



**FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



TESIS

**Análisis del control ecológico de *Spodoptera Frugiperda* en el
cultivo de maíz (*Zea mays*) mediante imágenes
multiespectrales obtenidas de VANT en la costa norte
peruana.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

AUTORES

Millan Ramírez José Edwin

Segura Díaz Dustin André Alejandro

ASESOR

Dr. Chavarry Flores Ricardo

Lambayeque – Perú

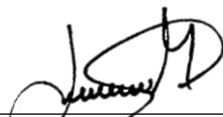
29 de enero de 2026

TESIS

Análisis del control ecológico de *Spodoptera Frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*) mediante imágenes multiespectrales obtenidas de VANT en la costa norte peruana.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO



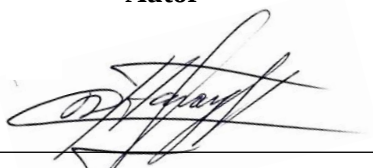
Millan Ramirez José Edwin

Autor



Segura Díaz Dustin André Alejandro

Autor



Dr. Ricardo Chavarry Flores

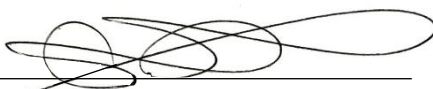
Patrocinador

APROBADO POR:



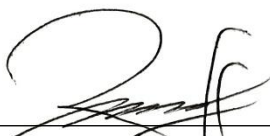
Dr. Ing. Jorge Luis Saavedra Díaz

Presidente del jurado



Dr. Ing. Mariano Agustín Ramos García

Secretario del jurado



M. Sc. Ing. Roso Próspero Pasache Chapañan

Vocal del jurado



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°005-2026-D-FAG

En la ciudad de Lambayeque a los 29 días del mes de enero del año dos mil veintiséis, siendo las once con treinta minutos de la mañana, se reunieron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía los Miembros del Jurado evaluador de la tesis titulada: **"ANÁLISIS DEL CONTROL ECOLÓGICO DE *Spodoptera Frugiperda* EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) MEDIANTE IMÁGENES MULTIESPECTRALES OBTENIDAS DE VANT EN LA COSTA NORTE PERUANA"**, mediante Resolución N°086-2023-VIRTUAL-D-FAG, de fecha 25 de mayo del 2023, se nombra jurado y con Resolución N°016-2024-D-FAG de fecha 07 de febrero del 2024 se autoriza la aprobación del Proyecto de tesis; con Resolución N°285-2025-D-FAG de fecha 07 de noviembre del 2025, se resuelve Cambio de Miembro de Jurado (Secretario) y, mediante Resolución N°258-2025-D-FAG, de fecha 24 de octubre del 2025, se resuelve Ampliar, POR ÚNICA VEZ, el plazo por el lapso de seis (06) meses, a partir del 08 de agosto del 2025 hasta el 08 de febrero del 2026; con la finalidad de evaluar y calificar la Sustentación de la Tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Jorge Luis Saavedra Díaz
Dr. Ing. Mariano Agustín Ramos García
M.Sc. Ing. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Dr. Ing. Ricardo Chavarry Flores

Presidente
Secretario
Vocal
Patrocinador

El acto de Programación de Sustentación fue autorizado por RESOLUCIÓN N°004-2026-D-FAG, de fecha 13 de enero del 2026.

La tesis fue presentada y sustentada por el/la Bachiller **MILLAN RAMIREZ JOSE EDWIN** tuvo una duración de 90 minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas de los Miembros de Jurado, se procedió a la calificación respectiva otorgándole el calificativo de 17.41 en la escala vigesimal, con mención BUENO.

Por lo que queda **APTO (A)** para obtener el Título Profesional de Ingeniero (a) Agrónomo (a) de acuerdo con la Ley Universitaria N° 30220 y el Art. 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13.15, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad el presente acto con las firmas de los Miembros de Jurado.

Dr. Ing. Jorge Luis Saavedra Díaz
Presidente

Dr. Ing. Mariano Agustín Ramos García
Secretario

M.Sc. Ing. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Vocal

Dr. Ing. Ricardo Chavarry Flores
Patrocinador

Observación:

.....

.....

.....



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE AGRONOMÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°006-2026-D-FAG

En la ciudad de Lambayeque a los 29 días del mes de enero del año dos mil veintiséis, siendo las once con treinta minutos de la mañana, se reunieron en el Auditorio de la Facultad de Agronomía los Miembros del Jurado evaluador de la tesis titulada: “ANÁLISIS DEL CONTROL ECOLÓGICO DE *Spodoptera Frugiperda* EN EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays*) MEDIANTE IMÁGENES MULTIESPECTRALES OBTENIDAS DE VANT EN LA COSTA NORTE PERUANA”, mediante Resolución N°086-2023-VIRTUAL-D-FAG, de fecha 25 de mayo del 2023, se nombra jurado y con Resolución N°016-2024-D-FAG de fecha 07 de febrero del 2024 se autoriza la aprobación del Proyecto de tesis; con Resolución N°285-2025-D-FAG de fecha 07 de noviembre del 2025, se resuelve Cambio de Miembro de Jurado (Secretario) y, mediante Resolución N°258-2025-D-FAG, de fecha 24 de octubre del 2025, se resuelve Ampliar, POR ÚNICA VEZ, el plazo por el lapso de seis (06) meses, a partir del 08 de agosto del 2025 hasta el 08 de febrero del 2026; con la finalidad de evaluar y calificar la Sustentación de la Tesis antes mencionada, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Jorge Luis Saavedra Díaz
Dr. Ing. Mariano Agustín Ramos García
M.Sc. Ing. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Dr. Ing. Ricardo Chavarry Flores

Presidente
Secretario
Vocal
Patrocinador

El acto de Programación de Sustentación fue autorizado por RESOLUCIÓN N°004-2026-D-FAG, de fecha 13 de enero del 2026.

La tesis fue presentada y sustentada por el/la Bachiller **SEGURA DIAZ DUSTIN ANDRE ALEJANDRO** tuvo una duración de 9.0 minutos. Después de la sustentación y absueltas las preguntas de los Miembros de Jurado, se procedió a la calificación respectiva otorgándole el calificativo de 17.41 en la escala vigesimal, con mención B. BUENO

Por lo que queda **APTO (A)** para obtener el Título Profesional de Ingeniero (a) Agrónomo (a) de acuerdo con la Ley Universitaria N° 30220 y el Art. 46° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 13.15, se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad el presente acto con las firmas de los Miembros de Jurado.

Dr. Ing. Jorge Luis Saavedra Díaz
Presidente

Dr. Ing. Mariano Agustín Ramos García
Secretario

M.Sc. Ing. Roso Próspero Pasache Chapoñan
Vocal

Dr. Ing. Ricardo Chavarry Flores
Patrocinador

Observación:

.....

.....

.....

CONSTANCIA DE VERIFICACION DE ORIGINALIDAD

Yo, Ricardo Chavarry Flores, usuario revisor de **Tesis** ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ y/o Trabajo Académico ☐

Titulado: **Análisis del control ecológico de *Spodoptera Frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays*) mediante imágenes multiespectrales obtenidas de VANT en la costa norte peruana.**

Cuyos autores son: **José Edwin Millan Ramírez**, con DNI N° **75683154** y **Dustin André Alejandro Segura Díaz**, con DNI N° **72033719**, declaro que la evaluación realizada por el Programa informático ha arrojado un porcentaje de similitud **12 %**, verificables en el Resumen del Reporte automatizado de similitudes que se acompaña. El suscrito analizó el reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 12 de febrero del 2026



Dr. Ricardo Chavarry Flores

DNI 16497724

Adjunto:

Resumen de Reporte automatizado de similitudes

Recibo digital

Análisis del control ecológico de Spodoptera Frugiperda en el cultivo de maíz (Zea mays) mediante imágenes multiespectrales obtenidas de VANT en la costa norte peruana

INFORME DE ORIGINALIDAD

12%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

docplayer.es

Fuente de Internet

2%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.upse.edu.ec

Fuente de Internet

1%

4

fddocuments.es

Fuente de Internet

1%

5

www.revistas.unitru.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.inia.gob.pe

Fuente de Internet

1%

7

revistas.udistrital.edu.co

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.unsa.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

10

repositorio.uaaan.mx

Fuente de Internet

<1%

11

prosit-p.co.jp

Fuente de Internet

<1%

12

revistas.ufpr.br

Fuente de Internet

<1%



Dr. Ricardo Chavarry Flores
DNI: 16497724
Asesor

13	purl.org Fuente de Internet	<1 %
14	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %
16	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1 %
17	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	Gloria Cleopatra Rojas-Cangahuala, Pedro Alfonso Velásquez-Tapullima, Gina Fernanda Lopez-Orozco, Nataly Díaz-Vásquez et al. "Research Training: Research Attitudes and Skills in Public Management Students from a Peruvian University", Academic Journal of Interdisciplinary Studies, 2024 Publicación	<1 %
20	up-rid.up.ac.pa Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.upa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %



Dr. Ricardo Chavarry Flores
DNI: 16497724
Asesor

<1 %

26 idetec.frvn.utn.edu.ar
Fuente de Internet

<1 %

27 repository.unad.edu.co
Fuente de Internet

<1 %

28 www.scielo.sa.cr
Fuente de Internet

<1 %

29 scielo.sld.cu
Fuente de Internet

<1 %

30 repositorio.unsm.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

31 Submitted to Universidad Europea de Madrid
Trabajo del estudiante

<1 %

32 riunet.upv.es
Fuente de Internet

<1 %

33 1library.co
Fuente de Internet

<1 %

34 Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes
Trabajo del estudiante

<1 %

35 aatrujillo.blogspot.cl
Fuente de Internet

<1 %

36 repositorio.lamolina.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

37 repositorio.utea.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

38 tesis.unsm.edu.pe
Fuente de Internet

<1 %

39 Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA
Trabajo del estudiante

<1 %



Dr. Ricardo Chavarry Flores
DNI: 16497724
Asesor

40	Submitted to Universidad Técnica de Machala	<1 %
	Trabajo del estudiante	
41	es.scribd.com	<1 %
	Fuente de Internet	
42	repositorio.ual.es	<1 %
	Fuente de Internet	
43	repositorio.unh.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
44	www.cm.colpos.mx	<1 %
	Fuente de Internet	
45	Submitted to Universidad Hispanoamericana	<1 %
	Trabajo del estudiante	
46	Submitted to Universidad de Cantabria	<1 %
	Trabajo del estudiante	
47	alicia.concytec.gob.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
48	repositorio.autonoma.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
49	repositorio.unp.edu.pe	<1 %
	Fuente de Internet	
50	repository.udca.edu.co	<1 %
	Fuente de Internet	

