos	www.biobichos.cl

Fuente: páginas web proveedores.

En Chile, la empresa Biobichos ofrece dispersión de tricograma y crisopas mediante drones, los que son operados por una empresa externa. La modalidad de aplicación es mediante la liberación a granel desde un contenedor con forma de embudo, pudiendo dosificarse el volumen de liberación. En el mercado mundial este modelo es el que predomina, existiendo también otros dispositivos que liberan a granel desde un contenedor en forma de rodillo perforado, y mediante cápsulas, como lo realizó el proyecto precursor.

Dron, modelo Aermatica 3D.

Fuente: <https://www.aermatica.com/en/biological-control/>



Dron, modelo Parabug.

Fuente: <https://www.parabug.solutions/about-us>



Dron, modelo NCB Sistemas Embarcados (liberación a granel)

Fuente: <https://www.facebook.com/NCBSE/photos/a.151304428824548/511411472813840/a.151304428824548/511411472813840>



Los proveedores de este servicio sintetizan las ventajas de esta tecnología en los siguientes ámbitos (UAV-IQ):

- Rapidez: se informan reducciones de tiempo de aplicación desde a 5 a 20 veces menores, en comparación con una liberación manual.

- Liberación uniforme: distribución más uniforme y en superficies más extensas, ya que la distribución es programada y automatizada, no dependiendo de la habilidad y precisión humana.
- Alta tasa de supervivencia de los enemigos naturales: menor manipulación de los controladores, ya que menos personas intervienen en su manejo.
- Acceso a cualquier campo: incluyendo terrenos de difícil acceso (campos inundados, pendientes, etc).
- Para cualquier cultivo: es posible liberar los enemigos naturales sobre plantas bajas y árboles grandes.
- Reducción de la demanda de mano de obra: permite reasignar la mano de obra propia a otras tareas esenciales en el predio.

Una posibilidad cierta que ofrecen los drones es la programación de rutas automatizadas de acuerdo a los requerimientos del cultivo, lo que permite hacer aplicaciones de intensidad variable, mejorando los resultados y optimizando los costos. Los proveedores generalmente ofrecen también servicios de monitoreo, diagnóstico y elaboración de planes de control sistematizados, lo que permite contar con información digitalizada para el análisis.

Un artículo publicado en el *Journal of Economic Entomology* en diciembre de 2019 (lost et al) realiza una exhaustiva revisión de publicaciones científicas sobre el uso de drones en la agricultura, especialmente en lo relacionado con el monitoreo y control de plagas. El análisis realizado por los autores indica que hasta la fecha existe poca o ninguna investigación revisada por pares sobre la eficacia de la liberación de controladores mediante drones. Resulta fundamental verificar que los enemigos naturales no se dañen durante el transporte y distribución, y que sigan siendo efectivos luego de su liberación. Así también, las diversas experiencias descritas cuentan con dispensadores individuales que utilizan diferentes diseños, los que deberían ser comparados de forma objetiva. Además, se plantea como desafíos para el impulso de la tecnología desarrollar mecanismos de hardware y software que puedan distribuir con precisión los enemigos naturales en diferentes condiciones climáticas, especialmente por el viento.

Otros desafíos comunes a todos los drones son optimizar el tiempo de vuelo (asociado a la duración de las baterías) y la capacidad de carga útil. Aunque ambos parámetros han ido en constante evolución, siguen siendo limitantes para su masificación, así como el costo inicial del equipamiento y software.

► 2. Base conceptual de la tecnología

La herramienta desarrollada por el proyecto se basa en la selección y configuración de un equipamiento de vehículo no tripulado y sus diversos componentes, el diseño de nuevos dispositivos para la liberación aérea de controladores biológicos y una plataforma informática que permite integrar el monitoreo de plagas con la generación de órdenes de trabajo específicas para el dron.

A continuación se describen los componentes principales del sistema.

Equipo de vuelo

Formado por la aeronave propiamente tal y la estación de control manejada por el operador.

- **Dron o vehículo aéreo no tripulado**

El vehículo utilizado es el modelo UAV 3DR® IRIS+ creado por la empresa estadounidense 3D Robotics (<https://www.3dr.com>). Corresponde a un quad-coptero que vuela gracias a sus 4 rotores alimentados con la energía de una batería de litio de 5.100 mA, que le otorga una autonomía de 12-16 minutos con carga y de 22 minutos sin carga (autonomía variable en función de la carga, viento, temperatura, humedad y estilo de vuelo). Este vehículo está diseñado para el vuelo recreativo y para la captura de imágenes, con peso ligero y materiales resistentes a las altas temperaturas. Sus dimensiones son de aproximadamente 55 cm en diagonal desde rotor a rotor, altura de 10 cm sin tren de aterrizaje y 20 cm con el tren de aterrizaje, y un peso aproximado de 1.300 gramos (sin accesorios añadidos). Resiste una carga útil máxima de 400 gr.



Modelo de dron utilizado en el proyecto, en posición de despegue con cámara fotográfica incorporada.
Fuente: proyecto precursor.



Sistema de posicionamiento del dron. Fuente: proyecto precursor.

• Estación de control terrestre

Está formada por:

- Computador, tablet o smartphone con el siguiente software:
 - *Mission Planner*⁵ que sirve de interfaz entre el usuario y el autopiloto. Este software es el intermediario entre los requerimientos de aplicación generados por el monitoreo y el dron, lo que se traduce en un plan de vuelo con indicaciones de la ruta, puntos de descarga y cantidad de liberaciones.
 - *Piksi Console*,⁶ utilizado para comunicarse con el sistema Pixsi. Muestra la posición del sistema RTK, cantidad de satélites conectados y permite configurar la posición de la base. Proporcionado por el proveedor de Base Pixsi.
 - Drivers módulo RF, proporcionados por el proveedor del dron.
- Módulo de comunicación RF que permite la comunicación remota entre el multicoptero y la estación en tierra, el cual forma parte del kit “listo para volar” del dron.

⁵ Software libre desarrollado por Ardupilot. <https://ardupilot.org/planner>

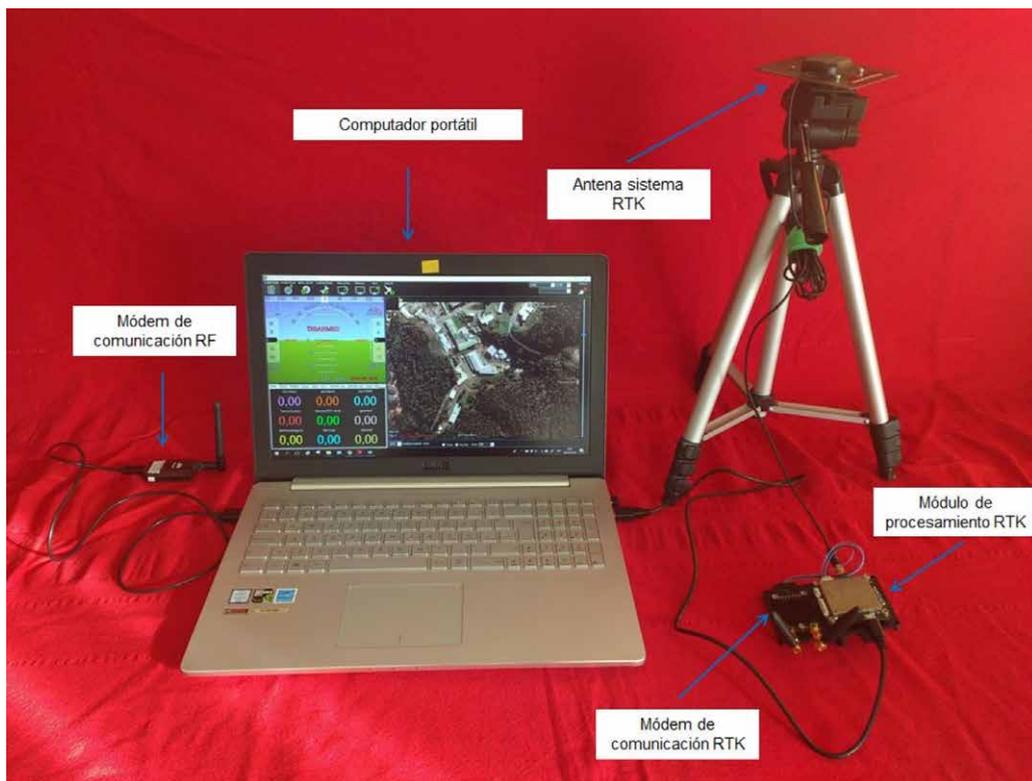
⁶ Software desarrollado por Swiftnav. <https://www.swiftnav.com>

