

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍAS EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA



## TEMA:

**MONITOREO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE DRONES  
EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), CRISTÓBAL COLÓN-CARCHI**

**Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Agropecuario**

## AUTORES:

Guido Emerson Huera Pérez

Elian Paul Trejo Basantes

## DIRECTORA:

Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

**Ibarra, 2025**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**MONITOREO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE DRONES  
EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), CRISTÓBAL COLÓN-CARCHI**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como  
requisito parcial para obtener Título de:

**INGENIERO/A AGROPECUARIO/A**

APROBADO:

Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

**DIRECTOR**



FIRMA

Ing. Jefferson Vladimir Andrade Villareal

**MIEMBRO TRIBUNAL**



FIRMA



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401978846		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Huera Pérez Guido Emerson		
DIRECCIÓN:	Bolívar - Carchi		
EMAIL:	emerson253f@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0998709299

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1050327806		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Trejo Basantes Elian Paul		
DIRECCIÓN:	Ibarra - Imbabura		
EMAIL:	trejoelian2000@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0996456346

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	<b>MONITOREO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE DRONES EN EL CULTIVO DE PAPA (<i>Solanum tuberosum</i> L.), CRISTÓBAL COLÓN-CARCHI</b>
AUTOR (ES):	Huera Pérez Guido Emerson, Trejo Basantes Elian Paul
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	11/07/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agropecuario
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 11 días del mes de julio de 2025

### EL AUTOR:



.....  
Guido Emerson Huera Pérez



.....  
Elian Paul Trejo Basantes

## CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Huera Pérez Guido Emerson y Trejo Basantes Elian Paul, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 11 días del mes de julio de 2025



Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

## REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

**Guía:** FICAYA-UTN

**Fecha:** Ibarra, a los 11 días del mes de julio del 2025

**Nombres y Apellidos:** Huera Pérez Guido Emerson, Trejo Basantes Elian Paul

**MONITOREO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE DRONES EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), CRISTÓBAL COLÓN-CARCHI/**

Trabajo de titulación. Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 11 días del mes de julio del 2025. 145 páginas.

**DIRECTOR (A):** Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Monitorear las diferentes plagas y enfermedades mediante el uso de drones en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.), Cristóbal Colón-Carchi.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Determinar la dinámica poblacional de plagas en el cultivo de papa a través del monitoreo indirecto
- Comparar el monitoreo directo de plagas y enfermedades con respecto al uso de drones e inteligencia artificial.



Ing. Julia Karina Prado Beltrán, PhD.

**Directora de Trabajo de Grado**



Guido Emerson Huera Pérez

**Autor**



Elian Paul Trejo Basantes

**Autor**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por ser nuestra guía constante. Su luz fue el impulso que nos permitió seguir adelante, incluso cuando todo parecía cuesta arriba.

Agradecemos a la Universidad Técnica del Norte, por brindarnos un espacio de formación académica y personal. A la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y a todos los docentes que compartieron con nosotros su conocimiento, vocación y experiencia. Un agradecimiento muy especial a Marisita, por su calidez y por ser siempre una mano amiga cuando más lo necesitábamos.

También extendemos nuestro más profundo agradecimiento a la empresa AGN LATAM S.A., por convertirse en un pilar fundamental en la realización de este trabajo, por su apoyo y confianza depositada en nosotros, estamos muy agradecidos por haber contado con su respaldo.

Agradecemos profundamente a la PhD. Julia Prado, por su constante guía, dedicación y apoyo incondicional. Su entrega fue mucho más allá del deber: nos acompañó con sabiduría, comprensión y exigencia, justo cuando más lo necesitábamos. Extendemos también nuestro sincero agradecimiento al Ing. Jefferson Andrade, por su asesoría clara y oportuna.

A nuestros compañeros y amigos, con quienes compartimos tantas experiencias, en especial a Ariel, Jefferson, Klaus y Lenin, gracias por ser parte de esta historia. Los de la fila de atrás, los que siempre se reían, los que desafiaban el sistema con humor. Ustedes hicieron que cada semestre en “La Granja” fuera llevadero y agradable, incluso en los peores días.

A todos quienes formaron parte de este proceso, directa o indirectamente, les extendemos nuestro más sincero agradecimiento. Este logro no es únicamente nuestro, sino también de quienes nos acompañaron, motivaron y confiaron en nosotros. Gracias por ser parte de este camino.

## DEDICATORIA

A mis padres, Guido y Teresa, por ser mi pilar incondicional. Gracias por amarme sin condiciones, por levantarme sin juicio cada vez que caí. Ustedes me enseñaron que la verdadera grandeza está en la constancia, el sacrificio y la humildad, que no hay imposibles cuando se trabaja con el corazón. Todo lo que soy se los debo a ustedes. Este logro no solo es mío, es nuestro.

A mis hermanos, principalmente a Alvaro y Renato, mis compañeros de vida, que, con su presencia, su cariño y su forma de ver el mundo me han enseñado tanto. Ustedes han sido mi alegría en los días difíciles y mi orgullo constante. Este logro también es suyo. Espero que esto los inspire, pero más aún, deseo de corazón que me superen, que sueñen en grande y lleguen más lejos. Siempre los llevaré conmigo, en cada paso que dé. EAR <3

A mis tíos y primos, por su afecto incondicional y por estar presentes en mi vida con palabras de aliento, gestos sencillos y un cariño que siempre sentí cercano. En especial a Rodrigo, que fue como un hermano mayor. Crecer contigo fue una bendición; tu apoyo y tu ejemplo de superación marcaron una diferencia profunda en mi vida. Gracias por ser familia en el sentido más verdadero de la palabra.

A mis amigos, en especial a Michael, Stefany, Dayana, David y Elian por ser mi refugio, mi risa en los días oscuros y mi fuerza cuando sentía que no podía más. Gracias por su lealtad, por escucharme y por no soltarme cuando más los necesité. Ustedes fueron parte esencial de esta etapa, y no tengo dudas de que su cariño me ayudó a superarla. Los quiero muchísimo.

A todos los que creyeron en mí, incluso cuando yo no lo hacía, gracias. A ustedes, los que me formaron, me inspiraron y nunca me soltaron. Este logro es tan suyo como mío.

*Emerson*

## DEDICATORIA

Dedicado con profundo respeto y gratitud a mis padres, Edith y Gabriel, quienes han sido el motor de mi vida. Su amor incondicional, esfuerzo incansable y constante apoyo han sido fundamentales para alcanzar este logro académico. Gracias por enseñarme el valor del sacrificio, la disciplina y la perseverancia, virtudes que me han guiado en este camino con firmeza y responsabilidad.

A mis hermanos Mateo y Camila, quienes han estado presentes en cada etapa con su cercanía, comprensión y ánimo constante, aportando equilibrio, alegría y fortaleza a lo largo del proceso, convirtiéndose en un soporte invaluable en momentos de dificultad y celebración.

A mis abuelitos, por su cariño sincero, oraciones constantes y sabiduría transmitida con humildad; y a mis tíos, por estar siempre ahí, acompañándome de forma incondicional, con su afecto, palabras oportunas e interés genuino por cada uno de mis avances, brindándome siempre ánimo y motivación para continuar.

Extiendo esta dedicatoria a todos los miembros de mi familia, quienes, con su compañía, sus consejos y su fe inquebrantable en mis capacidades, me impulsaron a seguir adelante incluso en los momentos más complejos y exigentes. Cada gesto de apoyo, cada conversación sincera y cada muestra de confianza contribuyeron significativamente a la culminación de esta etapa.

Este trabajo no solo representa el cumplimiento de una meta académica y personal, sino también el resultado de un proceso compartido, en el que el acompañamiento, los valores familiares y el amor incondicional marcaron la diferencia. Gracias por formar parte esencial de este logro y por estar presentes en cada paso del camino.

A cada uno de ustedes, mi más sincero y eterno agradecimiento.

*Elian*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	XIV
CAPITULO I .....	16
INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Antecedentes .....	16
1.2 Problema .....	17
1.3 Justificación .....	18
1.4 Objetivos .....	19
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	19
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	19
1.5 Preguntas directrices .....	19
CAPITULO II .....	20
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Cultivo de papa .....	20
2.1.1 <i>Importancia de la papa</i> .....	20
2.1.2 <i>Clasificación taxonómica</i> .....	20
2.1.3 <i>Descripción morfológica</i> .....	21
2.1.4 <i>Fenología del cultivo</i> .....	23
2.1.5 <i>Requerimientos Edafoclimáticos</i> .....	24
2.2 Plagas en el cultivo de papa .....	25
2.2.1 <i>Pulguilla</i> .....	25
2.2.2 <i>Psílido de la papa</i> .....	25
2.2.3 <i>Mosca minadora</i> .....	26
2.2.4 <i>Trips</i> .....	27
2.2.5 <i>Barrenador</i> .....	27
2.2.6 <i>Mosca blanca</i> .....	28
2.3 Enfermedades en el cultivo de papa.....	29
2.3.1 <i>Lancha</i> .....	29
2.3.2 <i>Oidiosis</i> .....	30
2.3.3 <i>Rhizoctonia</i> .....	31

2.3.4	<i>Alternaria</i> .....	32
2.3.5	<i>Punta morada de la papa</i> .....	33
2.4	Agricultura 4.0.....	34
2.4.1	<i>Drones en la Agricultura</i> .....	35
2.4.2	<i>AgroScout</i> .....	38
2.5	Manejo Integrado de Plagas (MIP).....	45
2.5.1	<i>Monitoreo</i> .....	45
2.6	Marco Legal.....	47
2.6.1	<i>Art. 2.- Aplicabilidad</i> .....	47
2.6.2	<i>Art. 17.- Altura máxima de vuelo</i> .....	47
2.6.3	<i>Art. 19.- Actividades previas al vuelo</i> .....	48
CAPITULO III.....		49
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
3.1	Descripción del área de estudio.....	49
3.2	Materiales, Equipos, Insumos y Herramientas.....	50
3.3	Métodos.....	50
3.3.1	<i>Población y muestra</i> .....	50
3.3.2	<i>Unidad muestral</i> .....	51
3.3.3	<i>Análisis estadístico</i> .....	52
3.4	Variables evaluadas.....	52
3.4.1	<i>Monitoreo directo</i> .....	52
3.4.2	<i>Monitoreo indirecto</i> .....	54
3.4.3	<i>Monitoreo con drones</i> .....	55
3.4.4	<i>Carga de imágenes a la plataforma AgroScout</i> .....	58
3.4.5	<i>Vista y analisis de resultados en la pataforma</i> .....	59
3.4.6	<i>Visualizacion de reportes de monitoreos</i> .....	60
3.5	Manejo específico del experimento.....	61
3.5.1	<i>Preparación del terreno</i> .....	61
3.5.2	<i>Control Fitosanitario</i> .....	62
3.5.3	<i>Siembra</i> .....	63

3.5.4	<i>Labores culturales</i> .....	64
3.5.5	<i>Instalación de trampas</i> .....	64
3.5.6	<i>Monitoreo</i> .....	65
3.5.7	<i>Monitoreo con drones</i> .....	66
CAPITULO IV.....		67
4.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	67
4.1	Determinación de la dinámica poblacional de plagas en el cultivo de papa a través del monitoreo indirecto.....	67
4.1.1	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad Libertad</i> .....	67
4.1.2	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad Fátima</i> .....	68
4.1.3	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad SuperFri</i> .....	69
4.1.4	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad CLON 11-9.91</i> .....	70
4.1.5	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad CLON DE COLORES 12-6-2971</i> .....	71
4.1.6	<i>Número de especímenes por trampa de la variedad CLON 12-4-35</i> .....	72
4.1.7	<i>Número de especímenes por trampa días de la variedad CLON 12-4-45</i> .....	74
4.1.8	<i>Número de especímenes por trampa días de la variedad CLON 12-4-143</i> .....	75
4.1.9	<i>Número de especímenes dípteros por variedades</i> .....	76
4.2	Comparación el monitoreo directo de plagas y enfermedades con respecto al uso de drones e inteligencia artificial.....	77
4.2.1	<i>Monitoreo directo</i> .....	77
4.2.2	<i>Dinámica poblacional de huevos y ninfas en el cultivo</i> .....	78
4.2.3	<i>Incidencia de plagas en el cultivo de papa</i> .....	79
4.2.4	<i>Severidad de plagas en el cultivo de papa</i> .....	79
4.2.5	<i>Severidad de enfermedades en el cultivo de papa</i> .....	80
4.2.6	<i>Monitoreo con drones:</i> .....	81
4.2.7	<i>Comparación de monitoreo</i> .....	84
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	91
5.1	Conclusiones.....	91
5.2	Recomendaciones .....	92
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

7.	ANEXOS .....	99
----	--------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Morfología de la papa</i> .....	22
Figura 2	<i>Etapas fenológicas del cultivo de papa</i> .....	23
Figura 3	<i>Pulguilla presente en el cultivo de papa</i> .....	25
Figura 4	<i>Ninfas de psílido de papa</i> .....	25
Figura 5	<i>Mosca minadora de la hoja</i> .....	26
Figura 6	<i>Trips encontrado en trampa cromática</i> .....	27
Figura 7	<i>Barrenador en tallo de planta</i> .....	27
Figura 8	<i>Espécimen de mosca blanca</i> .....	28
Figura 9	<i>Indicación de lancha en papa</i> .....	29
Figura 10	<i>Sintomatología Oidiosis en papa</i> .....	30
Figura 11	<i>Rhizoctonia presente en raíces de papa</i> .....	31
Figura 12	<i>Manchas de alternaria en papa</i> .....	32
Figura 13	<i>Evidencia de punta morada en el cultivo de papa</i> .....	33
Figura 14	<i>Dron DJI Mavic 3M con cámara RGB y multiespectral</i> .....	36
Figura 15	<i>Dron DJI Mavic 2 Pro en vuelo</i> .....	37
Figura 16	<i>Monitoreo inteligente de cultivos AgroScout</i> .....	39
Figura 17	<i>Flujograma del monitoreo con drones</i> .....	44
Figura 18	<i>Mapa de la parroquia Cristóbal Colón</i> .....	49
Figura 19	<i>Esquema de monitoreo por variedad</i> .....	51
Figura 20	<i>Monitoreo directo en el cultivo</i> .....	52

Figura 21 <i>Visualización de huevo utilizando lupa en el cultivo</i> .....	53
Figura 22 <i>Visualización de ninfas utilizando lupa en el cultivo</i> .....	53
Figura 23 <i>Monitoreo indirecto a través del conteo de insectos usando trampas amarillas</i> .....	54
Figura 24 <i>Monitoreo con drones de plagas y enfermedades usando el dron DJI Mavic 2 Pro y AgroScout</i> .....	55
Figura 25 <i>Creación de misión de vuelo</i> .....	56
Figura 26 <i>Selección de misión</i> .....	56
Figura 27 <i>Selección de patrón de vuelo</i> .....	57
Figura 28 <i>Dibujó del polígono y configuración de la misión</i> .....	57
Figura 29 <i>Extracción de la MicroSD del dron</i> .....	58
Figura 30 <i>Carpeta de imágenes tomadas por el dron</i> .....	58
Figura 31 <i>Carga de imágenes a AgroScout</i> .....	59
Figura 32 <i>Visualización de resultados por pisos</i> .....	60
Figura 33 <i>Reportes generados con AgroScout</i> .....	60
Figura 34 <i>Reporte del monitoreo</i> .....	61
Figura 35 <i>Lote preparado para la siembra</i> .....	61
Figura 36 <i>Siembra de papa</i> .....	63
Figura 37 <i>Labor cultural de retape y aporque en el cultivo de papa</i> .....	64
Figura 38 <i>Instalación de trampas en el cultivo</i> .....	65
Figura 39 <i>Monitoreo directo en el cultivo</i> .....	65
Figura 40 <i>Monitoreo con drones en el cultivo</i> .....	66
Figura 41 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad Libertad</i> .....	68
Figura 42 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad Fátima</i> .....	69
Figura 43 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad SuperFri</i> .....	70

Figura 44 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en Clon 11-9.91</i> .....	71
Figura 45 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en Clon de colores 12-6-29</i> .....	72
Figura 46 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-35</i> .....	73
Figura 47 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-45</i> .....	74
Figura 48 <i>Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-143</i> .....	75
Figura 49 <i>Número de especímenes dípteros en relación con los DDS en el cultivo</i> .....	77
Figura 50 <i>Dinámica poblacional de huevos y ninfas en relación con los DDS</i> .....	78
Figura 51 <i>Incidencia de plagas según DDS</i> .....	79
Figura 52 <i>Severidad de plagas en el cultivo según DDS</i> .....	80
Figura 53 <i>Severidad de enfermedades en el cultivo según DDS</i> .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía de la papa</i> .....	20
Tabla 2 <i>Requerimientos Edafoclimáticos de la papa</i> .....	24
Tabla 3 <i>Especificaciones técnicas del dron</i> .....	38
Tabla 4 <i>Características generales de la provincia del Carchi</i> .....	50
Tabla 5 <i>Materiales, Equipos, Herramientas e insumos de la investigación</i> .....	50
Tabla 6 <i>Variedades sembradas</i> .....	51
Tabla 7 <i>Fungicidas y bactericidas usados en el control fitosanitario del cultivo</i> .....	62
Tabla 8 <i>Insecticidas usados en el control fitosanitario del cultivo</i> .....	62
Tabla 9 <i>Resultados del monitoreo con drones en la plataforma AgroScout</i> .....	83
Tabla 10 <i>Resultados del monitoreo con drones en la plataforma AgroScout etiquetado por autores</i> .....	84
Tabla 11 <i>Comparación general entre monitoreo directo y monitoreo con drones</i> .....	85
Tabla 12 <i>Comparación de severidad entre monitoreo directo, y con drones evaluados por IA y autores</i> .....	87

# MONITOREO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES MEDIANTE EL USO DE DRONES EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.), CRISTÓBAL COLÓN-CARCHI

Autores: Huera Guido, Trejo Elian

Universidad Técnica del Norte

Correo: [gehuerap@utn.edu.ec](mailto:gehuerap@utn.edu.ec)  
[etrejo@utn.edu.ec](mailto:etrejo@utn.edu.ec)

## RESUMEN

La presente investigación aborda la importancia del monitoreo de plagas y enfermedades en el cultivo de papa en Cristóbal Colón, Carchi, empleando monitoreo directo, indirecto y con drones en conjunto con inteligencia artificial. Este cultivo es vital en la seguridad alimentaria del Ecuador, pero enfrenta constantes amenazas de plagas y enfermedades que impactan su productividad y calidad. El objetivo del estudio fue comparar la efectividad del monitoreo directo frente al monitoreo con drones para optimizar la detección temprana y manejo integrado de plagas. El estudio utilizó un diseño descriptivo en un lote de 2,600 m<sup>2</sup> con ocho variedades de papa. Se aplicaron técnicas de monitoreo directo cada 7 días; el monitoreo indirecto, mediante trampas cromáticas, se realizó cada 15 días. Adicionalmente, se efectuaron vuelos de monitoreo con drones con la misma frecuencia. El análisis estadístico incluyó medidas de tendencia y pruebas de varianza con el software Infostat®. Los resultados muestran que las plagas del orden Thysanoptera, Diptera y la Pulguilla (*Epitrix spp.*) predominaron en las etapas iniciales y medias del cultivo, con picos críticos entre los 60 y 116 días después de la siembra. Las herramientas tecnológicas permitieron identificar patrones más amplios y precisos, destacando el dron como un complemento eficiente al monitoreo manual. Por ello se concluye que la integración de drones mejora la cobertura y eficiencia del monitoreo, aunque su dependencia tecnológica y costo pueden ser una limitante. Esta combinación de métodos ofrece una solución robusta para el manejo agrícola, optimizando los esfuerzos en áreas críticas y promoviendo prácticas sostenibles para maximizar la productividad y reducir el impacto ambiental.

**Palabras claves:** Monitoreo, Cultivo de papa, Drones, Inteligencia artificial, Manejo agrícola.

## ABSTRACT

The present research addresses the importance of monitoring pests and diseases in potato. This research addresses the importance of pest and disease monitoring in potato cultivation in Cristóbal Colón, Carchi, using direct, indirect, and drone-based monitoring in conjunction with artificial intelligence. This crop is vital for Ecuador's food security but constantly faces threats from pests and diseases that affect its productivity and quality. The objective of the study was to compare the effectiveness of direct monitoring versus drone-based monitoring to optimize early detection and integrated pest management. The study employed a descriptive design on a 2,600 m<sup>2</sup> plot with eight potato varieties. Direct monitoring techniques were applied every 7 days; indirect monitoring, using chromatic traps, was conducted every 15 days. Additionally, drone monitoring flights were conducted with the same frequency. Statistical analysis included measures of central tendency and variance tests using Infostat® software. The results show that pests from the Thysanoptera and Diptera orders, along with potato flea beetles (*Epitrix spp.*), predominated in the early and mid-growth stages of the crop, with critical peaks between 60 and 116 days after planting. Technological tools allowed for broader and more accurate pattern identification, highlighting drones as an efficient complement to manual monitoring. It is concluded that the integration of drones improves the coverage and efficiency of monitoring, although their technological dependence and cost may be limiting factors. This combination of methods offers a robust solution for agricultural management, optimizing efforts in critical areas and promoting sustainable practices to maximize productivity and reduce environmental impact.

**Keywords: Effectiveness, Yield, Management, Impact, Cost, Efficiency, Productivity.**

# CAPITULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un tubérculo comestible de origen andino, perteneciente a la familia de las solanáceas originaria de Sudamérica, considerado como uno de los alimentos de mayor importancia a nivel mundial después del arroz y el trigo (Centro Internacional de la Papa (CIP), 2023a). En el Ecuador como señala el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2022) en el periodo 2021, la superficie total cosechada de papa fue de 19.088 hectáreas, teniendo una producción anual de 244 749 mil toneladas. Los cultivos se encuentran principalmente en la Región Sierra. Las provincias del Carchi, Bolívar y Chimborazo suman el 49,82 % de la superficie total cosechada, siendo Carchi la provincia con mayor producción nacional con 100 000 mil toneladas representando el 41,27 %.

Racines et al. (2023) mencionan que, en el Ecuador en el 2021, los principales factores abióticos declarados por los productores fueron: bajas temperaturas del 11 – 39% y exceso de humedad el 33%. En los problemas bióticos, entre el 36 y 77% de los productores declararon que sus cultivos fueron afectados por plagas y enfermedades; los principales mencionados fueron: Punta morada de la papa (PMP) entre el 20-56%, tizón tardío o “lancha” del 25-71%, gusano blanco del 5-50%, virus 25%, bacterias 19%. Los técnicos de las UDT del INIAP reportaron que el control de plagas y enfermedades, se realizan entre 5 a 20 aplicaciones por ciclo, lo que ha incidido en el incremento entre el 20 a 50% en el uso de agroquímicos y costos de aplicación. Los costos de producción varían dependiendo de la región, el uso y tecnología empleada, en Carchi y Pichincha entre 7,000 - 9,000 USD/ha; en Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo, Bolívar, entre 5000 - 8,000 USD/ha, y en Cañar y Azuay 5,000 - 7,000 USD/ha.

Como opina Vitta P. (2022) el monitoreo tiene como fin detectar las poblaciones de plagas que afectan un cultivo, de esta manera se toman las acciones de control para prevenir daño económico y que permitan una producción y comercialización en forma competitiva. Desde el punto de vista de Calvo (2021): en los últimos años, los drones se han convertido en una herramienta de gran utilidad para el monitoreo de los cultivos, especialmente en aquellas parcelas de grandes

dimensiones. En la misma línea los drones nos dan la posibilidad de realizar un seguimiento de los cultivos de mejor manera y con mayores posibilidades de detectar plagas.

En Ecuador, los drones están consolidándose como una herramienta útil para el sector agrícola, en la actualidad existen algunas empresas dedicadas al monitoreo, especialmente en el sector bananero y de caña de azúcar, donde se utiliza especialmente para el monitoreo de los cultivos, lograr determinar la cantidad de plantas existentes, la sanidad de las plantas, la humedad existente en la plantación, así como los niveles de fertilización de los cultivos (M. Chávez, 2018).

## 1.2 Problema

La papa es un producto agrícola que forma parte de la seguridad alimentaria en Ecuador, principalmente siendo base de la alimentación de la población de bajos recursos, los cultivos de esta se ven afectados en todo momento por distintos factores bióticos y abióticos, que impactan negativamente su calidad y producción, e incluso pueden provocar la pérdida completa del cultivo (Andrade & Bonilla, n.d.). Las plagas agrícolas disminuyen el rendimiento productivo del cultivo, incrementan los costos para su control, disminuyen el valor de la cosecha y afectan la calidad de los productos e incluso provocan su contaminación. Anualmente, en el mundo se registran pérdidas de hasta un 40 % de los cultivos alimentarios por causa de las distintas plagas agrícolas, equivalente a 220 mil millones de dólares (Palacio Legislativo de San Lázaro, 2020).

Los cultivos de papa en Ecuador son constantemente amenazados por plagas y enfermedades. Las principales enfermedades son el tizón tardío (*Phytophthora infestans*), el nematodo del quiste (*Globodera pallida*), los patógenos del suelo como la pudrición blanda (*Pectobacterium sp*, *Dickeya sp.*) *Rhizoctonia sp.* y *Spongospora sp.*, Actualmente, este último ha generado daños importantes en la producción. Las principales plagas han sido las tres especies de polillas de la papa (*Symmetrischema tangolias*, *Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*), el gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax*) y otras secundarias como trips (*Frankliniella solani*), el minador de la hoja (*Liriomyza huidobrensis*) y pulgilla (*Epitrix spp.*) (C. Castillo et al., 2021).

Como señala el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - ESPAC (2024) en Ecuador en los últimos cuatro años el área sembrada de papa se ha reducido en un 25%, lo que ha significado la pérdida de millones de plazas de trabajo. En 2023 la superficie de papa perdida fue de 1 839 ha, donde el 27% fue consecuencia de las sequias, el 35% restante correspondió a otras causas mientras

que el 38% fue causado por plagas y enfermedades (INEC - ESPAC, 2024). El agricultor se encuentra desesperado por combatir este problema y el incremento en el uso de insecticidas ha llegado a multiplicarse por ocho como resultado los costos de producción aumentaron en un 20% a 25%. El uso indiscriminado de pesticidas conlleva a una contaminación del medio ambiente y de los productos agrícolas, así como el incremento del riesgo de la salud del agricultor y del consumidor. La reducción del área sembrada de este importante cultivo pone en riesgo la seguridad alimentaria de la población (C. Castillo et al., 2021).

### **1.3 Justificación**

Como afirma el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2023) en Ecuador más de 82 000 agricultores están involucrados en el cultivo de papa cuya producción esta principalmente orientada al consumo interno, aproximadamente el 81% se comercializa para consumo en fresco y las industrias utilizan el resto para procesamiento. A lo largo del tiempo se busca innovar la agricultura convencional la misma que es considerada una actividad de mucho esfuerzo y dedicación, donde la aplicación de las nuevas tecnologías nos brinda oportunidades para aumentar la productividad y seguridad de los agricultores, dado que la innovación del monitoreo representa un importante ahorro de tiempo y mano de obra a la hora de realizar esta actividad (Méndez et al., 2020).

Desde el punto de vista de Berrío Meneses et al. (2018) el uso de tecnologías alternativas en la planificación de la agricultura para el manejo de problemas pretende desarrollar prácticas para evitar el uso excesivo de agroquímicos en los cultivos, reduciendo el riesgo de plagas y enfermedades resilientes, permitiendo a los agricultores “asegurar” la inversión de los cultivos. Hoy en día, la agricultura de precisión viene de la mano de un hardware avanzado que nos permite tener imágenes de alta resolución. El uso de drones permite monitorear cultivos en el momento necesario, superando limitaciones de satélites como las nubes, siendo así un reemplazo preciso y rentable. El procesamiento de imágenes de alta calidad se ha simplificado gracias al desarrollo de nuevos softwares que permiten tomar decisiones en tiempo real, lo que ha maximizado la calidad de las cosechas, el incremento de la productividad y reducir el impacto ambiental (Calvo, 2021).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue comparar el monitoreo directo con el monitoreo con drones, ya que es necesaria la implementación de técnicas las cuales facilitarían una mejor

detección temprana y precisa de plagas y enfermedades en los diferentes cultivos. Esta investigación permitirá a los distintos actores del sector agrícola conocer los diferentes beneficios y problemas que presentan el monitoreo con drones en la agricultura de nuestra zona, brindándoles una idea clara de su uso y resultados con respecto al monitoreo tradicional.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 *Objetivo general***

Monitorear las diferentes plagas y enfermedades mediante el uso de drones en el cultivo de Papa (*Solanum tuberosum* L.), Cristóbal Colón-Carchi.

### **1.4.2 *Objetivos específicos***

- Determinar la dinámica poblacional de plagas en el cultivo de papa a través del monitoreo indirecto.
- Comparar el monitoreo directo de plagas y enfermedades con respecto al uso de drones e inteligencia artificial.

## **1.5 Preguntas directrices**

- ¿Existe diferencias entre el monitoreo directo y la aplicación de drones con respecto a la identificación de plagas y enfermedades?
- ¿Cómo varía la población de las plagas a través del monitoreo indirecto?

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Cultivo de papa

##### 2.1.1 Importancia de la papa

La papa es el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo en consumo humano después del arroz y del trigo. Aproximadamente 1.4 mil millones de personas consumen papa regularmente, y la producción total mundial del cultivo sobrepasa los 300 millones de toneladas métricas (Centro Internacional de la Papa (CIP), 2023b). Es el alimento que aporta mayor cantidad de carbohidratos a la dieta de millones de personas, llegando a ser muy fundamental para los países de Sudamérica, África, y en el continente asiático en su totalidad (P. Chávez, 2008).