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo



Dr. Ricardo Chavarry Flores
DNI: 16497724
Asesor



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: José Edwin Millan Ramírez Dustin André Alejandro Segura Díaz
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Análisis del control ecológico de *Spodoptera Frugiperda* en el ...
Nombre del archivo: ultiespectrales_obtenidas_de_VANT_en_la_costa_norte_peruan...
Tamaño del archivo: 21.03M
Total páginas: 101
Total de palabras: 16,558
Total de caracteres: 95,457
Fecha de entrega: 15-ene-2026 07:33p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2857590676



FACULTAD DE AGRONOMÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



TESIS

Análisis del control ecológico de *Spodoptera Frugiperda* en el cultivo
de maíz (*Zea mays*) mediante imágenes multiespectrales obtenidas
de VANT en la costa norte peruana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÓNOMO

AUTORES

Millan Ramírez José Edwin
Segura Díaz Dustin André Alejandro

ASESOR

Dr. Chavarry Flores Ricardo

Lambayeque – Perú
2026

Dr. Ricardo Chavarry Flores
DNI: 16497724

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental para alcanzar esta etapa de mi formación profesional. Gracias por su confianza, sus consejos y por brindarme los recursos necesarios para continuar avanzando. A mi familia, por acompañarme en los momentos más exigentes y recordarme que nunca estoy solo en este camino.

De manera muy especial, dedico este trabajo a mi mayor motivación: mi hijo Santiago. Su presencia ha sido mi inspiración diaria para perseverar, mantenerme firme ante las dificultades y no rendirme jamás. Este logro es, en gran medida, por él y para él.

Millan Ramírez José Edwin

Este trabajo va dedicado especialmente a mi Madre, cuyo respaldo y ayuda incondicional me han acompañado más allá de los años universitarios, muchas veces con sacrificios silenciosos, por su amor, comprensión y ejemplo de fortaleza, por su capacidad para afrontar cada desafío y, por más retador que parezca, salir siempre victoriosa. Con el sacrificio y esfuerzo que conllevó este camino universitario, con amor, para ti.

A mis hermanos, por ser cómplices, compañía y soporte, por recordarme siempre que nunca camino solo.

A César, Hilda, Carlos y Oscar, por su presencia y apoyo durante la etapa universitaria, con consejos, palabras de aliento y desayunos apurados hicieron más llevadero el camino para llegar a este momento, con mucho cariño para ustedes.

Segura Díaz Dustin André Alejandro

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ser mi guía constante, mi fuente de inspiración y por otorgarme la fortaleza necesaria para continuar con firmeza hasta alcanzar uno de mis sueños más anhelados.

A mis padres y a toda mi familia, por su amor incondicional, su esfuerzo permanente y los sacrificios que han realizado a lo largo de estos años. Su apoyo ha sido fundamental para llegar a este importante logro.

A todos los profesionales que me brindaron su respaldo y contribuyeron de manera significativa al desarrollo exitoso de este trabajo. En especial, expreso mi gratitud a quienes me recibieron con generosidad, compartieron sus conocimientos y me orientaron de manera comprometida durante este proceso formativo.

Millan Ramírez José Edwin

A Dios, por ser el artífice de tener la dicha de compartir esta experiencia junto a seres amados que apoyaron desde diferentes tribunas este camino muchas veces complicado.

A Camila Cruz y Elvis Vera, especialistas de AGPRES - INIA, por la instrucción y orientación en esta experiencia llena de aprendizaje.

Al Ing. Ricardo Chavarry, por su paciencia y disposición de apoyarnos en este proyecto

Segura Díaz Dustin André Alejandro

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar la eficacia del tratamiento ecológico propuesto por el INIA en su manual técnico “Manejo ecológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz amarillo duro en las regiones de Lambayeque y La Libertad” y un tratamiento químico, a través de índices de vegetación extraídos de imágenes multiespectrales. La metodología empleada involucró la evaluación manual de campo, obtención de imágenes multiespectrales a través de VANT, interpretación de índices vegetales y correlación con los datos obtenidos en campo utilizando el software Rstudio y Jamovi.

El diseño experimental utilizado fue un Diseño Completamente al Azar, constó de 3 parcelas en observación: testigo absoluto, tratamiento ecológico y tratamiento químico. Cada parcela estuvo dividida en 4 repeticiones. Los modelos estadísticos utilizados para el análisis de datos fueron análisis de varianza y correlaciones.

El tratamiento químico se destacó como el más efectivo porque presentó el menor grado de daño, parámetro comparado con las indicaciones del manual de control de *Spodoptera frugiperda*, siendo el tratamiento ecológico el segundo más efectivo por encima del tratamiento testigo.

Para el presente estudio no se encontraron correlaciones significativas entre el grado de daño y los índices de vegetación, lo que restringe el uso de estos índices como herramientas fiables para el diagnóstico del ataque por *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz.

Palabras clave: Índices vegetativos, *Spodoptera frugiperda*, imágenes multiespectrales, control ecológico, maíz.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effectiveness of the ecological treatment proposed by INIA in its technical manual “Manejo ecológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz amarillo duro en las regiones de Lambayeque y La Libertad”, compared with a chemical treatment, through vegetation indices obtained from multispectral images.

The methodology included manual field evaluations, acquisition of multispectral images using UAVs, interpretation of vegetation indices, and correlation with field data through RStudio and Jamovi software.

A Completely Randomized Design was applied, consisting of three plots: absolute control, biological treatment, and chemical treatment, each divided into four replicates. The statistical models used for data analysis were analysis of variance and correlations.

The chemical treatment stood out as the most effective because it presented the lowest degree of damage, a parameter compared to the guidelines in the *Spodoptera frugiperda* control manual. The ecological treatment was the second most effective, surpassing the control.

For this study, no significant correlations were found between the degree of damage and vegetation indices, which limits the use of these indices as reliable tools for diagnosing *Spodoptera frugiperda* infestation in corn.

Keywords: Vegetative index, *Spodoptera frugiperda*, multispectral images, ecological monitoring, corn.

ÍNDICE

I.	Introducción	13
II.	Diseño Teórico	16
2.1.	Antecedentes.....	16
2.2.	Bases teóricas	18
2.3.	Taxonomía	19
2.4.	Morfología de la planta de maíz	19
2.5.	Fenología.....	20
2.6.	Etapas de crecimiento del maíz.....	21
2.7.	Requerimientos edafoclimáticos.....	22
2.7.1.	<i>Altura</i>	22
2.7.2.	<i>Clima</i>	22
2.7.3.	<i>Suelo</i>	22
2.7.4.	<i>Humedad</i>	23
2.7.5.	<i>Temperatura</i>	23
2.8.	Maíz amarillo duro.....	23
2.9.	INIA 619 megahíbrido.....	24
2.9.1.	<i>Características morfológicas (MINAGRI, 2012)</i>	24
2.9.2.	<i>Características agronómicas (MINAGRI, 2012).</i>	25
2.9.3.	<i>Manejo del cultivo</i>	25

2.10.	Plagas y enfermedades.....	25
2.10.1.	<i>Plagas</i>	25
2.10.2.	<i>Enfermedades</i>	27
2.10.3.	<i>Insecto plaga en estudio</i>	28
2.10.3.1.	Descripción y ciclo de vida de <i>Spodoptera frugiperda</i>	28
2.10.3.2.	Taxonomía	29
2.10.3.3.	Daños que ocasiona a la planta.....	29
2.10.3.4.	Impacto económico de las pérdidas causadas por cogollero	30
2.10.3.5.	Control ecológico	30
2.10.3.6.	Controladores biológicos utilizados en el paquete de manejo ecológico de <i>Spodoptera frugiperda</i> propuesto por el INIA.....	31
2.11.	Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT)	31
2.12.	Monitoreo de plagas y enfermedades.....	33
2.13.	Imágenes multiespectrales	33
2.14.	Índices de vegetación.....	34
2.14.1.	<i>Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)</i>	34
2.14.2.	<i>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI)</i>	34
2.14.3.	<i>Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE)</i>	35
2.14.4.	<i>Índice de Ratio de Absorción de Clorofila (MCARI)</i>	36
2.14.5.	<i>Índice de Clorofila de Borde Rojo (CIRE)</i>	36

III.	Marco Metodológico	37
3.1.	Ubicación del área de estudio	37
3.2.	Caracterización del campo experimental	38
3.3.	Diseño de contrastación de hipótesis	38
3.4.	Población y muestra de estudio.....	38
3.5.	Materiales y equipos de campo	38
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.7.	Características a registrar en las cartillas fitosanitarias	40
3.8.	Análisis estadístico.....	40
3.9.	Metodología para la obtención de datos	41
3.9.1.	<i>Distribución de las parcelas y tratamientos experimentales</i>	41
3.9.2.	<i>Liberación de material biológico y colocación de trampas de luz</i>	42
3.9.3.	<i>Evaluaciones fitosanitarias</i>	43
3.9.4.	<i>Vuelo de VANT</i>	47
3.9.5.	<i>Fertilización y dosificación de agroquímicos</i>	47
3.9.6.	<i>Características e índices a analizar a partir de las imágenes multiespectrales</i>	48
IV.	Resultados y Discusiones.....	49
4.1.	Grado de daño foliar bajo tres alternativas de control de <i>Spodoptera frugiperda</i> durante el periodo de evaluación	49