- *Base Pixsi® v2 RTK GPS*: compuesto por antena, módulo de procesamiento y módem de comunicación de telemetría. El sistema RTK (posicionamiento cinemático en tiempo real) permite alcanzar una elevada precisión en el posicionamiento del dron, en el rango de centímetros, utilizando varios satélites conectados a un módem de radio que entrega correcciones instantáneas. Este sistema de telemetría complementa el módulo GPS convencional que viene incluido en el dron. Si el módulo RTK no está disponible o no es encendido, solo opera el GPS convencional, con una menor precisión. Se recomienda instalar la antena RTK en un trípode, en terreno abierto y sin obstáculos, alejada de la interacción con el piloto y sin obstáculos, guardando una distancia de seguridad para evitar interferencias con módem de comunicación RF. La primera vez que el dron va a volar en un campo o huerto, el sistema RTK requiere de algunos minutos para realizar las correcciones de posición, pero en vuelos futuros en el mismo terreno estas correcciones ya no son necesarias.
- *Radio Control Transmisor*: dispositivo para volar el multicoptero, ya sea para vuelo manual o automático. En este último modo la intervención del operador a través del radio control es mínima, ya que el dron ejecuta una misión de vuelo automática creada y cargada previamente con el software *Mission Planner*.



Radio Control Transmisor del dron, exposición a estudiantes de Liceo Agrícola.
Fuente: Facebook Liceo Marta Martínez Cruz.

- Cargador de baterías: la batería que energiza la plataforma es del tipo Litio-Polímero (LiPo) de 3S, es decir, 11,1V, con capacidad de carga de 5.100 mAh y con un peso total de 320 gramos aproximadamente. Antes de cada vuelo la batería debe ser cargada completamente.



Estación de control terrestre. Fuente: proyecto precursor.

Dispositivo electrónico de liberación

Para este proyecto se diseñó un dispositivo desarrollado específicamente para la liberación programada de los controladores biológicos. El equipo es un dispensador con una capacidad de 600 cc, de dimensiones $13 \times 23 \times 10$ cm, y con un peso en vacío de 215 gramos. Está elaborado en plástico ABS y cuenta con un mecanismo servomotor que le permite abrir o cerrar su boquilla de descarga según lo que disponga el plan de vuelo.

El diseño permite cargar el dispositivo con hasta 110 esferas de 25 mm de diámetro o 160 esferas de 15 mm de diámetro, con lo que alcanza un peso total de 315 y 265 gramos, respectivamente. Se cuenta con boquillas intercambiables para el tipo de esfera a utilizar. El sistema dispone de un sensor led como contador de descargas y registro de liberación de cápsulas, para verificar los resultados de acuerdo al plan de liberación.

El dispositivo de descarga se adosa en la parte inferior del dron, y su operatividad fue evaluada en condiciones de campo con óptimos resultados.



Dispositivo de liberación (vacío) acoplado en parte inferior del dron. Fuente: proyecto precursor.

La combinación de los elementos mecánicos, electrónicos y de software descritos anteriormente generan un resultado de alta precisión espacial, es decir, con un alto grado de ajuste entre la posición programada de descarga y la posición efectiva. El uso del sistema de telemetría RTK permitió obtener un promedio de desvío de 51 cm bajo las condiciones recomendadas de viento suave, y de 92 cm para viento fuerte.

Cápsulas para dosificación de controladores biológicos

Para liberar los controladores biológicos utilizados en el proyecto fue necesario desarrollar un dispositivo contenedor que permitiera su transporte en el vehículo aéreo, la distribución en el campo y del cual los controladores pudieran salir y diseminarse sobre el terreno.

Se evaluaron diversos formatos, materiales y tamaños para estas cápsulas, considerando también la factibilidad de poder producirlas en gran escala según necesidad. El material utilizado para las esferas fue el ácido poliláctico (PLA), polímero elaborado a partir de materias primas vegetales y que además puede ser biodegradable mediante compostaje que alcance temperaturas cercanas a los 60 °C.

El modelo que obtuvo el mejor desempeño fueron las esferas de color oscuro, con una opacidad del 70 %, con cuatro orificios de salida de 2 x 4 milímetros. Se diseñaron en dos ta-

maños: diámetro 15 mm para *Trichogramma* sp. y de 25 mm para larvas de *Chrysoperla*. En ambos casos se obtuvieron valores cercanos al 90 % de emergencia de los controladores desde las esferas, medido en laboratorio.



Esferas de PLA (ácido poliláctico) para liberación de controladores. Fuente: proyecto precursor.

Plataforma integrada de monitoreo y liberación

Este componente del sistema es el más relevante para el concepto de control biológico “de precisión”, es decir, que la orden de aplicación se ajuste a las necesidades según el nivel de la plaga a controlar. Para ello se diseñó una plataforma informática que integra el monitoreo de plagas, la determinación de umbrales para recomendar aplicaciones y la generación de órdenes de trabajo para control biológico.

El sistema permite ingresar y configurar huertos en una interfaz gráfica de mapa satelital. El usuario puede programar la ejecución de un muestreo para una plaga determinada, el cual puede definirse mediante una grilla de puntos de muestreo de distinta densidad o seleccionando puntos en forma manual. Se puede indicar también la técnica de muestreo, el responsable y la calendarización de muestreos repetidos.

Figura 2. Configuración de muestreo en grilla regular con 20 m de separación entre puntos de muestreo



Fuente: proyecto precursor.

Una vez programados los monitoreos deben registrarse los valores observados, los cuales son contrastados por valores determinados como “umbrales” para la calificación de presencia e intensidad de cada plaga. Estos valores son configurados por el usuario y requieren la asesoría de un especialista, ya que esta es la base para un adecuado diagnóstico y prescripción de las medidas de control.

Figura 3. Resultados de muestreo visualizados por colores según intensidad de plaga



Fuente: proyecto precursor.

En base a los resultados y dependiendo del tamaño y altura del huerto, se introducen los parámetros para la orden de aplicación, los cuales configurarán el “plan de vuelo” para el dron. Este plan consiste en un conjunto de *waypoints* (puntos de descarga) y las instrucciones de cantidad de esferas a descargar.

Figura 4. Especificaciones para plan de vuelo según diagnóstico de la plaga

Muestras

CYDIA POMONELLA 2019-10-26 #210 Exportar a KML Instrucciones de Vuelo Graficar

Altura absoluta del Home(m):

Altura alcanzable en Despegue Vertical (m):

Altura de Vuelo (m):

Velocidad de Avance (m/s):

Tiempo de Delay (s):

Cant. Hileras Intermedias:

Distancia entre Aplicaciones (m):

Cancelar Generar

Fuente: proyecto precursor.

El plan de vuelo generado es exportado en un archivo que puede ser leído por el software *Mission Planner*, el cual lo ejecuta siguiendo las indicaciones de forma automática, bajo la supervisión del operador.

Figura 5. Interfaz gráfica de software Mission Planner, donde pueden cargarse planes de vuelo predefinidos

The screenshot shows the Mission Planner interface with a map view and a waypoints table. The map displays a flight path with waypoints 1 through 5 and a 'Home' location. The waypoints table is as follows:

WP	Command	WP Radius	Loiter Radius	Default Alt	Lat	Long	Alt	Delete	Up	Down	Grad %	Dist	AZ
1	WAYPOINT	0	0	0	-35.0407928	117.8277898	100	X	⬆️	⬆️	95.7	104.5	1
2	WAYPOINT	0	0	0	-35.0406786	117.8260410	100	X	⬆️	⬆️	0.0	159.7	275
3	WAYPOINT	0	0	0	-35.0417239	117.8251612	100	X	⬆️	⬆️	0.0	141.2	215
4	WAYPOINT	0	0	0	-35.0428395	117.8259873	100	X	⬆️	⬆️	0.0	145.1	149
5	WAYPOINT	0	0	0	-35.0427165	117.8245572	100	X	⬆️	⬆️	0.0	134.5	84

Fuente: <https://ardupilot.org/planner>

► 3. La innovación tecnológica

El concepto de liberar enemigos naturales mediante vehículos aéreos no tripulados se está desarrollando en el mundo desde hace varios años, aunque su aplicación es aún muy incipiente.