##### 2.1.2 Clasificación taxonómica

La papa (*Solanum tuberosum* L.) pertenece a la familia de las solanáceas. Se originó y fue domesticada por primera vez en las montañas de los Andes de Sudamérica (Centro Internacional de la Papa (CIP), 2023b). Fundación Charles Darwin (2023) describe la taxonomía de la papa de la siguiente manera:

**Tabla 1**

*Taxonomía de la papa*

<b>Taxonomía de la papa</b>	
<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase:</b>	Asteridae
<b>Orden:</b>	Solanales
<b>Familia:</b>	Solanaceae
<b>Género:</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie:</b>	<i>S. Teberosum</i>
<b>Nombre científico:</b>	<i>Solanum tuberosum</i> L.

*Nota. Información extraída de Fundación Charles Darwin, datazone.darwinfoundation.org.*

### **2.1.3 Descripción morfológica**

*Solanum tuberosum* L. es una planta dicotiledónea herbácea, suculenta, con hábitos de crecimiento rastrero o erecto, anual por la parte aérea y perenne por sus tallos modificados subterráneos (tubérculos) (Inostroza, 2009).

**2.1.3.1 Raíces.** La planta de papa se desarrolla a partir de una semilla o a partir de un tubérculo. Cuando crece a partir de una semilla, se forma una raíz axonomorfa con ramificaciones a los lados. Cuando crecen de tubérculos, en primer lugar, se forman raíces adventicias en la base de cada brote y seguidamente en la parte superior de los nudos y parte subterránea de cada tallo. En comparación con otros cultivos, el cultivo de papa tiene un sistema radicular débil, por lo cual necesita que el suelo se encuentre en buenas condiciones físicas y químicas para un mejor desarrollo (Inostroza, 2009).

**2.1.3.2 Tallos.** Los tallos de la papa se encuentran representados por los tallos aéreos, sus estolones y los tubérculos. A medida que pasa el tiempo los tallos se van engrosando para formar unos cuantos o hasta un máximo de 20 tubérculos cerca de la superficie del suelo (Centro Internacional de la Papa (CIP), 2015). Los tallos se originan de las yemas u ojos del tubérculo madre. Las plantas provenientes de semilla verdadera tienen un solo tallo principal, mientras que las provenientes de tubérculos semilla pueden producir varios tallos (Araujo et al., 2021).

**2.1.3.3 Hoja.** Se encuentran distribuidas en forma de espiral sobre el tallo, las hojas son compuestas es decir que tienen un raquis central y también varios folíolos, cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal (Instituto Nacional de Investigación Agraria – INIA, 2002). Cada folíolo se puede encontrar unido al raquis por un pequeño pecíolo llamado peciólulo, o estar unido directamente, sin peciólulo, en este caso se lo denomina folíolo sésil (Inostroza, 2009).

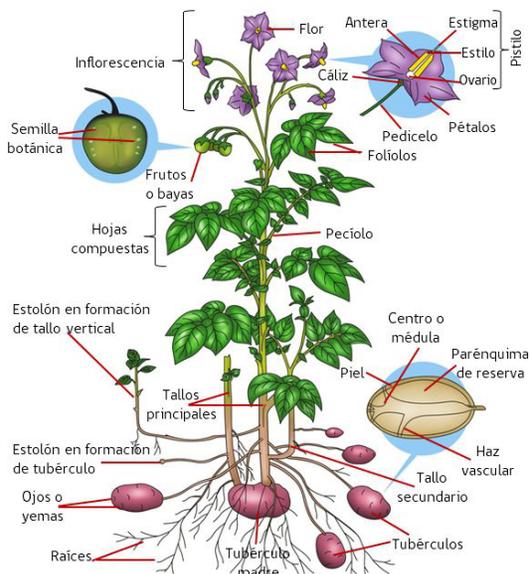
**2.1.3.4 Inflorescencias, Flor.** Como señala Araujo et al. (2021) las inflorescencias poseen cinco pétalos soldados, con una gama de colores que varían desde blanco al color morado; estas son las que se encargan de la reproducción sexual. Las flores de la papa son bisexuales, estas poseen las partes esenciales que debe tener una flor: cáliz, corola, estambres y pistilo. El órgano masculino

de la flor son los estambres estos son llamados androceo, el órgano femenino es el pistilo llamado gineceo (Huamán, 1986).

**2.1.3.5 Fruto y semilla Botánica.** Al ser fertilizado, el ovario se desarrolla y se transforma en un fruto denominado baya, que contiene numerosas semillas. Este fruto suele tener forma esférica, aunque en ciertas variedades son ovoides o cónicas. Por lo general, su color es verde, aunque en algunos cultivares puede presentar manchas blancas, pigmentaciones o franjas coloreadas. La cantidad de semillas por fruto puede superar las 200, dependiendo de la fertilidad de la variedad (Araque Barrera et al., 2021). La semilla botánica contribuye a reducir los problemas relacionados con enfermedades transmitidas por el tubérculo ya que contiene pocos patógenos. Además, los agricultores pueden almacenarla de manera práctica y económica, y su transporte resulta sencillo y de bajo costo. Esta semilla puede integrarse fácilmente en los sistemas de producción agrícola (Centro Internacional de la Papa (CIP), 1983).

**2.1.3.6 Tubérculo.** Los tubérculos son tallos los cuales crecen en la tierra; estos almacenan reservas (agua, almidones, minerales, vitaminas, azúcares y proteínas). Comúnmente utilizado como semilla para la siembra de cultivos comerciales (Araujo et al., 2021).

**Figura 1**  
*Morfología de la papa*

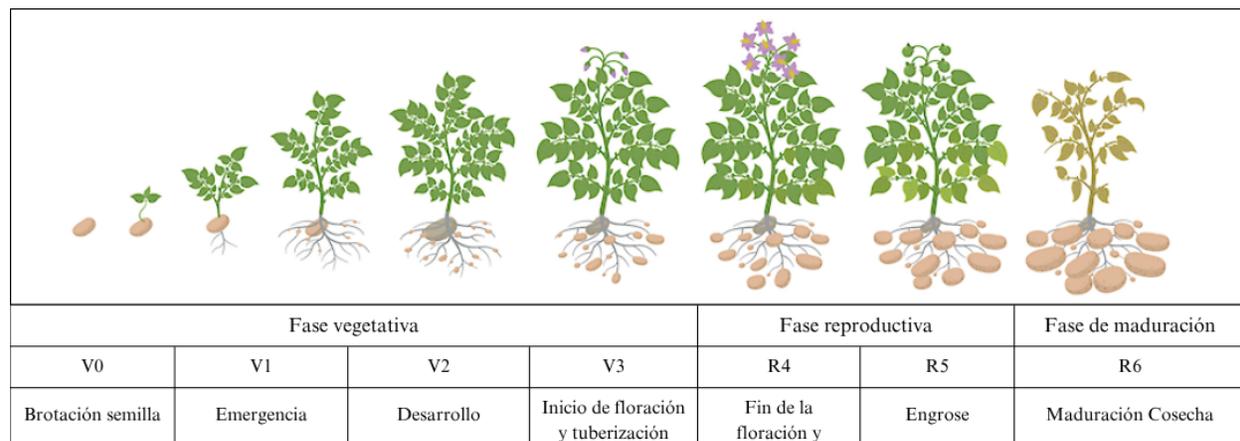


*Fuente. Tomado del Centro Internacional de la Papa (CIP).*

### 2.1.4 Fenología del cultivo

De acuerdo con Araujo et al., (2021) el cultivo de papa tiene siete etapas bien definidas: inicia con la brotación de la semilla y termina con la cosecha. Este proceso está conformado por lo que se conoce como etapas fenológicas. Las cuatro primeras etapas se denominan fase vegetativa, las dos siguientes constituyen la fase reproductiva, y la última etapa es la fase de maduración.

**Figura 2**  
*Etapas fenológicas del cultivo de papa*



*Nota. Tomado de Manual del cultivo de papa para pequeños productores.*

**2.1.4.1 Brotación semilla.** Los tubérculos semilla están en estado de dormancia. Dependiendo de la variedad, la brotación inicia inmediatamente después de la cosecha, o después de 60 días en variedades mejoradas. La semilla debe haber alcanzado su madurez fisiológica; esto sucede cuando las plantas se acaman, se tornan de color café y se secan. Después de cosechadas, las papas deben ser seleccionadas por tamaño y sanidad, y envasadas en sacos ralos (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.2 Emergencia.** La etapa de emergencia va desde el momento de la siembra hasta cuando la planta alcanza unos 10 a 15 cm de altura. Dependiendo de la variedad y el estado de brotación, la emergencia se da entre 16 y 30 días después de la siembra (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.3 Desarrollo.** La etapa de desarrollo toma un tiempo de 50 a 90 días. Durante la etapa de desarrollo, se debe realizar la fertilización complementaria y el rascadillo (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.4 Inicio floración e inicio tuberización.** El inicio de la floración se da cuando las yemas terminales se transforman en botones florales y estos comienzan a reventar. Mientras que la tuberización inicia cuando la parte terminal del estolón comienza a hincharse. La etapa de la

tuberización puede durar entre 60 a 90 días. En muchas variedades, coincide con la floración. Es importante la existencia de suficiente humedad ya que la planta empieza a producir. En esta etapa, hay alto riesgo de ataques con lancha o tizón; por lo tanto, es recomendable realizar controles preventivos o curativos (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.5 Fin de la floración y final tuberización.** Los botones florales han reventado. En algunas variedades, la floración termina entre los 90 y 120 días desde la siembra. Con respecto a la tuberización, los estolones han terminado de formar el tubérculo e inicia el engrose del mismo. Este período tiene lugar entre los 137 y 151 días después de la siembra (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.6 Engrose.** Es la etapa en la que los tubérculos crecen y llegan a su mayor tamaño. Dependiendo de la variedad, este período ocurre desde los 90 hasta los 150 días después de la siembra (Araujo et al., 2021).

**2.1.4.7 Maduración cosecha.** Es la parte final del cultivo; las plantas se amarillan, se secan y mueren. Dependiendo de la variedad, este período va desde los 127 hasta los 200 días después de la siembra. En variedades precoces, se necesitan 4 meses desde el inicio del cultivo hasta obtener papas maduras y listas para la cosecha; en variedades semitardías, 5 meses; y en variedades tardías, 6 meses o más (Araujo et al., 2021).

### **2.1.5 Requerimientos Edafoclimáticos**

El cultivo de papa posee los siguientes requerimientos edafoclimáticos (Romero et al., 2019):

**Tabla 2**  
*Requerimientos Edafoclimáticos de la papa*

<b>Requerimientos Edafoclimáticos de la Papa</b>		
Altitud	2600 – 4000 m.s.n.m.	
Temperatura	Desarrollo	15 - 20°C
	Inicio tuberización	< 15 °C
	Tuberización	14 – 20°C.
Precipitación	600 a 1500 mm por ciclo	
Suelo	Francos, bien drenados, profundos (30-35 cm), con buen contenido de materia orgánica.	
pH del suelo	5 - 6	

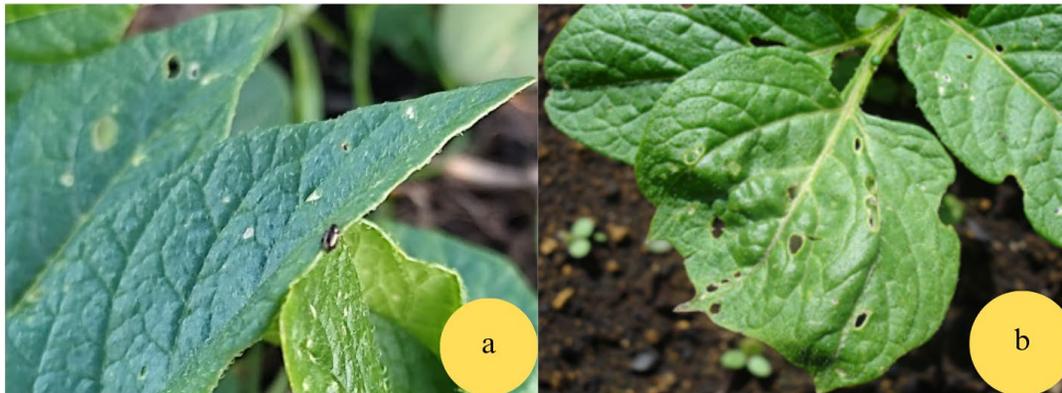
*Fuente. Tomado de Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de papa.*

## 2.2 Plagas en el cultivo de papa

### 2.2.1 Pulguilla

#### Figura 3

*Pulguilla presente en el cultivo de papa*



Nota. a) *Especimen de pulguilla.* b) *Daño en hojas causado por pulguilla*

*Epitrix spp.* o pulguilla, se encuentra en la mayoría de las zonas paperas. De adulto es un escarabajo pequeño de 1 mm de largo de color negro brillante o negro verdoso. Los adultos se alimentan de las hojas de las plantas creando perforaciones o agujeros. Las larvas son pequeñas, de color crema y se alimentan en la superficie del tubérculo (Araujo et al., 2021).

### 2.2.2 Psílido de la papa

#### Figura 4

*Ninfas de psílido de papa*



El psílido de la papa (*Bactericera cockerelli*) es una plaga de insectos que genera muchos daños en el cultivo de papa. Las alteraciones se producen por la saliva, la cual se introduce cuando se alimenta el insecto, llegando a causar una serie de síntomas las cuales se describen como

"amarillamiento del psílido". Deben pasar entre dos y tres semanas para que el insecto complete sus fases ninfáticas. Los adultos suelen ser de un color pálido por un par de días, pero se van desarrollando hasta obtener su patrón que lo caracteriza a rayas que tienen los adultos maduros. En la temporada de cultivo se pueden llegar a desarrollar muy fácilmente cuatro o más generaciones (Cranshaw, 2019).

### 2.2.3 *Mosca minadora*

#### **Figura 5**

*Mosca minadora de la hoja*



La *Liriomyza huidobrensis* o mosca minadora, se alimenta y se reproduce en muchas plantas, incluyendo la planta de papa. Cuando está en su estado de adulto es una mosca pequeña la cual se encuentra sobre las hojas. Llega a causar daños en la planta debido a que cuando se encuentra en estado larval y adulto la mosca succiona la savia para alimentarse, ocasionando galerías en las hojas lo cual ocasiona la pérdida del área fotosintética (Toledo, 2020).

#### 2.2.4 Trips

##### Figura 6

*Trips encontrado en trampa cromática*



Los Trips (*Frankliniella spp.*), aparecen de una manera acelerada en las primeras fases de desarrollo de la planta y especialmente cuando son épocas de sequía. El insecto, en estado de ninfa, es de color amarillo. Estos se alimentan de la epidermis o capa superficial de las hojas, dando una decoloración de color plateado y al final una apariencia de quemado. Cuando el ataque es mucho más severo, la pérdida del cultivo puede darse muy rápidamente. Esta plaga se encuentra presente en la mayoría de las zonas paperas, es un insecto pequeño con una longitud de 1 a 3 mm aparte de que se encuentra en las hojas también pueden encontrarse en las flores (Araujo et al., 2021).

#### 2.2.5 Barrenador

##### Figura 7

*Barrenador en tallo de planta*



Fuente. Tomado de [www.panorama-agro.com](http://www.panorama-agro.com)

El barrenador de la papa (*Symmetrischema tangolias*), es una plaga importante en los cultivos de papa. Esta especie pertenece a la familia Gelechiidae y es endémica de regiones de altitud media y alta, donde encuentra condiciones favorables para su desarrollo. Los principales daños se producen cuando las larvas barren los tallos, causando marchitez o muerte regresiva. También se alimentan internamente del tubérculo, provocando galerías que favorecen la entrada de patógenos como *Fusarium spp.* y *Rhizoctonia solani*. En almacenes, puede continuar su actividad, disminuyendo la calidad comercial de la semilla y del producto para consumo (INIAP et al., 2013)

Los síntomas más comunes incluyen:

- Marchitez parcial o total del follaje.
- Túneles visibles en tallos, pecíolos o brotes apicales.
- Orificios en tubérculos con exudación marrón o negruzca.
- Aparición de patógenos secundarios en sitios de daño.

### 2.2.6 Mosca blanca

#### Figura 8

*Espécimen de mosca blanca*



Fuente. Tomado de Mosca blanca de invernadero, *Trialeurodes vaporariorum*.

La *Trialeurodes vaporariorum* o mosca blanca, es una plaga que afecta los cultivos de papa. Este insecto causa daños directos al alimentarse de la savia de las plantas y produce secreciones azucaradas que favorecen el crecimiento de hongos, afectando la fotosíntesis. Sin embargo, su

mayor impacto en el cultivo de papa radica en su capacidad para transmitir virus, que provoca amarillamiento de las nervaduras, reducción en el tamaño y número de tubérculos y pérdidas de hasta el 50% del rendimiento. La mosca blanca requiere estrategias integradas que incluyan monitoreo, control biológico y uso racional de insecticidas (Gamarra et al., 2016).

## 2.3 Enfermedades en el cultivo de papa

### 2.3.1 Lancha

#### Figura 9

*Indicación de lancha en papa*



La Lancha o tizón tardío (*Phytophthora infestans*) es causada por un pseudo hongo que afecta las hojas, tallos, pecíolos, ramas y tubérculos. Es muy peligrosa y, de no realizar controles, puede ocasionar pérdidas totales del cultivo en pocos días, especialmente en variedades susceptibles.

Se la puede identificar en un inicio, en las hojas se pueden ver manchas irregulares de tamaño variable y de color verde oscuro con bordes pálidos; luego, las manchas se tornan de color café. Las lesiones son quebradizas y pueden cubrir totalmente la hoja. En presencia de humedad, se forman pelusas o filamentos de color blanquecino en el envés de las hojas. Esta enfermedad también produce manchas color marrón oscuro en tallos, pecíolos y ramas (Araujo et al., 2021).

Su desarrollo se ve favorecido por:

- Días lluviosos o con neblina.
- Alta humedad y temperaturas de 12 a 21 °C.
- Siembras continuas.

- Siembras estrechas.
- Encharcamientos.
- Uso de semilla infectada.

### 2.3.2 Oidiosis

#### Figura 10

*Sintomatología Oidiosis en papa*



Oidiosis o mildiu pulverulento (*Golovinomyces cichoracearum*) aparece en cualquier período de desarrollo del cultivo. Se presenta con mayor frecuencia en época seca seguida de un período de lluvia. Las deficiencias nutricionales del cultivo favorecen su desarrollo (Araujo et al., 2021).

Se la puede identificar al ver:

- Presencia de manchas blancas pulverulentas (apariencia de polvo) en ambos lados de las hojas.
- Necrosis (tejido muerto) en las hojas.
- Muerte de la hoja y su caída total.

Su desarrollo se ve favorecido por:

- Clima seco y fresco.
- Viento (se dispersa en todo el cultivo).
- Deficiencias nutricionales en período de madurez de la planta (senescencia).

### 2.3.3 *Rhizoctonia*

**Figura 11**

*Rhizoctonia* presente en raíces de papa



La *Rhizoctonia* o costra negra (*Rhizoctonia solani*) se encuentra presente en muchas áreas productoras de papa, afectando el desarrollo del cultivo a nivel de campo desde la emergencia hasta la cosecha, especialmente bajo condiciones frías y de altos niveles de humedad. Produce canchales en tallos, brotes y estolones, tubérculos deformes, pequeños, con protuberancias y partiduras. Además, la formación de esclerocios o costra negra en la superficie de los tubérculos afecta su apariencia y calidad. El hongo sobrevive en el suelo como micelio en tejido en descomposición y como esclerocio en el suelo y restos de tubérculos (Acuña et al., 2021).

Se la puede identificar al ver:

- Hojas superiores marchitas y enrolladas.
- Estrangulamiento en la base de los tallos.
- Pérdida de color normal de las hojas (clorosis foliar).
- Crecimiento de tubérculos aéreos (presencia de papitas en el tallo).
- Mancha algodonosa en el cuello de la planta.
- Papas con costras negras.

Su crecimiento se ve favorecido por:

- Suelos mal manejados donde hubo infecciones anteriores de Rhizoctonia.
- Humedad del suelo.
- Semilla infectada (contaminada).
- Herramientas y materiales contaminados.
- Agua contaminada (Araujo et al., 2021).

#### 2.3.4 *Alternaria*

##### **Figura 12**

*Manchas de alternaria en papa*



La Alternaria o tizón temprano (*Alternaria solani*) es una de las enfermedades más devastadoras de la papa a nivel mundial. En el país se la conoce como lancha y se la considera la enfermedad más importante debido a que se presenta en todas las áreas paperas y por las pérdidas que causa. Las condiciones climáticas de la sierra favorecen su desarrollo al presentar temperaturas moderadas entre 12° a 18° C, alta humedad en las mañanas y periodos de sol (Torres et al., 2011).

Se la puede identificar al ver (Araujo et al., 2021):

- Manchas de color pardo oscuro, de tamaño variable, rodeadas de un halo clorótico sobre las hojas en plantas maduras.
- Al interior de las manchas, se encuentran anillos concéntricos.
- La parte afectada de las hojas se desprende, dejando agujeros.

Su desarrollo se ve favorecido por (Araujo et al., 2021):

- Días calurosos (alternancia entre días lluviosos y secos).
- Presencia de plantas enfermas en campos vecinos.
- Plantas débiles o con poca fertilización nitrogenada.

### 2.3.5 Punta morada de la papa

#### Figura 13

Evidencia de punta morada en el cultivo de papa



La Punta morada de la papa (PMP) o papa manchada (*Candidatus Phytoplasma spp.*, *Candidatus Liberibacter solanacearum* (CaLso)) afecta a todas las variedades de papa y ocasiona pérdidas económicas del 50 al 100%. Los síntomas característicos que se presentan son coloración amarilla o morada en la parte más joven de la planta, ramificaciones como escoba de bruja, tallos con abultamientos de los nudos, formación de tubérculos aéreos y, en los tubérculos ya formados, cuando se los parte, se observa en la pulpa un pardeamiento general (fitoplasmas) o manchas rayadas (CaLso) (Araujo et al., 2021).

Su presencia se ve favorecida por (Araujo et al., 2021):

- Uso de semilla que proceda de lotes de plantas que hayan presentado síntomas de PMP
- Presencia de insectos vectores como el psílido de la papa y de saltones de hojas (*Cicadellidae*, *Cixiidae*).

## 2.4 Agricultura 4.0

A lo largo de los años, la agricultura ha experimentado una constante evolución, integrándose cada vez más con la tecnología. Esto dio origen a la llamada “agricultura de precisión” o Agricultura 3.0, caracterizada por el uso de sistemas GPS en la maquinaria agrícola. Sin embargo, a partir del año 2010 surgió la Agricultura 4.0 o “agricultura digital”, que integra el uso de nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). Esta nueva etapa se basa en la implementación y desarrollo de diversas tecnologías, como sensores en la maquinaria, drones o naves no tripuladas, procesamiento de imágenes satelitales, sistemas de tecnología de información basados en la nube, análisis de Big Data, entre otros. Su objetivo es lograr una agricultura conectada, mediante el desarrollo de software y hardware para crear una red de información extensa. En la actualidad, los especialistas ya hacen referencia a la Agricultura 5.0, que se basará en la robótica y la inteligencia artificial (Serrano Ruiz, 2024).

Sánchez Palacios et al. (2024) argumentan que la agricultura de precisión (AP) surgió en la década de los 90 en Estados Unidos como un sistema cíclico de retroalimentación anual, diseñado para aplicar insumos según las condiciones específicas de cada zona del cultivo. Este enfoque utiliza las TIC para adaptar el manejo de suelos y cultivos en función de la variabilidad natural o inducida en cada parcela. Comprende diversas fases esenciales: recopilación de datos, procesamiento de información y toma de decisiones. Se destaca la importancia de implementar un control de calidad riguroso desde la fase de recolección de datos.

En este contexto, el uso de esta tecnología no solo aportaría mejoras en términos de productividad, eficiencia operativa, manejo y precisión para las empresas agrícolas, sino que también facilitaría la obtención de información precisa, individual y en tiempo real sobre las cosechas. Esto permitiría conocer condiciones ambientales y otros factores que puedan estar incidiendo en el rendimiento productivo en distintos contextos (Godoy, 2023).

La Agricultura 4.0 integra diversas tecnologías que transforman los procesos productivos mediante la automatización, el análisis de datos y la conectividad digital. Entre las más relevantes se encuentran:

- **Sensores en el campo e Internet de las Cosas:** permiten recopilar en tiempo real datos del entorno agrícola como humedad del suelo, temperatura, nutrientes y condiciones del aire, facilitando el monitoreo continuo de cultivos, animales y maquinaria (Giraldo, 2020).
- **Teledetección:** mediante drones y satélites, se obtienen imágenes y datos de forma remota y en tiempo real para detectar enfermedades, evaluar el estado de las plantas y planificar el riego (Giraldo, 2020).
- **Big Data:** posibilita el análisis de grandes volúmenes de datos históricos y actuales sobre clima, suelos, rendimiento y mercados para identificar patrones útiles en la toma de decisiones agrícolas (Giraldo, 2020).
- **Servicios de localización:** el uso de GPS y sistemas geoespaciales optimiza la planificación, el muestreo de suelos y la operación remota de equipos agrícolas (Giraldo, 2020).
- **Computación en la nube:** permite el almacenamiento y procesamiento de información digital colectada en el campo, facilitando la coordinación de acciones frente a variables climáticas o de manejo (Giraldo, 2020).
- **Trazabilidad:** mediante tecnologías como blockchain, se asegura la transparencia en toda la cadena de producción, permitiendo verificar el origen y proceso de los alimentos y promoviendo prácticas de comercio justo (Giraldo, 2020).
- **Inteligencia artificial (IA):** emplea sistemas informáticos inteligentes capaces de aprender a partir de datos agrícolas para generar modelos predictivos, automatizar tareas y mejorar la eficiencia en el uso de recursos como el agua (Giraldo, 2020).

#### **2.4.1 Drones en la Agricultura**

Un dron es un Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) que puede volar de forma autónoma o ser controlado a distancia mediante un joystick o aplicaciones para smartphones. Está equipado con diversos sensores como acelerómetros, magnetómetros, giroscopios y sensores de presión, así como con cámaras RGB, multispectrales, térmicas o hiperespectrales, que permiten identificar

signos de estrés vegetal, daños foliares, cambios en la reflectancia de las plantas y patrones anómalos en el desarrollo del cultivo (Hafeez et al., 2023).

#### **Figura 14**

*Dron DJI Mavic 3M con cámara RGB y multiespectral*



*Fuente. Tomado de [elvuelodeldrone.com](http://elvuelodeldrone.com)*

Es de las tecnologías más interesantes dentro de la Agricultura 4.0 por las numerosas ventajas que tiene su uso frente a otras tecnologías, como:

- Alto nivel de precisión
- Versatilidad de movimientos
- Llegada a lugares de difícil acceso
- Estabilidad en el vuelo
- Rapidez de desplazamiento
- Reducción de costos frente a técnicas convencionales

A la vez los drones tienen desventajas como una limitada autonomía, alto costo inicial y capacitación técnica requerida (Serrano Ruiz, 2024).

Como mencionan Subramanian et al. (2021) uno de los pilares de la agricultura de precisión es el monitoreo de la salud de los cultivos. Esto abarca el riego, la fertilización, la detección de plagas y enfermedades, la aplicación de pesticidas y la cosecha oportuna. En este contexto los drones resultan especialmente útiles, pues permiten detectar problemas in situ e implementar medidas correctivas de inmediato. Los drones equipados con sensores RGB y multiespectrales (MS) se han

vuelto indispensables por su capacidad para proporcionar datos espectrales y espaciales completos con rapidez y precisión. Ambos miden eficientemente parámetros críticos del crecimiento de los cultivos, como el rendimiento, la biomasa, el índice de área foliar y el contenido de nitrógeno, en condiciones de campo (Liu et al., 2025).

#### **2.4.1.1 DJI Mavic 2 Pro**

El DJI Mavic 2 Pro es un dron profesional compacto equipado con una cámara Hasselblad, que incorpora un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles, con una apertura ajustable de  $f/2.8$  a  $f/11$ . Está diseñado para capturar imágenes aéreas de alta resolución. Aunque está orientado principalmente a la fotografía y videografía en el espectro visible por su cámara RGB, su capacidad de vuelo autónomo, estabilización avanzada y compatibilidad con plataformas de análisis agrícola como AgroScout lo convierten en una herramienta eficaz para el monitoreo de cultivos.

#### **Figura 15**

*Dron DJI Mavic 2 Pro en vuelo*



*Fuente. Tomado de [www.dronebydrone.com](http://www.dronebydrone.com)*

Gracias a su diseño plegable, su potente cámara Hasselblad y sus sistemas avanzados de vuelo, este dron ofrece un equilibrio ideal entre portabilidad, precisión y autonomía operativa. A continuación, se detallan sus principales características técnicas:

**Tabla 3***Especificaciones técnicas del dron*

<b>Ficha Técnica DJI Mavic 2 Pro</b>		
<b>Dimensiones</b>	Plegado	214 × 91 × 84 mm
	Desplegado	322 × 242 × 84 mm
<b>Peso al despegue</b>	907 g	
<b>Tiempo máximo de vuelo</b>	Hasta 31 minutos	
<b>Velocidad máxima de vuelo</b>	72 km/h (modo Sport)	
<b>Rango máximo de control</b>	Hasta 8 km (OcuSync 2.0)	
<b>Tipo de cámara</b>	RGB (espectro visible)	
<b>Sensor de imagen</b>	CMOS de 1", 20 MP (Hasselblad L1D-20c)	
<b>Apertura del lente</b>	f/2.8–f/11 (ajustable)	
<b>Estabilización</b>	Gimbal mecánico de 3 ejes	
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	De -10 °C a 40 °C	
<b>Batería</b>	3850 mAh (LiPo 4S)	
<b>Memoria interna</b>	8 GB (expandible vía microSD hasta 128 GB)	
<b>Sistemas de posicionamiento</b>	GPS + GLONASS	
<b>Detección de obstáculos</b>	Omnidireccional (frontal, trasero, lateral, etc.)	