4.2. Análisis estadístico de los tratamientos evaluados mediante índices de vegetación .	
51	
4.2.1. <i>Índice de Clorofila de Borde Rojo (CIRE)</i>	51
4.2.2. <i>Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI)</i>	53
4.2.3. <i>Índice de Ratio de Absorción de Clorofila (MCARI)</i>	55
4.2.4. <i>Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE)</i>	57
4.2.5. <i>Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)</i>	59
4.3. Variables evaluadas manualmente durante el periodo de estudio.....	61
4.3.1. <i>Grado de daño</i>	62
4.3.2. <i>Plantas infestadas</i>	63
4.3.3. <i>Larvas vivas encontradas</i>	64
4.3.4. <i>Adultos de S. frugiperda capturados con trampas mixtas</i>	65
4.4. Matrices de correlación entre grado de daño e índices de vegetación	67
4.5. Discusiones	70
V. Conclusiones	72
VI. Recomendaciones.....	73
VII. Referencias.....	74
VIII. Anexos	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Fenología del maíz</i>	21
Tabla 2 <i>Distribución para el análisis estadístico.</i>	41
Tabla 3 <i>Modelo de cartilla de evaluación</i>	45
Tabla 4 <i>Escala de evaluación del daño de Spodoptera frugiperda en plantas de maíz</i> ..	46
Tabla 5 <i>Resultados del ANOVA del grado de daño foliar en maíz durante el periodo de evaluación</i>	49
Tabla 6 <i>Variación temporal del grado de daño en maíz según los tratamientos de manejo</i>	50
Tabla 7 <i>Resultados del ANOVA del índice CIRE durante el periodo de evaluación</i>	51
Tabla 8 <i>Variación temporal del índice CIRE en maíz según los tratamientos de manejo</i>	51
Tabla 9 <i>Resultados del ANOVA del índice GNDVI durante el periodo de evaluación</i>	53
Tabla 10 <i>Variación temporal del índice GNDVI en maíz según los tratamientos de manejo</i>	53
Tabla 11 <i>Resultados del ANOVA del índice MCARI durante el periodo de evaluación</i> ..	55
Tabla 12 <i>Variación temporal del índice MCARI en maíz según los tratamientos de manejo</i>	55
Tabla 13 <i>Resultados del ANOVA del índice NDRE durante el periodo de evaluación</i>	57
Tabla 14 <i>Variación temporal del índice NDRE en maíz según los tratamientos de manejo</i>	57
Tabla 15 <i>Resultados del ANOVA del índice NDVI durante el periodo de evaluación</i>	59

Tabla 16 <i>Variación temporal del índice NDVI en maíz según los tratamientos de manejo</i>	59
Tabla 17 <i>Variables obtenidas de las cartillas de evaluación fitosanitaria</i>	61
Tabla 18 <i>Análisis de correlación entre variables evaluadas manualmente a lo largo del periodo de estudio.</i>	66
Tabla 19 <i>Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento ecológico</i>	67
Tabla 20 <i>Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento químico</i>	68
Tabla 21 <i>Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento testigo</i>	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ubicación geográfica de la parcela experimental</i>	37
Figura 2 <i>Distribución DCA de las unidades experimentales</i>	40
Figura 3 <i>Análisis temporal del índice CIRE en maíz bajo tres alternativas de control</i> ...	52
Figura 4 <i>Análisis temporal del índice GNDVI en maíz bajo tres alternativas de control</i> ..	54
Figura 5 <i>Análisis temporal del índice MCARI en maíz bajo tres alternativas de control</i> ..	56
Figura 6 <i>Análisis temporal del índice NDRE en maíz bajo tres alternativas de control</i> ..	58
Figura 7 <i>Análisis temporal del índice NDVI en maíz bajo tres alternativas de control</i> ..	60
Figura 8 <i>Dinámica del grado de daño foliar en maíz bajo tres estrategias de control</i> ...	62
Figura 9 <i>Porcentaje de plantas infestadas por larvas vivas de Spodoptera frugiperda</i> ...	63
Figura 10 <i>Promedio de larvas vivas por planta</i>	64
Figura 11 <i>Promedio de adultos de cogollero capturados en las trampas mixtas</i>	65
Figura 12 <i>Delimitación del campo experimental y tendido de cintas de riego</i>	89
Figura 13 <i>Siembra del maíz INIA-619</i>	90
Figura 14 <i>Establecimiento de trampas de luz para el tratamiento ecológico</i>	91
Figura 15 <i>Establecimiento de los puntos de control para solucionar el desfase de imágenes</i>	92
Figura 16 <i>Liberación de Chrysoperla carnea</i>	93
Figura 17 <i>Evaluación manual del grado de daño de las plantas</i>	93
Figura 18 <i>Cámaras multiespectrales MicaSense y panel de calibración</i>	94
Figura 19 <i>Ensamblado e instalación de las cámaras multiespectrales en el Drone DJI Matrice 300 RTK</i>	94
Figura 20 <i>Vuelos de dron sobre la parcela para la obtención de las imágenes multiespectrales</i>	95

Figura 21 <i>Aplicación de nemátodos entomopatógenos del género Heterorhabditis.</i>	96
Figura 22 <i>Larvas de S. frugiperda muerta producto del parasitismo de los nemátodos entomopatógenos.</i>	97
Figura 23 <i>Flujo de trabajo para obtención de imágenes multiespectrales</i>	98
Figura 24 <i>Flujo de trabajo para la obtención de datos</i>	99
Figura 25 <i>Vista de la parcela experimental</i>	100

I. Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2021), la inseguridad alimentaria en el Perú ha experimentado un aumento significativo a consecuencia de la pandemia (COVID-19), pasando de 8 a 16.6 millones de personas expuestas a esta situación. Uno de los aspectos de la inseguridad alimentaria es el consumo de productos agrícolas con presencia de residuos tóxicos que son perjudiciales para la salud.

En los últimos años, a nivel mundial aproximadamente se emplean 2 millones de toneladas de pesticidas, de los cuales el 47,5 % son herbicidas, 29,5 % son insecticidas, 17,5 % son fungicidas y el 5,5 % son otros pesticidas (Sharma et, al., 2019). En el caso de América de sur, en algunos países, el promedio de agroquímicos aplicados por hectárea utilizados en tierras agrícolas según la FAO es de 6,5 a 60 Kg/ha (Carvalho, 2017).

El uso indiscriminado de agroquímicos en el Perú ha aumentado progresivamente pasando de 8617.57 toneladas en el 2018 a 10630.59 en el 2020 (FAO, 2022). Generando resistencia por parte de plagas y enfermedades, el cual viene afectando a insectos benéficos (polinizadores, depredadores y parasitoides), al medio ambiente y al producto cosechado.

Durante el proceso de aplicación de un plaguicida, solo el 1% alcanza al insecto objetivo, mientras que el 55% es retenido y/o depositado en el follaje y suelo, y el 44% restante es liberado a la atmósfera y sistemas acuáticos por escorrentía (Jiménez, 2022).

Frente a esta situación se presenta alternativas como el manejo ecológico con el uso de controladores biológicos, trampas mixtas, atrayentes sexuales, control cultural y uso de productos de etiqueta verde, generando beneficios tales como seguridad alimentaria, inocuidad y conservación del medio ambiente.

Por otro lado, con el desarrollo de tecnologías como vehículos aéreos no tripulados y cámaras multispectrales, surgen opciones que permiten disminuir el tiempo empleado en evaluar el estado fitosanitario de un cultivo, a través de la obtención de imágenes que ayudan a identificar y detectar áreas que requieran mayor cuidado (Ramírez et al., 2022).

Además, a partir de las imágenes multispectrales, se puede observar anomalías en el desarrollo fisiológico del cultivo, como pueden ser: deficiencias nutricionales, afectación por insectos e incidencia de enfermedades, cambio de pigmentación en el follaje, entre otros; lo que permitiría actuar de manera oportuna, reduciendo el riesgo de pérdida en los cultivos (Zhang & M. Kovacs, 2012).

Esta tesis, a través del uso de índices vegetativos extraídos de imágenes multispectrales, propone una forma de evaluar el daño causado por *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz y explorar el impacto de la aplicación del tratamiento biológico propuesto por el INIA para el control de *S. frugiperda*, comparándolo con un tratamiento químico tradicional y un tratamiento de control. Se pretende proporcionar una alternativa eficaz a una problemática que afecta con frecuencia a agricultores de la región Lambayeque. La relevancia de esta investigación radica en su potencial para ofrecer una nueva forma de evaluación y reconocimiento de la presencia de *S. frugiperda* en extensas áreas de cultivo de maíz optimizando el tiempo empleado, permitiendo la intervención del control oportuno por parte de los agricultores dedicados a la producción de maíz. Los resultados obtenidos en el presente estudio, además de aportar conocimiento científico valioso, puede servir de guía para realizar evaluaciones usando los índices vegetativos extraídos a partir de imágenes multispectrales, impulsando la adopción de nuevas tecnologías por parte de los agricultores. En última instancia, esta tesis pretende promover la investigación de la aplicación de tecnologías de agricultura de precisión por parte de la comunidad universitaria con la finalidad de mejorar las producciones agrícolas y la vida de los agricultores locales.

El problema de la investigación establecido fue: ¿Cuál es la eficacia del control ecológico de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) analizado mediante imágenes multiespectrales en la costa norte del Perú? El objetivo general propuesto fue: - Analizar el grado de eficacia del control ecológico en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) mediante imágenes multiespectrales en la costa norte del Perú. Y los objetivos específicos fueron: Estimar la eficacia del control ecológico de *Spodoptera frugiperda* a partir de los índices vegetativos obtenidos de las imágenes multiespectrales, interpretar las imágenes multiespectrales y sus índices vegetativos por cada unidad experimental, determinar el estado sanitario de las plantas en las parcelas experimentales para contrastarlas con los índices vegetativos e identificar que índices vegetativos utilizados tienen una mejor correlación con los parámetros evaluados en los tratamientos.

II. Diseño Teórico

2.1. Antecedentes

Pérez et al. (2019) con el objetivo de generar una alternativa ecológica en el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz amarillo duro y utilizando el método de evaluación directa en campo se determinó en la investigación que, dentro de los 5 tratamientos estudiados, el tratamiento ecológico compuesto por trampas mixtas de luz LEDs con melaza al 10%, larvas de crisopas del II estadio y los infectivos juveniles de nematodos entomopatógenos que controlan adultos, huevos y larvas de *S. frugiperda*, tiene un mayor efecto en el control del insecto plaga; los rendimientos de producción de maíz obtenido en la parcela que se encontraba bajo este tratamiento fueron destacados con respecto a los otros tratamientos y similares al tradicional manejo químico de *S. frugiperda* en campo.