La innovación desarrollada en el proyecto se centra en el diseño de un dispositivo de liberación de controladores y su adaptación a un dron comercial, originalmente diseñado para otros fines. El principal atributo del dispositivo es la regulación de su apertura y cierre de acuerdo a un programa establecido, lo cual permite hacer aplicaciones de precisión según la densidad observada de la plaga en cada sector. Esta característica es enunciada también por algunos proveedores en el mercado de los drones, asociada al servicio de monitoreo de los campos.

En la aplicación convencional manual, de acuerdo a lo informado por las empresas del sector, siempre existe una diferenciación espacial en la liberación, lo que permite mejorar la eficacia y optimizar en el costo de los controladores, ya que se paga por unidad de controlador. Para ello, evidentemente, se requiere que el aplicador tenga un diagnóstico detallado de la presencia de la plaga y su distribución en campo, lo cual es factible de realizar cuando existe un monitoreo permanente. En la modalidad en que el agricultor compra los enemigos y los aplica con su propio equipo de trabajo, la forma de distribución queda sujeta a su propio criterio.

El diseño del equipo incluyó diversas modificaciones y adaptaciones, ya que el modelo de vehículo utilizado las requería para poder agregar el aditamento de liberación y operar en forma conjunta, así como la mejora de los mecanismos de posicionamiento. Con el acelerado desarrollo tecnológico de esta industria, actualmente es posible encontrar en el mercado equipos con esos mecanismos ya incorporados y con puertos estándar para conectar diversos *gadgets*, a precios accesibles. Incluso ya hay en el mercado modelos diseñados expresamente para esta función, que incluyen un kit de liberación de *Trichogramma* mediante cápsulas.



Modelo de dron BLY-A Drone de empresa italiana AERMATICA3D SRL para liberación de controladores biológicos.
Fuente: <https://www.aermatica.com/en/biological-control/>

Una situación similar ocurre con la duración de la batería, ya que actualmente existen opciones accesibles que permiten una autonomía de vuelo mucho mayor. Existen también tecnologías en desarrollo, tanto en Chile como en el extranjero, para realizar recambio de baterías en forma automática, sin intervención humana, lo que optimiza aún más el tiempo de la faena.

El proyecto realizó un aporte relevante en el diseño del software de monitoreo de plagas, el cual le da sustento a la planificación de precisión que el dron pone en práctica posteriormente. Este sistema entrega una estructura ordenada y sistemática para sectorizar el campo, realizar y registrar monitoreo de la plaga, asignar umbrales de intensidad y planificar aplicaciones de agroquímicos o controladores biológicos de acuerdo con ello. Esto constituye una herramienta valiosa tanto para el agricultor como para el prestador de servicios, pues provee una plataforma única y sencilla para todo el manejo de plagas. Si bien existen en el mercado diversos software de gestión agrícola que incluyen módulos de monitoreo de plagas y registro de aplicaciones, a nivel nacional no hay algún sistema que se utilice específicamente para este ámbito.

Entre los proveedores del servicio de control biológico en Chile, la empresa Xilema cuenta con el software de desarrollo propio PMS (*Pest Monitoring System*), que resultó finalista del Premio a la Innovación Avonni 2017, Categoría Recursos Naturales. El sistema entrega información georreferenciada en tiempo real sobre el estado fitosanitario de los cultivos, mediante reportes que presentan de manera simple la distribución y presión de las plagas en el campo, su incidencia en la fruta, estados fenológicos, dinámica poblacional de plagas y enemigos naturales en una o varias temporadas. El software se utiliza principalmente con los clientes suscritos al servicio de monitoreo y control de plagas. Otras empresas de control biológico consultadas no utilizan un software específico para el monitoreo, sino que registran datos en planillas electrónicas.

El potencial de aplicación de los controladores biológicos no se restringe únicamente a los cultivos orgánicos, que por su naturaleza evidentemente requieren de intervenciones libres de agroquímicos. La superficie agrícola certificada como orgánica en Chile al año 2019 es de 20.897 hectáreas, la cual representa un aumento del 28,3 % con respecto a la temporada 2018. La mayor superficie es abarcada por frutales mayores con 37 % (principalmente uva vinífera y manzano), luego los frutales menores con un 32,5 % (principalmente arándano). Para el caso de los productos no orgánicos, el mercado más relevante ha sido de cultivos exportables de alto valor con destino a Europa, por las crecientes restricciones al uso de plaguicidas. Sin embargo, en cultivos que acostumbran a realizar aplicaciones frecuentes de agroquímicos, es difícil compatibilizar con controladores biológicos. Cultivos como el palto, donde se realizan pocas aplicaciones en la temporada, serían más proclives a usar este sistema, y otros con predios de grandes superficies. En general las empresas agrícolas no orgánicas optan por incorporar el control biológico como un complemento al manejo

tradicional, por lo cual ambos enfoques deben ser compatibles. De acuerdo a las empresas consultadas, la razón por la cual el control biológico no ha penetrado con mayor rapidez en el mercado obedece principalmente a que requiere de mayor capacitación y conocimiento para su aplicación correcta, y sus beneficios se manifiestan en el largo plazo.

Por otra parte, aún cuando crezca la demanda de los agricultores, los productores de enemigos naturales tienen ciertas restricciones para aumentar la oferta, ya que la crianza es un proceso complejo que no puede amplificarse de forma rápida. Además, la logística de la aplicación es un gran desafío, ya que las empresas liberadoras deben movilizar a sus equipos técnicos a grandes distancias para cubrir la demanda.

El software de monitoreo, por su parte, no tendría limitaciones para ser implementado en cualquier explotación agrícola, mientras exista la posibilidad de que el oferente brinde soporte a la plataforma y capacitación de los usuarios. En este punto el INIA, de acuerdo a sus políticas institucionales, debería establecer un mecanismo de transferencia a través de licencias gratuitas o de bajo costo para incentivar su utilización, tanto en los agricultores como en las empresas de control biológico.

Respecto al hardware propiamente tal (dron y dispositivo de liberación), el proyecto alcanzó un estado de prototipo no validado en condiciones de campo, por lo cual no se encuentra en un estado de madurez que permita su pronta entrada al mercado. Si bien la precisión en la liberación, y la sincronización entre el monitoreo de plagas y el plan de liberación derivado de ello fueron logrados de manera satisfactoria, no fue posible verificar el desempeño de los controladores en campo. Para ello se requeriría hacer aplicaciones en condiciones operativas, sobre campos con presencia de plagas y en la época que corresponde, evaluando la sobrevivencia de los insectos y el grado de control que realicen. Es decir, se requeriría al menos una temporada de ensayos en campo para validar el sistema bajo condiciones reales.

