

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR- JOSE MIGUEL CARRERA

**DETERMINACIÓN DE BENEFICIO ECONÓMICO PRODUCTIVO PARA LA
APLICACIÓN DE AGROQUÍMICOS MEDIANTE SISTEMAS AÉREOS
PILOTADOS DE FORMA REMOTA**

Trabajo de Titulación para optar al título
de INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
MECÁNICA DE PROCESOS Y
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:

Sr. Rafael S. Vidal Quijada

Profesor Guía:

Mg. Ing. Pablo Duque Ramírez



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título; Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Determinación de beneficio económico productivo para la aplicación de agroquímicos mediante sistemas aéreos pilotados de forma remota

Nombre del candidato(a): Rafael Sebastian Vidal Quijada

Carrera / Grado: Ingeniería en Ejecución en Mecánica de Procesos y Mantenimiento Industrial

Campus: Viña del Mar ; Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Pablo Duque Ramírez, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

6 meses; 12 meses; 2 años; 3 años; 5 años; 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 22/07/2025

; Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 22/07/2025

; Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

DEDICATORIAS

A mi familia.

Agradezco a todas las personas involucradas en esta aventura, mis amigos,

compañeros y profesores.

RESUMEN

KEYWORDS: AGRICULTURA DE PRECISION – DRON – AGRAS T16 – PLAGUICIDAS – MAQUINARIA AGRICOLA CONVENCIONAL – COSTOS OPERACIONALES

En un marco donde la producción agrícola debe ser más eficiente y amigable con el medio ambiente y asimismo satisfacer la demanda de los productos por parte del mercado, es necesario considerar la variedad de avances tecnológicos y de técnicas disponibles.

El propósito de este trabajo de título es la determinación del beneficio económico productivo en la utilización de un dron fumigador frente a la maquinaria agrícola tradicional. Persiguiendo dicho objeto, fue necesario establecer el contexto donde se ejecuta la aplicación de agroquímicos analizando los factores relevantes involucrados en la operación del dron buscando comparar con la maquinaria convencional.

Fue necesaria elaborar una metodología cuantitativa para determinar la pérdida productiva causada por el tránsito de los tractores al momento de realizar una aplicación de fitosanitarios en cultivos de papas y trigo. Para sustentar el estudio se recurre a la literatura de las instituciones ligadas al agro. Conjuntamente se desarrolló una evaluación de los costos involucrados para contrastar los métodos de aplicación.

Los resultados muestran que la productividad del punto de vista de hectáreas por hora considerando dosis estándar de 20 [l/ha] para el dron, frente a un tractor con una dosis 10 veces mayor, es prácticamente el doble. También se cuantifica el impacto económico en diferentes escenarios que genera el tránsito de la maquinaria sobre los cultivos de papa y trigo que puede decantar eventualmente por la utilización del dron, debido a los estrechos márgenes de utilidad por hectárea que ocasiona la pérdida de superficie productiva.

Se concluye que esta tecnología es potencialmente beneficiosa ante el contexto expuesto en este trabajo. Es necesario mencionar que la aplicación por dron no desplaza por completo el empleo de la maquinaria tradicional dada otras variables relacionadas con la acción de los químicos fitosanitarios como su naturaleza de acción que condiciona el equipo necesario para resultados óptimos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DE CONTEXTO OPERACIONAL DE LA APLICACIÓN DE FITOSANITARIOS	4
1.1. Antecedentes generales	5
1.2. Region metropolitana.....	7
1.2.1. Características geográficas.....	8
1.2.2. Economía	9
1.2.3. Caracterización de los productores.....	10
1.2.4. Cultivos	10
1.2.5. Mano de obra.....	12
1.3. Aplicación de productos fitosanitarios.....	13
1.3.1. Etapas de la aplicación.....	13
CAPÍTULO 2: Evaluación de desempeño de Rpas mediante experimentación y productividad de la maquinaria agricola	6
2.1. Necesidad de experimentacion	17
2.2. Equipo	17
2.2.1. Especificaciones técnicas	18
2.2.2. Procedimiento de operación.....	18
2.2.3. Prueba de rendimiento operacional	19
2.3. Determinación de la producción de un pulverizador	26
CAPÍTULO 3: Determinación del beneficio de la aplicación de plaguicidas mediante RPAS.....	34
3.1. Análisis de costos de operación o uso de maquinaria agrícola	29
3.1.1. Tractor.....	30
3.1.2. Dron	33
3.2. Impacto del tránsito de maquinaria agrícola	35
3.3. Elaboración de metodología para determinación de impacto productivo.....	37
3.3.1. Cultivos para evaluar	38
3.3.2. Cálculos económicos	39
3.4. Comparación maquinaria agrícola convencional contra dron.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	49
Anexo A: Ficha tecnico economica papa	50
Anexo B: Rendimiento trigo según variedad.....	52
Anexo C: Costo de explotación trigo por hectarea	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Tabla superficie utilizada por cultivo	10
Tabla 1-2 Superficie de frutales por especie.....	11
Tabla 1-3 Superficie vitivinícola por especie	11
Tabla 1-4 Superficie hortícola por especie	12
Tabla 2-1 Especificaciones técnicas dron DJI Agras T16	18
Tabla 2-2 Área aplicada por batería	22
Tabla 2-3 Superficie aplicada por batería con diversa dosificación.....	23
Tabla 2-4 Distancia D máx. de utilidad de estanque	25
Tabla 2-5 Cuadro comparativo de productividad entre equipos	28
Tabla 3-1 Costos totales por hora de trabajo equipo tractor	32
Tabla 3-2 Costos totales por hora de trabajo equipo dron.....	35
Tabla 3-3 Superficie, producción y rendimiento nacional de trigo.....	39
Tabla 3-4 Rendimiento productivo hectárea de papa	40
Tabla 3-5 Producción según escenarios de compactación.....	42
Tabla 3-6 Venta según escenario	42
Tabla 3-7 Ingresos ajustados a cosecha.....	43
Tabla 3-8 Productividad variedades de trigo a través de los años	43
Tabla 3-9 Resumen de costos de operación de cada equipo un campo de 20 [ha]	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Huellas de maquinaria agrícola sobre campo de trigo.....	6
Figura 1-2 UAV Yamaha RMAX	7
Figura 1-3 Mapa político de la Región Metropolitana de Santiago	8
Figura 1-4 Gráfico Datos históricos de superávit periodo 2000-2024 estación Quinta Normal	9
Figura 1-5 Gráfico Composición PIB por actividad económica.....	9
Figura 1-6 Procedimiento de triple lavado de los envases.....	14
Figura 2-1 Dron DJI Agras T16.....	17
Figura 2-2 Vista previa de área de aplicación.....	18
Figura 2-3 Boquilla de abanico	19
Figura 2-4 Cargador y batería inteligente.....	20
Figura 2-5 Captura de predio seleccionado	21
Figura 2-6 Captura del registro de vuelo del dron	22
Figura 2-7 Gráfico Rendimiento batería según dosificación de trabajo.....	24
Figura 2-8 Estanque del dron.....	24
Figura 2-9 Diferencia D máx.	25
Figura 2-10 Pulverizador Jacto Condorito 600	26

Figura 2-11 Tractor equipado con pulverizador.....	27
Figura 3-1 Tractor Massey Ferguson MF290/T4 Super	30
Figura 3-2 Subsolador.....	36
Figura 3-3 Esquema campo para elaboración de metodología.....	37
Figura 3-4 Pesa gramera junto a unidades de papa.....	40
Figura 3-5 Huella de tractor en cultivo de papas.....	41
Figura 3-6 Ficha Productiva INDAP	42
Figura 3-7 Gráfico de costos por rendimiento.....	45
Figura 3-8 Grafico de costos por rendimiento.....	45

SIGLAS Y SÍMBOLOS

SIGLAS

GNSS	:	Global Navigation Satellite System
INDAP	:	Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	:	Instituto Nacional de Estadísticas
INIA	:	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
IVA	:	Impuesto Valor Agregado
ODEPA	:	Oficina de Estudios y políticas Agrarias
RPAS	:	Remotely Piloted Aircraft System
RTK	:	Real Time Kinematic
SII	:	Servicio de Impuestos Internos
UAV	:	Unmanned Aerial Vehicle

SIMBOLOS

h	:	Hora
ha	:	Hectárea
kg	:	Kilogramo
l	:	Litro
m	:	Metro
min	:	Minuto
qmm	:	Quintal métrico
s	:	Segundo
ton	:	Tonelada
W	:	Watt
V	:	Volt

INTRODUCCIÓN

Desde tiempos ancestrales el cuidado de los cultivos contra las enfermedades causadas por insectos, hongos, estrés o falta de nutrición ha sido uno de los trabajos fundamentales en la agricultura. Los productos deben cumplir con las expectativas sobre su valor nutricional y la seguridad en su consumo.

Como en toda actividad económica en la agricultura se busca satisfacer un mercado a cambio de un beneficio económico, por lo que el cuidado de los cultivos entre otras de sus tareas debe ser eficiente para obtener un margen y generar utilidades.

Adicionalmente la proyección del crecimiento demográfico que señalan algunas organizaciones internacionales, indica que será necesario un aumento considerable de la capacidad de producción de alimentos de aquí al 2050, por lo que los campos deben ser cada vez más productivos.

Actualmente el sector agrícola ha ido perdiendo mano de obra dado los incentivos que puede ofrecer por lo que la automatización de algunas tareas se está convirtiendo en la normalidad.

Es en este escenario que surge la necesidad de emplear medios no convencionales que permitan maximizar la producción de los cultivos además de asegurar un uso eficiente y eficaz de los químicos empleados. Con esta premisa y gracias a los avances tecnológicos se adaptan drones para su uso agrícola; equipos multipropósitos que operan sobre las superficies de cultivo sin causar compresión sobre el suelo, cuyo trabajo es de alta precisión gracias a la georreferenciación y que permite un uso eficiente de los químicos reduciendo a su vez el consumo de agua por hectárea.

El fin de este estudio es de determinar el beneficio económico de la implementación de un dron agrícola frente a la maquinaria tradicional, mediante la determinación de los costos de operación involucrados en las tareas de fumigación, además de la productividad, el uso de recursos y las eventuales pérdidas de superficie cultivada.

OBJETIVO GENERAL

Determinar el beneficio económico-productivo de la aplicación de agroquímicos mediante Sistemas Aéreos Pilotados de forma Remota (Remotely Piloted Aircraft Systems [RPAS]) comparando sus parámetros operacionales con la maquinaria agrícola tradicional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir el contexto operacional de las plantaciones de la RM mediante la evaluación de la disponibilidad de recursos determinado la correcta aplicación de productos agroquímicos

Evaluar el desempeño de los RPAS experimentando con los parámetros operacionales comparando las variables que afectan la productividad y contrastarlo con la producción de la maquinaria agrícola convencional.

Elaborar un análisis del rendimiento para la determinación del beneficio para el agricultor utilizando ejemplos basados en actividades reales.

**CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DE CONTEXTO OPERACIONAL DE LA
APLICACIÓN DE FITOSANITARIOS**

1.1. ANTECEDENTES GENERALES

La historia de la protección de cultivos es casi tan antigua como la historia misma de la agricultura. La agricultura y el pastoreo de animales nacieron como tal en el periodo neolítico entre el 6000 a.C. y el 4000 a.C., dando origen a los primeros asentamientos humanos en el globo. Como en el presente, en aquella época los cultivos sufrían de plagas que eran potencialmente perjudiciales para la producción y para la acumulación de alimentos, lo que representaba una amenaza para la subsistencia de estos asentamientos. A partir de este problema surge la necesidad de proteger los cultivos mediante elementos que combaten la aparición de animales, hongos y malezas. Los sumerios utilizaban azufre para controlar los insectos desde el 3000 a.C. Posteriormente en el 600 a.C. los griegos y romanos usaban aceites, cenizas además del azufre para el control de los insectos. Desde los años 1600 los agricultores de todo el mundo encuentran en la nicotina un método efectivo para el control de plaga de insectos, ya que esta sustancia bloquea el sistema nervioso de estos animales.

La revolución industrial representa un punto de inflexión, donde comienza la fumigación por derivados del petróleo y el uso de sulfato de cobre con cal, acetoarsenito de cobre, disulfuro de carbono entre otros.

En el siglo XX alrededor del periodo entre guerras comienza la revolución química donde el hombre logra producir por primera vez los productos agroquímicos con el objetivo de lograr mayor productividad de los cultivos por área.

En 1960 ocurre la revolución verde, una serie de iniciativas de transferencia de tecnologías cuyo objetivo era el incremento productivo de los cultivos. Para este fin se impulsó entre otras materias el desarrollo de productos fitosanitarios.

Complementando los avances científicos fue necesario introducir la mecanización agrícola para conseguir el objetivo antes señalado. Desde la revolución industrial hasta el día de hoy, la utilización de animales ha ido siendo sustituida por maquinaria cada vez más al alcance del pequeño agricultor. Los avances en la automatización han sido introducidos en la maquinaria agrícola como también en el control del uso eficiente de los recursos hídricos cada vez más escasos.