Sánchez et al. (2019), con el objetivo de determinar el control biológico de *Spodoptera frugiperda* en cultivo de maíz mediante el uso de nematodos entomopatógenos, evaluaron la eficacia de *Heterorhabditis bacteriophora* y *Heterorhabditis sp.* (nativo). *H. bacteriophora* mostró una menor CL50-48 (182,58 Ijs/larva) y mayor mortalidad (84,44%) a 750 Ijs/larva, en comparación con *H. sp.* (CL50-48 de 262,68 Ijs/larva y 46,66% de mortalidad a 200 Ijs/larva). Se concluyó que el tratamiento con *H. bacteriophora* obtuvo el mejor resultado para controlar larvas de cogollero en tercer estadio. Se observaron diferencias significativas entre los tratamientos y concentraciones evaluadas. Estos resultados respaldan el uso de nematodos entomopatógenos como agentes de control biológico efectivos y seguros para el medio ambiente.

Triana (2021) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de *Chrysoperla carnea* en el control de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz amarillo duro en la comuna San Marcos, provincia de Santa Elena, Ecuador; se evaluó la eficiencia de la liberación a los 30, 45 y 60 días después de la siembra mediante la estimación en laboratorio de la tasa de depredación, presas

trampa, restos de presas, marcado de presas y restos intestinales en el depredador; determinándose que la aplicación de *C. carnea* resultó efectiva como controlador de *S. frugiperda* en el cultivo de maíz debido a su gran capacidad de predación durante los estadios larvarios, la concentración de 30.000 ind/ha resultó ser la más efectiva en el control del insecto plaga y la fecha de liberación más efectiva fue a los 30 días después de la siembra.

Jingcheng et al. (2015) indican que el monitoreo del gusano cogollero es de suma importancia ya que este insecto se desarrolla con rapidez, es por ello que la finalidad de dicha investigación fue establecer las características espectrales idóneas para la localización de *Spodoptera frugiperda* y generar una metodología de mapeo a escala departamental sobre la base de datos de imágenes multiespectrales. Esta metodología sugiere que el uso de imágenes multiespectrales de resolución moderada y una estrategia de umbral optimizada es capaz de producir un mapa razonable de daños por insectos con una exactitud general aumentada de 0,50 a 0,79. Por lo tanto, dicho método podría proveer una alternativa económica y eficiente a los métodos convencionales, que dependen principalmente de laboriosas investigaciones de campo.

(Lehmann Karl et al., 2015). En su estudio emplearon un VANT con una cámara digital que fue ensamblada y calibrada para registrar también la reflexión infrarroja cercana (NIR), con la finalidad de monitorear los niveles de infestación del escarabajo bupréstido del roble (*Agrilus biguttatus* Fab.) en roble (*Quercus* sp.). Se utilizó una clasificación derivada del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI mod) modificado para distinguir entre cinco clases de salud de la vegetación: infestada, ramas sanas o muertas, otra vegetación y claros del dosel. Donde obtuvieron un índice de concordancia kappa (KIA) general de 0.81 y 0.77.

(Albetis et al., 2017). Analizaron la factibilidad de discriminar la sintomatología de la flavescencia dorada en variedades de vid tintos y blancos frente al follaje saludable, haciendo uso de imágenes multiespectrales adquiridas desde un VANT. Los resultados indican que la

sinomatología de la enfermedad se visualizó mejor en las variedades de vid tintos. No obstante, a pesar de tener errores en la clasificación de píxeles con respecto a la enfermedad, es posible realizar mapeos con imágenes multiespectrales.

(Gibson Poole et al., 2017). En su estudio evaluaron la efectividad del uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) equipado con dos cámaras comerciales, una estándar y otra modificada para detectar longitudes de onda de infrarrojo cercano (NIR), en la identificación temprana de la enfermedad de la pierna negra causada por *Pectobacterium atrosepticum* en cultivos de papa. Obteniendo como resultado un coeficiente kappa de 0.75 para el análisis visual y 0.61 para el análisis de las imágenes. Sin embargo, pese a que los resultados son prometedores, se requiere un análisis más profundo para lograr que el nivel de precisión de las imágenes sea equivalente al análisis visual.

(Stanton et al., 2017). Utilizaron un vehículo aéreo no tripulado de ala fija para estimar el daño al sorgo causado por un pulgón invasor *Melanaphis sacchari*. Se promediaron valores de NDVI y altura de la planta por parcela, y se evaluó la eficacia para identificar el estrés vegetal inducido por pulgones. Las mediciones VANT de altura de planta y NDVI se correlacionaron con los promedios de parcela del rendimiento y la densidad de insectos. Se observaron correlaciones negativas entre la densidad de pulgones y NDVI cerca del final de la temporada en los cultivos más dañados.

2.2. Bases teóricas

El maíz (*Zea mays*) es una especie con origen en el continente americano, de manera general se considera que fue uno de los primeros cultivos hace aproximadamente 8 000 años (Paliwal, 2001), cronistas mencionan que los indígenas sudamericanos lo consumían en forma de sopas, guisos, pasteles o tostados, también era utilizado en la fabricación de una bebida

denominada chicha, que formaban parte de ceremonias y funerales incas (Sánchez I. , 2014), es hasta la actualidad uno de los cereales con mayor importancia dentro de la dieta mundial. En el presente, es el cultivo más extendido en nuestro planeta (Instituto Nacional de Innovación Agraria [INIA], 2020).

2.3. Taxonomía

Según (Takhtajan, 1980) la clasificación taxonómica del maíz es:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Liliopsida

Orden: Poales

Familia: Poaceae

Género: Zea

Especie: Zea mays L.

2.4. Morfología de la planta de maíz

Es una monocotiledónea anual que pertenece al orden Poales y familia Poaceae (Gramineae). El maíz es una planta monoica, lo que quiere decir que cuenta con flores masculinas y femeninas, las primeras están ubicadas en la panoja que se encuentra en la parte terminal del tallo, y las flores femeninas que se agrupan en las mazorcas que tienen origen a la altura de la quinta o sexta hoja contando desde la panoja (INIA, 2020), el grano de las mazorcas recibe el nombre de cariósipide y constituye alrededor del 42% del peso seco de la planta (Sánchez I. , 2014).

El sistema radicular de la planta de maíz está constituido por raíces de dos tipos: raíces adventicias y raíces nodulares, que representan el 52 % y 48% de la masa total de raíz de la planta respectivamente. La función de las raíces adventicias, además cumplir la función de absorción, esta se ocupa del anclaje, manteniendo la planta erecta y así evitando el acame (Paliwal, 2001).

El maíz es una típica planta Poaceae, formada por tallos con presencia de nudos y entrenudos (INIA, 2020) el tallo es simple y erecto, llegando a alcanzar alturas entre los 2 y 6 metros según la variedad y el ecosistema en el que se desarrolla la planta (Sánchez I. , 2014).

Las hojas son arregladas de forma alterna y tienen origen en las yemas de los nudos, cada hoja consiste en la lámina foliar de forma alargada y lanceolada, que posee una marcada nervadura central y venas delgadas paralelas (INIA, 2020).

La planta de maíz tiende a presentar una naturaleza protándrica, pues con normalidad el desarrollo de las flores masculinas ocurre antes de la floración femenina. Es un cultivo alógamo, es decir, la fecundación en las flores femeninas es realizada por el polen de otras plantas que ha sido diseminado por el viento (INIA, 2020).

Las semillas están adheridas al fruto que son del tipo cariósipide, son ovoides, variable en color, con tamaño de 0.5 hasta 2.5 cm de largo y 0.5 a 1 cm de ancho. Cuando el grano ha alcanzado la madurez, posee una capa de aleurona, un endospermo almidonoso y un embrión. (VILCA , 2010).

2.5. Fenología

El crecimiento fenológico está caracterizado por la aparición secuencial de distintos órganos. Este ciclo de crecimiento se divide en dos fases principales: la vegetativa, que abarca desde la germinación hasta la floración, y la reproductiva, que culmina con la formación del

fruto. Cada una de estas fases está marcada por el desarrollo de distintos órganos y procesos, como la formación de hojas, la producción de flores y la maduración de los granos (Tumbaco, 2019).

2.6. Etapas de crecimiento del maíz

Tabla 1

Fenología del maíz

Etapas	Días	Características
VE	5	El coleóptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja.
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja.
Vn		Es visible el cuello de la hoja número “n” (“n” es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; “n” generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo).
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panoja.
R0	57	Antesis o floración masculina, el polen se comienza a arrojar.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Etapas de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
R3	80	Etapas lechosas. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
R4	90	Etapas masosas. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano.
R5	102	Etapas dentadas. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los

tipos tanto cristalinos como dentados es visible una “línea de leche” cuando se observa el grano desde el costado.

- R6 112 Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35%.
-

Nota. Fuente: (Oñate, 2016).

2.7. Requerimientos edafoclimáticos

2.7.1. *Altura*

El maíz es una planta que se desarrolla en diversos rangos altitudinales, desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 4,000 m.s.n.m. Su presencia es notable en todas las áreas de nuestro país, ya que está ampliamente distribuido a lo largo y ancho de nuestro territorio. (Vilca, 2010).

2.7.2. *Clima*

El crecimiento del maíz depende de condiciones adecuadas de agua, temperatura e iluminación. Es una planta de día corto y normalmente florece con menos de 10 horas de luz, pero, tiene la capacidad de tolerar días largos de 12 a 14 horas de luz y temperaturas que oscilan entre los 20 °C y 30 °C, gracias a su extraordinaria adaptabilidad. (Guzmán, 2017).

2.7.3. *Suelo*

El maíz es versátil en cuanto a los suelos que puede habitar, su óptimo desarrollo se logra en suelos de textura intermedia que estén drenados, aireados y profundos. En suelos poco profundos y sueltos, se necesitará realizar riegos más frecuentes para garantizar un crecimiento adecuado. El maíz prefiere suelos con un pH neutro, puede prosperar en un rango de pH que va desde 5.5 hasta 8.0. Además, puede tolerar ciertos niveles de salinidad (Vilca, 2010).