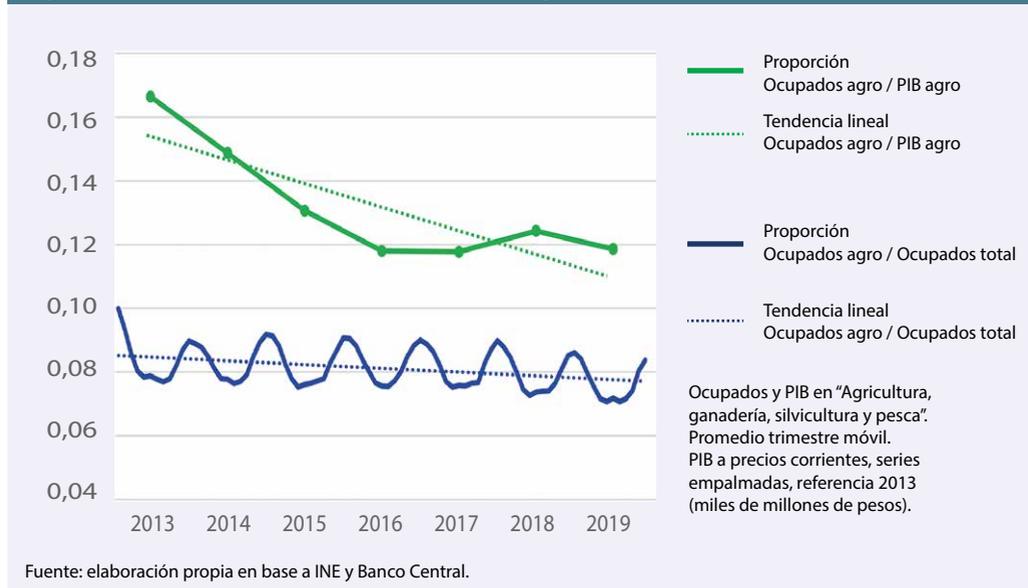
Una vez validada la efectividad en campo, se obtendría una relación costo/beneficio que podría contrastarse con la liberación manual tradicional. Esta información permitiría a las empresas prestadoras del servicio de control biológico tomar la decisión de utilizar esta tecnología, ya sea en forma directa o mediante la búsqueda de un aliado especializado en el manejo de este tipo de vehículos. Este tipo de empresas cuentan con pilotos especializados y con licencia para la operación de drones, así como el respaldo electrónico e informático necesario para la puesta a punto y mantención de los equipos.

Lo anterior es válido para los insectos que se prueben en ensayos de campo, ya que las condiciones y desempeño de unos no pueden extrapolarse a otros. En base a lo observado en el mercado internacional, *Trichogramma* es el insecto más utilizado, por lo cual resulta lógico comenzar por su validación.

► 4. El valor de la herramienta desarrollada

La herramienta tecnológica desarrollada por el proyecto apunta a una realidad innegable en la agricultura: la creciente escasez de mano de obra y en consecuencia el aumento de su costo. Esta situación puede verificarse en Chile con las cifras de empleo. En el año 2013, cerca del 8,3 % de la población ocupada se desempeñaba en el sector silvoagropecuario, reduciéndose aproximadamente al 6,8 % en el 2019. Si se relaciona la población ocupada con el producto interno bruto sectorial, se observa que en 2013 se requerían 166 trabajadores para producir \$1.000 millones de PIB silvoagropecuario, cifra que baja a 119 en 2019. Estos indicadores ponen de manifiesto la contracción proporcional de la mano de obra agropecuaria, mientras que el PIB agropecuario creciente con menor uso de mano de obra sugiere un mayor grado de mecanización.

Figura 6. Evolución de mano de obra en la agricultura nacional



Situaciones similares se viven en otras naciones. Por ejemplo, en California, el estado agrícola más importante de Estados Unidos, una encuesta realizada por el California Farm Bureau a principios de 2019 mostró que en los anteriores 5 años el 40% de los agricultores encuestados no pudieron conseguir todos los trabajadores que necesitaban para su cultivo principal, especialmente en la fruticultura y vides. Esto ha obligado a los agricultores a buscar diferentes formas de mecanización para sortear la escasez de mano de obra agrícola.

En este escenario, la mecanización de las labores parece ser una tendencia inevitable, especialmente de aquellas que son más intensivas en mano de obra. La liberación de controladores biológicos es una de ellas, con la particularidad que algunos agricultores lo hacen con personal propio y otros contratan el servicio completo. A esto deben agregarse diversas

variables, como la precisión de la liberación, la sobrevivencia o viabilidad de los controladores, y su eficacia en el control, entre otras. En el cuadro siguiente se comparan las distintas variables para los agricultores que realizan control biológico o están interesados en hacerlo, y que podrían acceder a distintas modalidades.

Cuadro 5. Comparación cualitativa entre modalidades de aplicación de control biológico

Característica	Liberación con personal propio	Liberación con servicio contratado	Liberación con dron
Monitoreo y seguimiento	Variable, dependiendo de calidad de monitoreo propio (no especialista)	Bueno, proveedor especialista realiza diagnóstico previo y seguimiento posterior	Muy bueno, proveedor especialista realiza diagnóstico previo y seguimiento posterior, con mayor generación de información
Diagnóstico y planificación de precisión	Variable, dependiendo de calidad de monitoreo propio (no especialista); puede apoyarse con software (no especialista)	Bueno, proveedor especialista realiza diagnóstico y prescripción diferenciada por sector; puede apoyarse con software	Muy bueno, proveedor especialista realiza diagnóstico y prescripción diferenciada por sector; indispensable software
Viabilidad transporte controladores	Variable, dependiendo de precauciones de manejo del agricultor (no especialista)	Alta, proveedor especialista conoce precauciones de almacenamiento y manejo	Alta, proveedor especialista conoce precauciones de almacenamiento y manejo
Cantidad de controladores a aplicar	Mayor a estándar, debe considerar un volumen extra para compensar pérdidas o menor efectividad por manejos subóptimos	Estándar según condición de plaga	Mayor a estándar, debe considerar un volumen extra para compensar pérdidas o menor efectividad por desempeño subóptimo
Precisión liberación	Variable, dependiendo de entrenamiento, cansancio del aplicador y condiciones ambientales	Bueno, variable por cansancio del aplicador y condiciones ambientales	Muy bueno, dentro de parámetros apropiados para el vuelo (altura, viento)
Costo mano de obra / contratación de servicio	Variable, dependiendo de disponibilidad y entrenamiento de personal	Alto, requiere equipo bien entrenado desplegado en terreno, con costos de movilización	Incierto: requiere personal bien entrenado pero en menor cantidad, desplegado en terreno, con costos de movilización; se agrega amortización del equipamiento o subcontrato de dron
Tiempo de aplicación	Variable, dependiendo de disponibilidad y entrenamiento de personal	Alto, equipo bien entrenado realiza trabajo meticuloso	Muy bajo, reducción 5 a 20 veces tiempo de aplicación
Efectividad control	Variable, dependiendo de suma de diversos factores: manejo insectos, precisión, adecuado diagnóstico y monitoreo	Estándar según condiciones de aplicación	Incierto: precisión y menor tiempo son favorables, pero desempeño del controlador es incierto aún

Fuente: elaboración propia en base a proyecto precursor y entrevistas a empresas del sector.

Existen factores de los cuales no se tiene información cuantitativa, pero cuyo efecto negativo o positivo se presume en base a la experiencia nacional e internacional. El resultado económico final para el agricultor no puede predecirse, ya que deben verificarse parámetros técnicos de gran relevancia, especialmente la eficacia en el control de los insectos liberados vía aérea. Además, si una empresa que actualmente libera controladores de forma manual migra hacia el sistema automatizado (suponiendo que el ahorro en mano de obra compensa la inversión o arriendo del dron), podría ajustar la tarifa haciéndola más accesible para el agricultor, como también podría mantenerla. No es posible anticipar en qué grado una eventual reducción de costos de operación del proveedor podría ser traspasada al agricultor vía reducción de tarifa.

En un escenario de adopción exitosa de la tecnología sería esperable un aumento en la cantidad de proveedores del servicio, lo cual sí podría significar una presión hacia la baja en las tarifas, por efecto de la mayor competencia.

Desde el punto de vista del prestador del servicio, la implementación de la tecnología le permitiría liberar recursos y personal, enfocándose en las labores de diagnóstico, planificación y seguimiento, y no en la aplicación propiamente tal. El ahorro de tiempo permitiría abarcar una mayor superficie por jornada de trabajo, esto sujeto por supuesto a la disponibilidad de controladores, que como se dijo puede ser un factor limitante. Si el resultado neto es favorable para los proveedores, sería un incentivo para la entrada de nuevos actores, lo que además de beneficios privados genera un desarrollo de la industria del conocimiento, de mayor sofisticación y con mayor posibilidad de diversificarse hacia servicios similares o complementarios (telemetría, vigilancia, entre otros).