Los estudios y la experiencia de los agricultores han revelado que el uso de medios convencionales de aplicación de plaguicidas en cultivos si bien cumple con su objetivo también presenta varias desventajas como la mala utilización de los productos derivando en intoxicación de los cultivos, suelos y de las personas que viven o trabajan alrededor de los cultivos. Además, como se observa en la figura 1-1, la pérdida de área de siembra producto del aplastamiento que causan maquinas como los tractores en el suelo equivale en pérdidas considerables ya que no solo perjudican con la huella en el campo, sino que produce compactación del suelo alrededor, perjudicando el crecimiento de las cosechas.



Fuente: Imagen propia

Figura 1-1 Huellas de maquinaria agrícola sobre campo de trigo

Como una alternativa a este problema y otros como la cantidad de superficie que logra realizar la maquinaria convencional nace durante principios de la década de los años 20 del siglo pasado la aplicación de productos agroquímicos mediante el uso de aviones.

La aplicación aérea de plaguicidas cuenta con aviones y helicópteros desarrollados específicamente para este fin. Sin embargo, este método cuenta con una fuerte desventaja que es la deriva por pulverización. La deriva es cuando una parte de la aspersion no alcanza el objetivo deseado y está fuertemente relacionada con la velocidad del viento donde el impacto se refleja en el movimiento de las gotas. Este fenómeno se incrementa de manera significativa producto que la operación de estas aeronaves es realizada a una altura significativa, por motivos de seguridad, y por su velocidad de funcionamiento. Por lo anterior su uso ha sido limitado e incluso prohibido por diferentes países por ser potencialmente peligroso para la salud pública y el ambiente.

Los avances tecnológicos posteriores y las necesidades insatisfechas permitieron en la década de los años 90 del siglo pasado el desarrollo de los primeros UAV o vehículos aéreos no tripulados para fumigar en Japón y Corea del sur (véase figura 1-2). Su desarrollo se vio propiciado por la necesidad de reducir costos y aumentar la precisión en pequeños cultivos donde adicionalmente la geografía no era la idónea para la aplicación aérea tradicional.



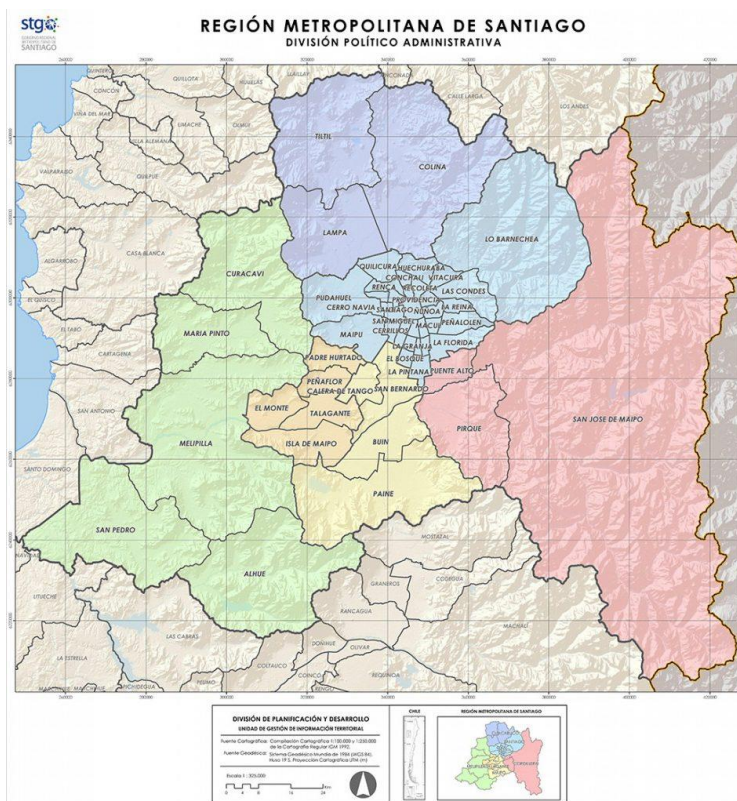
Fuente: <https://www.yamahamotorsports.com/motorsports/pages/precision-agriculture-rmax>

Figura 1-2 UAV Yamaha RMAX

Este trabajo pretende revelar las ventajas en el uso de este tipo de medio frente a la aplicación convencional comparando las variables más importantes y determinando el beneficio económico enfocado en la pequeña agricultura de la región metropolitana de Santiago.

1.2. REGION METROPOLITANA

La Región Metropolitana de Santiago (véase figura 1-3) es una unidad territorial con una superficie de 15.403 km² donde viven 7.112.808 habitantes según el censo del año 2017 lo que representa aproximadamente el 40% de la población del país. Lo anterior la convierte en la región más densamente poblada con 461,77 hab/km². Ubicada en el centro del país limita al norte y oeste con la región de Valparaíso, al este con Argentina y al sur con la región del Libertador Bernardo O'Higgins. La capital regional y a su vez capital del país es Santiago. La región se divide en seis provincias; Santiago, Cordillera, Talagante, Maipo, Chacabuco y Melipilla, y a su vez en 52 comunas de las que la mayoría son áreas urbanas.



Fuente: <https://www.gobiernosantiago.cl/datos-geograficos/>

Figura 1-3 Mapa político de la Región Metropolitana de Santiago

1.2.1. Características geográficas

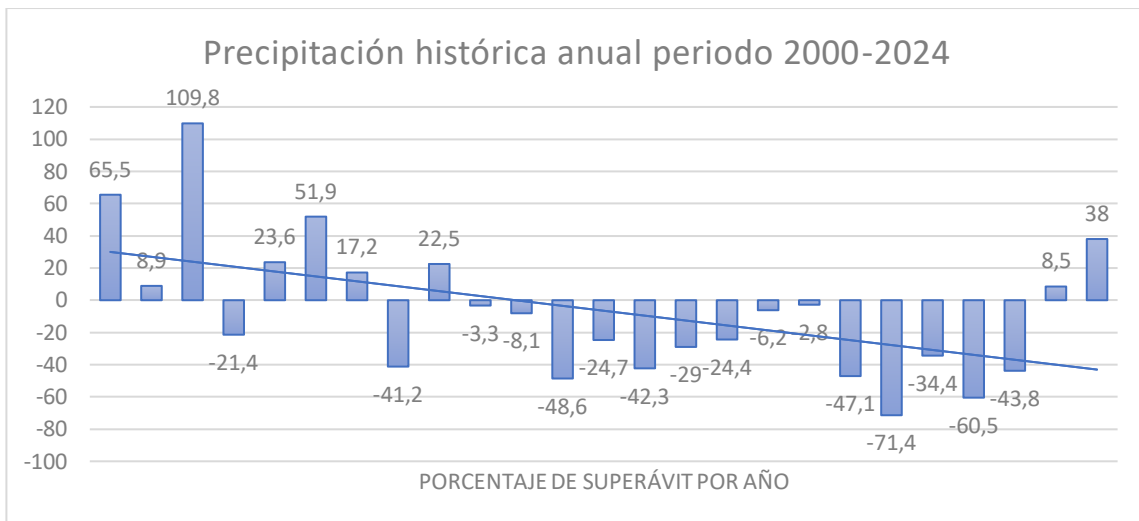
Existen tres relieves relevantes en la región, la cordillera de los andes, la cordillera de la costa y la depresión intermedia. En esta última la expansión urbana y las actividades económicas como la agricultura han afectado la vegetación nativa como los matorrales y los bosques esclerófilos.

El clima de tipo mediterráneo presenta una marcada estacionalidad donde predomina un verano largo y seco e inviernos cortos y húmedos. La precipitación anual fluctúa entre 300-500 mm comprendida entre los meses de mayo a agosto.

El territorio dispone de recursos hídricos tanto en la superficie como subterráneos. Los recursos superficiales están constituidos principalmente por el río del Maipo y sus afluentes. Este sistema hídrico proporciona más del 70% del agua potable y casi el 90% de la demanda de riego. La cuenca del Maipo-Mapocho es el principal sistema hidrográfico cuya extensión es de 15.157 km² que equivale al 95% de la superficie regional conteniendo prácticamente la totalidad del espacio productivo, además de la población. Los embalses, canales y acuíferos son las fuentes disponibles para la obtención del agua disponible en la región para cubrir en buena medida las crecientes necesidades con importantes consecuencias económicas ecológicas y territoriales.

Actualmente dado a una disminución sustancial de lluvias por más de una década, la región presenta una compleja situación relativa a su disponibilidad y distribución de

agua superficial y subterránea, que amenaza el consumo por parte de la población y las cosechas de los agricultores (véase figura 1-4).

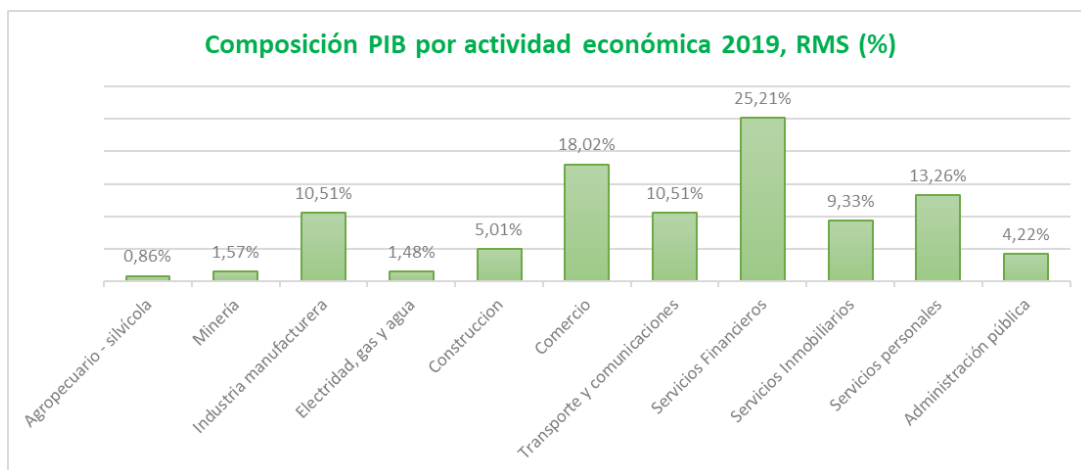


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Dirección meteorológica de Chile

Figura 1-4 Gráfico Datos históricos de superávit periodo 2000-2024 estación Quintana Normal

1.2.2. Economía

El Banco Central señala como resultado de la actividad económica del año 2019 que la región aporta con el 42,6% del Producto Interno Bruto nacional, con una fuerte presencia de los servicios financieros, el comercio, los servicios personales y la industria. Por su parte el sector agropecuario silvícola, como se indica en la figura 1-5, representa un 0,86% de la actividad regional.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Banco Central

Figura 1-5 Gráfico Composición PIB por actividad económica

En el año 2018 la Encuesta de superficie hortícola del INE señala que la RMS contiene 24.090 hectáreas cultivadas representando aproximadamente el 31% de la superficie a nivel nacional. Este hecho es de especial relevancia ya que como se menciona previamente la región alberga poco más del 40% de la población del país y su expansión urbana podría afectar la disponibilidad de terreno agrícola.

1.2.3. Caracterización de los productores

Según un estudio de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del año 2020, el 73,2% de las explotaciones agrícolas son de un tamaño inferior a 20 ha, lo que representa solo un 3,73% del total de la superficie explotada. Las explotaciones desde 20 a 50 ha representan el 11,8% del número y un 3,57% de la superficie. Las explotaciones de 50 a 100 ha son de un 5,3% del número y una superficie de 3,58% de la superficie. Finalmente, las explotaciones sobre los 100 ha representan un 9,6% del número y un 89,12% de la superficie.

Según la misma fuente el número de explotaciones agrícolas de la región es de 12.805 y la superficie de estas es de 1.318.511,5 ha.

1.2.4. Cultivos

En el uso de la superficie utilizada por el rubro silvoagropecuario en la región (véase tabla 1-1) destacan principalmente los frutales y las hortalizas que juntos representan un 52,6% de la producción.

Tabla 1-1 Tabla superficie utilizada por cultivo

Rubro	Región (ha)	Cultivo/Región	País (ha)	Región/País
Frutales	53.551,9	35,7%	310.046,5	17,3%
Hortalizas	25.416,9	16,9%	95.953,7	26,5%
Forrajeras	21.491,2	14,3%	513.190,8	4,2%
Cereales	16.018,1	10,7%	480.602,6	3,3%
Viñas y parronales	12.326,3	8,2%	130.440,8	9,4%
Plantaciones forestales	9.172,3	6,1%	2.706.038,8	0,3%
Leguminosas y tubérculos	5.721,1	3,8%	71.389,6	8,0%
Semilleros y almacigos	4.650,1	3,1%	42.511,1	10,9%
Viveros	834,5	0,6%	3.103,1	26,9%
Cultivos industriales	396,8	0,3%	69.998,0	0,6%
Huertos caseros	244,9	0,2%	16.138,2	1,5%
Flores	167,3	0,1%	2.176,4	7,7%
Total	149.991,3	100,0%	4.441.589,7	3,4%

Fuente: <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2020/06/Metropolitana-.pdf>

La región contiene una importante presencia de algunos frutales llegando cerca al 40% de las plantaciones a nivel nacional en el caso del nogal, el limonero y el naranjo, como puede observarse en la tabla a continuación.