2.7.4. *Humedad*

El maíz necesita un mayor suministro de agua especialmente durante las etapas iniciales de su crecimiento, así como durante la floración y la formación de frutos. En promedio, requiere alrededor de 650 mm de agua durante todo su ciclo de crecimiento. Los momentos críticos en términos de necesidades hídricas suelen ser durante el espigamiento, la formación de la mazorca y el llenado de los granos (SENAMHI, 2021).

2.7.5. *Temperatura*

La temperatura es un factor fundamental que afecta el crecimiento del maíz. Los diferentes tipos de maíz se categorizan como de maduración temprana o tardía en función de la cantidad de calor que necesitan para completar ciertas etapas de su desarrollo. Se considera que la temperatura óptima para el crecimiento del maíz en regiones de baja y mediana altitud oscila entre los 30°C y 34°C, mientras que para las variedades tropicales de zonas elevadas es alrededor de los 21°C. Temperaturas fuera de este rango pueden tener efectos adversos en procesos vitales como la fotosíntesis, la translocación de nutrientes, la fertilidad de las flores, la polinización y otros aspectos metabólicos (Soria, 2015).

2.8. Maíz amarillo duro

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, principal país productor de maíz amarillo duro, durante la campaña 2020/2021, se produjeron 1 128 463 miles de toneladas de maíz amarillo duro en el mundo, representando un aumento de la producción de 1% respecto a la campaña pasada (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2022).

En el Perú, el maíz amarillo duro es un importante insumo en la elaboración de alimentos balanceados destinados a la industria avícola y porcícola, la producción durante la campaña 2020/2021 fue de 1,13 millones de toneladas, los productores peruanos declararon siembras de 280 216 hectáreas, en las que se presentaron una disminución del 11% de la producción con respecto a la campaña anterior, del que la región Lambayeque fue participe con (-11,1%) de la producción, siendo la disminución de las áreas cosechadas el principal factor de esta reducción (MIDAGRI, 2022).

2.9. INIA 619 megahíbrido

El Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA a través del Programa Nacional de Innovación Agraria en Maíz, con la intención de contribuir en el crecimiento de la producción de maíz amarillo duro a nivel nacional, pone a disposición el INIA 619 megahíbrido, híbrido simple formado por dos líneas tropicales provenientes del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) – México (MINAGRI, 2012).

Esta variedad presenta un alto potencial de rendimiento, alcanzando hasta 14 t/ha, es tolerante a plagas y enfermedades, y es capaz de adaptarse a los valles productores de maíz de la costa y selva peruana (MINAGRI, 2012).

2.9.1. Características morfológicas (MINAGRI, 2012)

- Altura de planta: 230 cm $\pm$ 10 cm
- Altura de mazorca: 102 cm $\pm$ 5 cm
- Longitud de mazorca: 22 cm $\pm$ 2 cm
- Diámetro de mazorca: 7 cm
- Peso de mazorca: 310 g $\pm$ 2 g

2.9.2. Características agronómicas (MINAGRI, 2012).

- Días a la floración: 60 a 70 días en verano; 75 a 90 días en invierno
- Período vegetativo: 140 a 150 días en verano 160 a 170 días en invierno

2.9.3. Manejo del cultivo

Las semillas son de menor tamaño, por su naturaleza de híbrido simple, en comparación con híbridos dobles o triples, por esto la siembra debe realizarse a menor profundidad y en suelos bien mullidos, después de haber tratado a la semilla para evitar el ataque de insectos al emerger la plántula (MINAGRI, 2012).

El cultivo debe tener un agroecosistema libre de malezas, principalmente durante las etapas iniciales del crecimiento, se deben controlar adecuadamente para evitar la competencia con las plántulas recién emergidas.

En cuanto a la fertilización se debe tener en cuenta las recomendaciones a partir del análisis de suelos, que es realizado para diagnosticar la fertilidad del mismo, permitiendo llevar a cabo enmiendas de ser necesario, para mantener la fertilidad y así obtener mejores rendimientos del cultivo (INIA, 2020), la primera fertilización se realiza aproximadamente a los 10 días después de la siembra y la segunda aplicación se debe aplicar a los 30 o 35 días después de la siembra, la fertilización es completada con abonos foliares (MINAGRI, 2012).

En suelos de texturas francas y franco arenosas, se debe aplicar riegos frecuentes pero ligeros hasta antes de la emergencia de la hoja bandera, posteriormente se aplican riegos pesados para obtener un grano lleno y con buen peso (MINAGRI, 2012).

2.10. Plagas y enfermedades

2.10.1. Plagas

- Gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda* J. E. Smith)

Una de las plagas más significativas que afecta el cultivo de maíz en América, especialmente en las regiones subtropicales y tropicales, es el gusano cogollero, los daños son aún más graves dependiendo de la temporada. Se han documentado pérdidas en el país debido a la presencia de este insecto, con impactos que oscilan entre un 13% y un 60% en la producción del cultivo. (Guevara, 2020).

- Gusano cañero (*Diatraea saccharalis*)

Representa la plaga más significativa para la caña de azúcar y, en nuestro país, también es responsable de ocasionar pérdidas considerables en el cultivo de maíz. También afecta al sorgo, aunque su impacto en este último no ha sido investigado como en los casos de la caña y el maíz. (Parody, 2011).

- Gusano choclero (*Helicoverpa zea*)

Es una plaga que pertenece al orden de los lepidópteros que atacan al cultivo de maíz, especialmente durante la etapa de reproducción, ocasionando daños desde la presencia de los órganos femeninos hasta la formación del grano. Además, las perforaciones que realizan y la acumulación de excremento propician la proliferación de hongos patógenos los cuales provocan la pudrición de la mazorca (Sánchez, 2023).

- Lorito verde (*Diabrotica spp*)

Este insecto se alimenta principalmente de raíces durante su fase larval y del cuello de la planta durante su fase adulta, ocasionando daños significativos en la etapa inicial del desarrollo vegetativo y facilitando el ingreso de patógenos. Los daños más críticos pueden terminar con una planta deformada, ramificada o con ahijamiento, lo que afecta directamente a la producción de las mazorcas (Jara, 2014).

- Pulgones (*Rhopalosiphum maydis*)

Son insectos que atacan desde inicios de la etapa vegetativa hasta la etapa reproductiva, causando marchitez en las plantas afectadas y en plantas con mayor infestación, las hojas se enrollan provocando la presencia de fumagina y causando la reducción de la actividad fotosintética y de la producción en general. (Jara, 2014).

- Gorgojo del grano (*Pagiocerus frontalis*)

Conocido entre los agricultores como el "gorgojo barrenador andino de los granos de maíz", se destaca como una plaga principal que afecta al maíz almacenado, mostrando una clara preferencia por el maíz con alto contenido de almidón. Este insecto penetra en el grano creando orificios circulares muy pequeños, gracias a sus mandíbulas bien desarrolladas. Los daños causados por los adultos de estos gorgojos son fácilmente visibles, manifestándose en pequeños agujeros en los granos de maíz (Álvarez, 2020).

2.10.2. Enfermedades

- Pudriciones de mazorca por Fusarium

Este hongo es conocido por causar lesiones necróticas y pudriciones en diferentes partes de la planta, como raíces, tallos y mazorcas, lo que representa un desafío significativo para la producción agrícola a nivel mundial. En casos severos, las mazorcas pueden pudrirse completamente, formando peritecios sobre las vainas (Solórzano et al., 2024).

- Carbón Común (*Ustilago maydis*)

Esta infección ocasiona la formación de grandes tumores o agallas en la mazorca. Las condiciones climáticas que favorecen su desarrollo son diversas, el ataque de este patógeno llega a ser más crítico en ambientes húmedos (HR 72-80%) y templados (17-20 °C) (Aguayo et al., 2021).

- Achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkeli*)

Es una enfermedad frecuente en el cultivo de maíz, puede convertirse en un factor crítico en la producción de grano que se realiza en zonas tropicales y subtropicales del continente americano. Los síntomas que se presentan en la planta son: coloraciones rojizas en los ápices de las hojas jóvenes y enanismo provocado por el acortamiento de los entrenudos. El vector transmisor de esta enfermedad es *Dalbulus maidis*, llega a tener 100% de efectividad en la transmisión (Hernández, 2008).

2.10.3. Insecto plaga en estudio

Entre los diferentes insectos plaga que atacan al cultivo de maíz, se encuentra el gusano cogollero conocido técnicamente como *Spodoptera frugiperda*, ya que es la plaga que más daño ocasiona al cultivo de maíz (López, 1990), en toda su etapa fenológica (Sarmiento & Casanova, 1975), ocasionando pérdidas que van desde los 13 a 60% de la producción, generalmente estos daños se producen con mayor intensidad en las distintas regiones tropicales y subtropicales de América.

2.10.3.1. Descripción y ciclo de vida de *Spodoptera Frugiperda*

Según Negrete & Morales (2003) *S. frugiperda* en su ciclo de vida pasan por 4 etapas que son huevo, larva, pupa y adulto. Este insecto presenta un dimorfismo sexual, las características de los adultos son; presentan una extensión alar que va desde los 20 a 40 mm siendo las alas anteriores de color pardo-grisáceas con diminutas manchas violáceas en los machos y grisáceas en las hembras. (Campuzano, 2018)

En toda su etapa de desarrollo las hembras llegan a ovipositar en promedio 1000 huevos los cuales están cubiertos con filamentos de ceda y escamas secretadas por la misma (Senasica, 2021). Esta masa de huevos es de forma globosa con estrías radiales que va cambiando de color a

medida que se aproxima a la eclosión (Guevara, 2020). Una vez emergidas las larvas se alimentan del corion de las posturas, y viven agrupados en la parte baja de las plantas, los primeros estadios son de hábitos diurnos, mientras que los últimos estadios son más voraces durante la noche (Senasica, 2021).

A partir del tercer instar larval se insertan en el cogollo, haciendo perforaciones que son visibles solo cuando se abre o desenvuelve la hoja (Negrete & Morales, 2003). Las pupas en general son de color caoba y miden aproximadamente 14 a 17 mm de extensión, esta fase permanece en el suelo en reposo de 8 a 10 días en lo que emerge el adulto (Chango, 2012).