*Nota. Información extraída de DJI Enterprise, [www.dji.com](http://www.dji.com).*

Un estudio realizado por Liu et al. (2025) exploró el potencial de aplicación de las imágenes capturadas con cámaras RGB y multiespectrales (MS) adquiridas de tres drones: el DJI Mavic 2 Pro (RGB), DJI Phantom 4M (MS) y DJI Mavic 3M (RGB+MS), Encontraron que el DJI Mavic 2 Pro, aunque limitado al espectro visible, destacó en la estimación del contenido de clorofila de un cultivo de trigo con una precisión de  $R^2 = 0.60$  y  $rRMSE = 7.67\%$ . Este hallazgo evidencia su utilidad para evaluar la salud foliar, aunque no puede capturar bandas fuera del espectro visible.

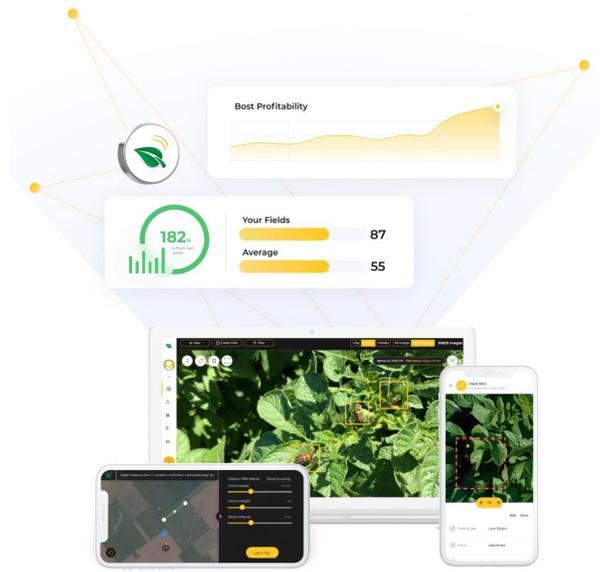
#### **2.4.2 AgroScout**

AgroScout es una empresa de origen israelí, fundada en el año 2017, que desarrolla una plataforma de agronomía remota basada en inteligencia artificial (IA). Su sistema recopila datos en tiempo real para monitorear el desarrollo de los cultivos y ayudar a los agricultores a detectar tempranamente plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales, lo que permite reducir pérdidas

y optimizar el uso de insumos. La firma, con sede actual en Kibutz Yiron, ha recaudado más de USD 11 millones para ampliar el acceso a su tecnología entre pequeños y medianos productores (Shemer, 2022).

### **Figura 16**

#### *Monitoreo inteligente de cultivos AgroScout*



*Fuente. Extraída de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

AgroScout es una plataforma digital que procesa imágenes de cultivos agrícolas mediante algoritmos de visión computarizada e inteligencia artificial, con el fin de detectar tempranamente plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales en los cultivos. Esta capacidad de diagnóstico automatizado la integra eficazmente en el Manejo Integrado de Plagas (MIP), al facilitar intervenciones precisas y oportunas. Su interfaz accesible permite visualizar zonas críticas, planificar acciones correctivas e incorporar datos de sensores, imágenes satelitales y registros históricos, favoreciendo la construcción de modelos predictivos (Shemer, 2022).

La arquitectura de la plataforma AgroScout se basa en una estructura digital escalable y modular que integra componentes físicos, software inteligente y procesamiento en la nube. A continuación, se detalla por capas funcionales (AgroScout, 2025):

#### 2.4.2.1 Captura de datos agronómicos

- **Vía drones (App AgroScout Sky).** - Es una aplicación móvil desarrollada para planificar y ejecutar vuelos autónomos con drones comerciales compatibles. Su objetivo es facilitar la recolección sistemática de imágenes aéreas geotiquetadas para su posterior análisis agronómico mediante inteligencia artificial.
  - **Planificación de vuelo autónomo:** Define patrones, altura, velocidad y área de cobertura.
  - **Captura de imágenes georreferenciadas:** El dron toma fotos cada 1–2 segundos mientras vuela.
  - **Cobertura por vuelo:** Hasta 20 ha (~50 acres) por vuelo de 20 minutos.
  - **Compatibilidad:** DJI Mavic 2 Pro, Mavic Air 2S, Mavic 3 Pro, Mavic Mini 3 Pro, entre otros.
- **Vía móvil (EasyScout App)**
  - **Captura manual en campo:** El agricultor puede tomar imágenes puntuales de síntomas visuales.
  - **Función “Walk-to-the-Plant”:** Navegación GPS que guía al usuario hasta la ubicación de un foco detectado desde el aire.
- **Vía satélite**
  - **Integración con imágenes satelitales:** Imágenes RGB y NDVI de alta resolución (Airbus) para complementar vuelos dron.

#### 2.4.2.2 Procesamiento y análisis con IA

- **Detección automática de problemas foliares:** Plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales.
- **Recuento de plant:** Cálculo de población emergida para análisis de siembra.
- **Cobertura de dosel y LAI:** Estimación de área foliar para manejo de riego y nutrición.
- **Visión en la nube:** Procesamiento rápido sin necesidad de equipos potentes.

- **Validación por expertos:** Agrónomos de AgroScout revisan y confirman los hallazgos de IA.

#### 2.4.2.3 Visualización de datos

- **Plataforma Web**
  - **Mapas de calor:** Visualización geoespacial de focos de daño.
  - **Historial multitemporal:** Análisis comparativo de fechas y temporadas.
  - **Filtros avanzados:** Por cultivo, fecha, tipo de daño, entre otros.
  - **Descarga de reportes:** Informes en PDF, programables y personalizables
- **App móvil**
  - **Notificaciones en tiempo real:** Alertas de nuevos hallazgos en campo.
  - **Visualización de imágenes aéreas** y terrestres desde el smartphone.

#### 2.4.2.4 Integración y escalabilidad

- **Integración con sensores:** Complementa con datos de humedad, temperatura y nutrientes.
- **Carga de datos históricos:** Archivos CSV o registros anteriores.
- **API y conectividad:** Interconexión con otras plataformas agrícolas.
- **Multiusuario y multirole:** Permite trabajo colaborativo (agricultor, técnico, asesor, etc.).
- **Trazabilidad:** Almacena datos cronológicamente para auditorías o estudios de investigación.

#### 2.4.2.5 Funcionalidades adicionales

- **Ortomosaicos:** Generación de mapas continuos a partir de múltiples imágenes aéreas.
- **Prescripción variable:** En versiones avanzadas (con sensores multiespectrales) para guía de fertilización o aplicación de fitosanitarios.
- **Modelos predictivos:** Combinación de IA, clima, historial e imágenes para anticipar brotes o necesidades de manejo.

#### 2.4.2.6 Aplicaciones prácticas

- **Manejo Integrado de Plagas (MIP):** Detección oportuna para decisiones específicas y localizadas.
- **Agricultura de precisión:** Monitoreo especializado que reduce insumos y mejora el rendimiento.
- **Investigación académica:** Trazabilidad, replicabilidad y datos objetivos para estudios técnicos.
- **Optimización de recursos:** Menor uso de agua, fertilizantes y pesticidas.

#### 2.4.2.7 Arquitectura de la plataforma

- **Captura de datos:** Utiliza drones comerciales (como el DJI Mavic 2 Pro), imágenes satelitales y dispositivos móviles para recolectar imágenes geoetiquetadas de los cultivos.
- **Transmisión y almacenamiento:** Los datos se cargan automáticamente a la nube, donde se almacenan de forma estructurada y segura.
- **Procesamiento con inteligencia artificial:** Algoritmos de visión computarizada y aprendizaje automático analizan las imágenes para detectar plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales, y generar mapas e informes.
- **Visualización de resultados:** A través de la plataforma web y una app móvil, los usuarios acceden a mapas de calor, reportes, ortomosaicos y funciones como navegación GPS hacia los focos detectados.
- **Gestión y trazabilidad:** Permite trabajo colaborativo con múltiples usuarios, control de roles y seguimiento histórico de los cultivos para mejorar la toma de decisiones y facilitar auditorías o investigaciones.

#### 2.4.2.8 Opciones de misión de vuelo con dron

- **Detección de plagas y enfermedades:** El dron realiza vuelos a baja altura (2 m) para capturar imágenes foliares que posteriormente son analizadas por algoritmos de inteligencia artificial. AgroScout identifica anomalías visuales, selecciona los 50 hallazgos

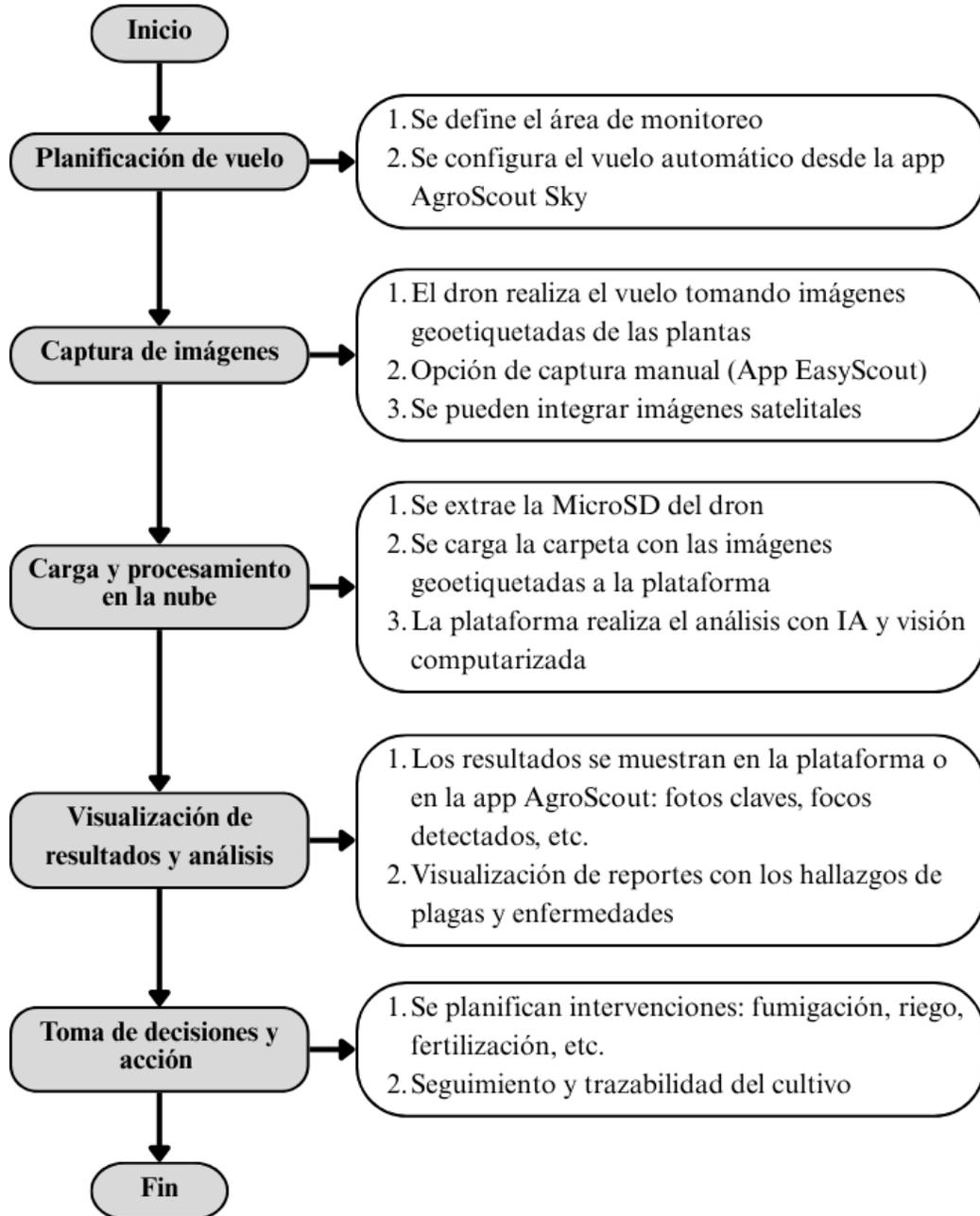
más relevantes y genera un reporte detallado que es enviado al usuario. Actualmente, esta función de detección automática está optimizada para cultivos de papa y tomate.

- **Monitoreo de cobertura de follaje:** Mediante vuelos sobre el dosel vegetal, se capturan imágenes que permiten a la inteligencia artificial calcular el porcentaje de cobertura del follaje, facilitando el seguimiento del desarrollo vegetativo a lo largo del ciclo del cultivo. Esta herramienta permite identificar zonas con crecimiento irregular dentro del lote.
- **Generación de ortomosaicos:** El dron volará alto sobre el campo (100 m) tomando imágenes traslapadas que luego son procesadas para formar un ortomosaico o mapa visual continuo del terreno. Esta técnica es útil para detectar variaciones espaciales o anomalías no visibles desde el suelo.
- **Conteo de plantas emergidas:** Durante la fase de emergencia del cultivo, el dron registra imágenes aéreas que son procesadas para calcular el número de plantas emergidas por área. Este conteo automático permite estimar el porcentaje de emergencia en relación con la densidad de siembra, aportando información valiosa para proyecciones de rendimiento. Actualmente, esta función está disponible solo para cultivos de papa y tomate.

### 2.4.2.9 Flujo operativo de monitoreo de plagas y enfermedades con dron en conjunto con AgroScout

**Figura 17**

*Flujograma del monitoreo con drones*



*Nota. Información extraída de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

## **2.5 Manejo Integrado de Plagas (MIP)**

El Manejo Integrado de Plagas es un sistema de protección del cultivo que utiliza varias medidas de prevención y control, permite a los productores reducir los costos de producción por el menor uso de plaguicidas sin que disminuya la productividad, sin afectar el medio ambiente y sin que los organismos causantes de las plagas y enfermedades se hagan más agresivos (Egúsquiza, 2013).

El Manejo Integrado de Plagas busca:

- Reducir la cantidad de plagas en un cultivo, para que estas no puedan causar daño a la planta, por lo tanto, no es necesario gastar esfuerzos ni dinero para su control.
- Disminuir el uso de plaguicidas, convirtiendo a estos en productos en el último de los recursos disponibles para la protección de los cultivos.
- Evitar daños a la salud del productor y consumidor, además de proteger el medio ambiente (ASOCUCH, 2016).

El Manejo Integrado de Plagas utiliza varias técnicas de manera ecológicamente compatible con el objetivo de mantener poblaciones de artrópodos, patógenos, nematodos, malezas y otras plagas, en niveles por debajo de aquellos que causan daño económico, al mismo tiempo que aseguran protección contra daños al hombre y al medio ambiente (Peralta et al., 2021).

### **2.5.1 Monitoreo**

El monitoreo es la labor destinada a estimar la abundancia y distribución de las plagas y sus enemigos naturales en el huerto a través de muestreos periódicos. El objetivo principal del monitoreo es obtener umbrales de acción, es decir, determinar el momento de realizar medidas de control, ya sea aplicación de pesticidas, liberación de enemigos naturales u otras. A través de este manejo se intenta minimizar el daño de las plagas en la cosecha, por lo tanto, es relevante asociar la densidad del insecto y/o ácaro plaga con el daño producido (Ripa & Larra, 2008)

El monitoreo sistemático también permite conocer y realizar seguimiento de la biología de las plagas, sus generaciones y aparición de sus estadios, establecer la presencia y efectividad de los enemigos naturales y, paralelamente, evaluar la eficacia de las medidas de control. Es considerado, además, como un instrumento que valida el uso de productos fitosanitarios (Ripa & Larra, 2008).

**2.5.1.1 Directo.** Se basa en recorrer el lote muestreando una cantidad de plantas de acuerdo con el tipo de plaga que se busca. Se observa ramas, hojas y fruta, moviéndose alrededor de la copa. Se presta atención utilizando la simple vista o con la ayuda de lupas de 15 o 20 aumentos para aquellas plagas que son muy pequeñas que no se pueden identificar a simple vista. Esta técnica permite identificar los insectos plagas y también los benéficos como también síntomas de enfermedades (Peralta et al., 2021).

**2.5.1.2 Indirecto.** Utiliza dispositivos para capturar insectos plagas. Estas se revisan en intervalos de tiempo para cada insecto plaga. En las mismas se capturan insectos plagas específicos y también otros que pueden ser benéficos. Las trampas se basan en atraer a los insectos de acuerdo con su comportamiento o característica anatómica, pueden ser con atrayentes alimenticios, visuales (de color) o sexuales (feromonas) (Peralta et al., 2021).

**2.5.1.3 Drones.** Mediante la captura de imágenes y la proporción de datos, los drones permiten el monitoreo permanente de un cultivo desde la siembra hasta la cosecha, también pueden ayudar a los agricultores a reaccionar más rápidamente ante las amenazas, como las malezas, insectos y hongos; ahorrar tiempo en la exploración de cultivos para tomar las acciones apropiadas; y mejorar la aplicación de las tasas variables de insumos en tiempo real, los datos obtenidos se procesan y se traducen en información útil para tener parámetros que aporten información como la salud de las plantas frente a infestaciones de plagas y enfermedades (M. Chávez, 2018).

El uso de esta herramienta tiene por objetivo mejorar el aprovechamiento de suministros a la hora de manejar un cultivo, así como también saber con precisión las áreas problemáticas presentes en el cultivo para que el agricultor pueda realizar aplicaciones enfocadas en dichas áreas, esto se traduce en un aumento a los ingresos económicos del agricultor.

**2.5.1.4 Prácticas culturales.** Es una táctica que hace uso de prácticas o labores culturales para reducir la cantidad de los insectos plaga, hongos y malas hierbas. Estas prácticas han sido

transmitidas de padres a hijos y se vienen practicando desde tiempos ancestrales con buenos resultados (ASOCUCH, 2016).

**2.5.1.5 Control Biológico.** Consiste en el control de los insectos plaga por medio de sus enemigos naturales, es decir mediante los insectos benéficos (ASOCUCH, 2016).

**2.5.1.6 Control Químico.** Consiste en el uso de sustancias químicas para proteger los cultivos del ataque de plagas. Los productos más utilizados son conocidos como pesticidas o plaguicidas (ASOCUCH, 2016).

## **2.6 Marco Legal**

La Dirección General de Aviación Civil aprobó el 04 de noviembre de 2020 las disposiciones complementarias que norman la Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs) conocidas como Drones mediante la Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R donde sus varios artículos establecen los drones a los que se les aplica dicho reglamento, la responsabilidad de operación, las restricciones de operación, la altura máxima de vuelo, las limitaciones operacionales (Dirección General de Aviación Civil, 2020).

### **2.6.1 Art. 2.- Aplicabilidad.**

(a) Los requisitos de este Reglamento se aplican a:

(1) Las operaciones de aeronaves pilotadas a distancia (RPAs) usados en actividades civiles cuyo peso (masa) máximo al despegue (MTOW) sea superior a 0.25 Kilogramos y menor o igual a 150 Kilogramos; y,

(2) Las personas que operan una RPA.

(b) Queda prohibida la operación de las aeronaves de más de 150 kilogramos de peso (masa) máxima de despegue (MTOW).

### **2.6.2 Art. 17.- Altura máxima de vuelo.**

La operación de las RPAs no excederá en ningún momento una altura de vuelo de 400 pies (122 metros) sobre el terreno (AGL).

### **2.6.3 Art. 19.- Actividades previas al vuelo.**

El operador de una RPA se asegurará, antes de iniciar cada vuelo lo siguiente:

- (a) El área seleccionada para el vuelo ha sido inspeccionada y permite la ejecución segura de la misma dentro de los límites establecidos en el presente capítulo.
- (b) La RPA ha sido inspeccionado para identificar posibles daños y se encuentra en condiciones aptas para una operación segura, incluyendo la disponibilidad de combustible o carga de la batería acordes al vuelo planificado;
- (c) Se han cumplido todas las tareas de mantenimiento establecidas por el fabricante; y,
- (d) No exista interferencias visibles o detectables con otras señales de radio que pudieran afectar el control de la RPA.

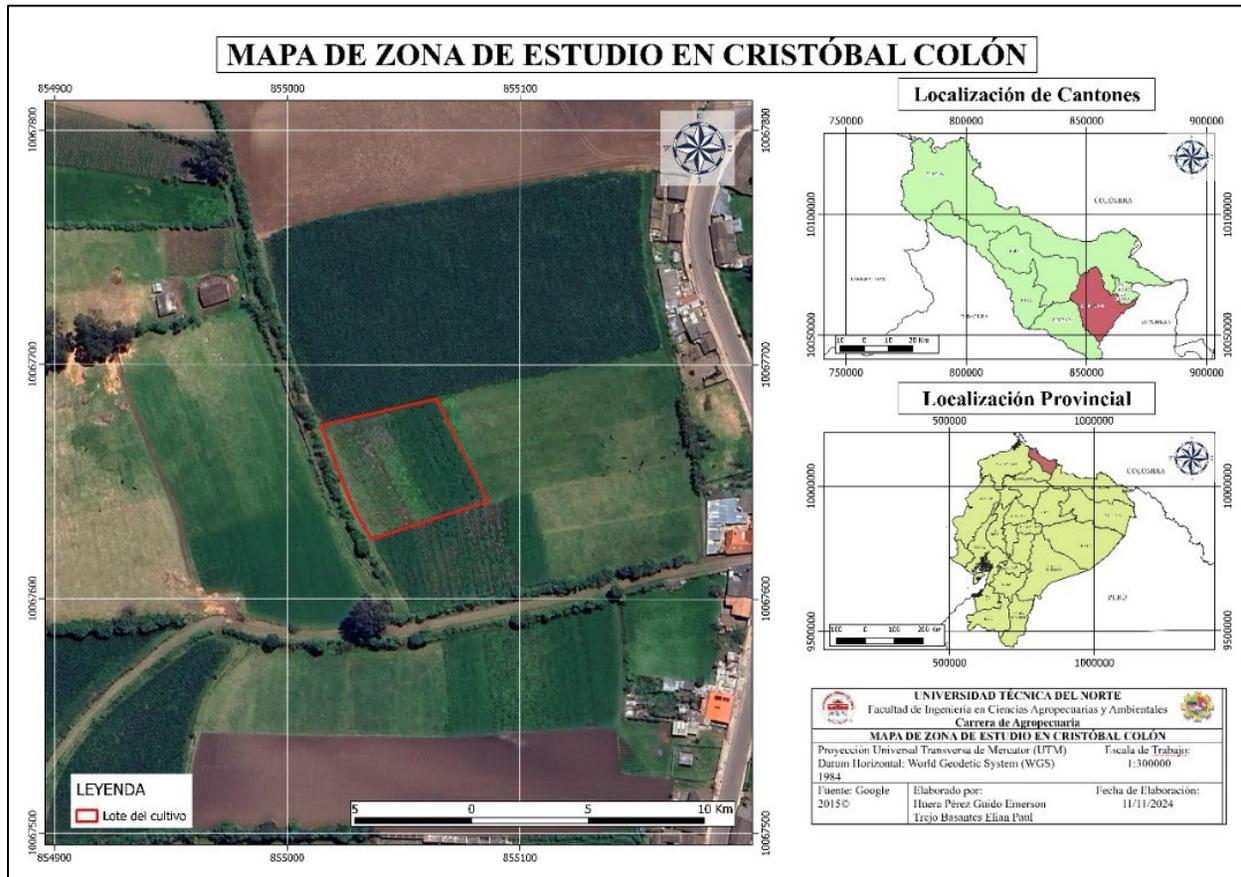
# CAPITULO III

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Descripción del área de estudio

La investigación se la realizó en la zona norte del Ecuador, provincia del Carchi, cantón Montúfar, parroquia Cristóbal Colón. Para la selección del predio se buscó las zonas de mayor producción de papa (*Solanum tuberosum* L) junto a representantes de AGN LATAM y el GAD parroquial de Cristóbal Colón, el lote del cultivo estuvo ubicado a 300 metros de la vía Cristóbal Colón – Chitan de Navarretes como se puede observar en la Figura 17.

**Figura 18**  
*Mapa de la parroquia Cristóbal Colón*



La provincia del Carchi posee la geografía y clima adecuados para la producción del cultivo de papa, a continuación, se detallan los mismos (Embajada de Ecuador, 2025):

**Tabla 4***Características generales de la provincia del Carchi*

<b>Provincia del Carchi</b>	
<b>Humedad relativa</b>	76%
<b>Superficie</b>	3780 km <sup>2</sup>
<b>Clima</b>	Páramo, mesotérmico, húmedo y semihúmedo.
<b>Temperatura promedio</b>	10°C
<b>Altitud promedio</b>	2824m.s.n.m.

*Nota. Información extraída de [www.embassyecuador.eu](http://www.embassyecuador.eu)*

### 3.2 Materiales, Equipos, Insumos y Herramientas

Los materiales que se utilizaron durante la investigación fueron los siguientes:

**Tabla 5***Materiales, Equipos, Herramientas e insumos de la investigación*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Insumos</b>	<b>Herramientas</b>	<b>Paquetes Software</b>
Libreta de campo	Computador	Cultivo de papa	Tijeras	AgroScout®
Alambre	Impresora		Machete	Infostat®
Estacas	GPS			Excel
Trampas amarillas	Estereoscopio			
Lupa	Dron DJI Mavic 2 Pro			

### 3.3 Métodos

La investigación fue de tipo descriptiva, enfocada en la comparación de monitoreos de plagas y enfermedades mediante el uso de drones y el monitoreo directo e indirecto, en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la localidad de Cristóbal Colón, Provincia del Carchi.

#### 3.3.1 Población y muestra

El cantón Montúfar al ser una de las principales zonas de producción de papa del país, fue el elegido en conjunto con representantes de AGN LATAM para realizar la investigación, se seleccionó un lote en la parroquia de Cristóbal Colón con un área de 2600 m<sup>2</sup> para la siembra de ocho variedades de papa detalladas en la siguiente tabla:

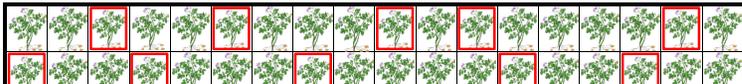
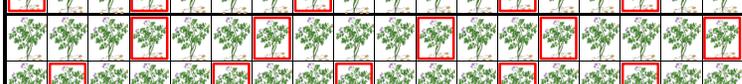
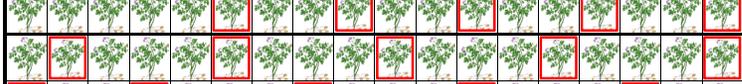
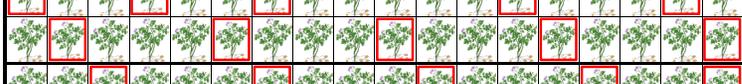
**Tabla 6***Variedades sembradas*

Variedad	Área (m <sup>2</sup> )	Nº de plantas
INIAP-CIP-Libertad	425	690
INIAP-Fátima	620	1000
INIAP-SuperFri	285	461
Clon 11-9.91	590	958
Clon de colores: 12-6-29	155	251
Clon de colores: 12-4-45	130	216
Clon de colores: 12-4-35	285	463
Clon de colores: 12-4-143	110	175

**3.3.2 Unidad muestral**

En el lote fueron sembradas ocho variedades de papa de estas se muestrearon 10 plantas por variedad teniendo así un total de 80 plantas muestreadas de una forma sistemática.

**Figura 19***Esquema de monitoreo por variedad*

	INIAP-CIP-Libertad
	INIAP-Fátima
	INIAP-SuperFri
	Clon 11-9.91
	Clon de colores: 12-6-29
	Clon de colores: 12-4-45
	Clon de colores: 12-4-35
	Clon de colores: 12-4-143

### 3.3.3 Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se utilizó estadística descriptiva: media, coeficiente de variación, y error estándar, máximos, mínimos. Además, se realizará un análisis de varianza con prueba de medias LSD Fisher ( $\alpha=0.05$ ), mediante el software InfoStat ® versión 2020.

## 3.4 Variables evaluadas

### 3.4.1 Monitoreo directo

Las variables que se evaluaron en este estudio son las siguientes: número de huevos, ninfas y número de hojas con daño. Para estas variables se realizó un monitoreo una vez cada semana analizando 10 plantas por cada variedad en el cultivo, teniendo un total de 80 plantas. En cada monitoreo se escogieron diferentes plantas para el inicio del muestreo sistemático, donde se revisó desde la base hasta el ápice con la ayuda de una lupa, para ello se dividió la planta en tercio alto, medio y bajo, dando especial atención a las hojas desde el haz hasta el envés. Conjuntamente se realizó el monitoreo con drones una vez cada 15 días (Figura 19).

## Figura 20

### Monitoreo directo en el cultivo



Nota: a) Recorrido de forma sistemática en el cultivo, b) División de la planta en tercios.

#### 3.4.1.1 Número de huevos

Para cuantificar el número de huevos se realizó monitoreo directo, para ello se seleccionaron 10 plantas al azar por variedad, dando un total de 80 plantas en base a un muestreo sistemático. En cada monitoreo se escogieron diferentes plantas para el inicio del monitoreo.

A las plantas seleccionadas se las revisó desde la base hasta el ápice con la ayuda de una lupa, en tres hojas de la parte baja, tres de la parte media y tres del alta mostrando especial atención al haz y el envés de las hojas (Figura 20).