Tabla 1-2 Superficie de frutales por especie

Especie	Superficie [ha]
Nogal	14120,40
Vid de mesa	7971,70
Olivo	4544,70
Palto	4493,79
Almendo	3505,01
Ciruelo europeo	3161,45
Limonero	2797,14
Cerezo	2456,19
Naranjo	2309,06
Ciruelo japonés	1165,84
Otros	5941,69
Total	52466,97

Fuente: Catastro frutícola para la Región Metropolitana 2017 Odepa - Ciren

En el caso de la producción vitivinícola, la Región Metropolitana aporta menos del 16% de la producción nacional en la variedad más plantada Cabernet Sauvignon. En la tabla a continuación se detallan las variedades y sus respectivas superficies productivas.

Tabla 1-3 Superficie vitivinícola por especie

Variedades	Superficie [ha]
Variedades Tintas	
Cabernet Sauvignon - Cabernet	6445
Syrah – Sirah, Shiraz	1111
Merlot	1040
Otras	2160
Total	10756
Variedades Blancas	
Sauvignon Blanc	701,8
Chardonnay – Pinot Chardonnay	694,1
Semillon	24,1
Otras	80
Total	1500,1

Fuente: Catastro vitivinícola nacional 2017 Odepa - SAG

En el caso de la superficie hortícola, la región aporta con un tercio o más de la superficie a nivel nacional. A continuación, se describe los cultivos más relevantes en términos de superficie productiva.

Tabla 1-4 Superficie hortícola por especie

Especie	Superficie [ha]
Choclo	3.303,9
Lechuga	1.928,9
Cebolla de Guarda	1.779,6
Cebolla temprana	1.566,8
Poroto granado	1.333,3
Zapallo temprano y de guarda	1164,1
Zanahoria	1038,6
Coliflor	1025,5
Brócoli	952,6
Poroto Verde	864,6
Otros	9256,0
Total	24214

Fuente: Encuesta de superficie hortícola 2019 Odepa - INE

Estos datos reflejan una importante presencia del sector silvoagropecuario de la región a nivel nacional que concuerda con la concentración de la población, con la cercanía de puertos, aeropuertos y centros de distribución.

1.2.5. Mano de obra

La mano de obra se ha visto afectada por el envejecimiento de la población rural y el bajo interés por parte de los jóvenes al considerar el trabajo sacrificado por el alto desgaste físico y las bajas remuneraciones. La consecuencia ha sido la migración a otros sectores de la economía como el comercio. Aunque existe una fuerza laboral relevante del punto de vista de cantidad de origen extranjero, la escasez de mano de obra ha elevado los costos del ejercicio de la actividad, resultando cada vez menos atractivo para los agricultores mantener su oficio.

Este problema se convierte en una limitante para el crecimiento del sector agrícola por lo que se prevé en el mediano a largo plazo la integración de nuevas opciones de mecanización. Estas opciones tienen por objetivo no solo reemplazar la mano de obra cada vez más escasa como se ha señalado, sino también aumentar la productividad.

1.3. APLICACIÓN DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Es de suma importancia la utilización de técnicas y equipos adecuados para asegurar la máxima eficacia en la aplicación de los productos para poder controlar las plagas, enfermedades y malezas a la vez que se intenta reducir el impacto ambiental.

Los requisitos mínimos para obtener los beneficios deseados son:

- a) La correcta elección del equipo a utilizar
- b) El mantenimiento de este y de sus accesorios
- c) La calibración del equipo para asegurar los parámetros deseados: Volumen de aplicación, caudal de la máquina, velocidad de avance y ancho de trabajo.

Cumplir con estos requisitos asegura una mayor eficacia dado a que el producto se distribuye de manera uniforme y con la dosis indicada en la superficie. Como consecuencia de esto tiene un menor impacto sobre el medioambiente debido a la reducción en la dispersión en la aplicación que además por su precisión se prepara la mezcla química exacta, reduciendo la cantidad de sobrante, lo que facilita su eliminación posterior. Finalmente, todos estos requisitos aportan una mayor seguridad al aplicador de manera indirecta al disminuir la deriva y el exceso de mezcla química utilizada.

1.3.1. Etapas de la aplicación

Planificación

Es importante conocer el problema que tiene el cultivo y contar con la asesoría de un profesional a la hora de seleccionar el producto correcto. Para ello se debe tomar todas las medidas de protección personal para la manipulación de los químicos y determinar la compatibilidad fisicoquímica de los productos.

Se debe preparar el equipo a utilizar asegurándose que este en perfecto estado y que no contenga residuos de aplicaciones anteriores.

Las condiciones meteorológicas inciden directamente en la eficacia de una aplicación fitosanitaria por lo que se deben evitar situaciones como los días de mucho viento o lluvia, incluso ciertos rangos de temperatura o incidencia lumínica.

Aplicación

Para calcular el volumen necesario de producto se debe conocer la superficie del terreno y el volumen de agua recomendado. Es necesario llevar un registro del cálculo para documentar las dosificaciones ante cualquier problema.

El momento de carga del tanque es de alto riesgo por lo que el aplicador debe tomar todas las medidas de seguridad.

Limpieza y gestión de residuos

Luego de una aplicación se debe limpiar el equipo para evitar los residuos y la cristalización que obturan las boquillas. No hacerlo implica efectos indeseados no solo para el funcionamiento del equipo sino también se podría provocar daño sobre otro cultivo. También es necesaria la limpieza de los elementos de protección personal de los aplicadores.

Se realiza un enjuague de los envases siguiendo el procedimiento del triple lavado (véase figura 1-6) para entregarlos en un punto limpio.



Fuente: <https://campolimpio.org/triple-lavado/>

Figura 1-6 Procedimiento de triple lavado de los envases

**CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE RPAS MEDIANTE
EXPERIMENTACIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LA MAQUINARIA
AGRICOLA**

2.1. NECESIDAD DE EXPERIMENTACIÓN

Los drones fumigadores son equipos relativamente nuevos en el mercado por lo que solo existe artículos que apoyan su uso dada su precisión y por no afectar al cultivo durante el trabajo. El propósito de este capítulo es experimentar con los parámetros con los que el dron opera durante una aplicación de plaguicidas para determinar la productividad del equipo en diferentes condiciones además de determinar la productividad de la maquinaria agrícola convencional con el objetivo de comparar. La inquietud es la de analizar como el dron cumple con su necesidad de diseño frente a una maquina plenamente documentada que sigue siendo la favorita por los pequeños agricultores y que además puede realizar muchas tareas además de la fumigación de cultivos.

Los antecedentes obtenidos serán de suma importancia para estimar los costos involucrados en la operación de cada uno de los equipos más adelante.

2.2. EQUIPO

Se evaluará un equipo marca DJI de su línea agroindustrial AGRAS. Este RPAS utiliza sistemas de posicionamiento global GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) que tiene por finalidad asegurar una precisión en la planificación y ejecución del trabajo a realizar. El controlador permite operar hasta 5 aeronaves al mismo tiempo con solo un piloto. El dron ocupa baterías para su sistema de propulsión, de control y aspersión.

El dron (véase figura 2-1) tiene una estructura plegable y modular compuesta de fibra de carbono y aluminio para el cuerpo y los brazos. Los módulos de la estructura están destinados para la fácil instalación/remoción de la batería y del estanque, con el fin facilitar la operación en tierra y aumentar la productividad.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-1 Dron DJI Agras T16

2.2.1. Especificaciones técnicas

En la tabla a continuación se detallan las características de operación del dron.

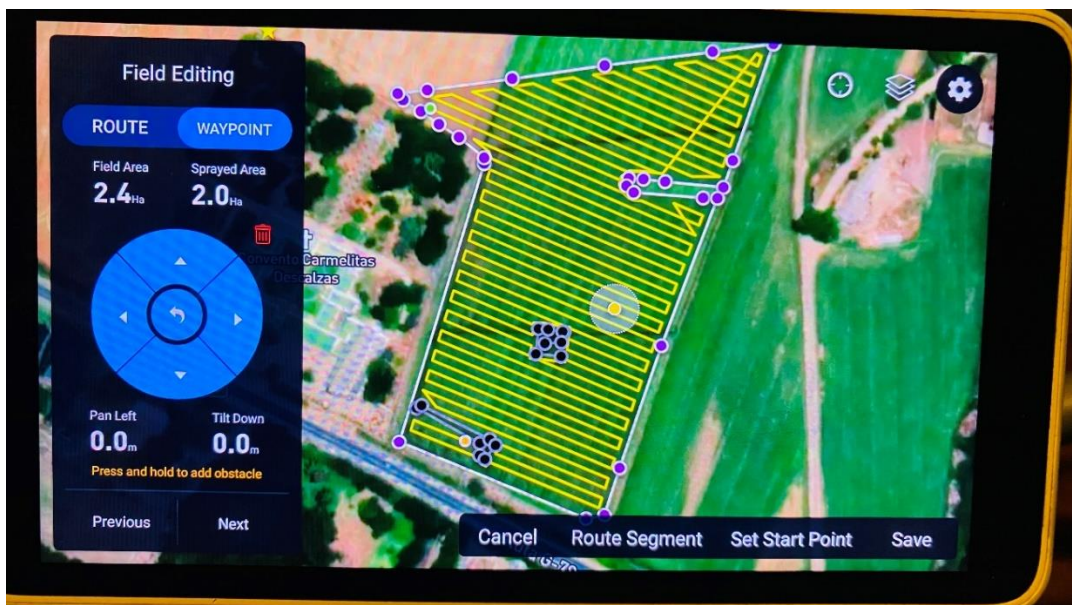
Tabla 2-1 Especificaciones técnicas dron DJI Agras T16

Dron AGRAS T16	
Peso estándar al despegue	41 [kg]
Velocidad máxima de operación	7[m/s]
Velocidad de vuelo máximo	10 [m/s]
Consumo máximo de potencia	5600 [w]
Capacidad del estanque	16 [l]
Cantidad de boquillas	8
Razón máxima de aspersión	3,6 [l/min]
Ancho de aspersión máximo	6 [m]
Batería	-
Modelo	AB2-17500
Capacidad	17500 [mAh]
Voltaje	51,8 [v]
Consumo máximo de potencia	5600 [w]

Fuente: Manual del usuario DJI T16

2.2.2. Procedimiento de operación

Una aplicación comienza con la etapa de georreferenciación del área de trabajo (véase figura 2-2). Esta se hace a través el control remoto recorriendo el perímetro y los obstáculos a pie o mediante el vuelo del equipo sobre los puntos de interés. La precisión de los puntos depende de la cantidad de satélites disponibles al momento de marcar y es posible complementar con una red RTK (Real-time kinematic positioning) para obtener márgenes de error cercanos de 1%.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-2 Vista previa de área de aplicación

En la planificación del área de trabajo deben estar contempladas las condiciones de operación de una aeronave y adicionalmente las condiciones climáticas. Por seguridad es imperativo reconocer la presencia de obstáculos como estructuras metálicas, líneas eléctricas, áreas con fuerte magnetismo como torres de telefonía o radio, personas y aves, por ejemplo.

Una vez determinada el área de trabajo y preparado el caldo de plaguicida para la aplicación con sus respectivas consideraciones se procede con el despliegue del equipo.

2.2.2.1. Lista de chequeo previo al vuelo

- a) Hay que asegurar que tanto la batería del control remoto como la batería de la aeronave estén completamente cargadas.
- b) Los brazos deben ser desplegados, ajustados y asegurados correctamente mediante sus respectivas mangas roscadas.
- c) Comprobar que el estanque, la batería y el resto de los componentes estén sujetos firmemente en su lugar.
- d) Comprobar el estado de las hélices, su montaje y que no existan objetos ajenos en o sobre los motores. Se deben desplegar las hélices.
- e) Se debe chequear la existencia alguna obstrucción en boquillas (véase figura 2-3) y en el sistema de aspersión en general. En caso de que esto ocurra se debe purgar el sistema.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-3 Boquilla de abanico

2.2.3. Prueba de rendimiento operacional

El componente crítico para experimentar el rendimiento del dron es la batería (véase figura 2-4) y su gestión. Existen múltiples factores a considerar que podrían condicionar los tiempos de trabajo y por lo tanto alterar el rendimiento operacional, como

la forma y tamaño del campo, si el relieve es uniforme o no, incluso condiciones medioambientales y geográficas.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-4 Cargador y batería inteligente

2.2.3.1. Gestión de la batería inteligente

Este componente es esencial para el funcionamiento del dron ya que entrega la energía para todos sus sistemas, como la aviónica, sensores, radar, cámara y sus 4 bombas. Su controlador se comunica con el equipo y este con el control remoto donde se informa el nivel de carga y voltaje.

Por seguridad, el dron puede tomar acciones según el nivel de carga de la batería. En primera instancia el control emite una alerta sonora y vibratoria llegado al primer nivel de criticidad de la batería cuando su carga alcanza el 30% para avisar al operador que debe finalizar la aplicación y aterrizar a la brevedad. El equipo da un margen de 20% para que el piloto aterrice de manera manual o automática. Llegado al 10% del nivel de carga el dron aterriza de emergencia de manera automática donde haya quedado con los peligros que ello implica, como aterrizar sobre un obstáculo o sobre el cultivo pudiendo eventualmente dañar al equipo.

Dado lo anterior, los factores descritos como la forma del campo o el relieve juegan un importante papel para aprovechar el potencial de uso que tiene una batería utilizando la mayor cantidad de energía que esta entrega evitando el nivel crítico de carga.