2.10.3.2. Taxonomía

El gusano cogollero desde el punto de vista de (Romero Salcedo, 2018; citado de Fernández, 1994) se ubica taxonómicamente en:

Reino: Animal

División: Artrópoda

Clase: Insecta

Orden: Lepidóptera

Familia: Noctuidae

Género: *Spodoptera*

Especie: *S. frugiperda*

2.10.3.3. Daños que ocasiona a la planta

El cogollero (*Spodoptera frugiperda*) durante sus primeras instancias larvales afecta al cultivo con ligeras raspaduras en zonas tiernas de las hojas que después se tornan en pequeñas áreas translúcidas, a medida que las larvas se desarrollan empiezan a comer el cogollo haciendo perforaciones irregulares (Salinas, 2017). El daño originado por las larvas generalmente se

caracteriza por la defoliación irregular y la presencia de excremento húmedo dentro del cogollo (Senasica, 2021). Los daños ocasionados por las larvas de *S. frugiperda* durante el desarrollo de la planta (V1-V4) pueden ser: cortes en la base de la planta o defoliación parcial o total (Casmuz et al., 2010).

2.10.3.4. Impacto económico de las pérdidas causadas por cogollero

Uno de los insectos con mayor relevancia económica en el cultivo de maíz a nivel global es el gusano cogollero (*S. frugiperda*). Las larvas tienen un conjunto amplio de especies hospederas cultivadas que asciende a 28, entre los principales encontramos maíz, arroz, maní, caña de azúcar, tomate, soya, algodón, entre otros (Ávila et al., 2023). Por su hábito alimenticio, se inclina por las poaceas. Es el lepidóptero más importante en el Perú y en otros países neotropicales, causa daños hasta en 60% del rendimiento, dañando tejidos jóvenes principalmente (Hernández et al., 2018).

2.10.3.5. Control ecológico

El control ecológico de *Spodoptera frugiperda* se basa en la relación que existe entre la plaga y el ambiente en donde se desarrolla (Neira & Pérez, 2020). El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) se fundamenta en el reconocimiento del ciclo biológico del insecto para hacer uso de diferente metodología de control, como los controles biológico, etológico, cultural, entre otros (Rueda et al., 2013).

El control biológico se fundamenta en el empleo de organismos vivos para limitar la población del insecto plaga y mantenerla por debajo del umbral de daño económico (Fischbein, 2012); como son los casos de *Chrysoperla carnea* y el nematodo entomopatógeno del género *Heterorhabditis* utilizados en el paquete de manejo ecológico de *S. frugiperda* en la Estación Experimental Agraria (EEA) Vista Florida (Neira & Pérez, 2020). El control etológico emplea

características de del comportamiento natural de los insectos para implementar planes de control como la utilización de trampas de colores, trampas de luz, trampas con feromonas, entre otros (Brechelt , 2004). Se emplean distintos matices de luz, depende de la característica del insecto que se planea capturar pues estos se ven atraídos por colores específicos (Goya, 2020).

2.10.3.6. Controladores biológicos utilizados en el paquete de manejo ecológico de *Spodoptera frugiperda* propuesto por el INIA

Según el paquete de manejo ecológico del gusano cogollero propuesto por la EEA Vista Florida, se utilizan como controladores biológicos a *Chrysoperla carnea* y nemátodos entomopatógenos del género *Heterorhabditis* (Neira & Pérez, 2020). En cuanto a las larvas de *Chrysoperla carnea*, estas son depredadoras, se alimentan de larvas y áfidos con peculiar apetito en su tercer estadio (Cetzal et al., 2019), también son afines a depredar ácaros, posturas de lepidópteros, cochinillas, trips e insectos pequeños (Bichelos, 2021); teniendo un mejor control biológico en el tercer estadio larval (García, 2012).

En el caso de los nematodos entomopatógenos, estos son organismos microscópicos que ocasionan enfermedades a los insectos y su modo de acción es más similar a la acción de un insecticida químico que al de un biológico (Arteaga, 2015). La infección por nemátodos produce una alteración en el color del insecto afectado, tornándose de un color naranja, amarillo o rojizo (Poinar et al., 1980).

2.11. Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT)

Los VANT se han convertido en un instrumento universal en la agricultura de precisión que pueden emplearse para distintos propósitos según los sensores que lleven, como es el caso de los sensores térmicos, multiespectrales, hiperespectrales y sensores RGB (red, green, blue) (Espósito et al., 2021).

Inicialmente los VANT se utilizaron para la aplicación de productos sintéticos (Simelli & Tsagaris, 2015). Sin embargo, también son capaces de identificar el cultivo con distintos índices ya que pueden abarcar hectáreas de campo en un solo vuelo y para ello hacen uso de cámaras térmicas y multiespectrales (Mogili & Deepak, 2018).

Los sensores o cámaras multiespectrales se utilizan generalmente para identificar índices de vegetación ya que usan un mayor número de bandas en comparación con las RGB que solo se puede calcular utilizando 3 bandas (Espósito et al., 2021).

Las imágenes del campo se obtienen en diversos rangos del espectro electromagnético denominados bandas (Gutiérrez et al., 2018). Las imágenes del espectro visible y el NIR (Near Infrared Spectroscopy) se pueden utilizar para observar cambios en las propiedades físicas y químicas de las plantas que hayan sido ocasionados por el aumento de patógenos (Franceschini et al., 2019). Además, se requiere que dichas imágenes sean tomadas oportunamente según el objetivo deseado (Torres et al., 2015).

El instrumento idóneo para dichos propósitos es el uso de VANT que vuelan a baja altura ya que logran conseguir imágenes de alta resolución, asimismo, se ha logrado probar que los índices de vegetación realizados a partir de imágenes con drones son apropiados para detectar la cubierta vegetal en gramíneas (Torres et al., 2014). Entre los índices más utilizados se tiene el índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI) y el índice de vegetación de diferencia normalizada verde (GNDVI) (Candiago et al., 2015). De estos dos índices, el más utilizado es el NDVI, ya que está vinculado con la labor fotosintética y vegetación del cultivo, permitiendo diagnosticar la vigorosidad de la planta (Gutiérrez et al., 2018).

Asimismo, la relación de los parámetros morfológicos del cultivo y los índices de vegetación incrementan la precisión de la estimación del índice de área foliar del cultivo,

proporcionando un método factible para el seguimiento de la información del desarrollo fenológico del cultivo basado en plataformas VANT (Lang et al., 2022).

2.12. Monitoreo de plagas y enfermedades

De forma tradicional, el monitoreo de plagas y enfermedades se lleva a cabo manualmente de manera directa en campo, mediante la observación visual de la incidencia y severidad de la plaga o enfermedad. No obstante, la precisión de esta operación depende de la experiencia de la persona evaluadora, lo que podría inducir a errores. Por lo tanto, las herramientas basadas en imágenes pueden desempeñar un papel importante en la detección y el reconocimiento de plagas en los cultivos cuando la evaluación humana no es adecuada, no es confiable o no está disponible, considerando la ventaja de la gran área que pueden cubrir los VANT (Arnal, 2019).

2.13. Imágenes multiespectrales

Las imágenes multiespectrales, además de captar colores visibles, captan información que proviene de diferentes rangos del espectro electromagnético conocidos como bandas. La utilidad radica en las propiedades espectrales del suelo y de las plantas en diferentes etapas de desarrollo, que se reflejan por aspectos relacionados como la fotosíntesis, el contenido de agua y cantidad de clorofila, entre otros (Gutiérrez et al., 2018).

Estas imágenes se han utilizado con éxito en la agricultura de precisión, como lo demuestra su análisis para la determinación del contenido de carotenoides en las hojas de los viñedos (Zarco et al., 2013), su uso para la determinación del estrés hídrico en las plantas (Gago et al., 2015) y la generación de datos para la estimación del rendimiento en áreas de cultivos de maíz (Geipel et al., 2014).

2.14. Índices de vegetación

Los índices de vegetación se obtienen mediante cálculos matemáticos efectuados sobre los valores numéricos de los píxeles utilizando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena. Un índice de vegetación está definido como un parámetro que deriva de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y que permite identificar la presencia y estado de la vegetación (Gilabert, et. al., 1997).

Es muy importante que el índice seleccionado para ser usado en un determinado ambiente sea calibrado con datos obtenidos directamente en el campo. Si no se tienen estas mediciones disponibles, los índices procesados solo servirán como indicadores de la cantidad relativa de vegetación existente en el área evaluada (Muñoz, 2013)

2.14.1. *Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).*

El NDVI constituye un indicador que refleja el equilibrio existente entre la energía que los objetos en la tierra absorben y emiten al exterior, sus valores oscilan entre -1 y 1.

En términos prácticos, este índice mide el vigor y cobertura de la vegetación, los valores por debajo de 0,1 suelen asociarse a masas de agua o superficies de suelo desnudo, mientras que valores altos o positivos indican intensa actividad fotosintética, característica de pastizales, matorrales o zonas de producción agrícola. (Meneses-Tovar, 2011).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

2.14.2. *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI).*

El índice GNDVI es una variante del NDVI, con la diferencia de que sustituye la banda roja por la verde. Este índice es utilizado para medir el vigor de la vegetación, estrechamente

relacionado con la fracción de la radiación fotosintéticamente absorbida por la vegetación y mantiene una relación lineal con el índice de área foliar y la cantidad de biomasa. Por esto el GNDVI presenta mayor sensibilidad en los cambios de concentración de clorofila que el NDVI y sus valores suelen oscilar en un rango que va de 0 a 1. (Candiago S. et al., 2015)

$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

2.14.3. Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE).

Es un índice espectral que utiliza la banda del borde rojo para analizar con mayor exactitud el estado fisiológico de los cultivos, especialmente en las etapas más avanzadas de su desarrollo. Este índice logra detectar variaciones más sutiles en la estructura del dosel, incluso en zonas con presencia de suelo desnudo o cobertura vegetal irregular, muy útil para obtener información de deficiencias de Nitrógeno. Constituye una herramienta eficaz para estimar el vigor, la biomasa y la salud de los cultivos. Siendo ampliamente utilizado en el monitoreo ambiental y la agricultura de precisión (Davidson et al., 2022)

$$NDRE = \frac{(NIR - REDEGE)}{(NIR + REDEGE)}$$

2.14.4. Índice de Ratio de Absorción de Clorofila (MCARI).