Si la tecnología resulta equivalente o superior en costo/eficacia para los agricultores, sería esperable un incentivo para la utilización del control biológico en sustitución o complemento de agroquímicos, lo que genera beneficios económicos, sociales y ambientales por menor uso de plaguicidas (menores residuos en el ambiente y menor riesgo para la salud de las personas). Desde el punto de vista del comercio internacional, reduciría la probabilidad de detección de sustancias prohibidas en productos de exportación, mejorando el posicionamiento de las empresas chilenas y de nuestra economía en general.

► 5. Conveniencia económica para el productor

Como se mencionó anteriormente, dado que no se realizaron pruebas de campo para evaluar el desempeño y eficacia de los controladores, no es posible cuantificar el beneficio neto que podría significar para el agricultor. Por lo tanto, a continuación se plantea un análisis desde el punto de vista del prestador de servicios. Los supuestos clave para el análisis son:

- Liberación terrestre alcanza un máximo de 20 hectáreas por jornada con un equipo de 3 trabajadores. La liberación aérea se evalúa en un escenario medio donde la superficie cubierta aumenta en un 50%, y en un escenario alto donde aumenta en un 100% (mayor experiencia, distancias más cortas entre un predio y otro).
- El costo de los controladores por punto de liberación se incrementa en la liberación aérea, ya que en el proyecto precursor se observó que un 20% de las cápsulas no eran liberadas del dron. Esta merma debe ser compensada aumentando la cantidad de insectos con cargo al proveedor, puesto que se trata de una ineficiencia de la técnica.
- El costo del equipo por hora de vuelo corresponde a una estimación de la depreciación y mantención del dron, set de baterías y equipos complementarios.
- La liberación aérea puede ser siempre realizada por solo 1 trabajador.
- Ejemplo corresponde a la liberación de depredador para controlar chanchito blanco en arándano, huerto plano, baja dificultad de recorrido.
- Se omiten valores que no varían entre las distintas modalidades, como el costo de movilización entre predios.

Cuadro 6. Estimación de resultados económicos de implementación de dron en proveedor de servicios de control biológico

Valores estimados	Liberación terrestre	Liberación aérea 1	Liberación aérea 2
Parámetros de desempeño y valores unitarios			
Superficie tratada (ha/jornada)	20	30	40
Puntos de liberación (puntos/ha)	7,2	7,2	7,2
Costo insectos por punto de liberación (\$)	4.000	5.000	5.000
Costo equipo (\$/hora vuelo)		2.500	2.500
Costo esferas (\$/unidad)		40	40
Cantidad trabajadores	3	1	1
Total horas de trabajo equipo	8	8	8
N° jornadas hombre total	3	1	1
Costo mano de obra jornada (\$/jornada hombre)	40.000	40.000	40.000
Costo alimentación personal (\$/jornada hombre)	6.000	6.000	6.000
Tarifa / ha (\$)	50.000	50.000	50.000
Costo total liberación (\$)	714.000	1.154.640	1.517.520
Costo total personal (\$)	120.000	40.000	40.000
Costo total insectos (\$)	576.000	1.080.000	1.440.000
Costo total equipamiento (\$)		28.640	31.520
Costo total alimentación (\$)	18.000	6.000	6.000
Ingreso total (\$)	1.000.000	1.500.000	2.000.000
Utilidad (\$)	286.000	345.360	482.480
Razón utilidad aérea/terrestre		1,21	1,69

Fuente: elaboración propia en base a proyecto precursor.

Los resultados indican que al elevar la cantidad de hectáreas diarias cubiertas de 20 a 30 incrementa la utilidad de la jornada en un 21%, y en un 69 % cuando esta llega a 40 hectáreas. Proyectando esto a una temporada de aplicación estacional de 60 jornadas, la liberación aérea llegaría a generar una utilidad adicional de \$3.561.600 y \$11.788.800, para 30 y 40 hectáreas, respectivamente.

La eficacia de liberación de controladores es una variable clave para la rentabilidad, ya que los insectos son el principal costo variable de este análisis simplificado. Si esta eficacia se reduce a 76 %, la rentabilidad de la liberación aérea a 30 ha/jornada se iguala a la de la liberación terrestre, y al 70 % la rentabilidad a 30 ha/jornada es inferior a la de la liberación terrestre. En el cuadro siguiente se presenta la sensibilización a esta variable.

Cuadro 7. Sensibilización de resultados económicos de implementación de dron de acuerdo a la eficaz de liberación

Razón utilidad aérea/terrestre según rendimiento por jornada	Eficacia de liberación			
	70%	76%	80%	90%
30 ha/jornada	0,69	1,00	1,21	1,63
40 ha/jornada	1,00	1,41	1,69	2,25

Fuente: elaboración propia.

A este análisis deben agregarse posteriormente las demás variables que requieren ser validadas, como la eficacia de los controladores en su capacidad de eliminar exitosamente las plagas. Con los valores dados existe un estrecho margen.



Trichogramma parasitando huevos de huésped. Fuente: Entomological Society of America.

► 6. Claves de viabilidad

Dado que el desarrollo tecnológico del proyecto alcanzó un nivel de prototipo no validado en campo, resulta indispensable realizar ensayos de liberación real de controladores, evaluando su sobrevivencia, la capacidad de parasitoidismo o predación y el grado de efectividad final sobre la plaga objetivo. Existen protocolos y procedimientos descritos para estos estudios, por lo cual un apropiado diseño experimental y análisis estadístico de los resultados permitiría validar las hipótesis de efectividad.

Sin estos estudios no es posible asegurar la viabilidad técnica del prototipo, posición que es compartida por algunas de las empresas prestadoras del servicio. Es muy probable que la liberación aérea pierda algún grado de efectividad en comparación con la liberación manual, ya que los controladores que caen al suelo deben desplazarse hacia los lugares donde se encuentra la plaga, pudiendo enfrentar distractores o ser afectados por elementos ambientales. Esta merma puede ser compensada elevando la dosis estándar por hectárea, pero para ello se requiere cuantificar el nivel de eficacia real para evaluar si es rentable elevar la dosis.

Sin perjuicio de lo anterior, es muy claro que la automatización y digitalización de procesos que hoy son realizados por mano de obra es una tendencia que llegó para quedarse, y cada vez permeará más ámbitos del trabajo agrícola. El crecimiento del mercado de drones y otras empresas de base tecnológica ofrece un espacio muy interesante para cruzar disciplinas y buscar soluciones de mayor sofisticación a problemas reales de la agricultura. La colaboración entre empresas, el desarrollo de plataformas de integración de información y la búsqueda de multifuncionalidad en los equipos tienen el potencial de dar valor agregado y complejidad económica al mercado.

Por otra parte, como práctica general en un programa de manejo integrado de plagas, el monitoreo detallado y sistemático de los campos debiera ser incorporado como una tarea fundamental para los agricultores y sus asesores. Los brotes de plagas cambian su comportamiento entre temporadas y no se distribuyen uniformemente dentro de los campos. La detección temprana de brotes y la aplicación de medidas de tratamiento son inherentes al manejo efectivo de plagas, lo que permite que las decisiones de manejo se implementen antes de que las plagas estén bien establecidas y se produzcan pérdidas de cultivos. El seguimiento de plagas requiere tiempo y conocimiento, y puede verse obstaculizado por la falta de técnicas de muestreo fiables o rentables. Por lo tanto, un desafío importante asociado con una mayor sostenibilidad del manejo de plagas en la agricultura moderna es desarrollar y promover procedimientos mejorados de monitoreo de cultivos. Para ello la asesoría profesional y el uso de software sencillos pero robustos, como el diseñado en el proyecto, son herramientas de gran utilidad.