2.2.3.2. Condiciones de la prueba

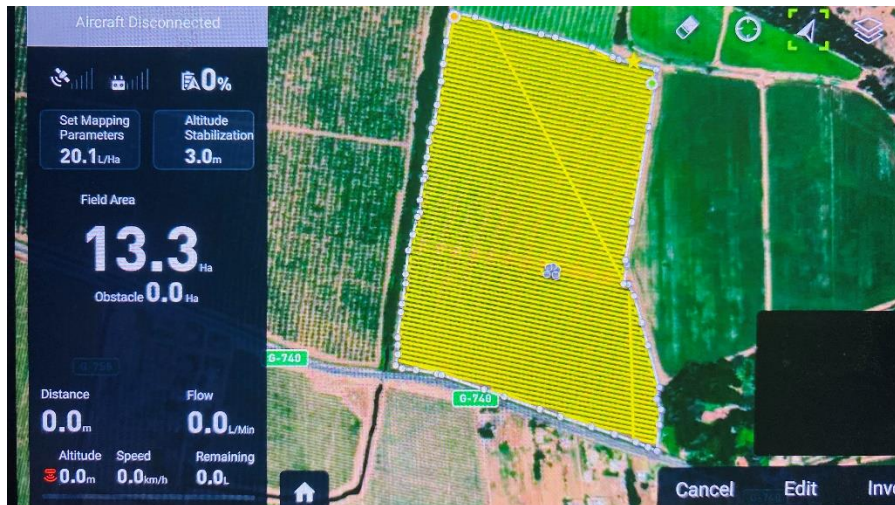
El equipo con el que se realiza la prueba cuenta con 6 baterías las que para tener continuidad en la aplicación deben ser cargadas a medida que son utilizadas mediante un

generador. Esto ocasiona que el personal debe realizar tareas ajenas a la aplicación por lo que afecta los tiempos operacionales. Por esta razón los cálculos se enfocarán en el uso de la primera carga de cada batería.

Adicionalmente el dron aterrizará cuando el volumen transportado no alcance a completar una vuelta con la finalidad de ahorrar batería al evitar vuelos adicionales de reposicionamiento al punto de inicio.

La dosis será de 20 [lt/ha], siendo la dosificación más común entre las solicitadas por los agricultores.

El predio (véase figura 2-5) donde se aplicará no fue seleccionado por azar, sino porque tiene unas características que favorecen la obtención del máximo provecho de las baterías y óptimas condiciones para la logística terrestre en una operación. La primera es que una sección importante del área es regular y su distancia de extremo a extremo es relativamente uniforme. La segunda es que la dimensión de la sección anteriormente descrita se ajusta al primer uso de cada una de las 6 baterías.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-5 Captura de predio seleccionado

El controlador entrega el registro de vuelo donde se informa la superficie aplicada, el tiempo de vuelo y la cantidad de litros aplicados (véase figura 2-6). Para la prueba los parámetros son los siguientes:

Parámetros de vuelo

- Dosis: 20 [lt/ha]
- Velocidad: 17,6 [km/h]
- Espaciado ruta: 6 [m]
- Altura: 3 [m]

Date/Location	Operation Area	Flight time	Amount Sprayed	Mode
N/A	0.63Ha	04:25	12.54L	Auto Route
2022-01-17 09:13:52	N/A	04:29	12.59L	Auto Route
2022-01-17 09:05:20	N/A	04:22	11.64L	Auto Route
2022-01-17 09:58:56	N/A	04:34	11.91L	Auto Route

Fuente: Imagen propia

Figura 2-6 Captura del registro de vuelo del dron

Con la información proporcionada por el registro de vuelo se recopila la información y se desarrolla la siguiente tabla:

Tabla 2-2 Área aplicada por batería

Hora	Área aplicada	Tiempo de vuelo	Líquido aplicado	Batería utilizada
8:58	0,59	4:34	11,91	1
9:05	0,58	4:22	11,64	1
9:13	0,63	4:29	12,59	2
9:18	0,63	4:25	12,54	2
9:28	0,63	4:22	12,53	3
9:33	0,63	4:24	12,59	3
9:41	0,63	4:26	12,67	4
9:45	0,63	4:28	12,69	4
9:52	0,63	4:28	12,63	5
9:58	0,63	4:25	12,64	5
10:05	0,63	4:35	12,66	6
10:11	0,75	5:24	14,83	6

Fuente: Controlador DJI Agras

De estos valores se obtiene que el promedio de superficie aplicada por batería con una dosis de 20 [lt/ha] es de 1,26 [ha]. El tiempo de trabajo promedio de vuelo de la operación es de 8 [min] 50 [s]. En una hora fueron aplicadas 5,58 [ha] utilizando la carga completa de 4 baterías y media carga de la quinta.

Durante una hora de trabajo, el trabajo en vuelo del dron es de 39 [min] y 58 [s], siendo los restantes 20 [min] y 2 [s] el tiempo en que el equipo está en tierra cambiando su batería y realizando el reabastecimiento de líquido. Lo anterior implica que

aproximadamente el 66% de una hora de trabajo el equipo está en vuelo, siendo el tiempo restante sujeto de mejora para incrementar el tiempo de operación.

Estos resultados permiten estimar la productividad del equipo en condiciones favorables para compararlo posteriormente contra la aplicación realizada por personas y por la maquinaria agrícola convencional. Por ejemplo, para una jornada de 4 horas bajo un régimen de operación continua y con esta dosificación, el dron podría eventualmente superar las 20 hectáreas al día. Sin embargo, todo está sujeto a las condiciones meteorológicas que podrían ocasionalmente perjudicar la aplicación como el incremento de la velocidad del viento que causa deriva y/o el alza en la temperatura del lugar que afecta a la gota de líquido que podría evaporarse.

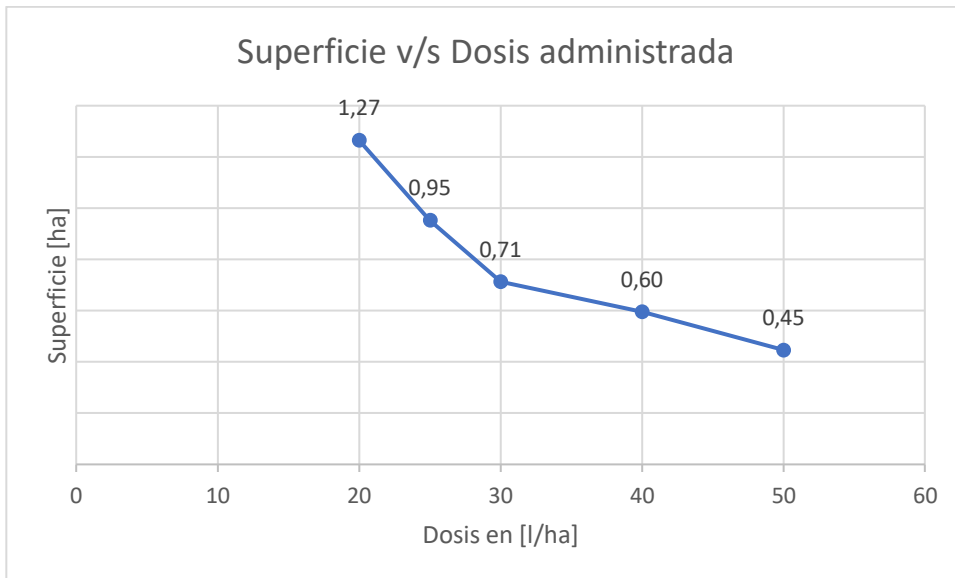
2.2.3.3. Rendimiento de baterías para otras dosificaciones

El registro de vuelo permite estudiar la historia de trabajo del equipo. Se recopila la información para obtener el rendimiento de las baterías para otras dosificaciones cuantificando la superficie que puede realizar este componente con su carga eléctrica operativa. El controlador del equipo interactúa fundamentalmente con dos variables para el cambio de la dosis, estas son el caudal de aspersión y la velocidad de aplicación. Los trabajos seleccionados para estudio son los que comparten los parámetros del espaciado de ruta, en este caso de 5,5 metros, y el caudal de aspersión, en este caso el caudal máximo de 3,6 litros por minuto. Sin embargo, a diferencia del punto anterior los predios de trabajo no cumplen necesariamente con tener secciones regulares que permitan un uso parejo de las baterías. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2-3 y se grafica el promedio en como se observa en la figura 2-7.

Tabla 2-3 Superficie aplicada por batería con diversa dosificación

Superficie [ha]	Dosificación [lt/ha]			
	20	30	40	50
Medición 1	1,22	0,69	0,61	0,46
Medición 2	1,39	0,71	0,61	0,44
Medición 3	1,35	0,93	0,57	0,46
Promedio	1,32	0,78	0,60	0,45

Fuente: Controlador DJI Agras



Fuente: Controlador DJI Agras

Figura 2-7 Gráfico Rendimiento batería según dosificación de trabajo

2.2.3.4. Rendimiento del estanque según dosificación

Parte de la planificación de la operación de aplicación debe considerar las dimensiones de la superficie, particularmente en relación con el largo de la pasada. La dosificación del plaguicida sobre la superficie influye de manera directa sobre la velocidad de vuelo del dron y el caudal de aspersión, por lo que la variación del volumen de líquido en el estanque (véase figura 2-8) también lo hace. Es decir, mientras mayor sea la dosificación deseada menor será la distancia de útil de vuelo del dron.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-8 Estanque del dron

Por lo anterior debe considerarse la distancia máxima que llamaremos $D_{\text{máx}}$. (véase figura 2-9) con la que el equipo alcanza a volar de ida y regreso sin agotarse el contenido del estanque, que tiene una capacidad de 16 litros, con el objetivo de gestionar de manera eficiente el uso de las baterías y por ende ser productivo.



Fuente: Imagen propia

Figura 2-9 Diferencia $D_{\text{máx}}$.

Gracias al registro del control es posible determinar el rendimiento aproximado de un estanque para diferentes dosificaciones. En la tabla a continuación se detallan los resultados.

Tabla 2-4 Distancia $D_{\text{máx}}$. de utilidad de estanque

Distancia $D_{\text{máx}}$. [m]	Dosificación [lt/ha]			
	20	30	40	50
Medición 1	754,62	449,82	430,21	276,84
Medición 2	593,93	429,24	420	258,54
Medición 3	564,62	542,92	385	266,22
Promedio	637,72	473,99	411,74	267,20

Fuente: Controlador DJI AGRAS

Los valores obtenidos son importantes para la etapa de planificación para precisar si el equipo es capaz de realizar la tarea a la dosis requerida, y en caso contrario considerar otra orientación de la grilla de vuelo u otra medida.

2.3. DETERMINACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE UN PULVERIZADOR

Con el propósito de llegar a comparar el rendimiento de un dron contra un tractor con pulverizador se debe obtener el tiempo de aplicación por área de este. Para determinar la producción de este equipo el parámetro fundamental es el volumen de agua por hectárea. Se selecciona el equipo de marca Jacto (véase figura 2-10).

Equipo:	Jacto Condorito 600
Capacidad:	600 l
Longitud:	10 m
Boquillas:	20
Distancia entre boquillas:	0.5 m
Pulverización:	2 - 6 km/h
Caudal máx bomba:	38 l/min
Caudal máx por boquilla:	1,9 l/min



Fuente: <https://jacto.com/southamerica/products/pulverizadores-de-barras/condorito-600>

Figura 2-10 Pulverizador Jacto Condorito 600

Se necesita fumigar a una razón de $Q = 200$ [l/ha] a un caudal de 1 [l/min] y una distancia entre boquillas de 0,5 m, la velocidad de avance se define como:

$$Va = \frac{q \times 600}{Q \times a} = \frac{1 \times 600}{200 \times 0,5} = 6 \left[\frac{km}{h} \right] = 100 \left[\frac{m}{min} \right]$$

Esta velocidad se ajusta a la máxima del equipo. Para determinar la superficie que realiza el tractor por hora y así determinar la producción

$$\text{área por minuto} = 100 \left[\frac{m}{min} \right] \times 10[m] = 1000 \left[\frac{m^2}{min} \right]$$

Para hacer una hectárea a esa razón se necesitan.

$$t = \frac{10000 [m^2]}{1000 \left[\frac{m^2}{min} \right]} = 10 [min]$$

La producción teórica por hora es de:

$$P = \frac{60 \left[\frac{min}{h} \right]}{10 \left[\frac{min}{ha} \right]} = 6 \left[\frac{ha}{h} \right]$$



Fuente: Manual de campo Uso de equipos pulverizadores

Figura 2-11 Tractor equipado con pulverizador

Sin embargo, no se considera el tiempo en que la pulverizadora debe ser detenida para relleno de su estanque ni el tiempo que toma la maniobra para reposicionarse cada vez que termina una hilera. Este tiempo es difícil de estimar debido a múltiples variables como la cercanía del campo a un punto de reabastecimiento de agua, el caudal de llenado del estanque y la preparación del plaguicida. Sin embargo, puede ser un tiempo considerable en la mayoría de los casos, por lo que se define como factor de operación como 50% del tiempo total.

$$Pr = 0,5 \times 6 = 3 \left[\frac{ha}{h} \right]$$

En resumen, en la tabla 2-5 se muestra un cuadro comparativo de la productividad obtenida en los puntos anteriores indicando superficie por hora a una dosis determinada para ambos equipos, tiempos operativos y tiempos muertos.