Es un índice de vegetación diseñado para cuantificar la absorción de clorofila en la banda roja, considerando su relación con la reflectancia de las banda verde y borde rojo. Su propósito principal es estimar la concentración de pigmentos fotosintéticos en la cubierta vegetal, minimizando al mismo tiempo el efecto del fondo del suelo y otros materiales no fotosintéticos que puedan encontrarse en la vegetación (Haboudane et al., 2002).

$$MCARI = ((700nm - 670nm) - 0.2(700nm - 550nm)) \left(\frac{700nm}{670nm} \right)$$

2.14.5. Índice de Clorofila de Borde Rojo (CIRe)

Este índice guarda una estrecha relación con diversos parámetros fisicoquímicos de la vegetación, entre ellos el contenido de clorofila, la biomasa e índice de área foliar. Sus valores pueden variar dependiendo de la especie y del estado fenológico del cultivo. Por esta razón, constituye una herramienta valiosa para el seguimiento del desarrollo vegetal y la identificación temprana de posibles infestaciones o plagas. (Liu et al., 2024)

$$CIRe = \left(\frac{R_{NIR}}{R_{RedEdge}} \right) - 1$$

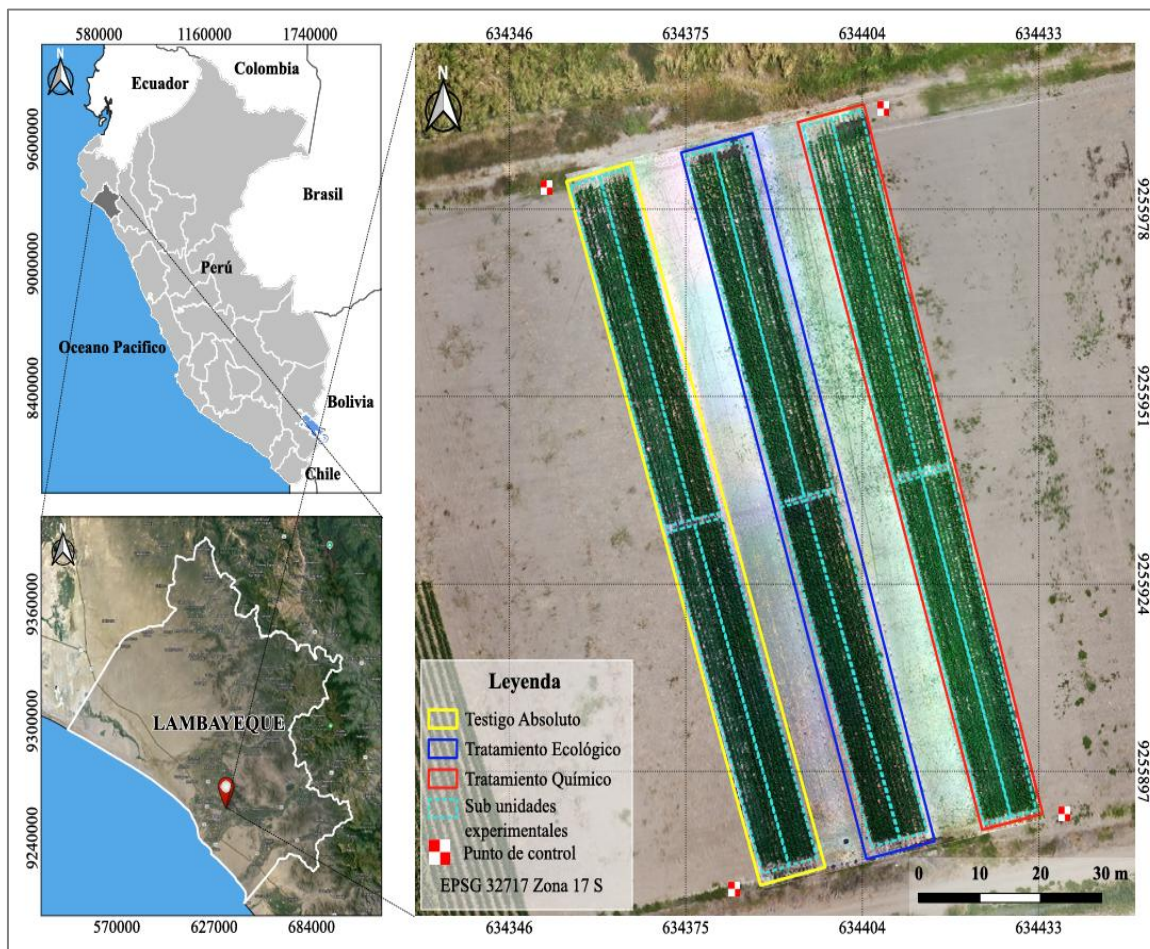
III. Marco Metodológico

3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio contempló una parcela experimental ubicada en el distrito de Picsi, provincia de Chiclayo, específicamente en la EEA Vista Florida-INIA $6^{\circ}43'48.83''\text{S}; 79^{\circ}47'3.21''\text{O}$, en la región Lambayeque.

Figura 1

Ubicación geográfica de la parcela experimental



3.2. Caracterización del campo experimental

Se realizó el análisis de suelo del campo experimental para ver la estructura física y química del suelo, las muestras fueron extraídas en zigzag abarcando toda el área experimental.

3.3. Diseño de contrastación de hipótesis

Para contrastar la hipótesis se utilizaron tres parcelas de 825 m² que contuvieron los tres tratamientos (testigo, ecológico y químico), cada tratamiento estuvo dividido en cuatro repeticiones que fueron monitoreadas con el dron Matrice 300 RTK y evaluados mediante cartillas fitosanitarias.

3.4. Población y muestra de estudio

La población estuvo determinada por los tres tratamientos que a su vez fueron subdivididos en cuatro repeticiones, estos contaron con un área de 200 m² cada uno, donde se evaluaron de manera manual un total de 50 plantas por repetición, haciendo un total de 200 plantas por tratamiento.

3.5. Materiales y equipos de campo

Materiales

- Yeso.
- Cemento.
- Semillas de maíz variedad INIA megahíbrido 619.
- Paja rafia.
- Urea.
- Fosfato de amonio.
- Sulfato de potasio.

- Sulfato de amonio.
- Sulpomag.
- Mochila de aplicación 20L.
- Herbicida (Accent)
- Insecticida (kieto, vivoral)
- Adeherente (kinetic)
- Cintas de riego.
- Motobomba.
- Palanas.
- Cartillas de evaluación.
- Larvas de *Chrysoperla carnea* de segundo estadio.
- Nemátodos entomopatógenos géneros Heterorhabditis.
- Trampas de luz con linterna.
- Libreta de campo.
- Workstation.

Equipos

- Drone DJI Matrice 300 RTK
- RTK
- RedEdge – Mx MicaSense Dual
- DJI Zenmuse H20T

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Cartillas sanitarias, Análisis de cartillas fitosanitarias.

- Análisis de imágenes multiespectrales, índices vegetativos.

3.7. Características a registrar en las cartillas fitosanitarias

- N° larvas de *S. frugiperda* por planta
- N° de masa de huevos de *S. frugiperda*
- % de parasitismo por nematodos entomopatógenos
- N° de larvas muertas
- Incidencia y grado de daño de *S. frugiperda*

3.8. Análisis estadístico

El análisis e interpretación de los datos se realizó de acuerdo a un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Figura 2

Distribución DCA de las unidades experimentales



Tabla 2*Distribución para el análisis estadístico.*

Repeticiones	Repetición/tratamiento		
I	T1-R1	T2-R1	T3-R1
II	T1-R2	T2-R2	T3-R2
III	T1-R3	T2-R3	T3-R3
IV	T1-R4	T2-R4	T3-R4

3.9. Metodología para la obtención de datos

3.9.1. *Distribución de las parcelas y tratamientos experimentales*

Las parcelas experimentales que forman parte del estudio fueron divididas en tres tratamientos

T1 = Testigo absoluto

T2 = Tratamiento ecológico (Crisopas, nemátodos entomopatógenos del género *Heterorhabditis* y trampas mixtas)

T3 = Tratamiento químico (Emamectin benzoate 50 g/kg + Lufenuron 100 g/kg, Thiamethoxam).

Cada tratamiento estuvo subdividido en 4 repeticiones, con la finalidad poder contrastar la información obtenida. Se realizó la delimitación del perímetro de los tratamientos con paja rafia y yeso en polvo.

Los tratamientos fueron ubicados dentro de un área total de 4475 m² y cada uno con un área de 825 m². Cada tratamiento para una mejor evaluación fue dividido en 4 repeticiones que

fueron monitoreados por las imágenes multiespectrales y las cartillas de evaluación. Dichos tratamientos contaron con una separación entre sí de 1000 m² con la finalidad de evitar una deriva en la aplicación química o liberación de material biológico en los tratamientos, asimismo, se tomaron en cuenta la dirección del viento para ubicar el tratamiento testigo y el tratamiento químico, de manera que, en caso de producirse alguna deriva incidental, estos no afecten o se vean afectados. En ambas parcelas se sembraron tres semillas por golpe con un distanciamiento de 0.75m entre surcos y 0.35m entre golpes.

3.9.2. Liberación de material biológico y colocación de trampas de luz

En el caso de las liberaciones de las larvas de *Chrysoperla carnea*, estas fueron liberadas a partir de la aparición de la segunda hoja bien formada del maíz (14 días después de la siembra), estas liberaciones se realizaron las primeras horas de la mañana 6 a.m. – 7 a.m., durante 2 semanas consecutivas se liberaron un total de 4 millares de larvas del II estadio, estas liberaciones tuvieron lugar a los 15 DDS, 17 DDS, 21 DDS, 24 DDS y 25 DDS (las liberaciones de los días 24 y 25 son consideradas una sola, pues se liberaron 500 larvas de *C. carnea por día*); la distribución se realizó en Zig-Zag a lo largo de todo el campo. En cuanto a los nemátodos estos fueron aplicados cuando el cultivo presente un máximo de 25% de infestación de larvas de *Spodoptera frugiperda*. La cantidad aplicada fue de 7 millones de infectivos juveniles de nemátodos entomopatógenos del género *Heterorhabditis* por mochila manual de 20 litros, se hicieron dos aplicaciones los días 25 y 28 DDS, constaron de dos mochilas por aplicación, haciendo un total de 28 millones de infectivos juveniles empleados. La aplicación se realizó directo al cartucho de la planta de maíz y en horas de la tarde evitando los rayos directos del sol.