**Figura 21**

*Visualización de huevo utilizando lupa en el cultivo*



**3.4.1.2 Número de ninfas**

En las mismas 80 plantas seleccionadas para cuantificar el número de huevos, se procedió a observar el número de ninfas en tres hojas de la parte baja, tres de la parte media y tres del alta

**Figura 22**

*Visualización de ninfas utilizando lupa en el cultivo*



### 3.4.1.3 Número de hojas afectadas

De las mismas plantas seleccionadas para cuantificar huevos y ninfas se eligieron tres hojas al azar por cada tercio de la planta, dando un total de nueve hojas por planta, donde se prestó principal atención a si había daño por plagas o enfermedades. A partir de los valores obtenidos se calculó el porcentaje de incidencia y severidad con las siguientes formulas.

**Formula de porcentaje de incidencia:**

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Número de hojas muestreadas con síntomas}}{\text{Total de hojas muestreadas}} \times 100$$

**Formula de porcentaje de severidad:** Se utilizó la fórmula general planteada por Vanderplank (T. Castillo & Jiménez, 2020).

$$S(\%) = \frac{\sum i}{N(V_{max})} \times 100$$

*Nota: S = Porcentaje de severidad,  $\sum i$  = Sumatoria de valores observados, N = Número de plantas muestreadas, V<sub>max</sub> = Valor máximo de la escala.*

### 3.4.2 Monitoreo indirecto

#### 3.4.2.1 Número de especímenes por orden por trampa

Como parte del monitoreo indirecto, se instalaron trampas cromáticas de color amarillo en el cultivo de papa, se colocó una trampa por cada variedad. Estas se remplazaron cada 15 días y los insectos capturados fueron clasificados por orden utilizando el estereoscopio.

#### Figura 23

*Monitoreo indirecto a través del conteo de insectos usando trampas amarillas*



*Nota: a) Trampas amarillas instaladas en el cultivo, b) Conteo de insectos en el estereoscopio, c) Insectos capturados en trampa amarilla.*

### 3.4.3 Monitoreo con drones

El monitoreo con drones se realizó cada 15 días y estuvo a cargo del personal de AGN LATAM, para ello se utilizó el Dron DJI Mavic 2 Pro en conjunto con la plataforma AgroScout. La plataforma potenciada con inteligencia artificial permite a través de su app AgroScout Sky realizar distintos diagnósticos a los cultivos, como: Evaluación de emergencia, Monitoreo de plagas y enfermedades, evaluación de biomasa.

#### Figura 24

*Monitoreo con drones de plagas y enfermedades usando el dron DJI Mavic 2 Pro y AgroScout*



*Nota: a) Dron DJI Mavic 2 Pro, b) Monitoreo con dron en el cultivo de papa, c) Software Agroscout.*

Para realizar el monitoreo fue necesario utilizar la app AgroScout Sky que está disponible para dispositivos con sistema operativo Android, para ello se la descargo e instalo desde la PlayStore. Esta aplicación tiene los planes de vuelo optimizados a altura, velocidad y patrón de vuelo automático que aseguran el muestreo de campos eficiente. También permite descargar mapas sin conexión para el área en la que se planea volar en caso de que la conectividad a Internet no esté disponible cuando esté en el campo o si está usando un dispositivo sin datos móviles.

A continuación, se detalla la metodología aplicada en el proceso de monitoreo:

#### 3.4.3.1 Planificación de la misión

- Primero abrimos la app AgroScout Sky y conectamos el smartphone al control DJI.
- Creamos una nueva misión de vuelo y le damos un nombre.

**Figura 25**  
*Creación de misión de vuelo*



*Nota: Tomada de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

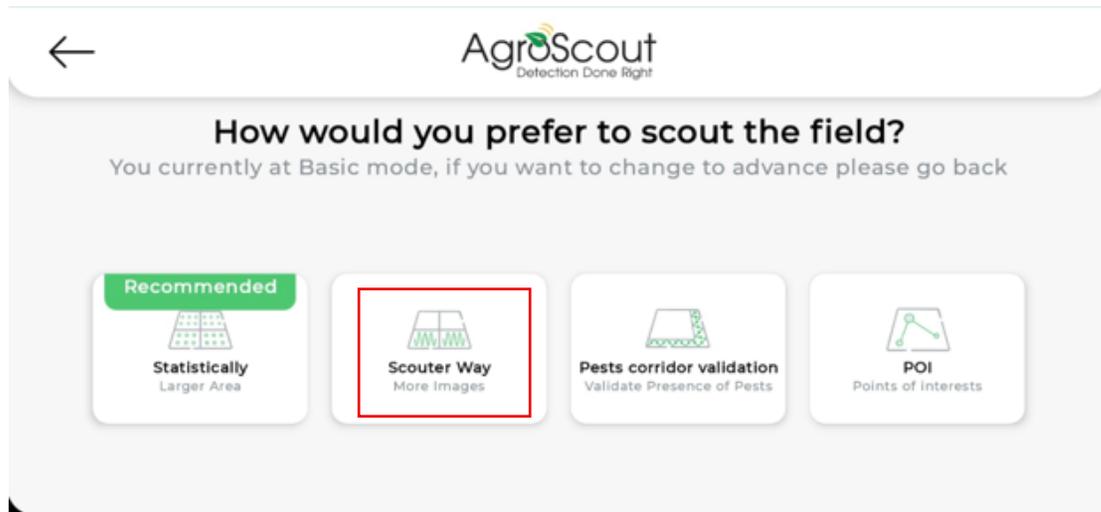
- Seleccionamos el tipo de misión, en este caso Detección de plagas y enfermedades.

**Figura 26**  
*Selección de misión*



- Seleccionamos el patrón en el que se va a monitorear, en este caso Modo Scouter

**Figura 27**  
*Selección de patrón de vuelo*



*Nota: Tomada de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

- Definimos el perímetro del lote a evaluar utilizando el mapa satelital y GPS. A la vez aceptamos la configuración predeterminada de la misión

**Figura 28**  
*Dibujó del polígono y configuración de la misión*



*Nota: Tomada de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

- Finalmente presionamos el botón "Let's Fly" para iniciar el vuelo y el dron realizara la captura de imágenes que se e guardan en la tarjeta MicroSD dentro del dron.

### 3.4.4 Carga de imágenes a la plataforma AgroScout

- Una vez finalizada la misión, extraemos la tarjeta MicroSD del dron y se inserta en el lector de tarjetas del computador.

**Figura 29**

*Extracción de la MicroSD del dron*

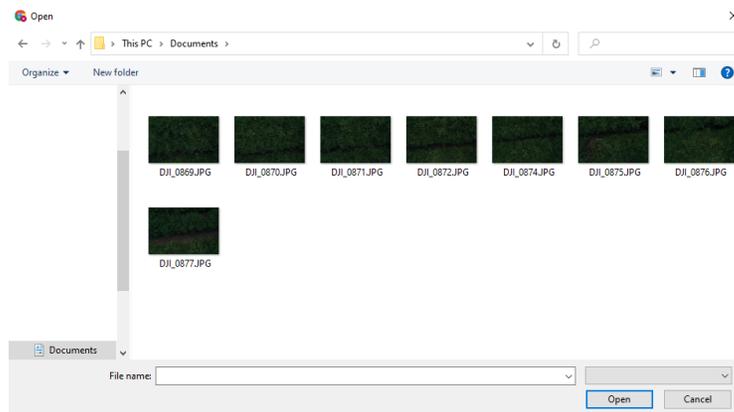


*Nota: Tomada de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

- Abrimos la unidad de la MicroSD y buscamos la carpeta donde se almacenan las fotografías de la misión.

**Figura 30**

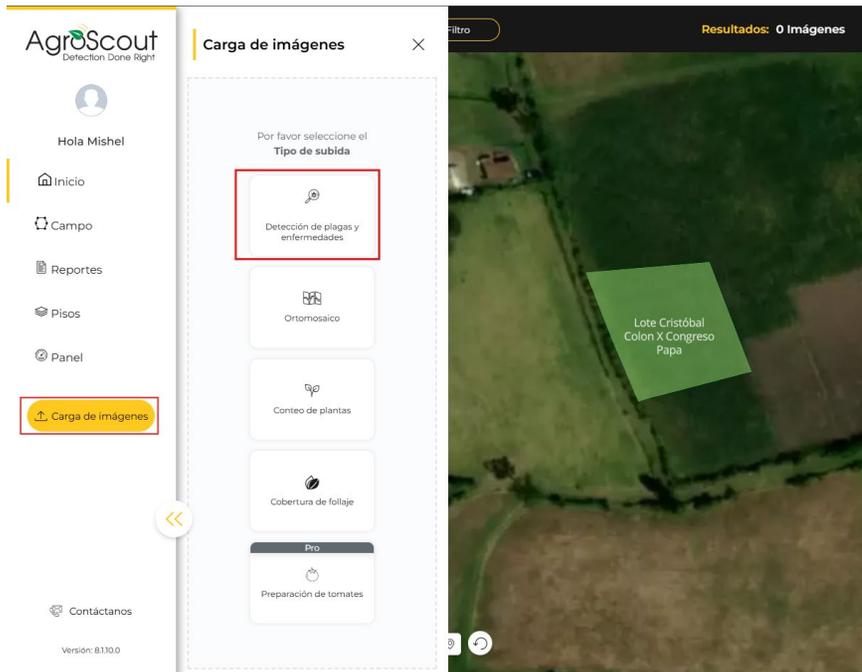
*Carpeta de imágenes tomadas por el dron*



*Nota: Tomada de AgroScout, [www.agro-scout.com](http://www.agro-scout.com)*

- En la plataforma AgroScout iniciamos sesión con nuestro usuario y presionamos el botón “Cargar de Imágenes”
- Seleccionamos el tipo de misión que se realizó en este caso Monitoreo de plagas y enfermedades y seleccionaremos la carpeta con las imágenes de la misión realizada.

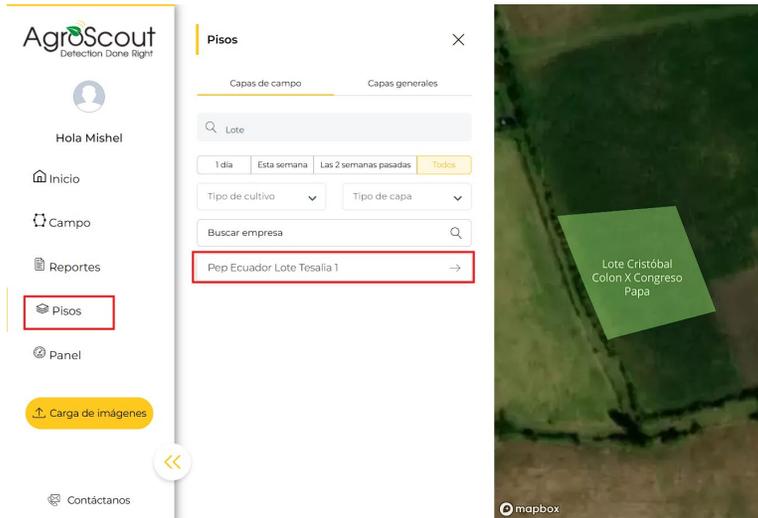
**Figura 31**  
*Carga de imágenes a AgroScout*



### 3.4.5 Vista y analisis de resultados en la plataforma

- En el panel lateral de la plataforma, presionamos el botón “Pisos” y buscamos el lote donde se realizó el monitoreo filtrando por fecha, tipo de cultivo y capa.
- La plataforma accederá a la ubicación del lote y presentará los resultados de las características en el mapa geográfico. Las características disponibles se resaltarán en color oscuro.

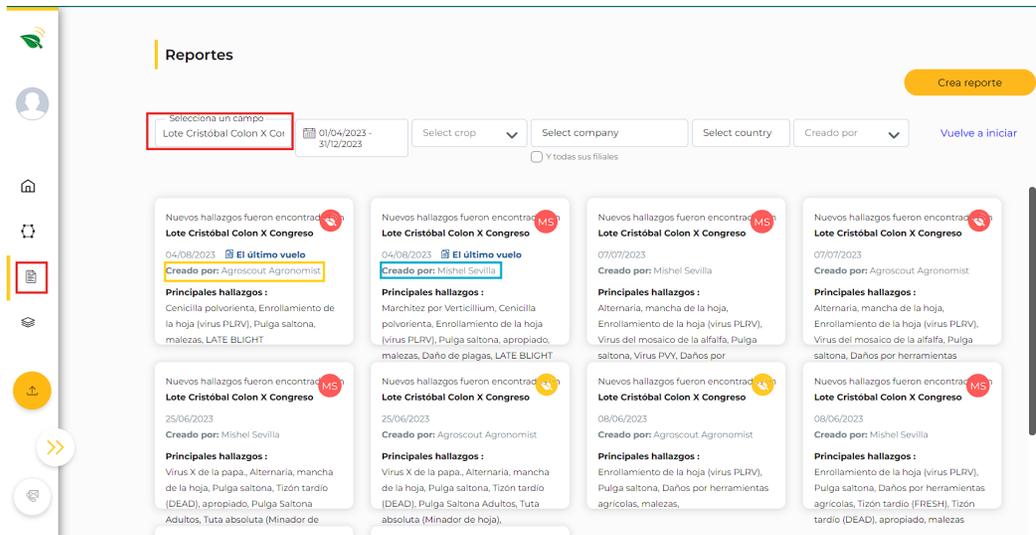
**Figura 32**  
*Visualización de resultados por pisos*



### 3.4.6 Visualización de reportes de monitoreos

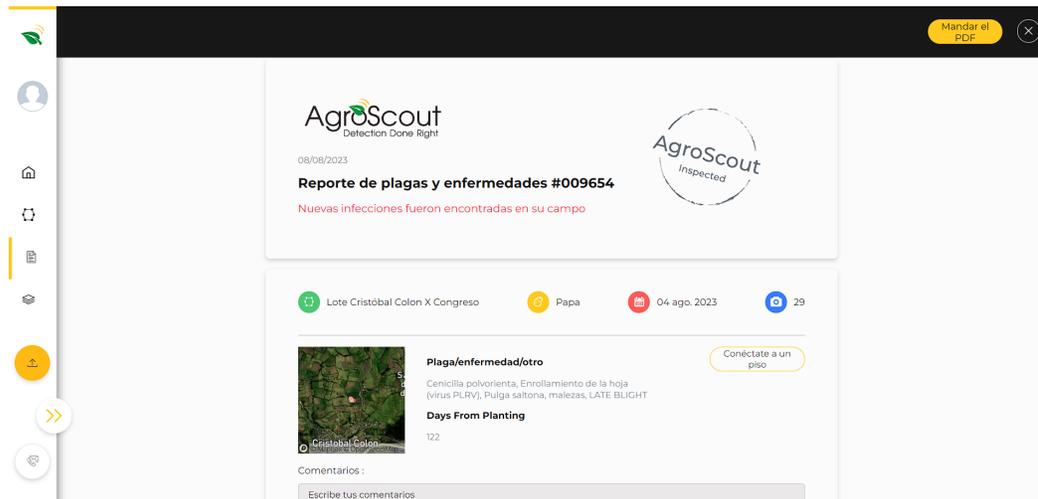
- En el panel lateral de la plataforma AgroScout, seleccionamos “Reportes” y buscamos el Lote donde se realizó el vuelo filtrando por fecha, cultivo y creador, Se podrá visualizar los reportes creados por la plataforma y los creados por el técnico.

**Figura 33**  
*Reportes generados con AgroScout*



- Seleccionamos un reporte y podremos visualizar los hallazgos e información del monitoreo

**Figura 34**  
*Reporte del monitoreo*



### **3.5 Manejo específico del experimento**

El manejo del cultivo de papa estuvo a cargo del agricultor, dicho manejo fue convencional en el que se realizaron las siguientes actividades:

#### **3.5.1 Preparación del terreno**

Una vez seleccionado el lote, el agricultor procedió a la preparación de terreno con ayuda de maquinaria agrícola y trabajadores en la realización de los surcos.

**Figura 35**  
*Lote preparado para la siembra*



### 3.5.2 Control Fitosanitario

El control fitosanitario inició desde la siembra, desinfectando la semilla con moléculas insecticidas y fungicidas. Durante todo el ciclo se aplicó plaguicidas para el control de las principales plagas y enfermedades, los mismos se detallan en las tablas a continuación.

**Tabla 7**

*Fungicidas y bactericidas usados en el control fitosanitario del cultivo*

FUNGICIDAS Y BACTERICIDAS		
Ingredientes Activos	Enfermedad	Dosis/ha
<i>Azoxistrobin</i>	Rhizotocnia, Alternaria, Ceniza	400gr
<i>Pyraclostrobin</i>	Rhizotocnia, Alternaria, Ceniza	500cc
<i>Fluoxastrobin</i>	Rhizotocnia, Alternaria, Ceniza	500cc
<i>Difenoconazole</i>	Alternaria, Ceniza	1000cc
<i>Tebuconazole</i>	Alternaria, Ceniza	1000cc
<i>Penconazole</i>	Alternaria, Ceniza	400cc
<i>Myclobutanil</i>	Alternaria, Ceniza	500cc
<i>Cimoxanil</i>	Peronospora	2000gr
<i>Propineb</i>	Peronospora	2000gr
<i>Dimethomorph</i>	Peronospora	480gr
<i>Metalaxil</i>	Peronospora	1000gr
<i>Mancozeb</i>	Peronospora	2000gr
<i>Kasugamicina</i>	Pudricion Por Bacteria	2000cc
<i>Propamocarb</i>	Peronospora	1000cc
<i>Chorothalonil</i>	Peronospora	1600cc
<i>Thiofanato Metyl</i>	Pudricion Por Hongo	800gr

**Tabla 8**

*Insecticidas usados en el control fitosanitario del cultivo*

INSECTICIDAS		
Ingredientes Activos	Plaga	Dosis/ha
<i>Thiametoxam</i>	Barrenador, Paratrioza, Polilla	1000cc
<i>Carbosulfan</i>	Polilla, Gusano Blanco	1000cc

<i>Benfuracarb</i>	Polilla, Gusano Blanco	2000cc
<i>Teblubenzuron</i>	Barrenador, Paratrioza, Polilla	1000cc
<i>Diflubenzuron</i>	Polilla, Gusano Blanco	600gr
<i>Pyriproxyfen</i>	Paratrioza	500cc
<i>Abamectina</i>	Paratrioza	500cc
<i>Fipronil</i>	Gusano Blanco	1000cc
<i>Lamda Celotrina</i>	Barrenador Paratrioza	1000cc
<i>Acefato</i>	Trips	800gr
<i>Cartap</i>	Trips, Minador	1200gr
<i>Imidacloprid</i>	Barrenador, Paratrioza, Polilla	500cc
<i>Sulfoxaflor</i>	Polilla, Paratrioza	600cc
<i>Malathion</i>	Pulguilla	2000gr
<i>Profenozell</i>	Barrenador, Paratrioza, Polilla	1000cc
<i>Clorpirifhos</i>	Pulguilla	1000cc

### 3.5.3 Siembra

Se realizó la siembra de la semilla con un promedio de densidad de siembra de 30×90 cm, por facilidad para realizar el riego por gravedad en los lugares requeridos. Durante la siembra el tubérculo se desinfectó con insecticidas y fungicidas para una emergencia eficiente.

**Figura 36**  
*Siembra de papa*



### 3.5.4 *Labores culturales*

Dentro de las labores culturales en el cultivo de papa está el retape, el mismo que se realizó a los 21 días después de la siembra con azadones, se aprovechó la práctica cultural, para sacar las malezas que hasta ese momento habían emergido y se fertilizó el cultivo con fertilizantes edáficos químicos. Los fertilizantes químicos fueron a base de nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P). Se realizó un aporque a los 100 días junto con la fertilización química, al igual que en el retape se utilizaron azadones. La altura del aporque fue de 30 cm aproximadamente, para evitar la entrada de larvas al tubérculo.

#### **Figura 37**

*Labor cultural de retape y aporque en el cultivo de papa*



Nota: a) Retape en el cultivo, b) Aporque en el cultivo de papa.

### 3.5.5 *Instalación de trampas*

En coordinación con el agricultor y nuestra directora se tomó la decisión de usar una trampa cromática por variedad de papa, estas trampas tuvieron la medida 10×25 cm, se colocaron a 5 cm del ápice y se fueron cambiando a medida que la planta fue creciendo. El remplazo de las trampas se realizó cada quince días. Las actividades que se realizaron en cada visita fueron: retirar la trampa, cubrirla con papel film, etiquetar a la trampa y colocar una nueva. Las trampas retiradas fueron examinadas en el laboratorio de entomología de la Granja La Pradera.

### **Figura 38**

*Instalación de trampas en el cultivo*



### **3.5.6 Monitoreo**

El monitoreo se lo realizó cada siete días a lo largo de las distintas etapas fenológicas del cultivo, esto permitió observar todas las etapas de vida de las diferentes plagas (huevo, ninfa y adulto).

### **Figura 39**

*Monitoreo directo en el cultivo*



### **3.5.7 Monitoreo con drones**

El monitoreo se llevó a cabo cada quince días y estuvo a cargo de los representantes de AGN LATAM, para esto se realizó el levantamiento georreferenciado del lote sembrado y el primer vuelo se realizó 30 días después de la siembra cuando la mayoría de las variedades ya habían emergido.

#### **Figura 40**

*Monitoreo con drones en el cultivo*



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y CONCLUSIONES

#### **4.1 Determinación de la dinámica poblacional de plagas en el cultivo de papa a través del monitoreo indirecto**

El análisis de la dinámica poblacional de plagas en el cultivo de papa a través del monitoreo indirecto permitió identificar patrones de presencia de plagas en las diferentes variedades durante el desarrollo del cultivo. Los resultados obtenidos en esta investigación destacaron las variaciones temporales en las poblaciones de los principales órdenes de insectos asociados al cultivo, como *Bactericera cockerelli*, Pulguilla (*Epitrix sp.*), Thysanoptera, Mosca blanca (*T. vaporariorum*), Hymenoptera, Hemiptera, Lepidoptera y Diptera, lo que permite determinar las etapas críticas en las que las plagas alcanzan mayores densidades.

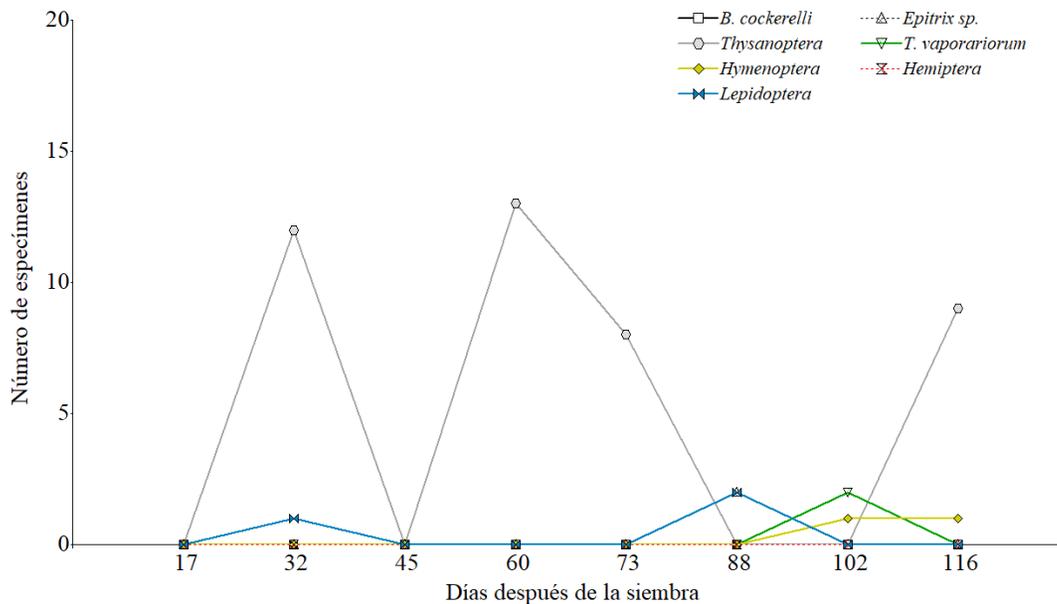
##### **4.1.1 Número de especímenes por trampa de la variedad Libertad**

De acuerdo con la Figura 40, *B. cockerelli* y Hemiptera no presentaron especímenes en la variedad Libertad a lo largo de las distintas etapas fenológicas del cultivo. En contraste, Thysanoptera alcanzó los picos más altos en los días 32 y 60, con 12 y 13 especímenes respectivamente, en tanto que en los días 73 y 116 se registraron 8 y 9 especímenes. Hymenoptera apareció en las etapas finales del cultivo, con un espécimen registrado en los días 102 y 116. Lepidoptera se evidenció únicamente en los días 32 y 88 con valores de 1 y 2 especímenes respectivamente. Finalmente, Pulguilla y Mosca Blanca se observaron una sola vez en el cultivo, con 2 especímenes cada uno en los días 88 y 102, respectivamente.

La variedad Libertad presentó un patrón moderado en la presencia de plagas, mostrando una tendencia clara hacia la acumulación en etapas medias del cultivo. Este comportamiento puede estar relacionado con su fenología y características morfológicas que favorecen la atracción de ciertos grupos de insectos, especialmente en cultivos con baja aplicación de agroquímicos. De acuerdo con la "Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa en Ecuador" (INIAP et al., 2013), la pulguilla y los trips son comunes en estas etapas y deben ser monitoreados de forma intensiva entre los 45 y 81 DDS. Esto coincide con lo reportado por Vera & Zambrano (2025) que señalan que estos insectos encuentran condiciones favorables en variedades con follaje denso y pobre circulación de aire, como ocurre en Libertad.

**Figura 41**

*Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad Libertad*



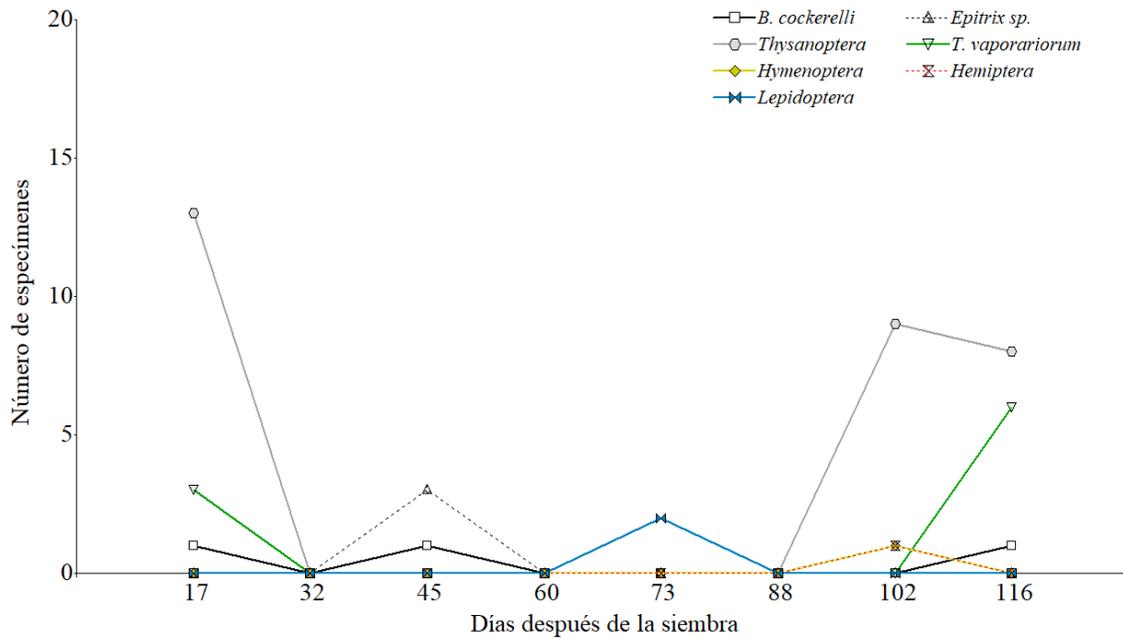
#### 4.1.2 Número de especímenes por trampa de la variedad Fátima

Con respecto a la figura 41, en la variedad Fátima se registró un espécimen de *B. cockerelli* en tres ocasiones distintas a lo largo del cultivo, específicamente en los días 17, 45 y 116, por otro lado, se encontraron 3 especímenes de Pulgilla únicamente en el día 45. Thysanoptera fue el orden que presentó más especímenes, apareciendo tanto al inicio como al final del cultivo, en los días 17 con 13 individuos, el día 102 con 9 individuos y el día 116 con 8 individuos. La Mosca blanca se presentó con 3 especímenes al inicio del cultivo en el día 17, y con 6 especímenes al final, en el día 116. Los órdenes Hymenoptera y Hemiptera solo se hicieron visibles en el día 102, con un solo espécimen cada uno, casi igual que el orden Lepidoptera, que se exhibió en el día 73 con 2 ejemplares.

La variedad Fátima ofrece condiciones fenológicas y fisiológicas propicias para la reproducción de dípteros, especialmente la mosca minadora y *B. cockerelli*., la revisión de Prager et al. (2022) resalta que la acumulación de estas plagas suele coincidir con una disminución en la eficacia de insecticidas de contacto, lo que explica su aumento poblacional en fases avanzadas.