Tabla 2-5 Cuadro comparativo de productividad entre equipos

Equipo	Dron @ 20 [l/ha]	Tractor @ 200 [l/ha]
Superficie por hora [ha/h]	5,58	3
Tiempo operativo estimado por hora	66%	50%
Tiempo muerto estimado por hora	33%	50%

Fuente: Elaboración a partir de los resultados del capítulo 2

**CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DEL BENEFICIO DE LA APLICACIÓN DE
PLAGUICIDAS MEDIANTE RPAS**

3.1. ANÁLISIS DE COSTOS DE OPERACIÓN O USO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Las tareas mecanizadas representan una importante parte del costo que debe ser considerado dentro de la producción agrícola. En ocasiones es un factor mal estimado por los agricultores o derechamente no es calculado debido al desconocimiento de una metodología de cálculo.

El costo de operación de la maquinaria depende de diversos factores entre los que destacan la inversión inicial, intensidad de uso, mantención, estado de conservación y antigüedad. La combinación de estos factores puede alterar de manera significativa el costo de operación por lo que deben ser considerados en una metodología de cálculo.

Utilizando la metodología propuesta por el Instituto de Investigaciones Agropecuarias se calcula el costo por hora para operar un tractor.

El objetivo es determinar el costo por hectárea aplicada por este equipo para contrastarlo con los equipos RPAS.

Se define el costo total como:

$$CT = CV + CF$$

Donde;

CF: Costos fijos, costos que no varían con el uso del equipo. De este ítem corresponden la depreciación, el seguro y el interés del capital.

CV: Costos Variables, es decir los costos asociados al empleo de los equipos cuya magnitud es directamente proporcional al uso de estos. En este se incluyen los insumos, la mano de obra e imprevistos.

Costos Fijos

Depreciación: Corresponde a la pérdida de valor económico de los equipos por obsolescencia.

$$d = \frac{V_i - V_r}{N}$$

Donde:

d es el costo de la depreciación anual, V_i es el valor inicial; V_r es el valor residual y N años de vida útil.

Interés al capital: Corresponde a la utilidad que se deja de percibir, por tener un capital inmovilizado.

El interés al capital por hora se calcula sobre el valor inicial de la máquina.

$$IC = t \times \frac{V_i - V_r}{2}$$

IC es el interés al capital promedio anual; t es el valor porcentual, V_i es el valor inicial; V_r es el valor residual.

Almacenamiento y riesgo: Se estima como un 2,5% del valor promedio anual.

$$AR = \frac{2,5}{100} \times \frac{V_i + V_r}{2}$$

3.1.1. Tractor

El equipo seleccionado a continuación corresponde a un tractor de marca Massey Ferguson (véase figura 3-1)

Equipo: Massey Ferguson MF290/T4 Super

Valor inicial (sin IVA): \$ 26.651.835

Valor residual: Se define como el 30% del valor inicial

$$V_r = 30\% \times 26.651.835 = \$ 7.995.551$$

Vida útil: 10 años

Uso anual: 1000 horas

Tasa de interés: 3,5%



Fuente: <https://www.dercomaq.cl/productos/tractores-tradicionales/mf290-t4-super-massey-ferguson>

Figura 3-1 Tractor Massey Ferguson MF290/T4 Super

3.1.1.1. Costos fijos

Depreciación anual hora de trabajo

$$d = \frac{26651835 - 7995551}{10 \times 1000} = \$1.866$$

Interés al capital por hora de trabajo

$$IC = 3,5\% \times \frac{26651835 + 7995551}{2 \times 1000} = \$606$$

Almacenamiento y riesgo por hora de trabajo

$$AR = \frac{2,5}{100} \times \frac{26651835 + 7995551}{2 \times 1000} = \$433$$

3.1.1.2. Costos variables

Combustibles, lubricantes y filtros

Petróleo: Se estima un consumo promedio de 0,16 lt/h por cada HP de potencia, valor petróleo de \$1.151

$$0,16 \times 99 \times 1194 = \$18.913$$

Aceite de motor: Se estima un cambio de aceite de 8 lts cada 200 horas de trabajo, más 2 lts adicionales para relleno y lavado. Valor 3.550 \$/lt

$$\frac{10 \times 3550}{200} = \$178$$

Aceite de caja de cambio y diferencial: Suponiendo un consumo de 28 lt cada 1000 horas de trabajo.

$$\frac{28 \times 5000}{1000} = \$140$$

Grasa: Considerando un uso de 5kg por cada 1000 horas de uso del tractor.

$$\frac{5 \times 4033}{1000} = \$20$$

Filtro de aceite: Considerando cambiarlo cada 200 horas de trabajo del tractor.

$$\frac{10000}{200} = \$50$$

Filtro de combustible: Para este tractor se recomienda cambiarlo cada 600 horas de trabajo valor del filtro \$60.000

$$\frac{60000}{600} = \$100$$

Reparaciones y mantención

Esta parte de la determinación de costos corresponde a las actividades rutinarias o esporádicas cuyos valores varían dependiendo de la operación de la maquinaria, su edad y estado. Este costo se calcula multiplicando el coeficiente del equipo por su valor inicial:

$$0,007\% \times 26651835 = \$1.866$$

Mano de obra

Este costo solo considera al operador del tractor, por lo que no incluye personal adicional que pueda manipular accesorios del equipo. La metodología consultada propone que dada la heterogeneidad de situaciones y el efecto oferta demanda del operador como recurso no es posible establecer un costo determinado. Sin embargo, en base a antecedentes reunidos por los autores, se establece un valor de 1,5 veces el costo promedio de operador por jornada. El costo por hora resultara de dividir por 8 horas.

$$\frac{1,5 \times 25000}{8} = \$4.688$$

En la tabla 3-1 se observa que el costo total de la operación por hora de trabajo del tractor es:

Tabla 3-1 Costos totales por hora de trabajo equipo tractor

Costo Total	
Costos Fijos	
Depreciación	\$1.866
Interés al capital	\$ 606
Almacenamiento y riesgo	\$ 433
Costos Variables	
Combustibles, lubricantes y filtros	\$19.401
Reparaciones y mantención	\$1.866
Remuneraciones	\$4.688
Total	\$ 28.860

Fuente: Elaboración a partir de la metodología

3.1.2. Dron

Utilizando la metodología de manera análoga a la empleada anteriormente se evalúa el costo por hora de la operación de un dron para aplicación de plaguicidas.

Equipo: DJI AGRAS T16 incluye cargador y 8 baterías

Valor inicial (sin IVA): \$12.141.900

Valor residual: Se define como el 30% del valor inicial

$$V_r = 30\% \times 12.141.900 = \$ 3.642.570$$

La vida útil de un dron de uso agrícola no está determinada en la tabla de vida útil del SII (Servicio de Impuestos Internos), por lo que se asumirán algunos supuestos bajo la premisa de que el componente crítico son las baterías que tienen 400 ciclos de carga cada una:

- El consumo de baterías ronda las 5 baterías por hora.
- Para un uso anual de 400 horas se consideran 2000 ciclos, es decir 250 ciclos para cada una de las ocho baterías al año.

Se estima que con estas condiciones la vida útil del equipo es de aproximadamente 2 años, entonces las condiciones para el cálculo son las siguientes:

Vida útil: 2 años

Uso anual: 400 horas

Tasa de interés: 3,5%

3.1.2.1. Costos fijos

Depreciación anual hora de trabajo

$$d = \frac{12141900 - 3642570}{2 \times 400} = \$10.624$$

Interés al capital por hora de trabajo

$$IC = 3,5\% \times \frac{12141900 + 3642570}{2 \times 400} = \$ 691$$

Almacenamiento y riesgo por hora de trabajo

$$AR = \frac{2,5}{100} \times \frac{12141900 + 3642570}{2 \times 400} = \$493$$

3.1.2.2. Costos variables

Reparaciones y mantención

Este costo se calculará utilizando el mismo coeficiente del tractor por su valor inicial:

$$0,007\% \times 12141900 = \$850$$

Baterías

La carga de este componente del equipo debe ser considerada de dos formas. La primera por el consumo a una red fija y la segunda por el consumo de un generador.

Consumo red fija por hora:

Datos:

Consumo cargador: 2,6 kWh

Capacidad de baterías: 4 baterías/h

Valor promedio kWh: 192 \$/h

$$C_{rf} = 2,6[kWh] \times 140 \left[\frac{\$}{kwh} \right] = \$364$$

Consumo generador por hora:

Datos:

Generador a gasolina: Bauker GG6300 6kW

Valor gasolina: 1.301 \$/l

Consumo: 0,45 l/Kwh

$$C_g = 2,6[kWh] \times 0,45 \left[\frac{l}{kwh} \right] \times 1.301 \left[\frac{\$}{l} \right] = \$ 1.522$$

Mano de obra

En el caso de este equipo es necesario contar con 2 personas como mínimo.

Datos:

Sueldo apoyo en tierra: \$500.000

Sueldo piloto: \$700.000

Horas por mes: 160 horas

$$\frac{500000 + 700000}{160} = \$7.500$$

Para el efecto de la estimación general final se utilizará el mayor costo de recarga de una batería, dado a cualquier gasto adicional no considerado que pueda tener la adaptación de la metodología empleada a la del tractor. En la tabla 3-2 se observa que el costo total de la operación por jornada de trabajo del dron es:

Tabla 3-2 Costos totales por hora de trabajo equipo dron

Costo Total	
Costos Fijos	
Depreciación	\$10.624
Interés al capital	\$ 691
Almacenamiento y riesgo	\$493
Costos Variables	
Reparaciones y mantención	\$850
Recarga de baterías	\$1.522
Remuneraciones	\$7.500
Total	\$ 21.680

Fuente: Elaboración a partir de adaptación de la metodología

3.2. IMPACTO DEL TRÁNSITO DE MAQUINARIA AGRÍCOLA

Dada la inquietud relativa a la productividad que los campos deben alcanzar en las próximas décadas para satisfacer la demanda de la población, es de suma importancia aumentar la producción sin contribuir al deterioro del medio ambiente.

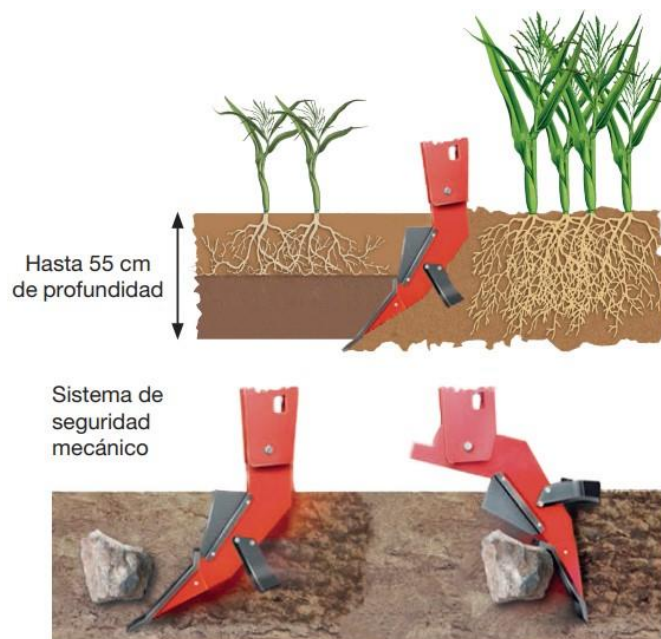
La labranza del suelo ha permitido aumentar las superficies cultivables en perjuicio de su capa arable, degradando en forma progresiva la superficie del suelo causando erosión. Esta erosión es causada por la compactación del suelo por el tránsito de la maquinaria agrícola. La erosión del suelo afecta:

- Calidad de infiltración
- Capacidad de retención de agua
- Disponibilidad de nutrientes

- Contenido de materia orgánica
- Actividad biológica
- Profundidad efectiva del suelo
- Productividad

Existen alternativas para minimizar los efectos de la labranza tradicional que mejoran la estructura del suelo y la incorporación de materia orgánica, sin embargo, no logran superar completamente la compactación de las capas superiores que genera un efecto negativo en la germinación de semillas.

Ante la inquietud de combatir la compactación, surge la necesidad de incorporar nuevas técnicas como el subsolado (véase figura 3-2). La operación del subsolado combate la compactación del terreno rompiendo por debajo de la capa arable, sin voltear el suelo permitiendo la infiltración de agua, facilitando la aireación y la penetración de las raíces. Esta técnica si bien es beneficiosa también tiene un costo más elevado.



Fuente: <https://frugamex.cl/product/subsolador-sirius/>

Figura 3-2 Subsolador

Asimismo, a la etapa de labranza para preparar el terreno para el cultivo también se debe tener en consideración que el terreno sufrirá compactación adicional debido al tránsito del tractor para que este pueda realizar tareas de fumigación entre otras.