► 7. Asuntos por resolver

- La aeronave utilizada en el proyecto tiene una autonomía de vuelo con carga útil de aproximadamente 15 minutos, limitada por la capacidad de sus baterías. Esto implica que un mismo dron requiere contar con un set de baterías para poder efectuar varias operaciones consecutivas en la misma jornada, lo cual aumenta sus costos de implementación.
- Si bien el dron adaptado en el proyecto podría utilizarse para las pruebas de efectividad de campo, dado el vertiginoso desarrollo tecnológico de la industria de los drones sería conveniente considerar otras alternativas de aeronave para un futuro escalamiento. Esto considerando una mayor autonomía de vuelo, precisión en el posicionamiento, facilidad de adaptación de nuevos aditamentos, simplicidad de operación y relación costo/prestaciones.
- El análisis de la capacidad de los controladores de emerger de las cápsulas solo fue evaluado en condiciones de laboratorio. Se hace necesario analizar su desempeño en condiciones de campo, donde los controladores estarían expuestos a diversas condiciones ambientales (frío, lluvia, sol directo y predación por aves, entre otros factores) que podrían alterar su sobrevivencia. Lo anterior implica no solo medir la emergencia de los controladores de las cápsulas, sino que evaluar también su efectividad en el control de las plagas objetivo.
- El método de liberación mediante cápsulas no ha sido contrastado con el método de liberación a granel que se usa en la mayoría de las experiencias en el mundo. Por lo tanto, no hay evidencias de las ventajas que pueda tener el método propuesto sobre el otro.
- La precisión espacial de la liberación, del orden de 51 cm de desvío promedio en condiciones de viento leve, debe ser validada en su efectividad de control en distintos cultivos, con distintos tamaños y morfologías de planta.

El proyecto precursor

► 1. Características generales

El proyecto “Manejo Sustentable de Plagas mediante el Desarrollo de un Vehículo Aéreo no Tripulado (UAV) para la Dispersión de Agentes de Control Biológico” tuvo una duración de 3 años, finalizando en septiembre de 2019. Su objetivo fue aumentar la eficacia y sustentabilidad del manejo de plagas en la agricultura mediante el uso intensivo de monitoreo y la liberación de enemigos naturales mediante vehículos aéreos no tripulados o drones. Se estructuró en torno a los siguientes objetivos específicos:

1. Diseñar un prototipo de UAV (dron) que permita liberar desde el aire dos tipos de controladores biológicos, ahorrando tiempo y dinero a los agricultores.
2. Elaborar un software que genere “planes de vuelo” para el dron bajo el principio de “liberar más donde se necesite más”.



Chrysoperla adulto. Fuente: Wikimedia Commons, foto ©Entomart.



Dron de empresa NCB Sistemas Embarcados. Fuente: Facebook de empresa.

3. Realizar vuelos piloto y evaluar su precisión, confiabilidad y costo.
4. Estudiar económicamente la nueva tecnología en comparación al método convencional de control biológico.
5. Seleccionar razas de controladores biológicos adecuados para la dispersión mediante drones.

El ejecutor del proyecto fue INIA a través del Centro Regional de Investigación Quilamapu, ubicado en Chillán, Región de Ñuble. Aquí se encuentra el Centro Tecnológico de Control Biológico (<http://www.controlbiologicochile.com>), que desarrolla investigación aplicada en el control de plagas y enfermedades agrícolas y forestales, mediante la ecología química, el uso de nematodos, hongos entomopatógenos, e insectos predadores y parasitoides. Como asociados al proyecto participaron las siguientes empresas regionales:

- Natural Chile Ltda. (www.naturalchile.cl): servicios de implementación y acreditación de manejo integrado de plagas y control biológico.
- Bluefield Chile Ltda. (<http://bluefieldchile.com>): comercialización y exportación de frutas y verduras, con foco en el mercado estadounidense de arándanos frescos.
- Atiagro Ltda.: servicios y productos de ingeniería agrícola, producción de berries orgánicos.

Adicionalmente, durante el proyecto colaboraron las empresas Geonuts (<http://www.geonuts.cl>), exportador de nueces orgánicas, y Xilema SpA (<http://www.xilema.cl>), prestador de servicios de manejo integrado de plagas y control biológico, quienes contribuyeron a la validación de la tecnología.

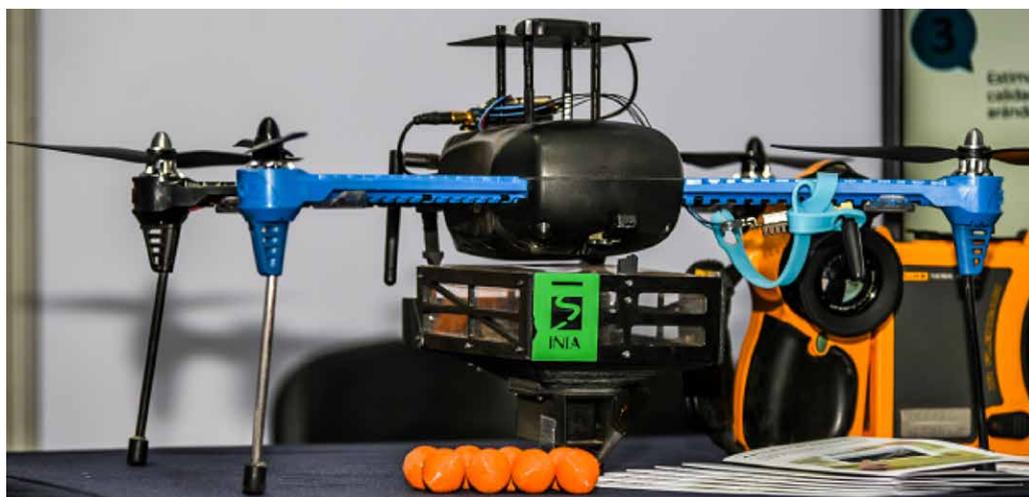
► 2. Validación de la tecnología

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

Operación de vehículo

El modelo seleccionado y sus diversos componentes fueron puestos a pruebas en distintos lugares y bajo diversas condiciones de viento, mostrando un funcionamiento acorde con los parámetros dados por el proveedor.

El hecho de contar con un proveedor nacional,⁷ quien además desarrolló el dispositivo de liberación, permite contar con un soporte técnico y logístico cercano, necesario para eventuales ajustes o reparaciones menores que pueden ser requeridas en la operación rutinaria del sistema.



Dron con dispositivo de liberación y cápsulas para controladores biológicos. Fuente: proyecto precursor .

Eficacia del dispositivo electrónico de liberación

El dispositivo de descarga diseñado y fabricado específicamente para este proyecto fue probado en condiciones de campo liberando “dummies”, es decir, objetos de características similares a las esferas contenedoras de los controladores, verificándose el funcionamiento de su mecanismo de apertura y cierre de acuerdo a las instrucciones programadas. Sin embargo, se observó que en promedio un 20 % de las cápsulas no eran liberadas en el vuelo, lo cual reduce la eficacia de la técnica.

⁷ Tanto la configuración del dron y estación de tierra, así como el diseño del dispositivo de liberación, fueron desarrollados por la empresa nacional Loiter Systems. <http://loitersystems.cl/>

Precisión espacial

La incorporación del sistema de telemetría RTK como complemento al sistema GPS convencional que viene instalado por defecto en el dron, permitió mejorar el grado de ajuste entre la posición programada de descarga y la posición efectiva. Este sistema permitió obtener un promedio de desvío de 51 cm bajo las condiciones recomendadas de viento suave, y de 92 cm para viento fuerte. La altura de vuelo varió entre 2 a 8 metros, la velocidad en general fue de 2 m/s.

Cuadro 8. Resultados de ensayos de desvío en distancia de sitio de descarga respecto a lo programado, bajo diversas condiciones de viento

	Viento fuerte (15 km/h)			Viento suave (7 km/h)
Desvío promedio (cm)	77(a)	76(a)	121(b)	51(a)
Desvío mínimo (cm)	18	18	81	12
Desvío máximo (cm)	113	154	160	102
Nº waypoints ruta	9	11	10	6

Letras entre paréntesis indican diferencias significativas al 5%.

Fuente: proyecto precursor.

El sistema tiene la capacidad de liberar más de una esfera en un lugar si es necesario, esto se logra programando cuánto tiempo se posa el dron en cada punto.



Medición de precisión de descargas. Las esferas encerradas en círculo fueron liberadas con RTK apagado, las demás con el sistema habilitado. Fuente: proyecto precursor.