**Figura 42**

*Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad Fátima*

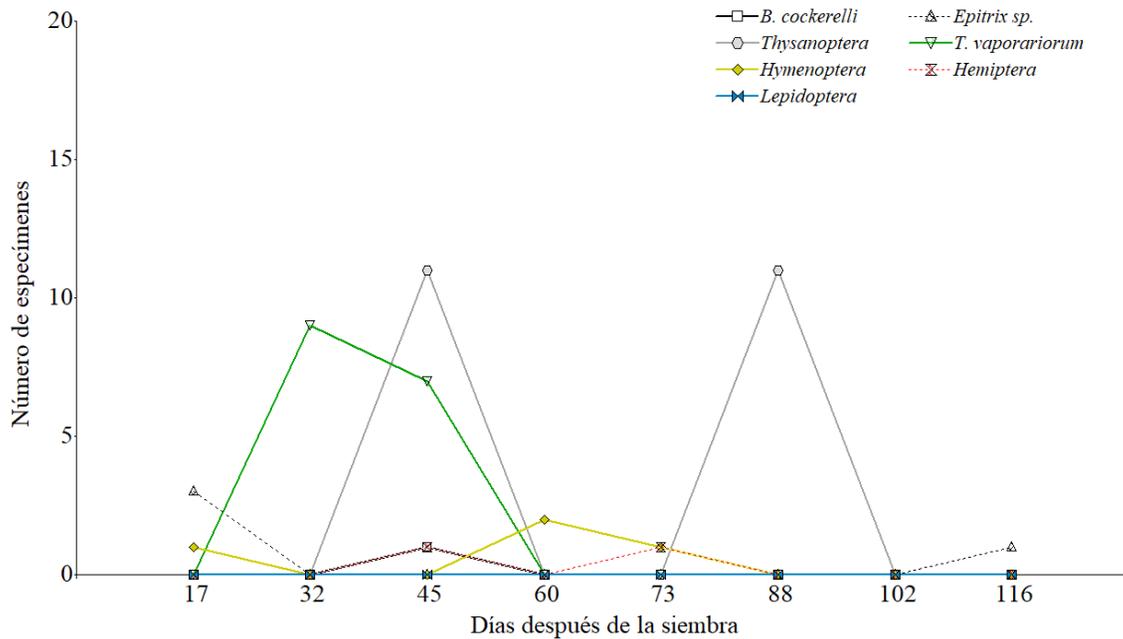


#### 4.1.3 Número de especímenes por trampa de la variedad SuperFri

Conforme a la Figura 42, en la variedad SuperFri, el orden Lepidoptera no exhibió ningún espécimen a lo largo del cultivo, mientras que *B. cockerelli* mostró una mínima presencia, observándose únicamente en el día 45. Se localizaron especímenes de Pulguilla solo al inicio y final del cultivo: en el día 17 con tres ejemplares y en el día 116 con un solo ejemplar. Los insectos del orden Thysanoptera registraron los picos más altos, con 11 individuos en los días 45 y 88. De manera similar, la Mosca blanca se encontró en los días 32 y 45, presentando 9 y 7 ejemplares, respectivamente. Los especímenes del orden Hymenoptera fueron los más frecuentes a lo largo del cultivo, apareciendo en los días 17 con un ejemplar, día 60 con dos ejemplares y día 73 con un solo ejemplar. Simultáneamente, se avistó un solo espécimen del orden Hemiptera en los días 45 y 73.

**Figura 43**

*Número de especímenes en relación con los DDS en la variedad SuperFri*



La variedad SuperFri mostró una tendencia ascendente en el número de especímenes capturados por trampa, alcanzando valores altos en fases intermedias y avanzadas del cultivo entre los 81 y 116 DDS. Este comportamiento puede estar relacionado con su arquitectura foliar y su vigor vegetativo, lo que proporciona un microclima favorable para la reproducción de insectos como *B. cockerelli* y trips, tal como lo indica el estudio del Inostroza et al. (2017). La literatura señala que las variedades con alto índice de área foliar tienden a presentar mayores poblaciones de plagas, ya que las hojas ofrecen tanto refugio como sitios óptimos para oviposición (Solano, 2023). Cabe destacar que SuperFri presentó un patrón más sostenido en la acumulación de especímenes. Esto podría indicar una menor resistencia genética o una escasa respuesta de defensa inducida frente a insectos vectores (Vera & Zambrano, 2025).

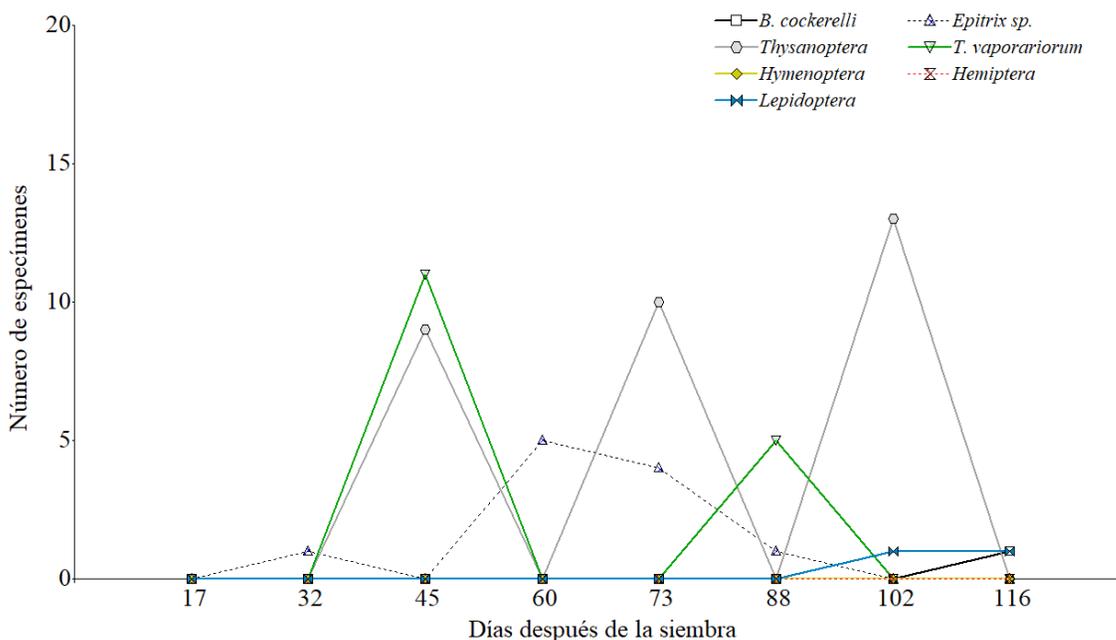
#### **4.1.4 Número de especímenes por trampa de la variedad CLON 11-9.91**

La Figura 43 correspondiente al Clon 11-9.91 ilustra como los órdenes Hymenoptera y Hemiptera no exhibieron especímenes durante el cultivo, mientras que *B. cockerelli* se manifestó únicamente al final del cultivo, en el día 116, con un solo espécimen. En contraste, los especímenes de Pulguilla aparecieron el día 32 con un ejemplar y luego no se registraron hasta el día 60, cuando reapareció

con cinco ejemplares, su presencia disminuyó al día 73, con cuatro ejemplares y finalmente, en el día 88 se registró uno solo. Los insectos del orden Thysanoptera se registraron en tres ocasiones: el día 45 con nueve especímenes, el día 73 con diez y el día 102 con trece. Por su parte la Mosca blanca apareció el día 45 con once ejemplares y el día 88 con cinco. El orden Lepidoptera se observó al final del cultivo en los días 102 y 116, con un ejemplar en cada uno.

**Figura 44**

*Número de especímenes en relación con los DDS en Clon 11-9.91*



El Clon 11-9.91 mostró una dinámica de acumulación moderada a baja, con picos ocasionales de captura en las trampas, pero sin alcanzar los niveles reportados en variedades como Fátima o SuperFri. Estudios del INIAP et al. (2013) han identificado que ciertos clones mejorados presentan tolerancia parcial a insectos como *B. cockerelli*, debido a su baja palatabilidad o mecanismos de defensa químicos. Este comportamiento también ha sido documentado por Jorgensen et al. (2013a), quienes mencionan que los niveles de infestación en papas pueden variar significativamente entre genotipos dependiendo de su resistencia basal.

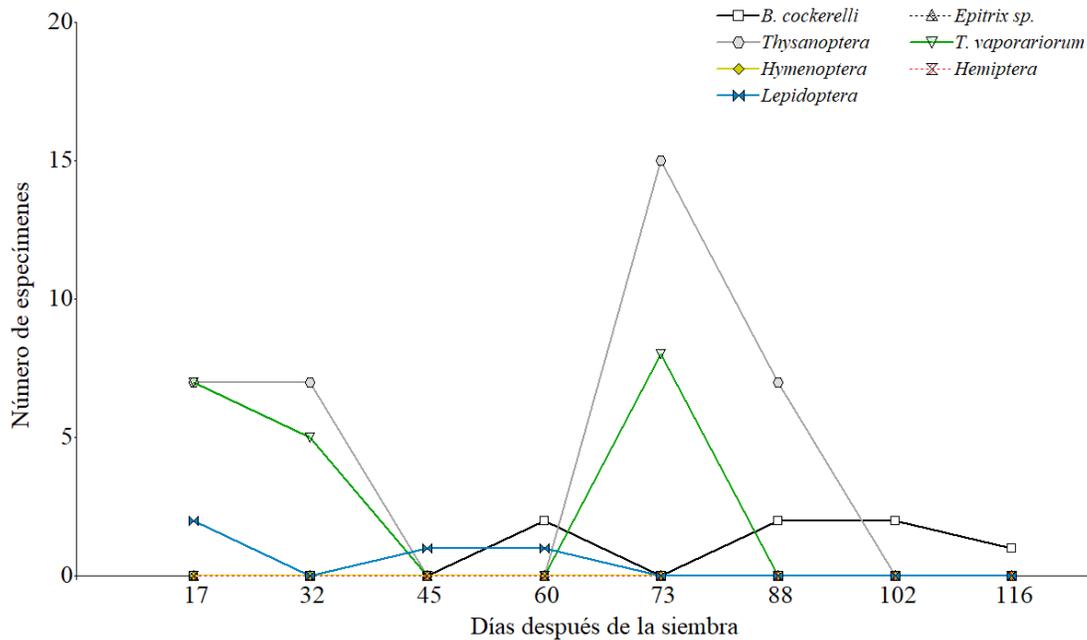
#### 4.1.5 Número de especímenes por trampa de la variedad CLON DE COLORES 12-6-29

Basado en la figura 44 del Clon de colores 12-6-29, se observa que no se registraron especímenes de Pulguilla, Himenoptera y Hemiptera a lo largo del cultivo. En contraste *B. cockerelli* se observó

en cuatro ocasiones durante el cultivo, apareciendo el día 60 con dos individuos, luego reapareciendo el día 88 y 102 con dos individuos cada uno, y finalmente el día 116 su presencia disminuyó a solo uno. Los ejemplares del orden Thysanoptera se observaron en mayor cantidad, ya que aparecieron en cuatro ocasiones, tanto al inicio como a la mitad del cultivo: los días 17, 32 y 88 con siete individuos cada uno y el día 73, cuando se registró un pico con 15 individuos. Algo similar ocurrió con la Mosca blanca, que se registró el día 17 con siete especímenes, el día 32 con cinco y el día 73 con ocho. Por otro lado, los individuos del orden Lepidoptera se avistaron en los siguientes días: el día 17 con dos individuos y los días 45 y 60 con un solo en cada uno.

**Figura 45**

*Número de especímenes en relación con los DDS en Clon de colores 12-6-29*



Este clon presentó una elevada presencia de especímenes, especialmente en etapas fenológicas avanzadas post floración. Asimismo, estudios en clones con pigmentación foliar intensa sugieren que el reflejo espectral puede aumentar la visibilidad para ciertos vectores, lo que podría explicar el patrón de acumulación observado (Inostroza et al., 2017).

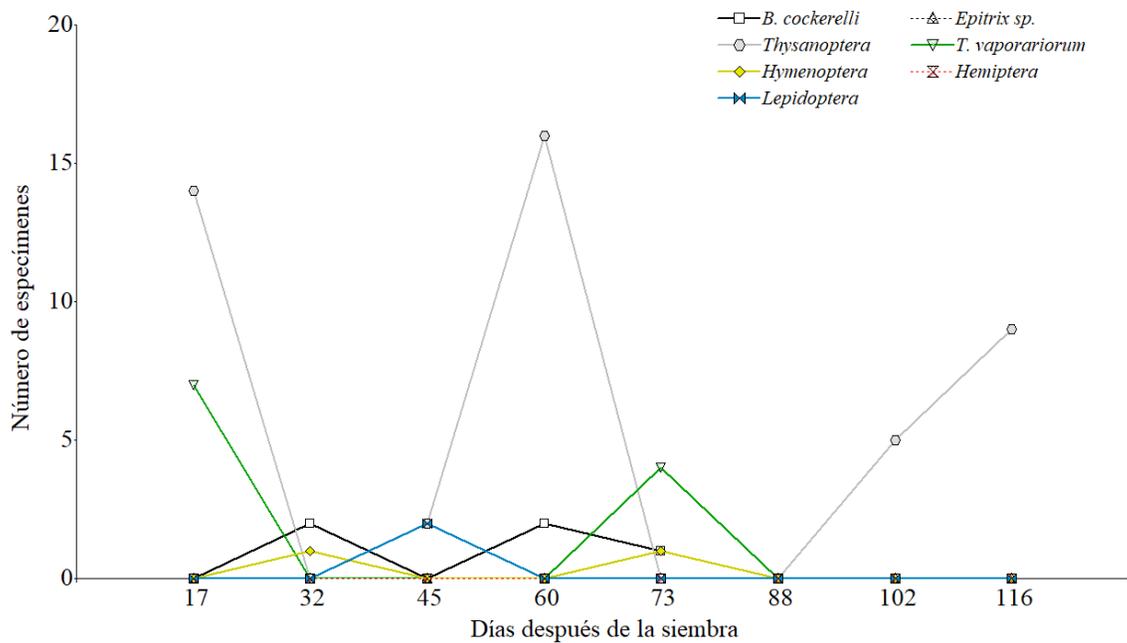
#### 4.1.6 Número de especímenes por trampa de la variedad CLON 12-4-35

En la Figura 45, correspondiente al clon 12-4-35, es posible apreciar que Pulguilla y el orden Hemiptera no presentaron ejemplares a lo largo de todo el cultivo. En contraste, el orden

Thysanoptera mostró picos altos en diversas etapas fenológicas del cultivo, el día 17 se registraron 14 especímenes, el día 45 reapareció con 2; para el día 60 alcanzó el pico más alto, con 16 especímenes. Posteriormente, no se registraron ejemplares de este orden hasta el día 102, cuando reapareció con 5 especímenes, seguido del día 116 con 9. Por otro lado *B. cockerelli* se exhibió al inicio y a la mitad del cultivo, con 2 individuos en los días 32 y 60, y el día 73 se registró uno solo. Algo similar ocurrió con la Mosca blanca que se contabilizó con 7 ejemplares el día 17, y luego reaparecieron el día 73 con 4 ejemplares. De manera similar, los especímenes del orden Hymenoptera se detectaron los días 32 y 73, con un ejemplar en cada ocasión. Por último, los especímenes del orden Lepidoptera se identificaron en una sola ocasión, el día 45 con 2 ejemplares.

**Figura 46**

*Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-35*



El clon 12-4-35 mostró una de las menores acumulaciones de especímenes por trampa. Esta baja incidencia sugiere la existencia de factores de resistencia genética o morfológica, lo cual lo convierte en una opción potencial para programas de manejo integrado de plagas (MIP). De acuerdo con Araujo et al. (2021), algunos clones muestran niveles aceptables de tolerancia frente a *B. cockerelli* debido a una menor cantidad de estomas y menor área foliar expuesta. Esta

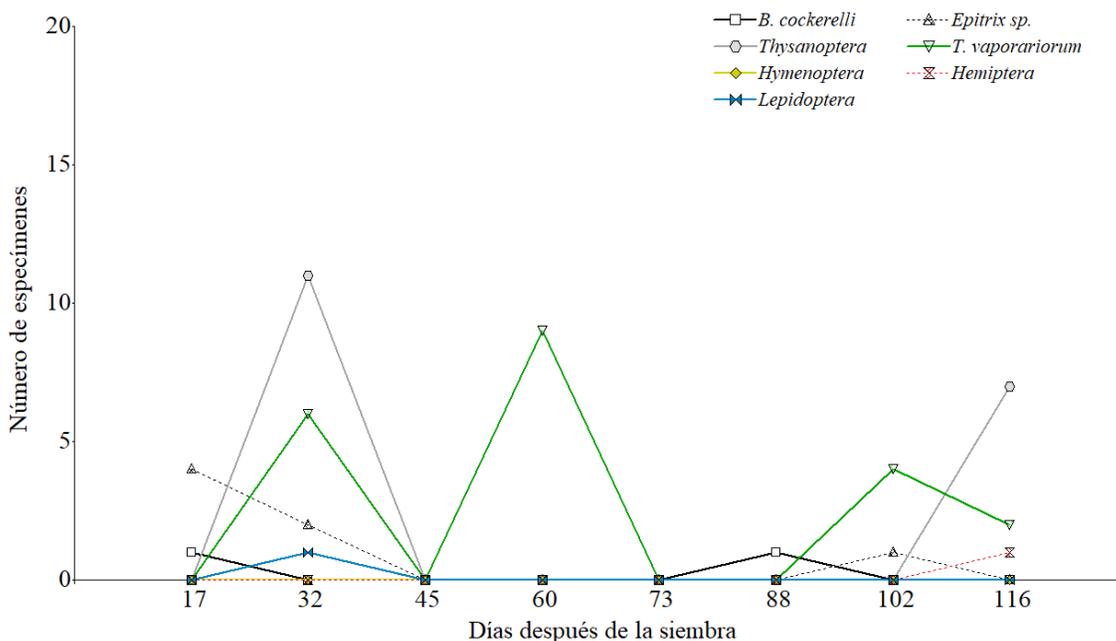
información es consistente con lo observado por Prager et al. (2022), quienes recomiendan la selección varietal como primera línea de defensa en programas de MIP.

#### 4.1.7 Número de especímenes por trampa días de la variedad CLON 12-4-45

Considerando la figura 46 del Clon 12-4-45, se observa que el orden Hymenoptera no presentó ni un solo individuo durante el cultivo. Lo contrario con *B. cockerelli* que, si se avistaron ejemplares los días 17 y 88, con un solo ejemplar en cada ocasión. Por otro lado, Pulguilla fue avistada en tres ocasiones al inicio del cultivo, el día 17 con cuatro individuos, y luego disminuyeron el día 32 con dos y el día 102 reapareció con un ejemplar. Los especímenes del orden Thysanoptera se detectaron al inicio y final del cultivo, en los días 32 y 116, con once y siete ejemplares respectivamente. La Mosca Blanca fue la plaga con más avistamientos, específicamente a la mitad y final del cultivo: el día 32 con seis especímenes, el día 60 con nueve, el día 102 con cuatro y el día 116 con dos. Mientras que, el orden Hemiptera presentó únicamente un ejemplar el día 116, al igual que el orden Lepidoptera que se exhibió solamente el día 32 con un solo espécimen.

**Figura 47**

*Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-45*



Este clon mostró una fluctuación constante en la cantidad de especímenes recolectados, con picos que coincidieron con etapas críticas del desarrollo vegetativo. Aunque no presentó los niveles más

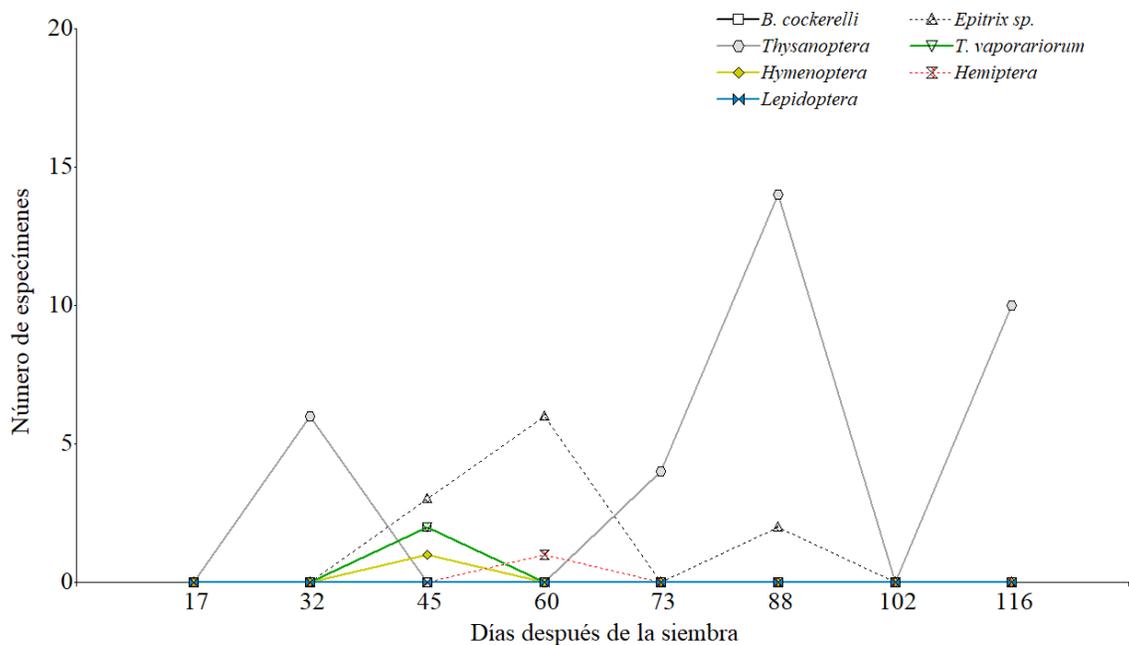
altos, sí evidenció una presencia persistente de insectos a lo largo del ciclo. Según Saini et al. (2024), este tipo de comportamiento sugiere una susceptibilidad moderada combinada con una respuesta adaptativa lenta frente al estrés biótico. Además, la cobertura foliar media puede permitir una colonización progresiva por parte de insectos voladores, tal como lo indican los datos de Mora et al. (2018) sobre variedades intermedias.

#### 4.1.8 Número de especímenes por trampa días de la variedad CLON 12-4-143

Con base en la figura 47, es posible observar que el orden Lepidoptera no presentó especímenes en ninguna etapa fenológica del cultivo, Todo lo contrario, al orden Thysanoptera que exhibió picos altos de ejemplares en gran parte del cultivo, en el día 32 se registró 6 ejemplares, luego reaparecieron el día 73 con 4 ejemplares, para el día 88 registrar 14 ejemplares siendo este el pico más alto, finalmente reaparecieron el día 116 con 10 ejemplares. Pulguilla fue el siguiente orden con más presencia en el cultivo, su presencia estuvo enfocada en las etapas medias del cultivo, en el día 45 con 3 especímenes, el día 60 con 6 y finalmente el día 88 con 2. *B. cockerelli* y Mosca blanca únicamente se hallaron el día 45 con 2 especímenes cada uno. Mientras que los órdenes Hymenoptera y Hemiptera presentaron un solo espécimen en los días 45 y 60, respectivamente.

**Figura 48**

Número de especímenes en relación con los DDS en CLON 12-4-143



El Clon 12-4-143 presentó una acumulación creciente hacia el final del ciclo, indicando que es más susceptible en etapas de madurez. Este patrón ha sido reportado en cultivos de papa donde la disminución de defensa fisiológica en hojas envejecidas facilita la instalación de insectos como *B. cockerelli* (Jorgensen et al., 2013b). Esto refuerza la necesidad de ajustar el calendario de control fitosanitario en función del comportamiento poblacional de insectos, priorizando intervenciones en fases críticas, como lo sugiere el manejo integrado de plagas adaptado al cultivo de papa por el INIAP et al. (2013).

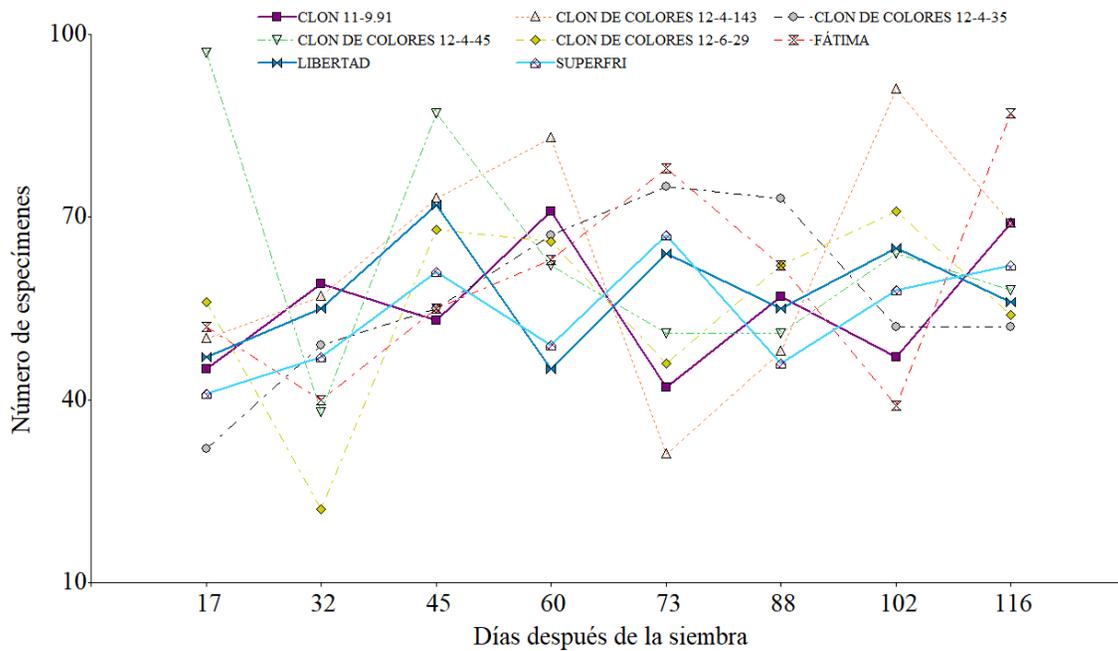
#### **4.1.9 Número de especímenes dípteros por variedades**

Este análisis presenta diferentes dinámicas poblacionales de dípteros en el transcurso de los 116 DDS en relación con las distintas variedades de *Solanum tuberosum* L., en el caso del clon de colores 12-4-45 registro una mayor presencia de dípteros en la etapa inicial del estudio marcando picos altos a los 17 y 45 DDS con 98, 85 especímenes, sin embargo en días posteriores el número de especímenes baja a aproximadamente 50 especímenes y se mantiene constante, lo cual indica que la etapa inicial es crucial para un manejo en esta variedad. De la misma manera el clon 12-4-143 y Fátima presentan picos altos en la etapa media y baja con valores que fluctúan entre los 60 y 80 especímenes a los 60-116 DDS, aunque en ciertos días su dinámica poblacional bajo relativamente. Finalmente, el Clon SuperFri mostró las poblaciones más bajas en promedio a lo largo del periodo de estudio, con picos máximos de 67 especímenes a los 73 DDS, mientras que en otros intervalos no superó los 50 especímenes. Este comportamiento podría estar relacionado con características intrínsecas del clon o factores ambientales que limitan el desarrollo de los dípteros.

Al comparar todas las variedades, se evidencia una clara variabilidad en la atracción y acumulación de dípteros. Las variedades Fátima y SuperFri mostraron las mayores capturas, mientras que los clones 12-4-35 y 11-9.91 presentaron acumulaciones mínimas. Esta variación se alinea con lo reportado por Vera & Zambrano (2025), quienes indican que la forma y tamaño del follaje, junto con la duración del ciclo vegetativo, inciden directamente en la presión de dípteros. En conjunto, los resultados del presente estudio y los estudios relacionados subrayan la necesidad de adaptar las estrategias de manejo según la variabilidad de las plagas, las características fenológicas del cultivo y las condiciones climáticas locales.

**Figura 49**

*Número de especímenes dípteros en relación con los DDS en el cultivo*



## 4.2 Comparación el monitoreo directo de plagas y enfermedades con respecto al uso de drones e inteligencia artificial.

### 4.2.1 Monitoreo directo

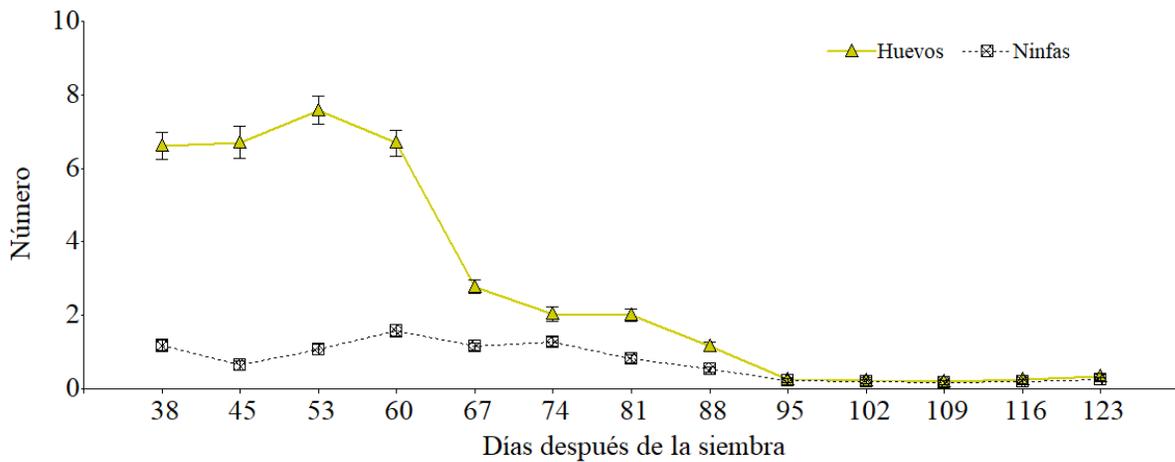
El monitoreo directo se basó en la inspección manual en campo, utilizando como referencia los días después de siembra (DDS) para categorizar los niveles de incidencia y severidad. En este enfoque, se evaluaron plagas como Pulguilla, Trips y Barrenador, y enfermedades como Clorosis, Lancha y Rhizoctonia. Por ejemplo, se detectó una incidencia alta de pulguilla entre los 38 y 81 DDS, mientras que los trips presentaron un nivel alto de infestación entre los 74 y 81 DDS, en contraste, barrenador presentó una incidencia baja durante todo el cultivo. En cuanto a las enfermedades, la Clorosis alcanzó niveles de severidad alta en los DDS 45, 60 y 81, y la lancha en desde los 38 hasta los 60 DDS, por otro lado, Rhizoctonia mantuvo constantemente un nivel bajo de severidad. Estos datos permiten identificar etapas críticas en las que el cultivo es más vulnerable y planificar medidas de control específicas. Sin embargo, este método requiere de mucho tiempo para su ejecución, esfuerzo humano intensivo y una cobertura limitada, lo que puede dificultar su aplicación en cultivos de grandes extensiones o de difícil acceso.