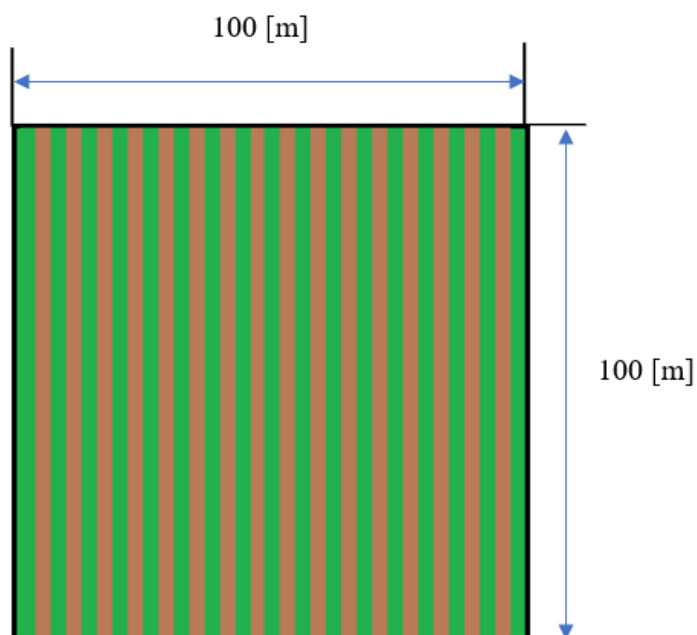
3.3. ELABORACIÓN DE METODOLOGÍA PARA DETERMINACIÓN DE IMPACTO PRODUCTIVO

Dado los problemas que genera el paso de la maquinaria agrícola sobre el suelo previo a la siembra y durante el crecimiento del cultivo, es necesario elaborar una metodología para poder cuantificar el área afectada que dependiendo de las características de la especie puede ser considerable. La metodología tiene como finalidad ser una herramienta de comparación del costo de la labor de aplicación de productos fitosanitarios entre la maquinaria tradicional y el RPAS.

Para la elaboración de la metodología es necesario en primer lugar establecer un área de cultivo y las especificaciones de los equipos involucrados para cuantificar la superficie afectada y obtener la potencial pérdida económica. Posteriormente considerar los rendimientos promedios de cada cultivo en la zona de interés determinada y que tiene por objetivo ajustar los supuestos a utilizar. Dichos supuestos están documentados en la literatura de organismos gubernamentales del rubro agrícola en boletines de publicación mensual y otros manuales.

Se define como una superficie hipotética de forma cuadrada con un área de 1 hectárea con lados de 100 metros, como se detalla en la figura 3-3. En esta superficie dependiendo del cultivo existe una menor o mayor de distancia entre surcos por lo que el número de ellos varía en cada caso.

La maquinaria para utilizar es un tractor con un pulverizador cuyo ancho de aplicación es de 10 metros, por lo que para esta superficie el tractor debe realizar 10 pasadas para cubrir el ancho.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3 Esquema campo para elaboración de metodología

3.3.1. Cultivos para evaluar

Los cultivos que se presentan a continuación han sido seleccionados por ser plantados en la región y además para ofrecer distintos enfoques del fenómeno de compactación por el tránsito de tractores.

3.3.1.1. Papas

Este cultivo representa una importante porción de la producción agrícola nacional superando las 50.000 ha a nivel nacional lo que convierte en el cuarto lugar en superficie. Concentra el mayor número de agricultores con 59.606 según el VII censo agropecuario, la mayoría pequeños productores.

Los análisis a largo plazo indican una tendencia a la disminución de explotaciones de este cultivo debido a la escasez de agua en la zona centro norte la cual comprende las regiones de Coquimbo Valparaíso y Metropolitana.

La región metropolitana posee la cuarta mayor superficie de este cultivo distribuidos en las provincias de Melipilla, Curacaví, María Pinto, Buin, Talagante y El Monte. En la región se encuentran la mayoría de las empresas dedicadas al procesamiento industrial de la papa como también empresas artesanales y de empaque y enmallado.

La producción de este cultivo se realiza en tres épocas. Papa temprana, papa de primavera y papa de verano representando 50%, 35% y 15% respectivamente del volumen productivo en la región.

Existen una serie de variables a considerar para estimar la cantidad de esta especie que se puede obtener en una superficie. Entre estas las principales a tomar en cuenta es la variedad, la procedencia y el ambiente donde se cultive. La variedad incide en el tamaño, el tiempo de madurez, su conservación y la cantidad de papas por planta. El origen de la planta es decir si son sembradas desde una semilla sexual o de tubérculo de siembra determina la cantidad de papas por planta, pero cabe señalar que mientras más productiva es la planta más pequeña es el tubérculo. Un ambiente en que la planta sufra estrés hídrico ocasiona que los tallos se alarguen en busca de agua por lo que puede producir muchas papas, pero de tamaño reducido.

3.3.1.2. Trigo

Este cultivo es uno de los tres cereales de mayor producción en el mundo junto al arroz y el maíz. En Chile destaca la producción de dos variedades: el trigo blando o panadero y el trigo duro o candeal (véase tabla 3-3). El trigo panadero es la variedad con mayor número de hectáreas sembradas en el país y como su nombre indica está destinada

a la producción de harina principalmente para la producción de pan y el trigo candeal está destinado para la producción de pastas.

Los cultivos de este cereal se distribuyen cereal desde la región de Valparaíso hasta la región de Los Lagos, donde la región de La Araucanía destaca fuertemente para la variedad de trigo harinero con casi la mitad de la producción del país.

El rendimiento de las variedades expresados en quintales métricos por hectárea es mayor para la variedad de trigo candeal.

Tabla 3-3 Superficie, producción y rendimiento nacional de trigo

Chile. Superficie, producción y rendimiento nacional de trigo panadero y candeal
Años agrícolas 2011/12 a 2020/21

Año agrícola	Trigo panadero			Trigo candeal		
	Superficie (miles de hectáreas)	Producción (miles de toneladas)	Rendimiento (qqm/hectárea)	Superficie (miles de hectáreas)	Producción (miles de toneladas)	Rendimiento (qqm/hectárea)
2011/12	229	1.114	49	17	99	59
2012/13	238	1.365	57	15	110	72
2013/14	236	1.236	52	19	122	65
2014/15	241	1.333	55	22	149	68
2015/16	258	1.531	59	28	201	73
2016/17	205	1.221	60	20	128	65
2017/18	208	1.281	62	28	188	67
2018/19	195	1.205	62	27	195	71
2019/20	183	1.086	59	22	145	66
2020/21*	205	1.159	57	21	120	57

*Encuesta Pronóstico de Cosecha. Considera rendimiento promedio de trigo (panadero y candeal).
Fuente: elaborado por Odepa con información de INE.

Fuente: ODEPA

3.3.2. Cálculos económicos

Papas

Una vez determinada el área de prueba es necesario establecer un periodo para ajustar los supuestos para que el análisis sea fiel a la realidad. El último periodo con documentación disponible corresponde año agrícola 2022/23 (véase tabla 3-4)

Tabla 3-4 Rendimiento productivo hectárea de papa

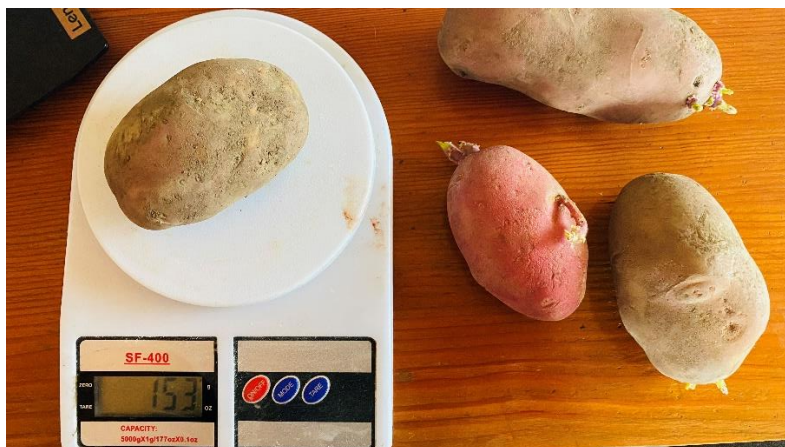
Rendimiento regional de papa entre las regiones de Coquimbo y Los Lagos (ton/ha)											
Año agrícola	Región de Coquimbo	Región de Valparaíso	Región Metropolitana	Región de O'Higgins	Región del Maule	Región de Ñuble*	Región del Bío Bío	Región de La Araucanía	Región de Los Ríos	Región de Los Lagos	Resto del país**
2006/07	17,4	9,3	16,6	13,3	13,4		11,6	15,1	18,2	19,1	9,1
2007/08	19,0	13,6	15,3	17,0	17,1		16,7	14,9	20,4	21,0	9,1
2008/09	17,2	13,8	19,2	14,5	14,6		15,6	19,7	26,6	25,9	9,1
2009/10	22,9	26,3	24,7	19,4	12,5		18,5	18,8	33,1	29,5	9,1
2010/11	23,5	20,5	21,1	17,8	24,4		27,3	34,7	37,0	42,6	9,1
2011/12	22,0	11,3	24,5	15,3	16,6		16,8	26,2	36,2	37,0	9,3
2012/13	20,4	14,9	22,1	20,4	22,9		18,2	21,8	22,8	34,0	9,1
2013/14	21,5	12,2	23,6	12,6	12,8		15,5	20,8	25,1	32,0	9,1
2014/15	23,2	15,1	22,9	16,3	16,4		15,8	18,2	17,8	25,6	9,1
2015/16	24,2	17,8	17,2	13,7	16,9		14,8	22,6	22,0	33,2	9,1
2016/17	24,9	13,9	17,0	15,4	22,1		17,3	26,6	31,7	43,0	9,1
2017/18	28,4	16,3	19,0	14,5	18,7	20,8	17,3	31,8	48,4	39,9	9,1
2018/19	29,9	17,3	23,1	11,0	25,0	28,3	11,3	24,7	42,5	43,7	9,1
2019/20	27,3	5,4	21,4	12,7	25,0	21,3	7,3	30,2	47,2	43,6	9,1
2020/21	29,5	18,1	22,0	15,2	18,1	13,8	11,6	23,1	49,0	43,2	9,1
2021/22	37,2	11,1	23,4	14,3	20,7	16,3	11,6	17,0	52,5	43,9	9,1
2022/23	38,6	10,9	25,5	14,9	12,0	15,5	29,4	28,7	35,8	36,9	9,1

Fuente: ODEPA

El rendimiento promedio para la región Metropolitana es de 25,5 ton/ha.

Antecedentes:

- Dependiendo de la variedad y su densidad de plantación el peso ronda entre los 100 a 200 g. (como referencia véase figura 3-4)
- Dependiendo de la densidad de plantación puede haber de 3 a 4 plantas por metro lineal. Las plantas pueden producir de 2 a 10 papas.
- Distancia entre hileras debe ser como mínimo 75 cm.



Fuente: Imagen propia

Figura 3-4 Pesa gramera junto a unidades de papa

Cálculo de rendimiento

Cantidad de hileras: Se obtiene dividiendo el ancho de la superficie entre la distancia entre hileras.

$$\frac{100}{0,75} = 133,3 \approx 133$$

Ajustando las variables y considerando el rendimiento promedio de la región es posible determinar los parámetros de la producción los kilogramos de papa por hectárea.

$$4 \left[\frac{\text{papa}}{\text{planta}} \right] \times 0,160 \left[\frac{\text{kg}}{\text{papa}} \right] \times 3 \left[\frac{\text{planta}}{\text{metro}} \right] \times 100 \left[\frac{\text{metro}}{\text{hilera}} \right] \times 133 \frac{\text{hilera}}{\text{hectarea}} = 25.536 \left[\frac{\text{kg}}{\text{hectarea}} \right]$$

Este valor corresponde a la producción total es decir no afectada por la compactación de la maquinaria agrícola.



Fuente: Imagen propia

Figura 3-5 Huella de tractor en cultivo de papas

Luego la producción de los surcos afectados se puede determinar como 2 surcos cada 10 metros correspondientes a la huella del tractor, resultando 20 surcos por cada hectárea en los que el calibre de la papa se ve afectado por la compactación (véase figura 3-5). En la tabla 3-5 a continuación, se proponen escenarios en que el calibre de la papa se ve reduce hasta en un 60% del peso promedio con la finalidad de cuantificar el fenómeno.

Tabla 3-5 Producción según escenarios de compactación

Calibres	60% Escenario 1	70% Escenario 2	80% Escenario 3	90% Escenario 4	100% Escenario Teórico
Peso unitario [g]	96	112	128	144	160
Producción real [kg/ha]	24000	24384	24768	25152	25536
Diferencia real teórico [kg/ha]	1536	1152	768	384	-

Fuente: Elaboración a partir de propuesta sugerida

Las diferencias entre la producción teórica y real se traducen en un menor margen de ganancia por hectárea para el agricultor.

Para establecer el valor monetario del kilogramo de papa se utiliza como referencia el precio por kilo esperado en la ficha productiva elaborada por el Instituto de Desarrollo Agropecuario INDAP cuyo valor es de \$430 por kilo. (véase figura 3-6)

FICHAS PRODUCTIVAS PARA LA AFC		INDAP	
RUBRO O CULTIVO	PAPA TEMPRANA	RENDIMIENTO (kg/Há.)	29.000
VARIEDAD	ASTERIX	FECHA ESTIMADA PRECIO VENTA	Dic -Ene
NIVEL TECNOLÓGICO	MEDIO	PRECIO ESPERADO (\$/kg)	430
REGIÓN	METROPOLITANA	INGRESO ESPERADO, con IVA (\$)	12.470.000
AGENCIA DE ÁREA	TALAGANTE	DESTINO PRODUCCION	MERCADO INTERNO
COMUNA/LOCALIDAD	TALAGANTE	FECHA DE COSECHA	Nov-Dic
FECHA PRECIO INSUMOS	MARZO 2023	CONTINGENCIA	NO HAY
COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA (INCLUYE IVA)			

Fuente: <https://www.indap.gob.cl/fichas-tecnicas>

Figura 3-6 Ficha Productiva INDAP

A continuación, en la tabla 3-6 se observa las diferencias entre los escenarios según compactación de los surcos afectados por el tránsito de maquinaria agrícola convencional.