Cápsulas para dosificación de controladores biológicos

Si bien hubo dificultades para encontrar un proveedor para las cápsulas, finalmente se logró realizar un acuerdo con una empresa para su fabricación. Se testearon diversos materiales, como celulosa y gelatina, optando finalmente por el ácido poliacético (PLA) por su disponibilidad y desempeño.

Con este material se diseñaron distintos modelos de cápsula, probando la emergencia de los insectos en condiciones de laboratorio, como indican los cuadros siguientes.

Cuadro 9. Porcentaje de microavispa parasitoide *Trichogramma* sp. que emerge desde las cápsulas, según el tamaño de éstas

Repeticiones	Diámetro de la cápsula	
	15 mm	25 mm
1	94	97
2	82	94
3	100	91
4	89	100
5	84	
Promedio	90 %	96 %

Fuente: proyecto precursor.

Cuadro 10. Porcentaje de larvas de *Chrysoperla* sp. que salen desde esferas de 25 mm de diámetro, con dos orificios de salida

Color esfera	Luz	Nº repeticiones	Insectos que salen de la cápsula dentro de las primeras 3 h	Insectos que salen de la cápsula después de 3 horas
Blanca	Si	10	60%	90%
	No	10	75%	88%
Negra	Si	10	50%	92%
	No	10	63%	94%
Promedio			62%	91%

Fuente: proyecto precursor.

En base a los resultados observados se optó por esferas con una opacidad del 70 %, con cuatro orificios de salida de 2 x 4 milímetros. Se diseñaron en dos tamaños: diámetro 15 mm para *Trichogramma* sp. y de 25 mm para larvas de *Chrysoperla* sp. En ambos casos se constató que en condiciones de laboratorio al menos un 90 % de los insectos logra salir de las cápsulas, lo cual cumple con las metas del proyecto. Para subsanar esta merma, en su aplicación práctica debería dosificarse una cantidad adicional de controladores para alcanzar la cantidad deseada.

Las esferas tienen una capacidad máxima de hasta 5.000 individuos para *Trichogramma*, y hasta 300 *Chrysoperla*, por lo cual el plan de aplicación se puede modificar según la necesidad.

Plataforma integrada de monitoreo y liberación

Este elemento del sistema es fundamental para su buen desempeño, ya que de otro modo la aplicación de los controladores no podría ser adaptada a la condición real de la plaga en el predio, y su dispersión se haría de forma homogénea.

Para el diseño del software⁸ se consideraron los siguientes módulos:

- **Configuración inicial del predio:** en primer lugar deben registrarse los antecedentes del predio donde se aplica el sistema, definiendo el cultivo, la temporada y los sectores o cuarteles donde se desarrolla. Esta configuración se realiza sobre un mapa base, por lo cual los huertos son registrados con sus coordenadas geográficas y pueden visualizarse de forma gráfica.

Figura 7. Huertos configurados en sistema y opciones disponibles para el usuario



Fuente: proyecto precursor.

- **Elaboración de plan de muestreo para cada plaga:** determinación de fechas de muestreo, técnica de monitoreo, número de puntos de muestreo y su localización. Para realizar esta configuración se cargan previamente las opciones disponibles, de modo que el usuario las selecciona desde un listado. En esta etapa es fundamental contar con perso-

⁸ Software desarrollado por empresa regional IDEVELOP Ingeniería y Desarrollo Ltda.

nal capacitado o asesoría para definir un programa adecuado a las características de la plaga, su situación inicial en el predio y su evolución a lo largo de la temporada.

Figura 8. Registro de muestreos realizados: programación y seguimiento de muestreos configurados para monitoreo de plagas

Cuartel: test inia 2 Cultivo: Manzano Campaña: 2017-18

Listado de Muestreos

mostrar 10 registros

#	Plaga	Fecha Propuesta	Responsable	Realizado	Acciones
175	Pseudococcus SP.	2019-02-22	INIA, INIA (P)	2019-02-22	    
208	Cydia Pomonella	2019-10-28	INIA, INIA (P)	Pendiente	    
209	Cydia Pomonella	2019-11-04	INIA, INIA (P)	Pendiente	    
210	Cydia Pomonella	2019-11-11	INIA, INIA (P)	Pendiente	    

Página 1 de 1 Anterior 1 Siguiente

Fuente: proyecto precursor.

- **Registro de muestreos realizados:** los resultados del monitoreo deben ser registrados utilizando las métricas previamente definidas para cada plaga.

Figura 9. Registro de resultados de muestreos para monitoreo de plagas

Muestreo # 208

Fecha Propuesta: 2019-10-28

Indicador: Cydia Pomonella - Técnica : Adultos/Trampa

Fecha Ejecución: 2019-10-28

Punto	Valor
#1	12
#2	4
#3	3
#4	2
#5	0

Fuente: proyecto precursor.

- **Reporte de monitoreo de plagas:** la presencia e intensidad de la plaga es presentada de forma gráfica mediante una codificación de colores, lo que permite al usuario apreciar su estado de manera sencilla y evaluar la plaga en el tiempo. El grado de intensidad de la plaga se obtiene comparando los registros de monitoreo con los estándares definidos previamente por el experto e ingresados en el sistema.
- **Generación de órdenes de aplicación de medidas de control:** a partir del diagnóstico realizado se establece una recomendación de aplicación del control biológico, la cual es proporcional a la intensidad de la plaga y sectorizada espacialmente de acuerdo a la distribución en el predio. Gracias a la retroalimentación realizada con agricultores y empresas durante el proyecto, se decidió agregar al sistema una base de pesticidas orgánicos y convencionales para generar recomendaciones de control bajo distintas modalidades.
- **Generación de plan de vuelo:** con la información de diagnóstico de precisión de la plaga es posible configurar el plan de vuelo para la aeronave que realizará la liberación de los controladores, a través de un archivo que es interpretado por el software *Mission Planner*.

El software fue testeado utilizando datos de prueba, obteniéndose planes de vuelo acordes a los datos registrados.

Producción de insectos controladores

Gracias a la experiencia y el trabajo previo del Centro de Control Biológico de INIA, se criaron exitosamente poblaciones de los controladores biológicos *Chrysoperla* y *Trichogramma*. Durante el proceso hubo episodios de contaminación de las crías con ácaros y otros insectos, los cuales fueron controlados mediante aplicación de protocolos sanitarios.

En el caso del depredador *Chrysoperla* se evaluaron dos linajes, denominados “Estándar” y “Azapa”, los cuales fueron muestreados y medidos en su diámetro polar y ecuatorial, sin encontrarse diferencias significativas entre ambas líneas. La variable diámetro ecuatorial presentó algo más de variabilidad que el diámetro polar, pero casi la totalidad de los individuos muestreados presentaron dimensiones dentro del rango esperado (promedio \pm 10 % de variación).

Cuadro 11. Mediciones corporales de pupas en dos linajes de depredador *Chrysoperla* sp.

Parámetro	Diámetro polar (mm)		Diámetro ecuatorial (mm)	
	Estándar	Azapa	Estándar	Azapa
Nº mediciones	100	100	100	100
Promedio	4,081	4,111	2,403	2,400
Mínimo	3,850	3,850	2,150	2,150
Máximo	4,320	4,320	2,640	2,640
Desviación estándar	0,139	0,127	0,133	0,149
Coefficiente de variación	3%	3%	6%	6%
Nº de registros en el rango promedio \pm 10%	100	100	95	93

Fuente: proyecto precursor.

Se decidió utilizar larvas del depredador *Chrysoperla* en lugar de pupas (su estadio anterior en el proceso de metamorfosis), dado que la larva es el estado predador activo, con lo cual se acelera el inicio del proceso de control. Las larvas en el interior de las cápsulas deben ser mezcladas con afrecho o cascarilla para evitar la adherencia y predación entre ellas.



Pupas de *Chrysoperla* analizadas en laboratorio. Fuente: proyecto precursor.

Difusión de la utilización de la nueva tecnología

La utilización de la nueva tecnología fue expuesta en diversas actividades de difusión, realizadas en la Región de Ñuble, Región del Maule y Región Metropolitana. La iniciativa fue ampliamente conocida y divulgada a través de su cobertura en medios electrónicos y presencia en seminarios y congresos, alcanzado notoriedad entre agricultores, profesionales, estudiantes y empresas de servicios del sector agrícola.