#### 4.2.2 Dinámica poblacional de huevos y ninfas en el cultivo

El análisis de los datos muestra la dinámica de huevos y ninfas en función del tiempo después de la siembra (DDS). En el caso de los huevos, se observa una mayor cantidad entre los 38 y 60 DDS, con valores altos (5-7 huevos) alcanzando su punto máximo alrededor de los 45 y 53 DDS. Posteriormente, la cantidad disminuye progresivamente a partir de los 60 DDS y cae a valores bajos (0-3 huevos) después de los 81 DDS. Por otro lado, las ninfas presentan un patrón diferente, con valores medios (1-2 ninfas) que se observan principalmente entre los 60 y 81 DDS. No se identifican periodos con niveles altos (más de 5 ninfas). Después de este periodo, la presencia de ninfas disminuye considerablemente, alcanzando niveles bajos (0-1 ninfa) en el resto de los DDS analizados.

**Figura 50**

*Dinámica poblacional de huevos y ninfas en relación con los DDS*

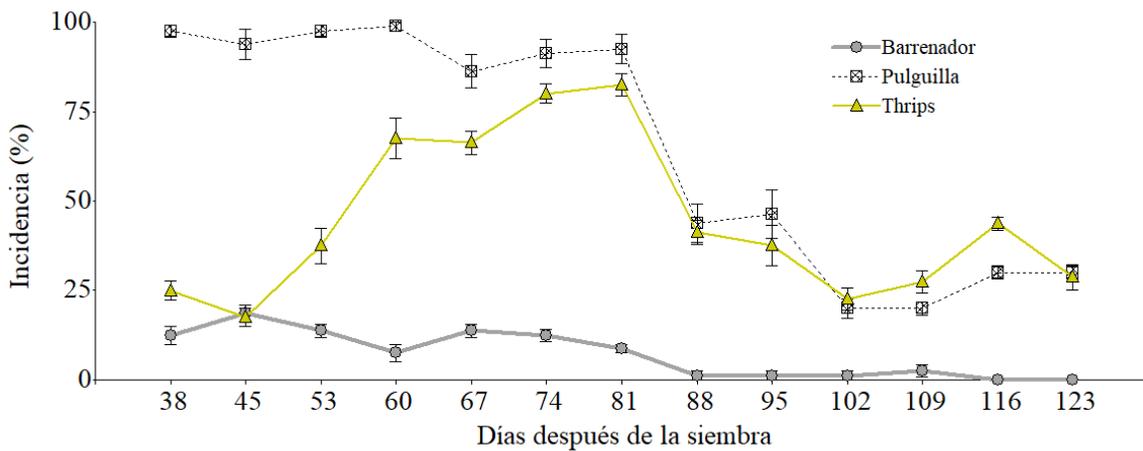


La figura muestra una mayor presencia de huevos entre los 38 y 60 días después de la siembra (DDS), con picos entre 45 y 53 DDS. Posteriormente, la cantidad disminuye progresivamente. En contraste, las ninfas presentan un patrón desplazado, con mayor abundancia entre los 60 y 81 DDS. Esta distribución refleja una sincronización biológica común en plagas como *B. cockerelli*, donde las fases juveniles dependen de tejidos jóvenes, mientras que las ninfas se asocian con estructuras foliares más desarrolladas (Prager et al., 2022). Este patrón es coherente con lo reportado por Jorgensen et al. (2013), que señala cómo las condiciones microclimáticas y la densidad del follaje influyen directamente en la oviposición y el desarrollo ninfal.

### 4.2.3 Incidencia de plagas en el cultivo de papa

El análisis de la incidencia de plagas a lo largo de los días después de la siembra (DDS) revela patrones específicos para cada plaga. En el caso del barrenador, no se presenta un periodo de alta incidencia (50%-100%). Los niveles medios (30%-50%) se observan entre los 45, 53 y 67 DDS, mientras que durante el resto de los DDS la incidencia permanece baja (0%-30%). La pulguilla muestra una incidencia alta (75%-100%) en los 38, 45, 53 y 60 DDS, siendo este el periodo de mayor afectación. Posteriormente, los valores descienden a niveles medios (30%-75%) en los 67, 74 y 81 DDS, y finalmente se reduce a una incidencia baja (0%-30%) en los 88, 95, 102, 109, 116 y 123 DDS. En cuanto a los Trips, los niveles altos (75%-100%) se registran en los 74 y 81 DDS, con un descenso a niveles medios (30%-75%) entre los 53, 60, 67 y 95 DDS. El resto de los días presenta una incidencia baja (0%-30%) en los 38, 45, 83, 102, 109, 116 y 123 DDS.

**Figura 51**  
*Incidencia de plagas según DDS*



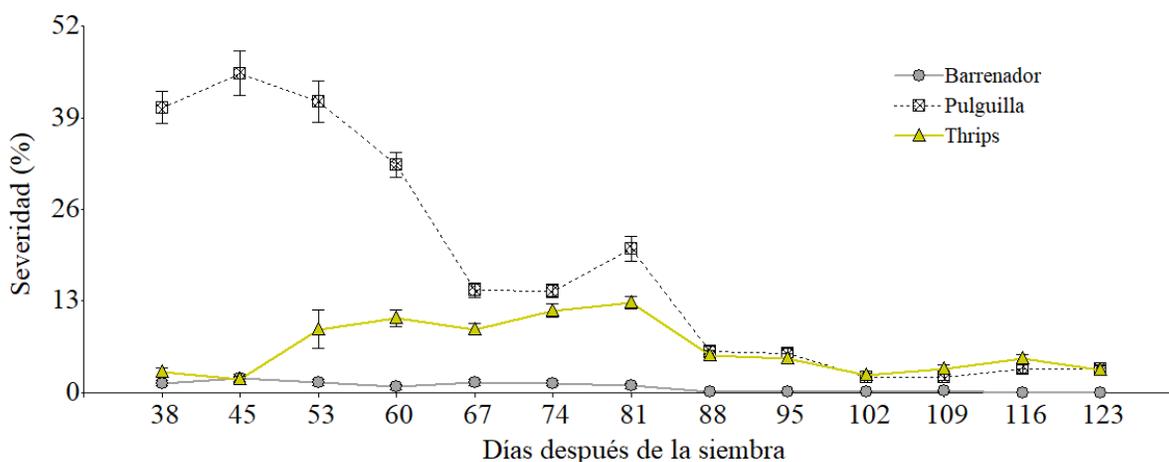
La alta incidencia de pulguilla en las etapas tempranas del cultivo concuerda con su capacidad de colonizar rápidamente áreas nuevas de follaje (Mora et al., 2018). La oviposición masiva y la preferencia por climas templados la convierten en una plaga de aparición temprana. En cambio, el barrenador presenta mayor impacto en tallos y tubérculos, lo que limita su visibilidad.

### 4.2.4 Severidad de plagas en el cultivo de papa

La gráfica muestra la severidad de las plagas Barrenador, Pulguilla y Trips en relación con los días después de la siembra (DDS). El barrenador presenta niveles bajos de severidad (0%-20%) en

todos los DDS, sin alcanzar niveles medios ni altos. La pulguilla tiene una severidad media (20%-50%) entre los 38 y 53 DDS, mientras que en el resto de los días mantiene niveles bajos (0%-20%) y no alcanza niveles altos. Por su parte, los trips muestran una mayor severidad comparada con las otras plagas. Presentan niveles medios de severidad entre los 60, 67, 74 y 81 DDS (20%-50%), pero no registran niveles altos. En días específicos, como 38, 45, 88, 95, 102, 109, 116 y 123 DDS, los trips mantienen niveles bajos de severidad (0%-20%). Se podría decir que los trips son la plaga más persistente, mientras que el barrenador no genera una severidad preocupante, y la pulguilla es relevante solo en una etapa inicial.

**Figura 52**  
*Severidad de plagas en el cultivo según DDS*



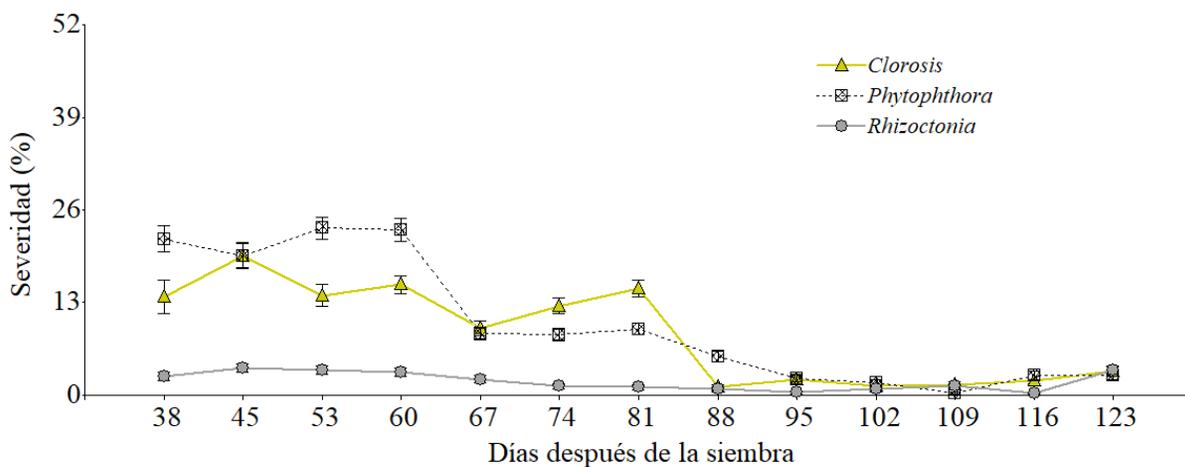
Este comportamiento está respaldado por estudios que destacan la alta capacidad de dispersión y alimentación de los trips, que causan deformaciones en hojas jóvenes y son vectores de enfermedades virales (Vitta P., 2022). Aunque su tamaño es pequeño, su efecto sobre el desarrollo fisiológico de la planta es considerable. La baja severidad del barrenador en las observaciones puede deberse al hecho de que gran parte de su daño ocurre de forma oculta, dentro del tallo o en los tubérculos. Por lo tanto, su impacto puede estar subestimado si no se hace una revisión interna del material vegetal, reforzando la importancia del monitoreo manual (Araujo et al., 2021).

#### **4.2.5 Severidad de enfermedades en el cultivo de papa**

La gráfica de la severidad de enfermedades a lo largo de los días después de la siembra (DDS) muestra diferentes comportamientos para cada una. En el caso de la clorosis, no se presenta una

severidad alta (50%-100%) en ningún momento. Sin embargo, se observan niveles medios (20%-50%) entre los 45, 53 y 60 DDS, con una disminución progresiva a niveles bajos (0%-20%) en el resto de los DDS evaluados. Por otro lado, la lancha sigue un patrón similar, sin registrar periodos de severidad alta. La enfermedad presenta valores medios (20%-50%) únicamente en los 38, 53 y 60 DDS, mientras que en el resto del ciclo se mantiene en niveles bajos (0%-20%). Finalmente, la *Rhizoctonia* muestra una incidencia baja constante (0%-20%) durante todos los DDS analizados, sin alcanzar niveles medios ni altos en ningún momento.

**Figura 53**  
*Severidad de enfermedades en el cultivo según DDS*



Estos hallazgos indican que las enfermedades de tipo foliar tienen un patrón más marcado en las fases de mayor desarrollo vegetativo. En el caso de rhizoctonia al ser una enfermedad de suelo que ataca principalmente la base del tallo, la parte radicular y los tubérculos. Este patógeno, documentado por Meijer et al. (2023), produce síntomas en la parte inferior del tallo, como necrosis y agrietamiento, que sólo pueden detectarse mediante inspección manual en campo.

#### 4.2.6 Monitoreo con drones:

Los resultados obtenidos mediante el monitoreo con drones en conjunto con la plataforma AgroScout, se generaron a partir de los reportes automáticos procesados por la inteligencia artificial que impulsa dicha herramienta y de los reportes procesados manualmente por los autores en la plataforma. Para este monitoreo se tenía previsto realizar los vuelos cada 15 días, pero por condiciones climáticas desfavorables para el vuelo, solo se realizaron 5 vuelos en las siguientes

fechas: 6 de mayo, 8 de junio, 25 de junio, 7 de julio y 4 de agosto de 2023, obteniendo los siguientes resultados.

#### **4.2.6.1 Resultados de reportes procesados por IA de la plataforma AgroScout**

En estos monitoreos, la inteligencia artificial de la plataforma AgroScout, identificó la presencia de plagas como Pulguilla, Gusano soldado y Mosca minadora de hoja, así como la enfermedad Alternaria y deficiencia de fósforo. En el primer vuelo, realizado el 6 de mayo, se detectó un nivel bajo de severidad para pulguilla y gusano soldado, lo mismo sucedió con las etiquetas de atención requerida y, por única vez en todos los vuelos se encontró deficiencia de fosforo con un nivel bajo, mientras que, las anomalías presentaron un nivel alto. En el vuelo del 8 de junio se registró niveles bajos de severidad de pulguilla, gusano soldado y anomalías, por primera vez se detectó alternaria, con un nivel de severidad bajo. En el tercer vuelo, el 25 de junio, se observó un aumento en la severidad de pulguilla y gusano soldado, pasando de bajo a medio, mientras que alternaria, las anomalías y las etiquetas de atención requerida se mantuvieron en niveles bajos, en esta fecha se advirtió por primera vez la presencia de mosca minadora de hoja, con un nivel de severidad bajo. En el vuelo del 7 de julio, la mayoría de los hallazgos conservaron sus niveles de severidad, a excepción de pulguilla, que volvió a presentar nivel bajo, y las etiquetas de anomalías destacaron un aumento a nivel medio. Finalmente, en el último vuelo, realizado el 4 de agosto, no se detectó la presencia de pulguilla, mosca minadora de hoja, ni alternaria, al mismo tiempo, el gusano soldado descendió a un nivel bajo de severidad, al igual que las anomalías y las etiquetas de atención requerida, que mantuvieron ese mismo nivel.

Los reportes procesados por inteligencia artificial (IA) a través de la plataforma AgroScout mostraron limitaciones en la detección de plagas y enfermedades, especialmente en estadios iniciales y síntomas sutiles. La IA identificó patrones visibles como manchas, clorosis avanzada y daños foliares marcados, pero falló en capturar condiciones menos evidentes como deficiencias nutricionales, minas foliares internas o daños por insectos pequeños como pulguilla o trips. Este hallazgo es consistente con lo reportado por Saini et al. (2024) y Clear ML (2023), quienes reconocen que los algoritmos de detección actuales presentan falsos negativos frecuentes cuando trabajan solo con imágenes RGB. Esto se agrava cuando los datos de entrenamiento no incluyen

suficiente variabilidad geográfica o varietal, como ocurre en regiones andinas con condiciones agroecológicas particulares.

**Tabla 9**

*Resultados del monitoreo con drones en la plataforma AgroScout*

	<b>Alternaria</b>	<b>Deficiencia de fosforo</b>	<b>Gusano soldado</b>	<b>Pulguilla</b>	<b>Mosca minadora</b>	<b>Anormalidades</b>	<b>Atención requerida</b>
<b>06/05/2023</b>	X	Bajo	Bajo	Bajo	X	Alto	Bajo
<b>08/06/2023</b>	Bajo	X	Bajo	Bajo	X	Bajo	X
<b>25/06/2023</b>	Bajo	X	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
<b>07/07/2023</b>	Bajo	X	Medio	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
<b>04/08/2023</b>	X	X	Bajo	X	X	Bajo	Bajo

*Nota. "X": Ausencia de plaga o enfermedad en el reporte*

#### **4.2.6.2 Resultados de reportes procesados por los autores en la plataforma AgroScout**

Los resultados obtenidos de los reportes generados por los autores en la plataforma AgroScout mostraron que, en el primer vuelo del 6 de mayo, se registró un nivel alto severidad para pulguilla, al igual que para las malezas, además, se detectó alternaria y tizón tardío con un nivel medio de severidad, mientras que cenicilla y las normalidades se presentaron en niveles bajos, cabe señalar que fue la única vez que se detectaron anomalías durante todos los vuelos. En el segundo vuelo, del 8 de junio, pulguilla mantuvo su nivel alto de severidad, y las malezas descendieron a nivel medio, coincidió que se mantuvo en ese nivel en los vuelos posteriores, en este vuelo también se detectaron por primera vez tizón tardío y virus PLRV, ambos con un nivel medio de severidad. En el tercer vuelo del 25 de junio, pulguilla descendió a un nivel medio de severidad, mientras que tizón tardío y virus PLRV pasaron a niveles bajos, alternaria volvió aparecer, esta vez con nivel bajo, y se identificó por primera vez la presencia de mosca minadora de hoja, también en un nivel bajo. En el vuelo del 7 de julio, pulguilla, mosca minadora de hoja y virus PLRV mantuvieron sus niveles de severidad, en cambio tizón tardío y alternaria aumentaron a niveles alto y medio

respectivamente. Finalmente, en el último vuelo que se realizó el 4 de agosto, tizón tardío y virus PRLV conservaron sus niveles anteriores, mientras que pulguilla incremento a un nivel alto de severidad, en este vuelo se volvió a detectar la presencia de cenicilla, con un nivel bajo.

**Tabla 10**

*Resultados del monitoreo con drones en la plataforma AgroScout etiquetado por autores*

	<b>Alternaria</b>	<b>Cenicilla</b>	<b>Gusano soldado</b>	<b>Pulguilla</b>	<b>Tizón tardío</b>	<b>Mosca minadora</b>	<b>Virus PRLV</b>	<b>Anormalidades</b>	<b>Malezas</b>
<b>06/05/2023</b>	Medio	Bajo	X	Alto	Medio	X	X	Bajo	Alto
<b>08/06/2023</b>	X	X	X	Alto	Medio	X	Medio	X	Medio
<b>25/06/2023</b>	Bajo	X	X	Medio	Bajo	Bajo	Bajo	X	Medio
<b>07/07/2023</b>	Medio	X	X	Medio	Alto	Bajo	Bajo	X	Medio
<b>04/08/2023</b>	X	Bajo	X	Alto	Alto	X	Bajo	X	Medio

*Nota. "X": Ausencia de plaga o enfermedad en el reporte*

La revisión manual de los reportes generados por la plataforma AgroScout, realizada por los autores, permitió una validación más precisa de los focos de plagas y enfermedades. Este proceso mejoró la calidad de los datos al eliminar falsos negativos y al identificar síntomas incipientes no detectados por la IA de la plataforma. Los autores identificaron problemas como clorosis, deficiencia de fósforo y daños de mosca minadora, que la IA marcó como anomalías. Esta observación concuerda con lo mencionado por Prager et al. (2022), quienes recomiendan la combinación de IA y validación experta como la estrategia más eficaz para garantizar la calidad del monitoreo en campo. Además, los autores pudieron correlacionar las fotografías con el monitoreo directo, lo cual fortaleció la toma de decisiones al momento de etiquetar las plagas y enfermedades. Este enfoque es coherente con el modelo de Agricultura de Precisión planteado por el CIP y corroborado por experiencias de validación en Ecuador (PepsiCo, 2022).

#### **4.2.7 Comparación de monitoreo**

El monitoreo directo y el monitoreo con drones representan dos enfoques distintos para evaluar la incidencia de plagas y enfermedades en cultivos agrícolas. Ambos métodos tienen fortalezas y

limitaciones que los hacen adecuados para diferentes objetivos en el manejo agrícola, y juntos pueden complementar sus respectivas capacidades.

La comparación entre los diferentes métodos: monitoreo directo, monitoreo con drones e IA, y drones con validación de autores, evidencia marcadas diferencias en precisión, cobertura y eficiencia. El monitoreo directo resultó ser el más preciso, especialmente para plagas menores o en estadios iniciales. El monitoreo con drones fue el más eficiente en tiempo y cobertura, pero menos sensible a síntomas sutiles. Este análisis es respaldado por los estudios de Jorgensen et al. (2013) y Serrano Ruiz (2024) que destacan la utilidad de un enfoque híbrido, sobre todo en cultivos de alto valor como la papa, donde la detección oportuna de plagas como *B. cockerelli* es crucial para evitar pérdidas económicas significativas.

**Tabla 11**  
*Comparación general entre monitoreo directo y monitoreo con drones*

<b>Aspecto</b>	<b>Monitoreo Directo</b>	<b>Monitoreo con Drones</b>
<b>Método</b>	Inspección manual en campo.	Uso de dron y análisis posterior con IA.
<b>Plagas principales</b>	Pulguilla, Trips, Barrenador.	Pulguilla, Gusano soldado, Mosca minadora de hoja.
<b>Enfermedades</b>	Clorosis, Lancha, Rhizoctonia.	Alternaria, Cenicilla, Tizón, Virus (PLRV).
<b>Toma de datos</b>	Cada 7 días.	Cada 15 días.
<b>Niveles de severidad</b>	Alto, medio, bajo.	Alto, Medio, Bajo.
<b>Tiempo de evaluación</b>	2 horas.	3 minutos.
<b>Precisión</b>	Alta (80-95%)	Media (60-80%)
<b>Limitaciones</b>	Requiere tiempo y esfuerzo humano intensivo.	Depende de las condiciones meteorológicas, registra datos solo de la superficie del cultivo.
<b>Resultados</b>	Datos obtenidos de cada tercio de la planta, listos para tabular.	Informes con niveles de infección en el cultivo y ubicación de estos.

#### **4.2.7.1 Comparación entre monitoreo directo, y con drones evaluados por IA y autores**

La Tabla 12 presenta la comparación de la severidad de plagas y enfermedades, detectadas mediante tres métodos: monitoreo directo (MDi), monitoreo con drones procesado por inteligencia artificial (MDr-AS), y monitoreo con drones etiquetado manualmente por los autores (MDr+Au), en cinco fechas del desarrollo del cultivo: 38, 60, 81, 95 y 123 días después de la siembra (DDS).

Se observa que el monitoreo directo (MDi) evidenció una mayor precisión y consistencia en la detección de plagas y enfermedades como Clorosis, Pulguilla, Rhizoctonia y Trips especialmente en los primeros 60 DDS. Este método de monitoreo identificó niveles altos de severidad en Lancha, Pulguilla y Rhizoctonia en fases tempranas, lo cual coincide con estudios previos que destacan su eficacia en el diagnóstico temprano (Araujo et al., 2021).

Por su parte, el monitoreo con drones asistido por inteligencia artificial (MDr-AS) mostró limitaciones para detectar varias plagas relevantes como Rhizoctonia, Lancha, Clorosis, presentando en muchos casos ausencia de hallazgos ("X"). No obstante, sí logró identificar con cierta consistencia la presencia de Pulguilla y Gusano soldado, aunque con una tendencia a subestimar la severidad respecto al monitoreo directo. Este notable subregistro puede estar relacionado con las limitaciones del algoritmo de IA en etapas iniciales del cultivo, dado que no posee una base de datos extensa y propia de nuestra región. El monitoreo con drones etiquetado manualmente por los autores (MDr+Au) mostró una mejor capacidad de detección en comparación con la IA sola, siendo más cercano a los resultados del monitoreo directo. Este método destacó especialmente en la identificación de Pulguilla, con niveles altos y medios en múltiples fechas, y también logró registrar Virus PLRV, Mosca minadora de hoja, y Cenicilla en distintas fases del cultivo. Esto demuestra que la intervención de los autores en la validación de los datos mejora significativamente la precisión del monitoreo automatizado, alineándose con investigaciones como la de(Liu et al., 2025), que recomiendan un enfoque híbrido para monitoreo agrícola.

En cuanto a las enfermedades como Alternaria, Cenicilla y Tizón tardío, el monitoreo directo fue el más constante en su detección. La IA tuvo dificultades para identificarlos en la mayoría de las fechas, mientras que el etiquetado manual permitió reconocer síntomas visuales en momentos críticos, como el incremento de Alternaria en los 95 DDS. Finalmente, las etiquetas de “Anormalidades”, que incluyeron factores no clasificados por plaga específica como

deformaciones foliares o estrés abiótico, fueron detectadas con mayor frecuencia y variabilidad por la inteligencia artificial (MDr-AS), mientras que los autores (MDr+Au) fueron más restrictivos en su validación, al descartar señales ambiguas que no son atribuibles directamente a plagas o enfermedades.

**Tabla 12**

*Comparación de severidad entre monitoreo directo, y con drones evaluados por IA y autores*

Plagas y Enfermedades	Severidad	DDS				
		38	60	81	95	123
<b>Alternaria</b>	MDi	X	X	X	X	X
	MDr-AS	X	Baja	Baja	Baja	X
	MDr+Au	Media	X	Baja	Media	X
<b>Barrenador</b>	MDi	Media	Media	Media	Baja	Baja
	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	X	X	X	X	X
<b>Cenicilla</b>	MDi	X	X	X	X	X
	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	Baja	X	X	X	Baja
<b>Clorosis</b>	MDi	Alta	Alta	Alta	Baja	Baja
	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	X	X	X	X	X
<b>Deficiencia de fosforo</b>	MDi	X	X	X	X	X
	MDr-AS	Baja	X	X	X	X
	MDr+Au	X	X	X	X	X
<b>Gusano soldado</b>	MDi	X	X	X	X	X
	MDr-AS	Baja	Baja	Media	Media	Baja
	MDr+Au	X	X	X	X	X
<b>Lancha (Tizón tardío)</b>	MDi	Alta	Alta	Media	Baja	Baja
	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	Media	Media	Baja	Alta	Alta
<b>Pulguilla</b>	MDi	Alta	Alta	Media	Baja	Baja

	MDr-AS	Baja	Baja	Media	Baja	X
	MDr+Au	Alta	Alta	Media	Media	Alta
	MDi	X	X	X	X	X
<b>Mosca minadora de hoja</b>	MDr-AS	X	X	Baja	Baja	X
	MDr+Au	X	X	Baja	Baja	X
	MDi	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta
<b>Rhizoctonia</b>	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	X	X	X	X	X
	MDi	Baja	Alta	Alta	Baja	Baja
<b>Trips</b>	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	X	X	X	X	X
	MDi	X	X	X	X	X
<b>Virus PLRV</b>	MDr-AS	X	X	X	X	X
	MDr+Au	X	Media	Baja	Baja	Baja
	MDi	X	X	X	X	X
<b>Anormalidades</b>	MDr-AS	Alta	Baja	Baja	Media	Baja
	MDr+Au	Baja	X	X	X	X

*Nota: MDi = Monitorro directo con drones, MDr-AS=Monitoreo con drones en conjunto con AgroScout, MDr+Au= Monitoreo con drones en conjunto con AgroScout etiquetado por autores, "X": ausencia de plagas o enfermedades.*

En la comparación específica entre estos tres métodos, el monitoreo directo fue el que mostró mayor eficacia, ya que permitió una identificación precisa y contextualizada de plagas y enfermedades, esto radica principalmente en la capacidad que tiene el técnico para realizar una observación minuciosa de toda la estructura de la planta, incluyendo el envés de las hojas, el tallo, el sistema radicular y el tubérculo. Esto se convierte en una ventaja crucial ya que hace posible la detección de signos y síntomas de plagas y enfermedades que no son visibles desde el aire, como es el caso del barrenador, que se instala internamente en los tallos, lo mismo sucede con los trips y pulguilla que se ovipositan en el envés de la hoja, o de la rhizoctonia, que afecta la base del tallo y los tubérculos de forma subterránea (Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones

Agropecuarias (INIAP) et al., 2013). También galerías de larvas en tejidos internos o lesiones incipientes en nudos y pecíolos, lo cual resulta fundamental para la detección oportuna. Pero este método es limitado por su alto costo en mano de obra y tiempo.

En contraste, el monitoreo con drones procesado por la IA de la plataforma AgroScout, depende exclusivamente del análisis de imágenes aéreas obtenidas con el dron. Por ello, este método solo identifica signos visuales presentes en la superficie superior del dosel foliar, lo que implica que no puede detectar síntomas en estructuras no visibles desde el plano superior. Esto limita su capacidad diagnóstica frente a síntomas sutiles, enfermedades de base foliar o afecciones de tipo radicular (Clear ML, 2023). Además, en este estudio se observó que la IA tiende a confundir y subestimar la severidad de plagas pequeñas o de hábitos ocultos, como trips y daño por moscas minadoras, especialmente en fases iniciales.

Por su parte, el monitoreo con drones validado por los autores representó una mejora sustancial respecto al monitoreo con drones automatizado por IA. La interpretación técnica de los datos permitió reconocer patrones de daño que la IA clasificaba erróneamente como “anormalidades” en base a la experiencia y el conocimiento agronómico del evaluador humano. Esta combinación híbrida logró reducir los errores de identificación y clasificación, así como también aumentar la sensibilidad del diagnóstico. Sin embargo, aún conservó la limitación estructural del monitoreo aéreo, ya que solo se examina la porción visible del cultivo, sin posibilidad de explorar tallos, envés de hojas o la parte radicular de la planta.