Tabla 3-6 Venta según escenario

Escenarios	Venta	Diferencia
Teórico	\$ 10.980.480	-
1	\$ 10.320.000	\$ 660.480
2	\$10.485.120	\$ 495.360
3	\$ 10.650.240	\$ 330.240
4	\$ 10.815.360	\$ 165.120

Fuente: Metodología propuesta basada en datos recolectados

La ficha técnico-económica que se detalla en el anexo A, sirve de orientación para los agricultores y estima que los costos de la explotación de una hectárea de papa considerando un 5% adicional por imprevistos ascienden a \$6.928.668 para la RMS. Esta ficha considera un rendimiento por hectárea mayor que el promedio anual del cual se obtienen los ingresos en la tabla 3-6, por lo que es necesario ajustar esta variable para obtener el resultado económico del ejercicio.

Con el rendimiento de 25536 kg/ha el resultado económico es \$4.051.812, esto es sin considerar las pérdidas por compactación.

Tabla 3-7 Ingresos ajustados a cosecha

Escenarios	Perdida	Resultado
Teórico	\$ 0	\$ 4.051.812
1	\$ 660.480	\$ 3.391.332
2	\$ 495.360	\$ 3.556.452
3	\$ 330.240	\$ 3.721.572
4	\$ 165.120	\$ 3.886.692

Fuente: Metodología propuesta basada en datos recolectados

Desde la tabla 3-7 se observa el impacto del fenómeno de la compactación por el tránsito de maquinaria agrícola en el margen de utilidad en diferentes supuestos. La disminución en el margen puede ser relevante según la cantidad de hectáreas cultivadas y cualquier contingencia como aumentos de precio en algunos insumos entre temporadas como por ejemplo fertilizantes, combustible, etc.

Trigo

El rendimiento por hectárea según variedad y año se define por el promedio de los valores alcanzados entre los años agrícolas 2019/20, 2020/21, 2021/22 mostrados en el Anexo B y en la tabla a continuación.

Tabla 3-8 Productividad variedades de trigo a través de los años

Año	Trigo panadero [qqm/ha]	Trigo candeal [qqm/ha]
2019/20	13,1	43
2020/21	44,4	58,3
2021/22	41,5	64
Promedio	33	55,1

Fuente: <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71730/BCereales072022.pdf>

Dado la disponibilidad de datos, se evaluará la pérdida por compactación para un cultivo de trigo panadero.

El rendimiento promedio fue afectado por una gran variación para el periodo 2019/20, lo que lo ubica por debajo de lo que se considera una buena producción de trigo panadero que se estima por sobre los 40 [qqm/ha], es decir sobre 4 toneladas de granos de trigo por hectárea. Por esta razón el cálculo se realizará bajo este supuesto.

A partir de la sección 3.3 se establece el campo, detallado en la figura 3-3, el equipo y el número de pasadas que realiza sobre la superficie a evaluar. Se determina:

- Superficie total: 1 [ha] = $A_t = 10000$ [m^2]
- Huella por rueda de tractor: 0,3 [m]

Cabe señalar que, en el caso de este cultivo, el paso del tractor elimina completamente la producción en el área de la huella y no como en el caso anterior que afecta el crecimiento del cultivo adyacente a esta.

Para una producción de 40 [qqm/ha] se requiere un rendimiento de 400 [g/m^2].

Se define como área perdida producto de compactación a:

$$A_p = 0,3 \left[\frac{m}{rueda} \right] \times 2 [rueda] \times 100 \left[\frac{m}{pasada} \right] \times 10 [pasada] = 600 [m^2]$$

Área de producción efectiva por hectárea se define como:

$$A_e = A_t - A_p = 10000 - 600 = 9400 [m^2]$$

Para un precio promedio de \$30.461 el ingreso por hectárea es:

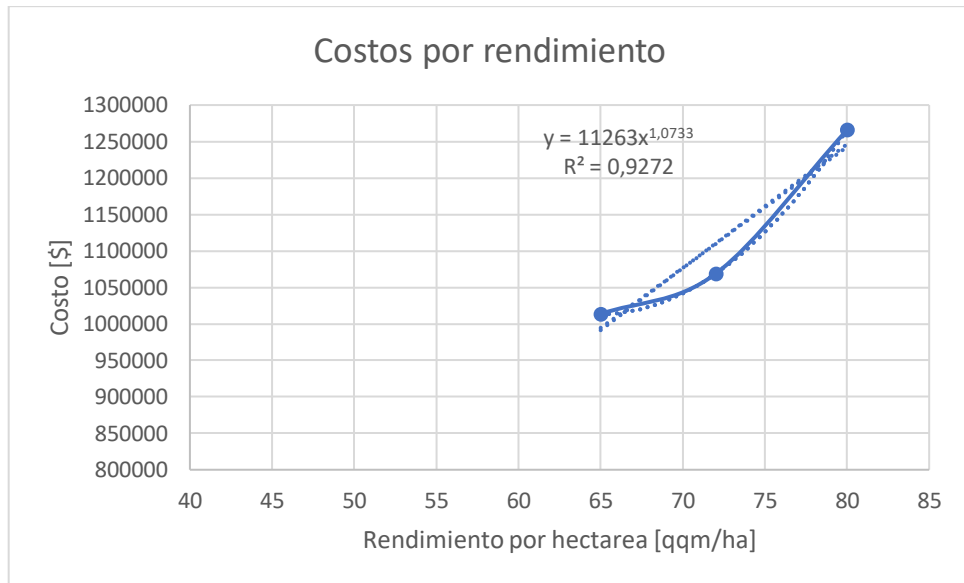
$$I = \left(\frac{9400[m^2] * 400 \left[\frac{g}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{g}{kg} \right] \times 100 \left[\frac{kg}{qqm} \right]} \right) \times 30461 \left[\frac{\$}{qqm} \right] = \$1.145.334$$

La pérdida económica por hectárea se define mediante el producto entre el precio promedio del quintal métrico y la producción del área perdida producto de la compactación:

$$P = \left(\frac{600[m^2] * 400 \left[\frac{g}{m^2} \right]}{1000 \left[\frac{g}{kg} \right] \times 100 \left[\frac{kg}{qqm} \right]} \right) \times 30461 \left[\frac{\$}{qqm} \right] = \$73.106$$

El boletín de los cereales elaborado por la ODEPA entrega estimaciones sobre los costos por hectárea según rendimiento y el margen de utilidad proyectado anexo C. Sin embargo, estos datos están proyectados en campos cuyo rendimiento supera en el menor de los casos por más de 20 quintales por hectárea al escenario calculado previamente.

Para estimar los costos del rendimiento anteriormente obtenido, se procede a extrapolar los datos teniendo en cuenta el comportamiento que se muestra en el boletín.

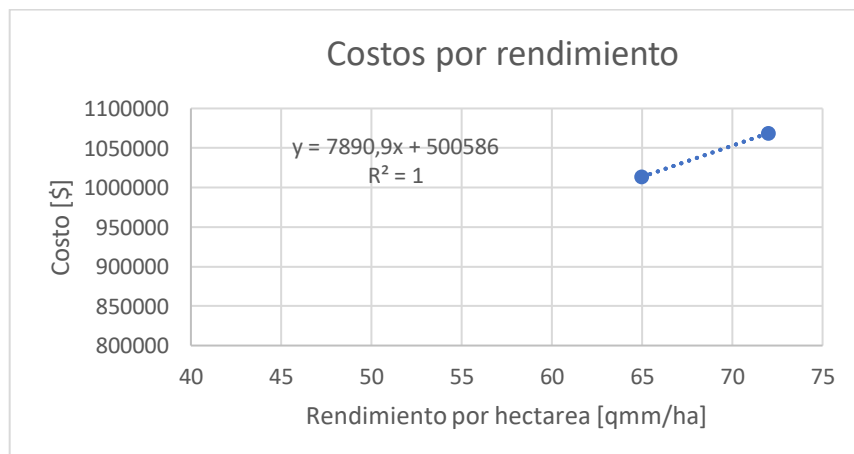


Fuente: Elaboración propia a partir del boletín ODEPA

Figura 3-7 Gráfico de costos por rendimiento

Se estima que, con la aproximación con la curva potencial (véase figura 3-7), el costo para un rendimiento de 40 [qqm/ha] es de \$590.398. Este costo resulta inverosímil del punto de vista de que solo en el ítem insumos, el gasto bordea los \$550.000 con una variación de menos de \$6.000 entre rendimientos con 7 quintales de diferencia cómo es posible apreciar en el informe técnico económico (Anexo C).

Por ello se realiza una línea de tendencia con los rendimientos donde la curva tiene un comportamiento lineal. (véase figura 3-8)



Fuente: Elaboración propia a partir del boletín ODEPA

Figura 3-8 Grafico de costos por rendimiento

Con la tendencia determinada por los puntos, se estima que los costos para obtener un rendimiento de 40 quintales por hectárea son de \$816.222.

La utilidad por hectárea queda finalmente:

$$U = I - (C + P) = 1.145.334 - (816.222 + 73.106) = \$ 256.006$$

La pérdida por compactación representa un 28,56% de la utilidad para el agricultor, adquiriendo un importante costo indirecto para el final del ejercicio.

3.4. COMPARACIÓN MAQUINARIA AGRÍCOLA CONVENCIONAL CONTRA DRON

Para determinar el beneficio de una alternativa sobre otra se establece un escenario cercano a la realidad descrita en el capítulo 1 punto 1.2.3 sobre la superficie de los campos presentes en la Región Metropolitana, relacionando los costos obtenidos para cada alternativa.

Condiciones:

- Superficie para aplicar: 20 [ha]
- Mojamiento dron: 20 [l/ha]; 5,58 [ha/h]; costo: \$21.680
- Mojamiento tractor: 200 [l/ha]; 3 [ha/h]; costo: \$28.860

Tabla 3-9 Resumen de costos de operación de cada equipo un campo de 20 [ha]

Equipo	Litros de agua	Tiempo	Costo
Dron	400 [l]	3,58 [h]	\$77.614
Tractor	4000 [l]	6,66 [h]	\$192.208

Fuente: Elaboración a partir del capítulo 2

Los costos estimados en este escenario (como indica tabla 3-9) y con estas condiciones, muestran una ventaja económica del dron sobre el tractor. Sin embargo, esta ventaja depende fundamentalmente de la dosis con la que se aplican los plaguicidas y se va reduciendo conforme se aumenta esta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se reconocen las condiciones generales de la Región Metropolitana como su rol en el abastecimiento de productos agrícolas y servicios de distribución dada su población e infraestructura. También se determina la existencia de vulnerabilidades que amenazan con la producción regional, tal como la falta de recursos hídricos debido a una sequía de más de una década y la migración de los trabajadores agrícolas a sectores económicos más atractivos debido a los incentivos salariales. El costo de la mano de obra se ha incrementado por la falta de personal y la necesidad de mecanizar y automatizar se ha hecho patente. Adicionalmente se caracteriza a los productores regionales junto a sus explotaciones y los tipos de cultivos.

Asimismo, se identificó las etapas con las que se debe cumplir una aplicación de plaguicidas de forma que confirme cumplir con el propósito de esta, asegurando un uso eficiente de los productos químicos y de la seguridad del personal.

Se experimentó con las variables operacionales con las que un dron fumigador realiza las tareas. Para ello se establece el procedimiento de preparación del equipo que considera las etapas de aplicación mencionadas en el capítulo 1 punto 1.3.1. además de las medidas de seguridad para el dron y el personal de apoyo.

El componente crítico para la ejecución de la experimentación es la batería, por lo que la gestión de esta es considerada para trabajar con diferentes dosificaciones de plaguicidas con el objetivo de obtener el rendimiento de productividad medido en hectáreas por hora. Para ello es necesario reconocer las limitaciones de las pruebas como lo son el nivel de carga de las baterías, la geometría del campo y la distancia máxima con la que la capacidad del estanque puede recorrer volviendo a un punto de recarga haciendo un uso eficiente del recurso energía. Luego, se reconoce la productividad que logra un tractor con pulverizador para compararlo contra el dron.

Finalmente se elaboró un análisis de costo de operación de ambas alternativas estudiando y adaptando una metodología propuesta por el INIA que sirve como herramienta para que el agricultor se interiorice con la estimación de costos. Se complementa con un estudio sobre el impacto del uso de tractores sobre la superficie de los cultivos y sus consecuencias económicas las cuales muchas veces no son tomadas en cuenta pero que afectan en menor o mayor medida según el rendimiento del campo y de la superficie total. Esto permitió identificar que el dron tiene menor costo frente a un tractor aun cuando la productividad de hectáreas por hora sea la misma.

Las ventajas que presenta un dron son principalmente la precisión y la uniformidad en la aplicación al eliminar al humano como variable controlando el rumbo, la velocidad y el caudal de manera exacta, apoyado por el sistema satelital de posicionamiento global. Además de la capacidad de poder trabajar cuando la maquinaria convencional es incapaz de hacerlo como cuando el cultivo este húmedo y la maquina no puede ingresar.