Exposición en día de campo INIA Quilamapu. Fuente: proyecto precursor.



Demostración de operación a estudiantes de Liceo Agrícola de Yerbas Buenas. Fuente: Facebook Liceo Marta Martínez Cruz.

► 3. La asesoría

En el desarrollo del proyecto precursor, y por ende en la futura replicación de la tecnología desarrollada, el rol de los especialistas en control biológico de plagas es absolutamente fundamental.

Dado que el objetivo es implementar un “control biológico de precisión”, se requiere personal altamente calificado para las distintas etapas del proceso, lo que incluye:

- Elaborar un plan de monitoreo apropiado para cada plaga, escogiendo la técnica de muestreo, su frecuencia y densidad espacial.
- Reconocer y cuantificar las plagas, identificando correctamente cada plaga en sus distintos estadios de desarrollo.
- Definir umbrales para categorización de la incidencia de cada plaga en el predio, mediante la comparación con los registros de monitoreo.
- Generar recomendaciones de medidas de control (sea biológico o mediante otros medios) acordes al diagnóstico de precisión realizado previamente.

El ejecutor del proyecto cuenta con un equipo profesional especializado en entomología y control biológico de plagas, lo cual se complementó con el aporte de empresas prestadoras de servicios de control biológico. De este modo se contó con todas las herramientas técnicas para desarrollar un sistema integral, donde la incorporación del dron y sus accesorios constituyen un medio tecnológico para hacer el proceso más eficiente.

La aplicación de este sistema a escala comercial requiere de asesores altamente calificados, puesto que de no hacerse un diagnóstico preciso, la liberación de los controladores puede resultar poco efectiva y/o muy costosa. De la misma forma, si los controladores no son criados, transportados y manejados adecuadamente puede producirse mortalidad de individuos, lo cual afecta también su efectividad en el control.

► 4. Estado de ejecución actual

Actualmente la tecnología no ha sido adoptada por el sector productivo, ya que no se ha concretado alguna alianza con las empresas prestadoras de servicios de control biológico para su implementación o continuidad de los ensayos.

El software diseñado ha sido presentado a agricultores, pero no se ha materializado su transferencia aún.

El valor del proyecto precursor y aprendido

El proyecto desarrolló los componentes de hardware y software necesarios para implementar un sistema de control biológico de precisión. Dadas las ventajas del control biológico como parte de una estrategia de manejo integrado de plagas, el dotar a este sistema de una tecnología para hacerlo más eficiente mejora su relación costo/beneficio, por lo cual promueve su implementación en el sector productivo.

Por la complejidad y necesidad de asesoría experta en todo el proceso de control biológico, la transferencia al sector productivo requiere de prestadores de servicios altamente especializados, que incorporen las herramientas informáticas y el equipamiento para ofrecer el servicio. Por lo tanto, una tecnología que permita bajar los costos de aplicación resulta también en un incentivo para la incorporación de nuevos agentes en el mercado del control biológico, generando mayor competencia y con ello reduciendo los costos para el agricultor.



Exposición en día de campo INIA Quilamapu. Fuente: proyecto precursor.

El proyecto consiguió demostrar la factibilidad de la utilización de drones para la dispersión de controladores biológicos, quedando por verificar la efectividad del control en condiciones de campo.

Considerando que la industria de diseño de drones se encuentra en constante evolución, las condiciones de operatividad, capacidad de carga y autonomía pueden verse significativamente mejoradas adaptando el software y los dispositivos ya diseñados a nuevos modelos de aeronave. Por lo tanto, el mayor valor del proyecto no se encuentra en el dron propiamente tal, sino que en la metodología para integrar el diagnóstico de precisión con la liberación.

Anexos

Anexo 1. Bibliografía

Anexo 2. Entrevistas realizadas

ANEXO 1. **Literatura consultada**

- Alvear, A. 2011. Control Biológico Integrado de plagas: rompiendo mitos. En: Revista Redagráfica N° 40, agosto 2011 (pp 22-23).
- Devotto, L. 2010. Depredadores y Parasitoides, enemigos naturales de las plagas. Informativo N° 6, Centro Tecnológico de Control Biológico, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Investigación Quilamapu. Ministerio de Agricultura, Chile.
http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/144819/EVR-2010-0129_MA.PDF
- Devotto, L. y C. Salas. 2016. Estado de la tecnología en Chile. Control biológico de polillas-plaga con parasitoides de huevos. Informativo N° 32, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional Investigación Quilamapu. Ministerio de Agricultura, Chile.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40550.pdf>
- El Mercurio. 2020. Drones una nueva alternativa para fumigar. El Mercurio Campo, artículo electrónico (22 junio 2020).
- Gerding, M. y C. Torres. 2001. Producción masiva de Trichogramma. Boletín INIA N° 61. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. 38 p.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR27725.pdf>
- Gerding, M. 2020. Una mirada a los controladores biológicos en Chile. El Mercurio Campo, artículo electrónico (21 julio 2020).
- Global Market Insights, 2020. Biocontrol agents Market, 2026. Reporte GMI1551. Authors: K. Pulidindi, Pandey H.
<https://www.gminsights.com/industry-analysis/biocontrol-agents-market>
- Iost, F., Heldens, W., Kong, Z. & E. de Lange. 2019. Drones: Innovative Technology for Use in Precision Pest Management. Journal of Economic Entomology, Volume 113, Issue 1, February 2020, Pages 1–25. <https://doi.org/10.1093/jee/toz268>
- Kenis, M.; Hurley, B.P.; Colombari, F.; Lawson, S.; Sun, J.; Wilcken, C.; Weeks, R. and Sathyapala, S. 2019. Guide to the classical biological control of insect pests in planted and natural forests, FAO Forestry Paper N° 182. Rome, FAO.
<http://www.fao.org/3/ca3677en/ca3677en.pdf>
- Lenteren, J. y M. Cock. 2020. The uptake of biological control in Latin America and the Caribbean. In book: Biological Control in Latin America and the Caribbean: its Rich History and Bright Future. (pp.473–508.) Publisher: CABI.
- Librán-Embíd, F., Klaus F., Tschardt T., and I. Grass. 2020. Unmanned aerial vehicles for biodiversity-friendly agricultural landscapes - A systematic review. Science of the Total Environment 732 (2020) 139204.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139204>

- Meticulous Market Research. 2019. Biopesticides Market - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast (2019-2025). Reporte MRAGR – 104352.
<https://www.meticulousresearch.com/product/biopesticides-market-5051>
- Palomares, M., Barajas, M. y H. Arredondo. 2017. Producción masiva de *Ceraeochrysa valida* (Banks) (Neuroptera: Chrysopidae) a 30 °C. Chilean J. Agric. Anim. Sci., ex Agro-Ciencia (2017) 33(2): 187-191.
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/chjaasc/v33n2/0719-3890-chjaasc-00504.pdf>
- Rojas, S. 2005. Control Biológico de Plagas en Chile. Historia y Avances. Colección de Libros INIA N°12. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La Cruz. Ministerio de Agricultura, Chile.
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/libros/NR33206.pdf>
- SAG. 2014. Resolución 1557 Exenta. Establece exigencias para la autorización de plaguicidas y deroga Resolución N° 3.670 de 1999. Ministerio de Agricultura; Servicio Agrícola y Ganadero, Chile.
<https://www.leychile.cl/N?i=1060172&f=2019-01-21&p=>
- Xilema. s/f. Ficha Técnica *Chrysoperla*.
<http://www.xilema.cl/fichas-tecnicas/1/detalle/chrysoperla/>

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:

Nombre	Cargo
Luis Devotto y Stanley Best	Equipo ejecutor proyecto precursor, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
Cristian Torres	Empresa Naturalchile, asociada al proyecto.
Francisco Ferrada	Empresa Atiagro, asociada al proyecto.
Patricio Caro	Empresa Bluefield, asociada al proyecto.
Liliana Camelio	Biofuturo, empresa control biológico.
Andrés Alvear	Xilema, empresa control biológico.
Marcos Gerding	Biobichos, empresa control biológico.

149