Diversos estudios han planteado que la IA, aunque eficiente en análisis de patrones visibles, no sustituye la capacidad cognitiva y sensorial del evaluador humano, especialmente en cultivos complejos y con alta variabilidad fenotípica, como la papa (Serrano Ruiz, 2024). Además, en ambientes andinos donde las condiciones agroclimáticas cambian rápidamente y existen múltiples biotipos de plagas, la interpretación local experta sigue siendo esencial para evitar errores en el diagnóstico y en las decisiones de manejo fitosanitario.

Por tanto, aunque el monitoreo con drones representa una herramienta poderosa para mejorar la eficiencia, cobertura y trazabilidad en la agricultura de precisión, su uso no debe reemplazar completamente al monitoreo directo, sino más bien complementarlo dentro de un sistema de monitoreo mixto o integrado. Tal como recomienda (Mora et al., 2018), la integración de nuevas

tecnologías debe ir acompañada de validación técnica y ajustes al contexto local para garantizar su efectividad real en campo.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- El uso de trampas cromáticas demostró ser una herramienta eficaz para el monitoreo de plagas en el cultivo de papa, destacando los órdenes Thysanoptera y Diptera, además de especímenes de mosca blanca. Cada variedad evaluada presentó dinámicas específicas, con picos poblacionales significativos entre los 45 y 73 días después de la siembra.
- El monitoreo directo conserva su rol como método para la detección integral de plagas y enfermedades, especialmente aquellas que afectan estructuras no visibles desde el aire como son el envés de la hoja, el tallo y la parte radicular de la planta.
- La comparación entre monitoreo directo, y con drones evaluados por IA y autores en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de papa revela que, el monitoreo directo sigue siendo el más confiable, especialmente para enfermedades del follaje y plagas del suelo. Sin embargo, el uso de drones con etiquetado manual por técnicos (MDr+Au) representa una alternativa eficiente y precisa, combinando amplitud de cobertura con interpretación técnica. Por el contrario, el monitoreo exclusivamente automatizado (MDr-AS) aún requiere una ampliación en la base de datos con plagas y enfermedades de la región, un ajuste en sus algoritmos para lograr mayor precisión, especialmente en fases tempranas y para síntomas menos evidentes.
- El monitoreo con drones permite analizar áreas extensas con rapidez, sin embargo, gran parte de su efectividad depende de la calidad de las imágenes y el procesamiento que hace la IA, así como de factores externos como las condiciones climáticas que no hacen posible realizar el vuelo en las fechas establecidas.
- El monitoreo directo en conjunto con el monitoreo con drones coincide en identificar problemas clave, como la alta incidencia de plagas y enfermedades. Integrar estas estrategias optimiza la precisión del monitoreo, mejorando la detección temprana y el control de amenazas bióticas.

- Esta investigación valida el potencial de la agricultura digital cuando se complementa con criterio agronómico humano, ofreciendo un enfoque híbrido para el manejo integrado de plagas más sostenible y eficaz.

## **5.2 Recomendaciones**

- El diagnóstico de plagas y enfermedades debería incluir un monitoreo directo y el uso de drones para incrementar la precisión y eficacia del seguimiento de plagas y enfermedades.
- Realizar investigaciones del uso de drones para la identificación de plagas y enfermedades en diferentes áreas, cultivos, geometrías del suelo, que incluya además un análisis económico y considerar las condiciones climáticas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, I., Sandoval, C., & Sepúlveda, C. (2021). *Enfermedades Papa*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- AgroScout. (2025, May 25). *Inteligencia de la cadena de suministro*. AgroScout. [www.agroscout.com](http://www.agroscout.com)
- Andrade, R., & Bonilla, P. (n.d.). CULTIVO DE PAPA EN EL ECUADOR, INSECTOS PLAGA – ENFERMEDADES - NEMÁTODOS Y SU CONTROL QUÍMICO. *DEPARTAMENTO TÉCNICO NACIONAL - ECUAQUÍMICA, 1*.
- Araque Barrera, E., Arias Moreno, D., Bohórquez Quintero, M. de los A., Ojeda Pérez, Z., & Pacheco Díaz, J. (2021). Descripción Botánica y Taxonómica de la papa. In Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Ed.), *Colores y sabores de mi tierra: papas nativas cultivadas en Boyacá* (pp. 32–39). Capítulos de libro de acceso abierto. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/4718>
- Araujo, A., Cartagena, Y., Castillo; Carmen, Cuesta, X., Andrade, J., Panchi, N., & León, J. (2021). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores* (M. Racines, X. Cuesta, & C. Castillo, Eds.; 3rd ed.). INIAP.
- ASOCUCH. (2016). *Manual de Manejo Integrado de Plagas del cultivo de Papa en la Sierra de los Cuchumatanes* (ASOCUCH, Ed.; 1st ed., Vol. 1).
- Berrio Meneses, V., Alzate Velásquez, D., Ramón Valencia, J., & Ramón Valencia, J. (2018, July). *Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones*.
- Calvo, A. (2021). *Agricultura de precisión: drones, ¿Una herramienta para tu explotación?* Agroptima.
- Castillo, C., Cuesta, X., & Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2021, April). La Producción de Papa en Ecuador se Encuentra Amenazada por un Problema Fitosanitario. *Revista Batata Show*, 14–21.

- Castillo, T., & Jiménez, E. (2020). Incidencia y severidad de enfermedades asociadas al cultivo de plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Rivas, Nicaragua. *La Calera*, 20. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/calera.v20i35.10319>
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (1983). *SEMILLA BOTANICA Un Método Alternativo para la Producción de Papa*.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2015). *Cómo crecen las papas*. La Papa.
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2023a). *DATOS Y CIFRAS DE LA PAPA*. <https://cipotato.org/es/potato/potato-facts-and-figures/>
- Centro Internacional de la Papa (CIP). (2023b). *DATOS Y CIFRAS DE LA PAPA*. Centro Internacional de La Papa (CIP).
- Chávez, M. (2018). *MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA IMPLEMENTACION DE DRONES EN EL CULTIVO DE FLORES DE VERANO Y ROSAS EN EL GRUPO ESMERALDA ECUADOR*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Chávez, P. (2008). La Papa, Tesoro de los Andes. Incentro *Internacional de la Papa (CIP)*. Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Clear ML. (2023). *AgroScout Cultivates New Levels of Efficiency with ClearML Experiment Management Tools*.
- Cranshaw, W. (2019). *Psílicos de la papa o el tomate*.
- Dirección General de Aviación Civil. (2020). Operación de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAs). In *Resolución Nro. DGAC-DGAC-2020-0110-R* (DGAC-DGAC-2020-0110-R).
- Egúsquiza, R. (2013). *MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE PAPA*. *Agrobanco, 1*.
- Embajada de Ecuador. (2025). *Sierra - Provincias: CARCHI*. CARCHI.
- Fundación Charles Darwin. (2023). *Solanum tuberosum* L. Lista de Especies de Galápagos.

- Gamarra, H., Carhuapoma, P., Mujica, N., Kreuze, J., & Kroschel, J. (2016). Greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood 1956). *Pest Distribution and Risk Atlas for Africa*. <https://doi.org/10.4160/9789290604761-12>
- Giraldo, A. (2020, June). Tan cerca y tan lejos de la agricultura 4.0 en Colombia. *Revista Universidad EAFIT*, 78–84.
- Godoy, J. (2023). “*DRONES AGRÍCOLAS, CLAVE PARA LA ADOPCIÓN Y TRANSICIÓN HACIA LA AGRICULTURA 4.0 EN MÉXICO.*” INFOTEC Centro de Investigación de Innovación en Tecnologías de la Información y Comunicación.
- Hafeez, A., Husain, M. A., Singh, S. P., Chauhan, A., Khan, M. T., Kumar, N., Chauhan, A., & Soni, S. K. (2023). Implementation of drone technology for farm monitoring & pesticide spraying: A review. *Information Processing in Agriculture*, 10(2), 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2022.02.002>
- Huamán, Z. (1986). *Systematic Botany and Morphology of the Potato*.
- Inostroza, J. (2009). *Manual de papa para La Araucanía: Manejo y Plantación* (INIA, Vol. 193). Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Inostroza, J., Méndez, P., Espinoza, N., Acuña, I., Navarro, P., Cisternas, E., & Larráin, P. (2017). *Manual del cultivo de la papa en Chile*.
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Centro Internacional de la Papa (CIP), Montesdeoca, F., Panchi, N., Navarrete, I., Pallo, E., Yumisaca, F., Taipe, A., Espinoza, S., & Piedra, J. A. (2013). *Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa en Ecuador* (I. Reinoso, P. Gallegos, J. Velásquez, J. Rivadeneira, & F. Ávalos, Eds.; INIAP). <https://doi.org/10.4160/978-92-9060-423-5>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) - ESPAC. (2024, December). *CIFRAS AGROPRODUCTIVAS. INFORMACIÓN PRODUCTIVA TERRITORIAL*.

- Instituto Nacional de Investigación Agraria – INIA. (2002). *PAPA COMPENDIO DE INFORMACIÓN TÉCNICA* (Instituto Nacional de Investigación Agraria –INIA, Ed.; 3rd ed., Vol. 1).
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2023). *Papa*.
- Jorgensen, N., Butler, R. C., & Vereijssen, J. (2013a). Biorational insecticides for control of the tomato potato psyllid. *New Zealand Plant Protection*, *66*, 333–340. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2013.66.5708>
- Liu, J., Wang, W., Li, J., Mustafa, G., Su, X., Nian, Y., Ma, Q., Zhen, F., Wang, W., & Li, X. (2025). UAV Remote Sensing Technology for Wheat Growth Monitoring in Precision Agriculture: Comparison of Data Quality and Growth Parameter Inversion. *Agronomy*, *15*(1). <https://doi.org/10.3390/agronomy15010159>
- Meijer, D., van der Vleut, J., Weldegergis, B., Costaz, T., Alfenas, M., Pekas, A., van Loon, J. J. A., & Dicke, M. (2023). Effects of far-red light on tritrophic interactions between the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) and the predatory mite *Phytoseiulus persimilis* on tomato. *Pest Management Science*, *79*(5), 1820–1828. <https://doi.org/10.1002/ps.7358>
- Méndez, A., Pablo Vélez, J., Scaramuzza, F., & Villarroel, D. (2020). Los drones como herramienta para el monitoreo de cultivos. *Revista de La Bolsa de Comercio de Rosario*. <https://www.bcr.com.ar/sites/default/files/drones.pdf>
- Mora, J., Velasco, C., Mejía, A., & Flores, R. (2018). *Midiendo pérdidas en la cadena papa en Ecuador*.
- Palacio Legislativo de San Lázaro. (2020). *MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS, UNA ALTERNATIVA ANTE EL USO DE LOS PLAGUICIDAS*.
- PepsiCo. (2022). *Agriculture Partnerships*.
- Peralta, C., Giancola, S., Lombardo, E., Mika, R., & Carbajo, M. S. (2021). Introducción al manejo integrado de plagas, monitoreo de plagas en cítricos y fenología del cultivo. In *Monitoreo del HLB, su vector y otras plagas y enfermedades de cítricos*.

- Prager, S., Cohen, A., Cooper, W. R., Novy, R., Rashed, A., Wenninger, E. J., & Wallis, C. (2022). A comprehensive review of zebra chip disease in potato and its management through breeding for resistance/tolerance to ‘*Candidatus Liberibacter solanacearum*’ and its insect vector. *Pest Management Science*, 78(9), 3731–3745. <https://doi.org/10.1002/ps.6913>
- Racines, M., Amagua, J., Suango, V., & Cuesta, X. (2023). Producción y consumo de papa en Ecuador. In X. Cuesta, M. Racines, B. Montero, P. Cuasapaz, N. Panchi, & H. Benavides (Eds.), *Libro de Memorias del X Congreso Ecuatoriano de la Papa* (Vol. 1, pp. 18–20).
- Ripa, R., & Larra, P. (2008). *Manejo de plagas en paltos y cítricos* (R. Ripa & P. Larral, Eds.; INIA, Vol. 23). Producciones Graficas Ltda.
- Romero, I., Dirección General de Políticas Agrarias, & Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. (2019). *Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de papa*.
- Saini, N., Singh, H., & Gouda, M. R. (2024). Use of drones in precision pest management. *International Journal of Research in Agronomy*, 7(8S), 854–858. <https://doi.org/10.33545/2618060x.2024.v7.i8sk.1399>
- Sánchez Palacios, L. E., Martínez Alcivar, F. R., Torres Sánchez, S. T., Lascano Montes, A. C., & Terán Guajala, G. N. (2024, February 7). Agricultura de Precisión en El Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(1), 1532–1542. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i1.9547](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.9547)
- Serrano Ruiz, A. (2024). *USO DE DRONES EN UNA PLANTACIÓN AGRÍCOLA*. ICAI – Universidad Pontificia Comillas.
- Shemer, S. (2022, March 30). *Israeli Firm AgroScout Shows The Impact Of AI And Robotics In Agriculture*. NoCamels.
- Solano, J. (2023). *EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA POBLACIONAL DEL COMPLEJO DE POLILLAS Y *Bactericera cockerelli* (Šulc) EN EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN LA ZONA SURESTE DE LA PROVINCIA DEL CARCHI*. Universidad Técnica del Norte.

- Subramanian, K. S., Pazhanivelan, S., Srinivasan, G., Santhi, R., & Sathiah, N. (2021). Drones in Insect Pest Management. *Frontiers in Agronomy*, 3. <https://doi.org/10.3389/fagro.2021.640885>
- Toledo, M. (2020). Manejo de la mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) en el cultivo de la papa. *Programa Regional de Investigación e Innovación Por Cadenas de Valor Agrícola, 1*.
- Torres, L., Taibe, A., & Andrade, J. (2011). *INVENTARIO DE TECNOLOGÍAS E INFORMACIÓN PARA EL CULTIVO DE PAPA EN ECUADOR*. Centro Internacional de La Papa.
- Vera, E., & Zambrano, T. (2025, June 30). Impacto de drones en la agricultura: aplicaciones y beneficios en la producción de cultivos. *Revista G-Ner@ndo*. <https://orcid.org/0009-0002-9472->
- Vitta P., N. (2022). Manejo Integrado de Plagas (MIP) en hortalizas. *INIA LA PLATINA*, 45.

# ANEXOS

## Anexo 1. Reportes generados por inteligencia artificial de la plataforma AgroScout.



10/05/2023

### Pests & Disease Report #008203



New infections have been found in your fields



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Potatoes



6 May 2023



22



#### Pests / Disease / Others

abnormality (looper army worm damage), flea beetles, looper army worm damage (phosphorus), phosphorus (abnormality)

#### Comments

Los hallazgos son principalmente en hojas de maleza, pero son daños de insectos presentes en el campo.

También hay hojas moradas lo que puede ser un desbalance en la nutrición con Fósforo (P).

### Main Samples

Suspected as **Flea Beetles**

Infection Level: Low



Suspected as **Looper army worm damage**

Infection Level: Low



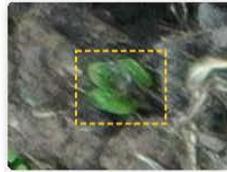
Suspected as **Phosphorus**

Infection Level: Low



Suspected as **Abnormality**

Infection Level: High



14/06/2023

## Pests & Disease Report #008586

New infections have been found in your fields



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



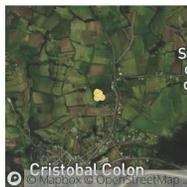
Potatoes



8 Jun 2023



22



### Pests / Disease / Others

abnormality (looper army worm damage), early blight (early blight, alternaria leaf spot), alternaria leaf spot (flea beetles), flea beetles (abnormality)

### Main Samples

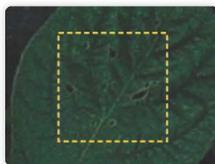
Suspected as **Early blight, alternaria leaf spot**

Infection Level: Low



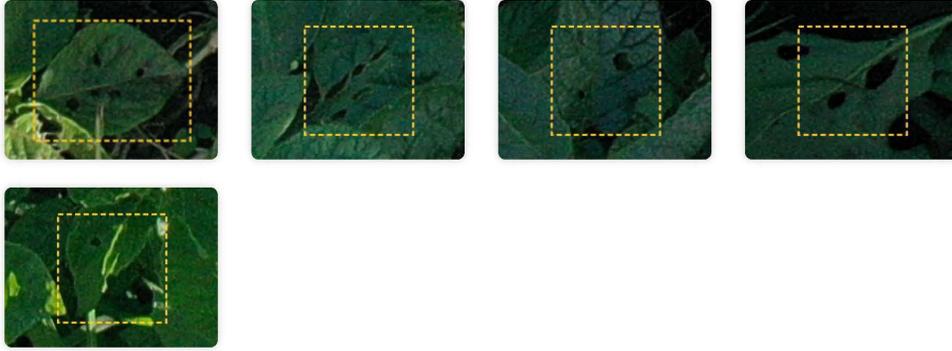
Suspected as **Flea Beetles**

Infection Level: Low



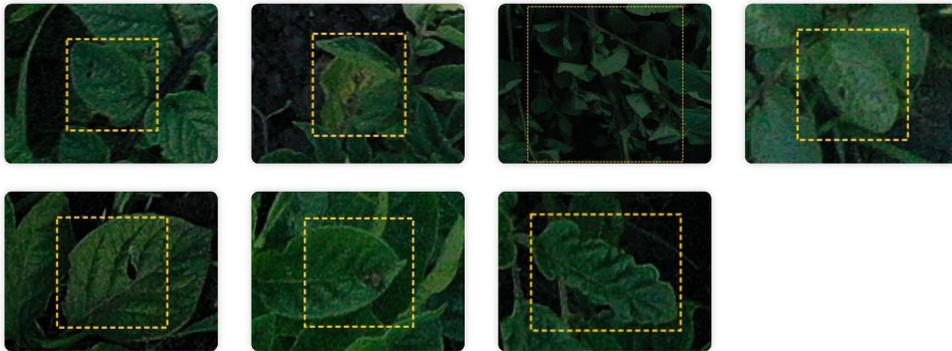
Suspected as **Looper army worm damage**

Infection Level: Low



Suspected as **Abnormality**

Infection Level: Low



Powered by AgroScout platform

Need help with report or technical support with AgroScout platform? contact us: [support@agro-scout.com](mailto:support@agro-scout.com)



27/06/2023

## Pests & Disease Report #008781

New infections have been found in your fields



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Potatoes



25 Jun 2023



26



### Pests / Disease / Others

abnormality (looper army worm damage), early blight (early blight, alternaria leaf spot), alternaria leaf spot (special attention required), flea beetles, looper army worm damage (tuta absoluta), special attention required (abnormality)

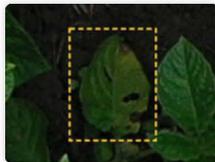
### Comments

Liriomyza huidobrensis; puede ser el minador de hoja.

## Main Samples

Suspected as **Early blight, alternaria leaf spot**

Infection Level: Low



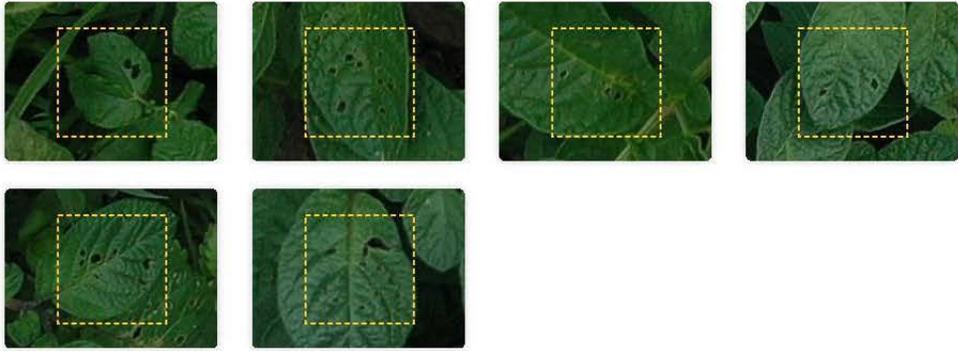
Suspected as **Flea Beetles**

Infection Level: Medium



Suspected as **Looper army worm damage**

Infection Level: Medium



Suspected as **Special attention required**

Infection Level: Low



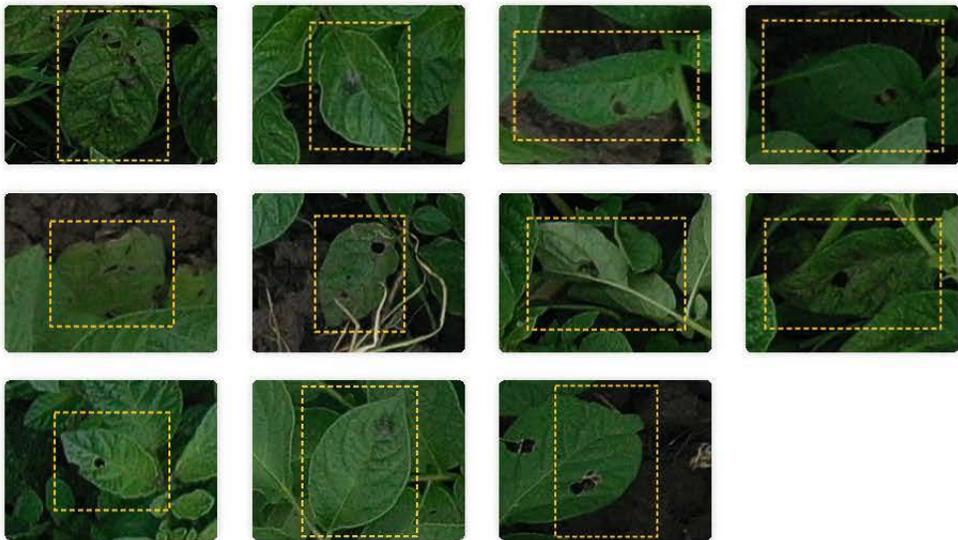
Suspected as **Tuta absoluta**

Infection Level: Low



Suspected as **Abnormality**

Infection Level: Low



17/07/2023

## Pests & Disease Report #009216

New infections have been found in your fields



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Potatoes



7 Jul 2023



20



### Pests / Disease / Others

abnormality (looper army worm damage), early blight (early blight, alternaria leaf spot), alternaria leaf spot (special attention required), flea beetles, looper army worm damage (tuta absoluta), special attention required (abnormality)

### Main Samples

Suspected as **Early blight, alternaria leaf spot**

Infection Level: Low



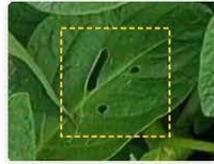
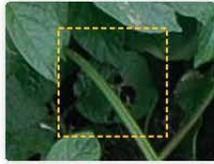
Suspected as **Flea Beetles**

Infection Level: Low



Suspected as **Looper army worm damage**

Infection Level: Medium



Suspected as **Special attention required**

Infection Level: Low



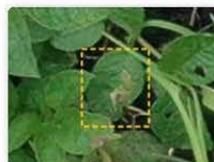
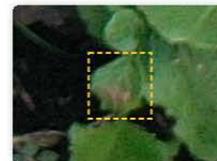
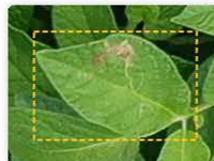
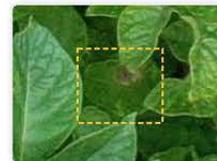
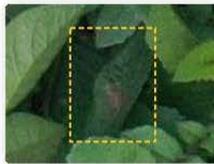
Suspected as **Tuta absoluta**

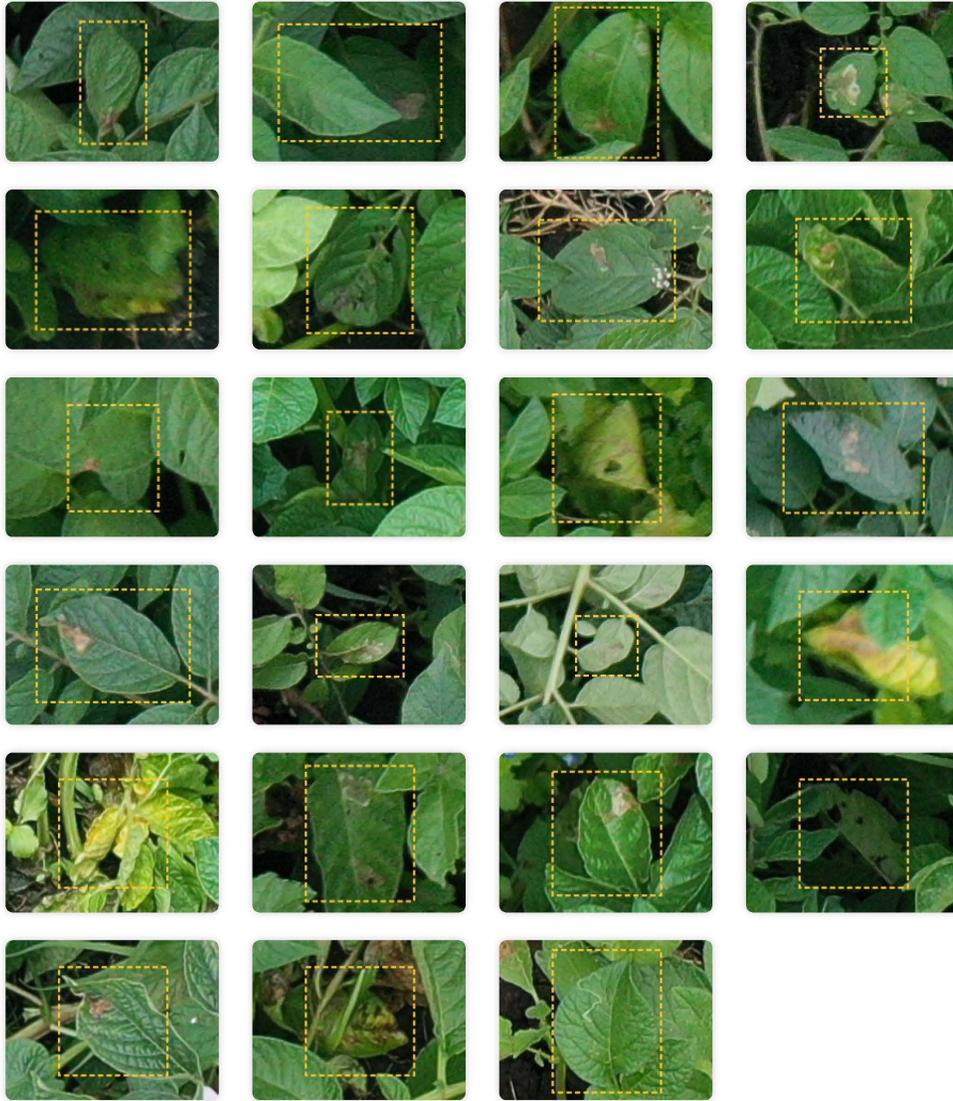
Infection Level: Low



Suspected as **Abnormality**

Infection Level: Medium





**Powered by AgroScout platform**

Need help with report or technical support with AgroScout platform? contact us: [support@agro-scout.com](mailto:support@agro-scout.com)



08/08/2023

## Pests & Disease Report #009654

New infections have been found in your fields



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Potatoes



4 Aug 2023



29



### Pests / Disease / Others

abnormality (looper army worm damage), looper army worm damage (special attention required), special attention required (abnormality), undefined (abnormality)

### Main Samples

Suspected as **Looper army worm damage**

Infection Level: Low



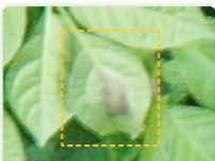
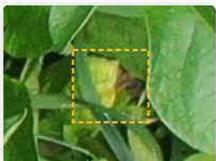
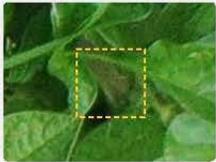
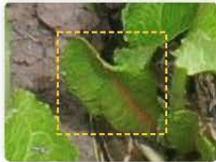
Suspected as **Special attention required**

Infection Level: Low



Suspected as **Abnormality**

Infection Level: Low





Suspected as **Abnormality**

Infection Level: Low



**Powered by AgroScout platform**

Need help with report or technical support with AgroScout platform? contact us: [support@agro-scout.com](mailto:support@agro-scout.com)



## Anexo 2. Reportes generados por autores en la plataforma AgroScout.



19/08/2024

### Reporte De Plagas & Enfermedades. #010942

Se encontraron nuevas infecciones en tus campos.



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Papa



6 May 2023



22



#### Plagas /Enfermedades /Otros

abnormality (cenicilla polvorienta), early blight (pulga saltona), flea beetles (apropiado), powdery mildew (anormalidad), proper (malezas), weeds (early blight)

#### Comentarios

Se encontro varias plantas afectadas en sus hojas por Tizon Temprano, asi como plantas donde las hojas del primer tercio estaban consumidas por pulguilla, las plantas que presentan hojas moradas se deben a la variedad de las mismas.

### Muestras Principales

#### Early blight

Nivel De Infección: Medium



#### Flea Beetles (Pulga saltona)

Nivel De Infección: High



**Powdery mildew (*Cenicilla polvorlenta*)**

Nivel De Infección: Low



**proper (apropiado)**

Nivel De Infección: Medium



**weeds (malezas)**

Nivel De Infección: High





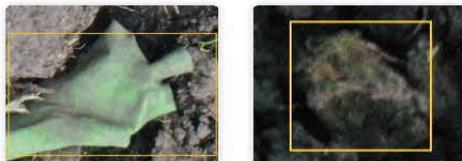






**Abnormality (Anormalidad)**

Nivel De Infección: Low



27/08/2024

## Reporte De Plagas & Enfermedades. #010941

Se encontraron nuevas infecciones en tus campos.