Cabe señalar que la elección de un equipo sobre otro no necesariamente responde a su costo, sino a los requerimientos sugeridos por el personal calificado. El mojamiento que puede entregar un dron frente a un tractor está muy por debajo y ciertos químicos requieren que las gotas de la pulverización sean más abundantes por unidad de área.

BIBLIOGRAFÍA

GOBIERNOSANTIAGO.CL Datos geográficos [en línea]. <<https://www.gobiernosantiago.cl/datos-geograficos/>> [Consulta 12 septiembre de 2022].

BCN.CL Hidrografía Región Metropolitana de Santiago [en línea]. <<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region13/hidrografia.htm#:~:text=Hoya%20del%20río%20Maipo%3A%20La,en%20primavera%20por%20deshielos%20cordilleros>> [Consulta 12 septiembre 2022].

METEOCHILE.GOB.CL Servicios climáticos estación Quinta Normal [en línea]. <<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/historico/aguaCaidaHistoricaMensual/330020>> [Consulta 14 enero 2025].

BEDMAR, Francisco. ¿Qué son los plaguicidas? [en línea]. Revista Ciencia hoy, 2011, 21 (122), 11-16. <https://www.cienciahoy.org.ar/ch/ln/hoy122/Plaguicidas%20-%20Bedmar.pdf>. [consulta: 12 de septiembre de 2022]. ISSN 0327-1218.

PRECIOBENCINA.CL Precios de combustibles Melipilla [en línea]. < <https://preciobencina.cl/bencineras-en-region-metropolitana.php> > [consulta 15 enero de 2025].

DRONESTORE:CL Costo de equipo T16 [en línea]. < <https://www.dronestore.cl/mas-vendidos/3137-cd-ag-t16-8-baterias-y-cargno-usar-1000003137.html> > [consulta 24 octubre de 2022].

RADIOGRAFIA de la mano de obra agrícola [en línea]. Portalfruticola.com. 29 de junio de, 2021 <<https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/06/29/radiografia-a-la-mano-de-obra-agricola/#:~:text=Cerca%20de%20750%20mil%20personas,de%20trabajo%20a%20nivel%20nacional>> [consulta 12 septiembre 2022].

ODEPA.GOV.CL Boletín de la papa diciembre 2019 [en línea] <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/12/BPapa_1219.pdf> [consulta 12 septiembre 2022].

ODEPA.GOV.CL Ficha Técnico Económica papa consumo Región Metropolitana [en línea] <https://www.odepa.gob.cl/fichas_de_costo/fichas_pdf/papa_consumo_rm_2017-18.pdf> [consulta 12 septiembre 2022].

INOSTROZA Juan, MENDEZ Patricio y RIOS Paola, Manual de campo: Uso de equipos pulverizadores. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, 2011. 76 p ISBN 0717-4829.

ENEL.CL Consumo artefactos eléctricos en el hogar <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/consumo-artefactos-electricos.html> [consulta 15 enero 2025].

ANEXO A: FICHA TECNICO ECONOMICA PAPA

FICHAS PRODUCTIVAS PARA LA AFC					
INDAP					
RUBRO O CULTIVO	PAPA TEMPRANA		RENDIMIENTO (Kg/Há.)		29.000
VARIEDAD	ASTERIX		FECHA ESTIMADA	PRECIO VENTA	Dic -Ene
NIVEL TECNOLÓGICO	MEDIO		PRECIO ESPERADO (\$/kg)		430
REGIÓN	METROPOLITANA		INGRESO ESPERADO, con IVA (\$)		12.470.000
AGENCIA DE ÁREA	TALAGANTE		DESTINO PRODUCCION		MERCADO INTERNO
COMUNA/LOCALIDAD	TALAGANTE		FECHA DE COSECHA		Nov-Dic
FECHA PRECIO INSUMOS	MARZO 2023		CONTINGENCIA		NO HAY
COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA (INCLUYE IVA)					
MANO DE OBRA					
Labores	Unidad	N° Jornadas	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)
Aplicación Fertilizante	JH	2	Sep-Oct	30.000	60.000
Aplicación Agroquímicos	JH	3	Sep-Oct	30.000	90.000
Riegos	JH	7	Sep-Nov	30.000	210.000
Cosecha	JH	42	Dic	30.000	1.260.000
Subtotal Jornadas Hombre					1.620.000
JORNADAS ANIMAL					
Labores	Unidad	N° Jornadas	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)
					0
Subtotal Jornadas Animal					0
MAQUINARIA					
Labores	Unidad	N° Jornadas	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)
Arado cincel	JM	0,4	May	581.453	232.581
Rastra	JM	0,4	Ago-Sept	290.726	116.291
Tractor acequiador	JM	0,1	Sept	181.704	18.170
Tractor sembradora	JM	0,5	Sept	290.726	145.363
Tractor arado surcador aporca	JM	0,3	Oct	236.215	70.865
Tractor con pulverizador c/barra (herbicida)	JM	0,15	Sep- Nov	290.726	43.609
Tractor con coloso	JM	0,5	Sep- Nov	290.726	145.363
Tractor con pulverizador c/barra (insect- fungicida)	JM	0,5	Sep- Nov	290.726	145.363
Cosechadora	JM	0,15	Dic	290.726	43.609
Tractor coloso cosecha	JM	0,3	Ene.	581.453	174.436
rastraje)	JM	0,5	Feb.	581.453	290.726
Subtotal Costo Maquinaria					1.426.376
INSUMOS					
Insumos	Unidad (Kg/l/u)	Cantidad (Kg/l/u)	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)
SEMILLA	Kg	3500	Ago	453	1.585.500
FERTILIZANTE					
Urea	Kg	250	Sept - Oct	1.639	409.750
Fosfato diamonico	Kg	200	Sept	1.459	291.800
Mezcla Papa	Kg	300	Sept	1.457	437.100
FUNGICIDA					
Curzate M8	Kg	3	Oct- Nov	47.441	142.323
Manzate	Kg	2	Sept - Oct	5.927	11.854
HERBICIDA					
SENCOR 480 SC 5 L	Lt	0,5	Sept - Oct	42.927	21.464
INSECTICIDA					
Puzzle 200 SL	Lt	0,5	Oct- Nov	50.194	25.097
Coragen	Lt	0,1	Nov- Dic	254.220	25.422
Subtotal Insumos					2.950.310
OTROS					
Item	Unidad (Kg/l/u)	Cantidad (Kg/l/u)	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)

OTROS					
Item	Unidad (Kg/l/u)	Cantidad (Kg/l/u)	Época (Mes)	Precio Unitario (\$)	Sub Total (\$)
Hilo para coser sacos	Unidad	1	Dic	5.099	5.099
Sacos plasticos	Unidad	590	Dic	235	138.594
Traslado a mercado mayorista	Unidad	2	Dic-Mar	229.176	458.352
Subtotal Otros					602.045
TOTAL COSTOS DIRECTOS					6.598.731
Más Imprevistos (5%)					329.937
TOTAL COSTOS					6.928.668
INGRESOS ESPERADOS					12.470.000
RESULTADO ECONOMICO					5.541.332

Fuente: INDAP

Notas:

1. Precios de insumos y productos se expresan con IVA.
2. Precio de Insumos corresponde a precios colocados en el predio
3. Precio esperado por ventas corresponde a precio colocado en el domicilio del comprador, (incluye Ingreso a Feria)
4. Los insumos aplicados (tipo y dosis) son referenciales y deben corresponder al territorio en particular
5. El costo de la maquinaria incluye costo del operador, combustible y arriendo de la maquinaria propiamente tal
6. El costo de la mano de obra incluye impuestos e impositones

COMPOSICION COSTOS DE PRODUCCION		
Item	\$/há	%
Mano de obra	1.620.000	23%
Jornada Animal	0	0%
Maquinaria	1.426.376	21%
Insumos	2.950.310	43%
Otros	602.045	9%
Imprevistos	329.937	5%
COSTO TOTAL/há.	6.928.668	100%

ESCENARIOS COSTO UNITARIO (\$/kg)			
Rendimiento (kg/há)	26.000	29.000	32.000
Costo unitario (\$/kg) (*)	266	239	217

(*) Este valor representa el valor mínimo de venta del producto

ANEXO B: RENDIMIENTO TRIGO SEGÚN VARIEDAD

**Chile. Superficie, producción y rendimiento regional de trigo panadero
(Coquimbo a Los Lagos)
Años agrícolas 2019/20 - 2021/22**

Año agrícola	Región	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)	Rendimiento (quintales/hectárea)
2019/20	Valparaíso	1.589	419	2,6
	Metropolitana	1.642	2.148	13,1
	O'Higgins	4.802	16.472	34,3
	Maule	18.240	104.423	57,2
	Ñuble	31.085	154.284	49,6
	Bío Bío	22.218	153.109	68,9
	La Araucanía	82.333	474.531	57,6
	Los Ríos	10.398	89.181	85,8
	Los Lagos	10.720	91.457	85,3
	Otras	46	118	25,6
Pais	183.073	1.086.140	59,3	
2020/21	Coquimbo	360	312	8,7
	Valparaíso	292	1.055	36,1
	Metropolitana	2.075	9.223	44,4
	O'Higgins	8.323	45.579	54,8
	Maule	21.760	116.028	53,3
	Ñuble	30.998	174.183	56,2
	Bío Bío	25.986	132.210	50,9
	La Araucanía	92.781	539.238	58,1
	Los Ríos	8.252	68.246	82,7
	Los Lagos	14.120	117.191	83,0
	Otras	46	118	25,6
Pais	204.993	1.203.309	58,7	
2021/22	Valparaíso	1.312	2.241	17,1
	Metropolitana	1.162	4.827	41,5
	O'Higgins	6.003	34.910	58,2
	Maule	16.152	76.081	47,1
	Ñuble	30.851	174.551	56,6
	Bío Bío	17.192	94.000	54,7
	La Araucanía	79.103	450.460	56,9
	Los Ríos	10.066	86.520	86,0
	Los Lagos	11.219	86.035	76,7
	Otras	46	118	25,6
Pais	173.106	1.009.743	58,3	

Fuente: elaborado por Odepa con información del INE.

**Chile. Superficie, producción y rendimiento regional de trigo candeal
(Valparaíso a La Araucanía)
Años agrícolas 2019/20 - 2021/22**

Año agrícola	Región	Superficie (hectáreas)	Producción (toneladas)	Rendimiento (quintales/hectárea)
2019/20	Valparaíso	93	190	20,4
	Metropolitana	2.486	10.681	43,0
	O'Higgins	3.992	22.635	56,7
	Maule	4.500	31.050	69,0
	Ñuble	4.803	32.920	68,5
	Bío Bío	5.527	43.091	78,0
	La Araucanía	562	4.281	76,2
	Pais	21.963	144.848	66,0
2020/21	Valparaíso	87	612	70,3
	Metropolitana	1.154	6.728	58,3
	O'Higgins	3.759	26.891	71,5
	Maule	3.869	24.369	63,0
	Ñuble	4.085	28.121	68,8
	Bío Bío	7.312	56.361	77,1
	La Araucanía	1.016	7.142	70,3
Pais	21.282	150.251	70,6	
2021/22	Valparaíso	137	789	57,6
	Metropolitana	2.196	14.045	64,0
	O'Higgins	3.508	22.030	62,8
	Maule	3.753	23.108	61,6
	Ñuble	1.796	12.827	71,4
	Bío Bío	3.094	22.377	72,3
	La Araucanía	288	2.008	69,7
Pais	14.772	97.184	65,8	

Fuente: elaborado por Odepa con información del INE.

ANEXO C: COSTO DE EXPLOTACIÓN TRIGO POR HECTAREA

Chile. Trigo panadero - Costos por hectárea al establecimiento cultivo 2021 y según rendimiento esperado (\$/ha)

Fecha de publicación: Abril 2022 (Araucanía temp. 2021/2022)

	Trigo invierno (secano)	Trigo primavera (riego)	Trigo primavera (secano)	
Rdto qqm/ha	72	80	65	
Mano de obra ¹	64.800	123.500	57.000	
Maquinaria ¹	322.200	334.000	293.800	
Insumos ¹	553.265	679.795	559.795	
Otros costos ²	128.463	128.515	102.897	
Total costos	1.068.728	1.265.810	1.013.492	
Precio promedio trigo intermedio regional	30.461	30.461	30.461	
Ingreso por hectárea	2.193.223	2.436.914	1.979.993	
Margen neto por hectárea	1.124.495	1.171.104	966.501	
Análisis de sensibilidad Trigo invierno (72 qqm/ha) Margen neto (\$/ha)				
Trigo	Rdto. (qqm/ha) Precio (\$/qqm) ³	60	70	75
Intermedio	30.461	758.958	1.063.572	1.215.879
Precio de equilibrio ⁴		17.812	15.268	14.250
Fuente: elaboración propia sobre la base de estructuras de costos construidas para Odepa por Fundación Chile.				
Nota:				
(1) Los costos de mano de obra; maquinaria e insumos corresponden aproximadamente a los nominales observados entorno a la siembra 2021				
(2) Costo financiero de los insumos e imprevistos. No incluye arriendo del predio ni su administración.				
(3) El precio del trigo utilizado en el análisis de sensibilidad corresponde al precio promedio regional durante enero - marzo 2022 (precios informados por Cotrisa).				
(4) Representa el precio de venta mínimo para cubrir los costos totales de producción con ese rendimiento y calidad.				