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Papa



8 Jun 2023



22



### Plagas /Enfermedades /Otros

damage from agricultural tools (enrollamiento de la hoja (virus plrv)), flea beetles (pulga saltona), late blight (fresh) (daños por herramientas agrícolas), late blight (dead) (tizón tardío (fresh)), potato leafroll (plrv) (tizón tardío (dead)), proper (apropiado), weeds (malezas)

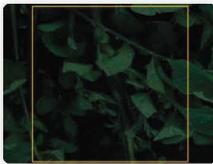
### Comentarios

La presencia de Pulgilla es más notable,así como hay pocos vestijios de Tizón y Enrollamiento de hojas

## Muestras Principales

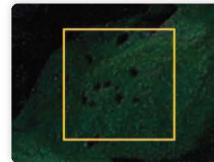
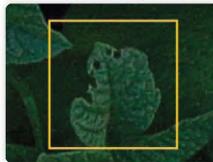
### Damage from agricultural tools (Daños por herramientas agrícolas)

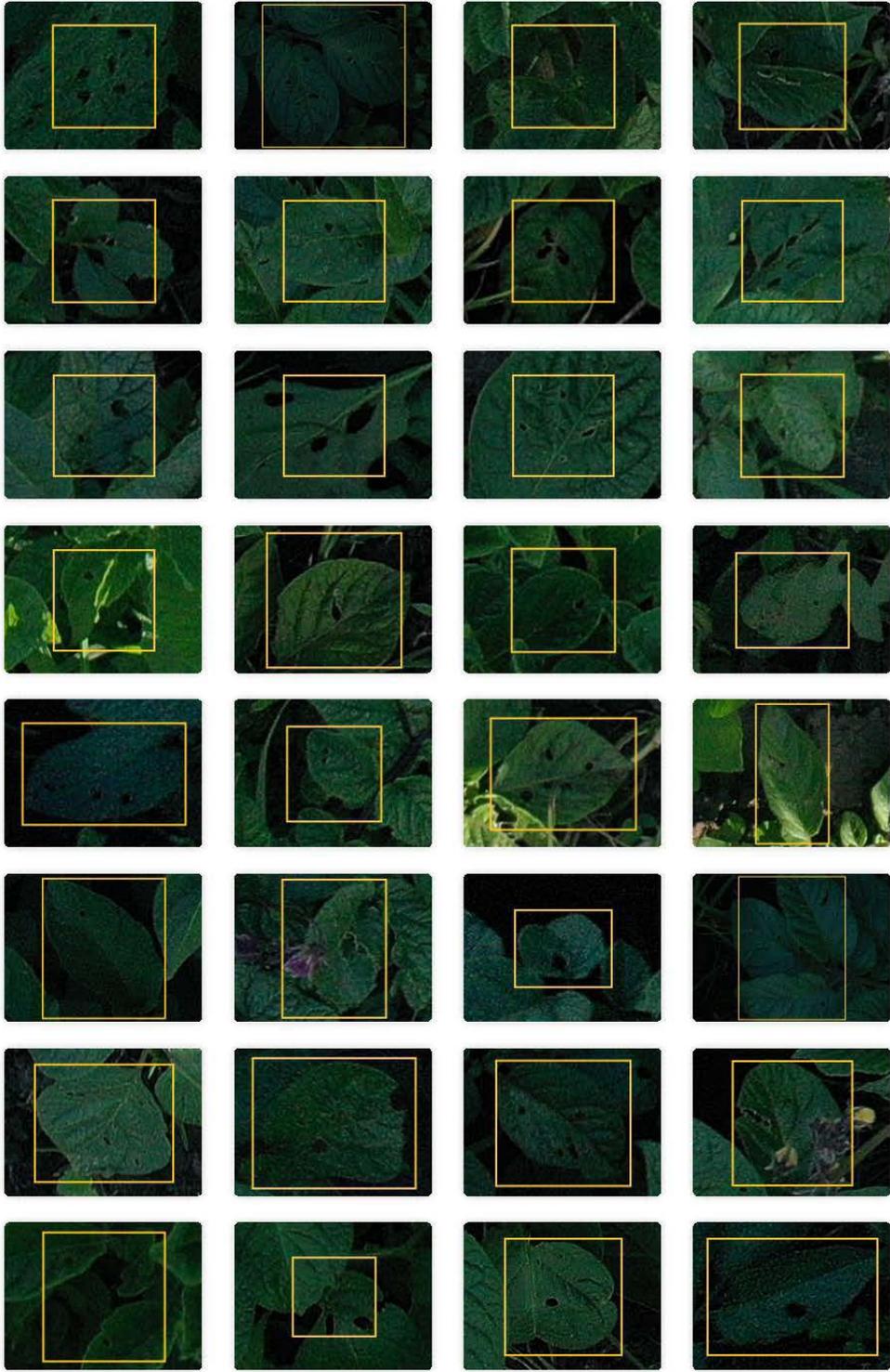
Nivel De Infección: Low



### Flea Beetles (Pulga saltona)

Nivel De Infección: High







**LATE BLIGHT (FRESH) (Tizón tardío (FRESH))**

Nivel De Infección: Medium



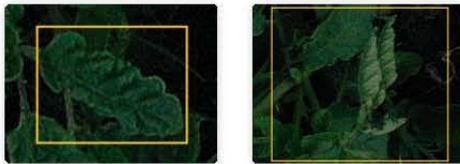
**LATE BLIGHT (DEAD) (Tizón tardío (DEAD))**

Nivel De Infección: Medium



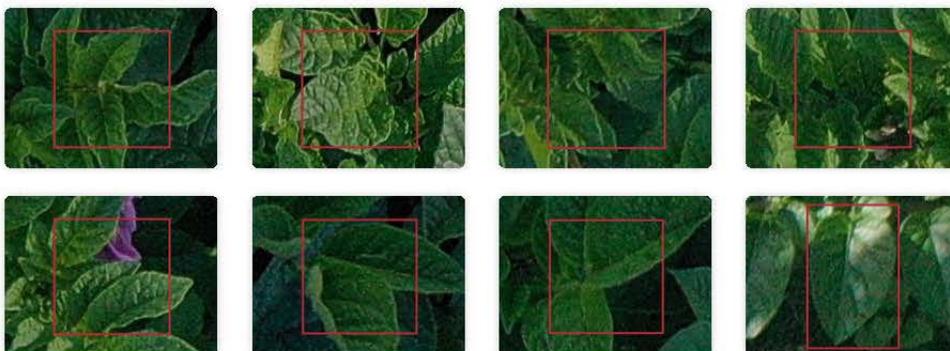
**Potato leafroll (PLRV) (Enrollamiento de la hoja (virus PLRV))**

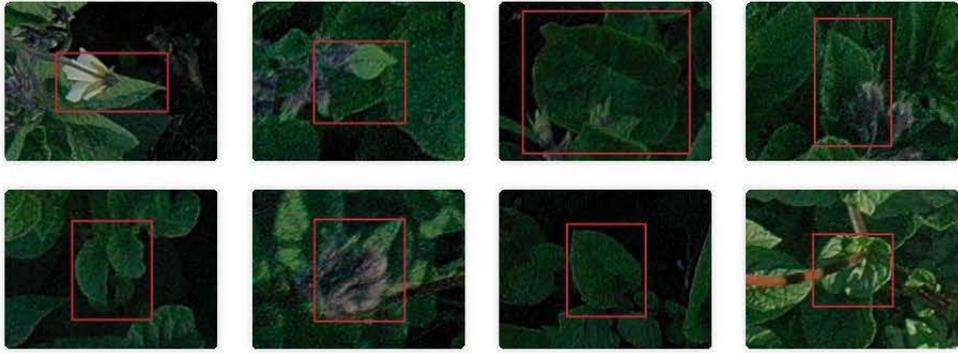
Nivel De Infección: Medium



**proper (apropiado)**

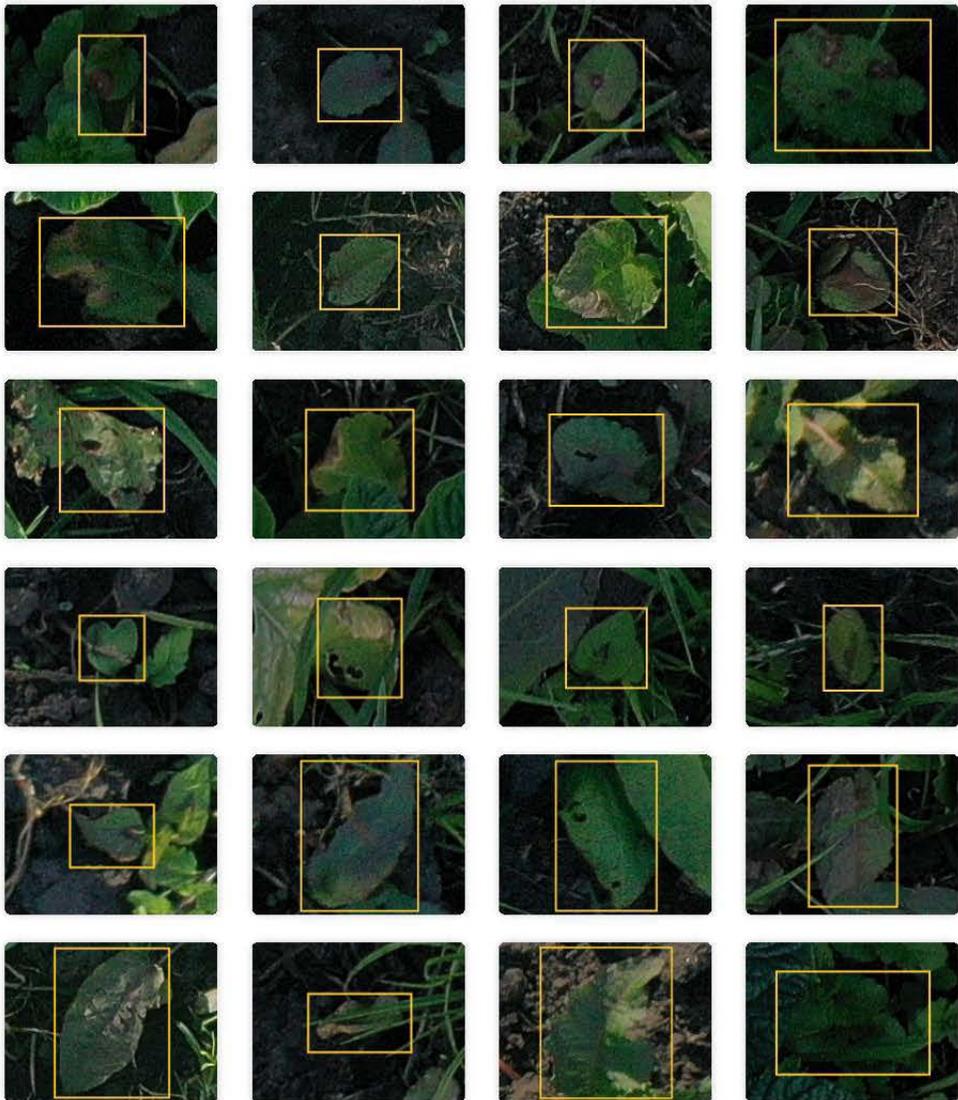
Nivel De Infección: High

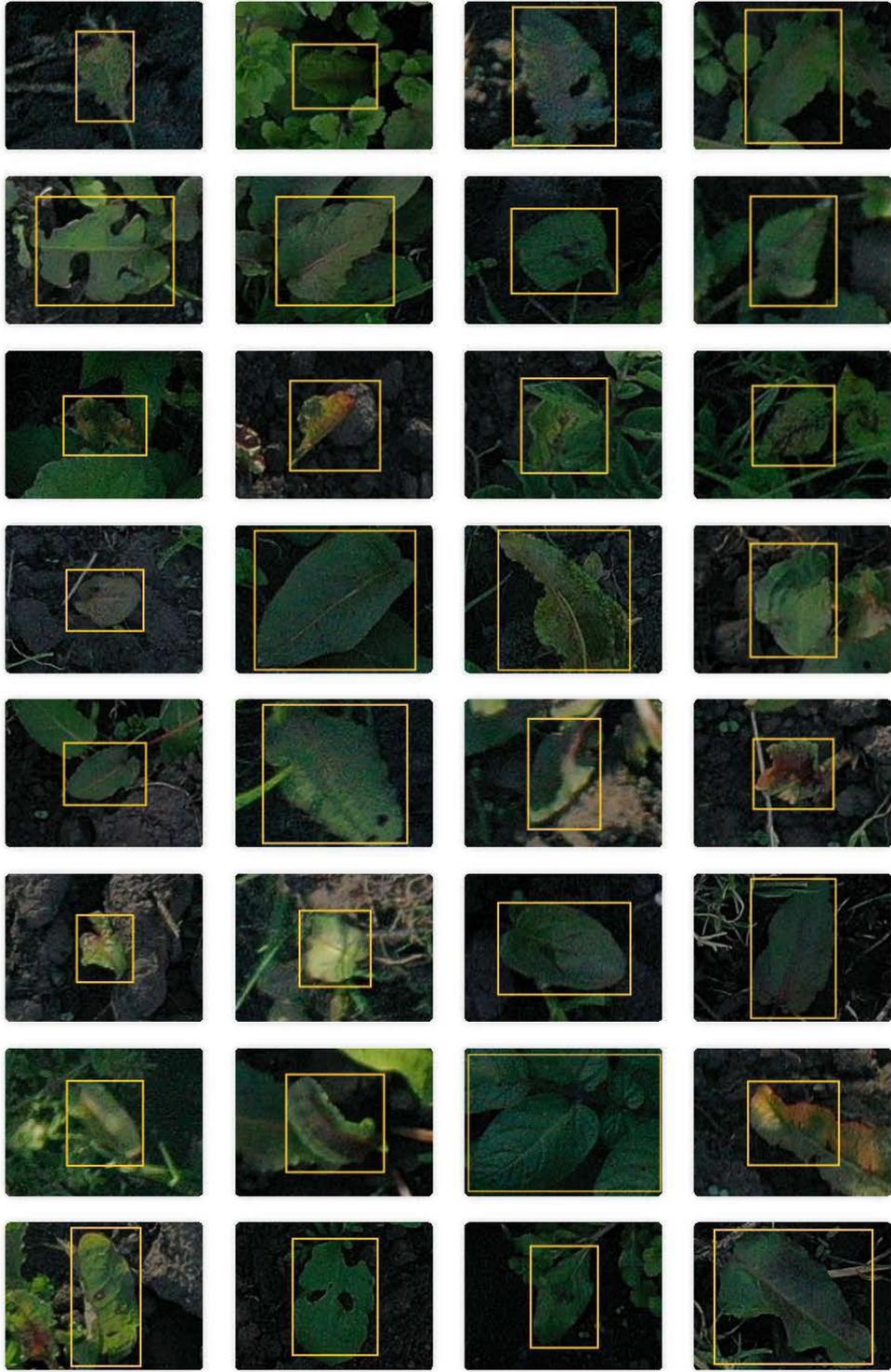


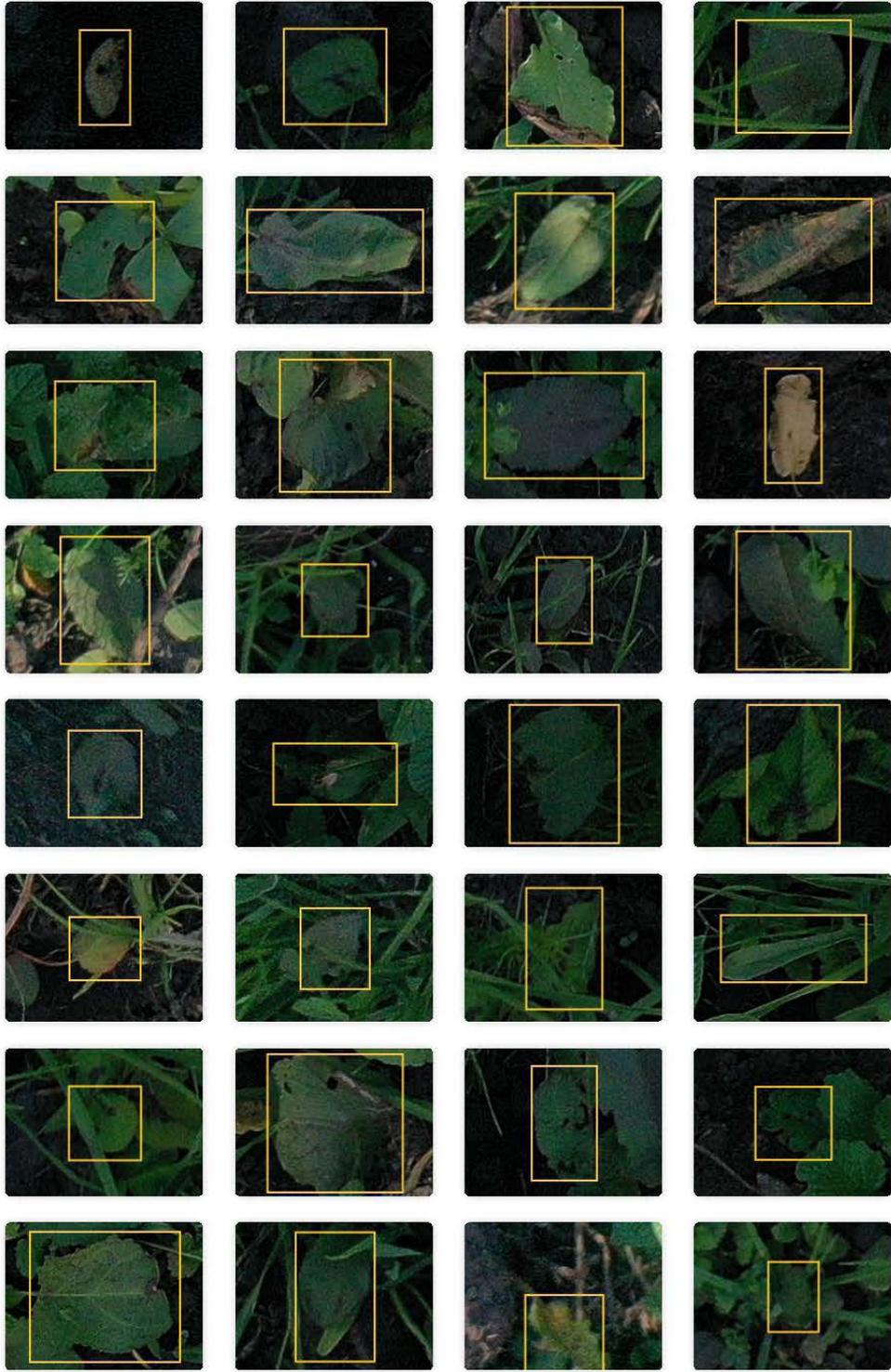


**weeds (malezas)**

Nivel De Infección: Medium









## El Equipo AgroScout

Necesitas ayuda con tu reporte o requieres de soporte técnico en la plataforma Agrosout? contáctanos en:



10/09/2024

## Reporte De Plagas & Enfermedades. #010940

Se encontraron nuevas infecciones en tus campos.



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Papa



25 Jun 2023



26



### Plagas /Enfermedades /Otros

early blight (virus x de la papa), alternaria leaf spot (alternaria, mancha de la hoja), flea beetle - adults (pulga saltona), flea beetles (tizón tardío (dead)), late blight (apropiado), late blight (dead) (pulga saltona adultos), proper (tuta absoluta (minador de hoja)), pvx (potato virus x) (malezas), tuta absoluta (late blight)

### Comentarios

En el monitoreo hay daños residuales de alternaria, así como gran presencia de pulga saltona en los bordes del cultivo y pulga saltona adulta, además podemos observar que la presencia de Tizón es muy baja.

### Muestras Principales

#### Early blight, alternaria leaf spot (Alternaria, mancha de la hoja)

Nivel De Infección: Low



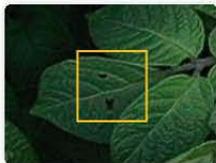
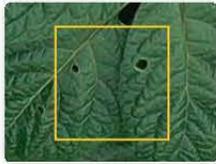
#### Flea Beetle - Adults (Pulga Saltona Adultos)

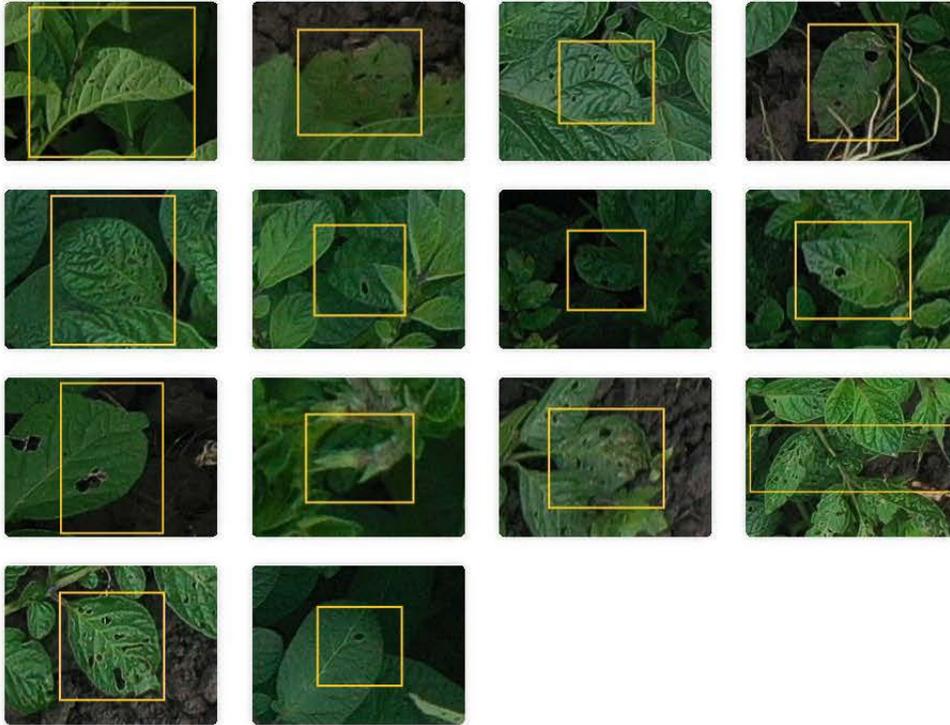
Nivel De Infección: Low



**Flea Beetles (Pulga saltona)**

Nivel De Infección: Medium





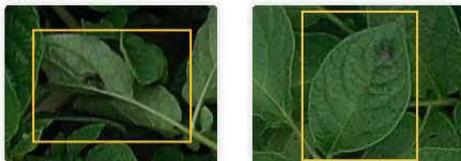
**LATE BLIGHT**

Nivel De Infección: Low



**LATE BLIGHT (DEAD) (Tizón tardío (DEAD))**

Nivel De Infección: Low



**proper (apropiado)**

Nivel De Infección: Low



**PVX (potato virus X) (Virus X de la papa.)**

Nivel De Infección: Low



**Tuta absoluta (Tuta absoluta (Minador de hoja))**

Nivel De Infección: Low



**weeds (malezas)**

Nivel De Infección: Medium



## El Equipo AgroScout

Necesitas ayuda con tu reporte o requieres de soporte técnico en la plataforma Agrosout? contáctanos en:



05/09/2024

## Reporte De Plagas & Enfermedades. #010939

Se encontraron nuevas infecciones en tus campos.



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Papa



7 Jul 2023



20



### Plagas /Enfermedades /Otros

alfalfa mosaic (alternaria, mancha de la hoja), damage from agricultural tools (enrollamiento de la hoja (virus plrv)), early blight (virus del mosaico de la alfalfa), alternaria leaf spot (pulga saltona), flea beetles (virus pvv), late blight (daños por herramientas agrícolas), potato leafroll (plrv) (apropiado), proper (tuta absoluta (minador de hoja)), pvv (malezas), tuta absoluta (late blight)

### Comentarios

Las principales enfermedades en este monitoreo siguen siendo el Tizón tardío y pulga saltona, así como también aparecieron enfermedades como alternaria y plagas como minador de hoja

## Muestras Principales

### Alfalfa mosaic (Virus del mosaico de la alfalfa)



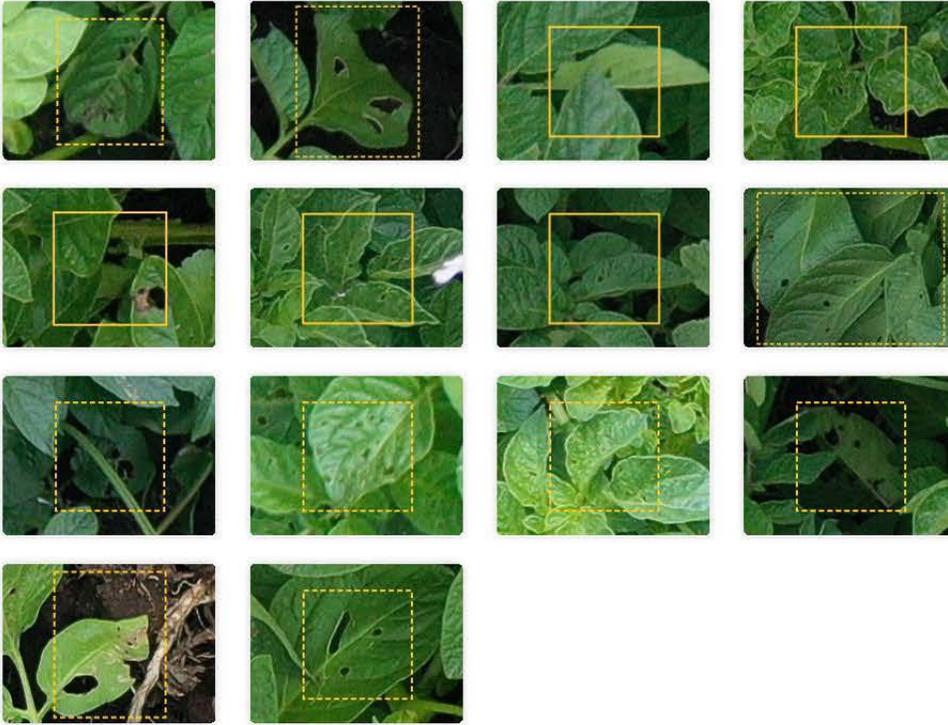
### Damage from agricultural tools (Daños por herramientas agrícolas)



**Early blight, alternaria leaf spot (Alternaria, mancha de la hoja)**



**Flea Beetles (Pulga saltona)**



**LATE BLIGHT**







**Potato leafroll (PLRV) (Enrollamiento de la hoja (virus PLRV))**



**proper (apropiado)**



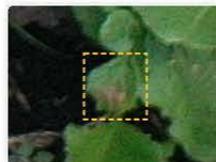
**PVY (Virus PVY)**

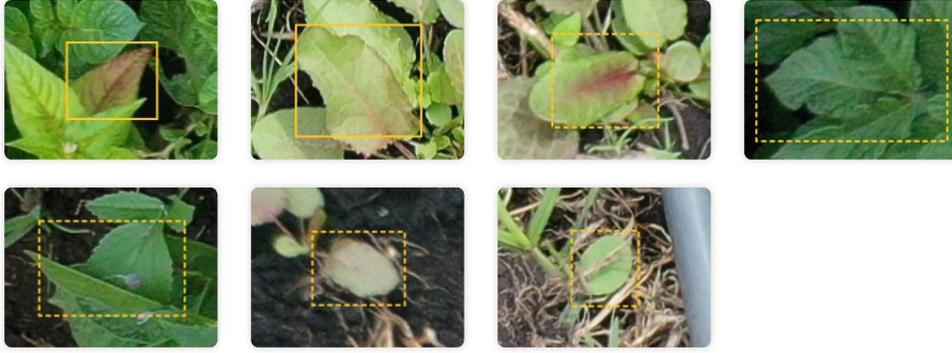


**Tuta absoluta (Tuta absoluta (Minador de hoja))**



**weeds (malezas)**





## El Equipo AgroScout

Necesitas ayuda con tu reporte o requieres de soporte técnico en la plataforma Agrosout? contáctanos en:



31/08/2024

## Reporte De Plagas & Enfermedades. #010938

Se encontraron nuevas infecciones en tus campos.



Lote Cristóbal  
Colon X  
Congreso



Papa



4 Aug 2023



29



### Plagas /Enfermedades /Otros

flea beetles (marchitez por verticillium), late blight (cenicilla polvorienta), pest damages (enrollamiento de la hoja (virus plrv)), potato leafroll (plrv) (pulga saltona), powdery mildew (apropiado), proper (malezas), verticillium wilt (daño de plagas), weeds (late blight)

### Comentarios

El cultivo presenta mayor afectación por Tizón tardío y pulguilla, tambien estan presentes pequeños vestigios de enrollamiento de la hoja y cenicilla polvorienta.

## Muestras Principales

### Flea Beetles (Pulga saltona)

Nivel De Infección: High







**Pest damages (Daño de plagas)**

Nivel De Infección: Low



**Potato leafroll (PLRV) (Enrollamiento de la hoja (virus PLRV))**

Nivel De Infección: Low



**Powdery mildew (Cenicilla polvorosa)**

Nivel De Infección: Low



**proper (apropiado)**

Nivel De Infección: Medium



**Verticillium wilt (Marchitez por Verticillium)**

Nivel De Infección: Low



**weeds (malezas)**

Nivel De Infección: Medium



## El Equipo AgroScout

Necesitas ayuda con tu reporte o requieres de soporte técnico en la plataforma Agrosout? contáctanos en:



### Anexo 3. Siembra del cultivo



### Anexo 4. Primer vuelo de monitoreo con dron



**Anexo 5.** Fotografía tomada por el dron



**Anexo 6.** Colocación de trampas cromáticas y monitoreo directo



**Anexo 7. Monitoreo directo en el cultivo**



**Anexo 8. Variedades presentes en el cultivo**