Las trampas de luz fueron elaboradas por armaduras de carrizo y rafia en forma de pirámide triangular, forradas con bolsa de urea, se utilizaron tinajas conteniendo melaza disuelta al

10% y una linterna que permaneció prendida durante las noches con la finalidad de atraer a los adultos de *Spodoptera frugiperda*. Estas trampas fueron colocadas una en cada extremo del tratamiento ecológico.

3.9.3. Evaluaciones fitosanitarias

Las evaluaciones de campo comenzaron una semana después de la germinación del cultivo de maíz y se continuaron realizando entre liberaciones y/o aplicaciones de nemátodos.

El estado sanitario de las plantas de maíz fue registrado mediante cartillas de evaluación, especificando el número de posturas, larvas vivas, larvas muertas, grado de daño, enemigos naturales y otras plagas encontradas en la planta al momento de la evaluación.

Las evaluaciones por cartillas comprendieron la observación de 50 plantas por repetición siguiendo el método de Zig-Zag, obteniendo un total de 200 plantas evaluadas por tratamiento.

Los grados de daño fueron evaluados en la escala de 1 a 5, que indica el menor daño a mayor daño respectivamente como se muestra en la tabla elaborada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA, 2020).

Para el cálculo de grado de daño por tratamiento se utilizó la fórmula propuesta por el Instituto Nacional de Innovación Agraria donde:

$$GD = \frac{1(\#plantas\ G1) + 2(\#plantas\ G2) + 3(\#plantas\ G3) + 4(\#plantas\ G4) + 5(\#plantas\ G)}{N^{\circ}\ plantas\ evaluadas}$$

GD = Grado de daño

G1 - G5 = Grado de daño 1-5

En la tabla se muestra la cartilla para evaluar los diferentes estados de *S. frugiperda*, así como también el porcentaje de parasitismo por nemátodos entomopatógenos, grado de daño,

número de plantas infestadas y/o dañadas por *Spodoptera frugiperda*, enemigos naturales y otras plagas.

Tabla 3*Modelo de cartilla de evaluación*

Lote: Fecha de Siembra:		Unidad Experimental: Fecha de Evaluación:		Variedad: Evaluador:		FORMATO PARA EVALUAR CONTROL DE <i>Spodoptera frugiperda</i>				
TRATAMIENTO	PLANTA	Número de Adultos Capturados	Número de Masa de Huevos	Porcentaje de Parasitismo por NEP	Número de Larvas Vivas	Número de Larvas Muertas	Planta Infestadas y/o Dañada	Grado de daño	Enemigos Naturales	Otras plagas
	P1									
	P2									
	P3									
	P4									
	P5									
	P6									
	P7									
	P8									
	P9									
	P10									
	P11									
	P12									
	P13									
	P14									
	P15									
	P16									
	P17									
	P18									
	P19									
	P20									
	P21									
	P22									
	P23									
	P24									
	P25									
	P26									
	P27									
	P28									
	P29									
	P30									
	P31									
	P32									
	P33									
	P34									
	P35									
	P36									
	P37									
	P38									
	P39									
	P40									
	P41									
	P42									
	P43									
	P44									
	P45									
	P46									
	P47									
	P48									
	P49									
	P50									

Reseña:

PID=Planta Infestada Dañada

PI=Planta Infestada

PD=Planta Dañada

Casilleros vacío indica planta

sana

OBSERVACIÓN:

Nota. Elaboración propia

Tabla 4

Escala de evaluación del daño de Spodoptera frugiperda en plantas de maíz

Grado	Descripción	Daño
I	Presenta pequeñas raspaduras de manera aislada e incipiente en la hoja.	
II	Las raspaduras se ven generalizadas en las hojas.	
III	Se puede ver que hay daño en el cogollo, pero todavía no se observan perforaciones.	
IV	Hay perforaciones en el cogollo, pero todavía no hay una destrucción total de la planta	
V	El daño de la planta es generalizado, las hojas se encuentran cortadas e incluso se puede presentar muerte de la planta.	

Nota. elaborado por (INIA, 2020)

3.9.4. *Vuelo de VANT*

Se colocaron bloques de yeso mezclado con cemento a modo de puntos de control en las parcelas de manera estratégica con la finalidad de evitar desfases durante la elaboración de ortomosaicos y procesamiento de las imágenes.

Para la ejecución del vuelo del VANT, primero se realizó un plan de vuelo con el control del drone DJI Matrice 300 RTK(Real Time Kinematic), abarcando toda el área de estudio, fue necesario un sistema de posicionamiento RTK para georreferenciar dichas imágenes. El plan de vuelo incluyó parámetros como: 20 metros de altura, traslape frontal de imágenes de 80%, traslape lateral de imágenes del 75%, y una velocidad de 1.2 m/s.

La obtención de las imágenes multiespectrales se realizó con las cámaras RedEdge – Mx MicaSense dual y Zenmuse H20T- RGB equipadas en el drone DJI matrice 300 RTK y calibradas con el panel de reflectancia AIRNOV. Los vuelos se realizaron entre las 11:00 am y 1:00 pm., donde hubo mayor incidencia de luz solar.

Las imágenes multiespectrales obtenidas durante los vuelos serán procesadas y analizadas en los softwares especializados Pix4Dmapper y QGIS.

3.9.5. *Fertilización y dosificación de agroquímicos*

Se realizaron dos fertilizaciones, a los 15 y 30 días después de la siembra (DDS), los fertilizantes usados fueron Urea, Fosfato de amonio, Sulfato de potasio, Sulfato de amonio y Sulpomag.

Para el caso del control químico de *Spodoptera frugiperda* del tratamiento en estudio se realizó la aplicación de los siguientes ingredientes activos: Emamectin benzoate 50g/kg + Lufenuron 100 g/kg, Thiamethoxam, y un adherente. La frecuencia de aplicaciones se realizó según la presencia de la plaga.

3.9.6. Características e índices a analizar a partir de las imágenes multiespectrales

Estas características e índices se obtuvieron a partir de la herramienta “calculadora ráster” del programa QGIS, misma que permite realizar operaciones matemáticas con las bandas espectrales. Dichas características e índices a analizar fueron:

- NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada)
- GNDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada verde)
- NDRE (índice de borde rojo de diferencia normalizada)
- MCARI (absorción de clorofila modificada en índice de reflectancia)
- CIRE (Índice de Clorofila de Borde Rojo)

IV. Resultados y Discusiones

En esta sección se exponen los resultados obtenidos en el estudio sobre el control ecológico de *Spodoptera frugiperda* en cultivos de maíz (*Zea mays* L.), empleando imágenes multiespectrales obtenidas de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la costa norte del Perú.

Los hallazgos se organizan de manera que permitan comprender, con claridad y profundidad, el comportamiento de la plaga bajo tres estrategias de manejo, analizadas a través de diferentes índices de vegetación. Se consideró los 35 DDS como una fecha límite para las evaluaciones y monitoreo multiespectral, debido a la alta cobertura vegetal que limita la visualización del daño a través de las cámaras multiespectrales. Esta aproximación busca evidenciar el impacto del daño foliar causado por *S. frugiperda* y la eficacia relativa de cada tratamiento desde la perspectiva de la teledetección.

4.1. Grado de daño foliar bajo tres alternativas de control de *Spodoptera frugiperda* durante el periodo de evaluación

Tabla 5

Resultados del ANOVA del grado de daño foliar en maíz durante el periodo de evaluación

	17 DDS	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	16.8	481	1269	1197	223
p	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001

Tabla 6

Variación temporal del grado de daño en maíz según los tratamientos de manejo

	17 DDS		21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
TRATAMIENTO	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	0.940	a	2.050	a	2.785	a	1.530	a	1.445	a
QUÍMICO	0.830	a	0.205	b	0.055	b	0.180	b	0.660	b
TESTIGO	1.450	b	2.160	a	2.290	c	2.825	c	2.740	c

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.001$

Según la tabla 6 se observa que a los 17 DDS, el tratamiento testigo presentó el mayor nivel de daño (1.450), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos ecológico (0.940) y químico (0.830), los cuales no mostraron diferencias significativas entre sí, indicando un mejor control inicial del gusano cogollero.

A los 21 DDS, el tratamiento ecológico registró un incremento del daño (2.050), ubicándose en el mismo grupo estadístico que el testigo (2.160), mientras que el tratamiento químico presentó un daño significativamente menor (0.205), evidenciando una mayor efectividad de control en este periodo.

En la evaluación realizada a los 28 DDS, el tratamiento ecológico alcanzó el mayor valor de daño (2.785), diferenciándose estadísticamente del tratamiento químico, que mantuvo un nivel de daño mínimo (0.055). El tratamiento testigo mostró un daño intermedio (2.290), lo que confirma la progresión del ataque del gusano cogollero en ausencia de control eficiente.

A los 31 DDS, el grado de daño se incrementó notablemente en el testigo (2.825), el cual fue estadísticamente superior a los tratamientos ecológico (1.530) y químico (0.180). Este comportamiento evidencia la persistencia del daño en plantas sin tratamiento, mientras que el control químico continuó mostrando la menor afectación.

A los 35 DDS, el testigo presentó el mayor grado de daño (2.740), seguido del tratamiento ecológico (1.445), ambos significativamente superiores al tratamiento químico (0.660). A pesar de que ninguno de los tratamientos alcanzó valores cercanos a 5, los resultados indican que el tratamiento químico fue el más efectivo en mantener el daño en niveles bajos durante todo el período evaluado.

4.2. Análisis estadístico de los tratamientos evaluados mediante índices de vegetación

4.2.1. Índice de Clorofila de Borde Rojo (CIRE)

Tabla 7

Resultados del ANOVA del índice CIRE durante el periodo de evaluación

	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	21.2	4.38	40.2	358
p	<.001	0.013	<.001	<.001

Tabla 8

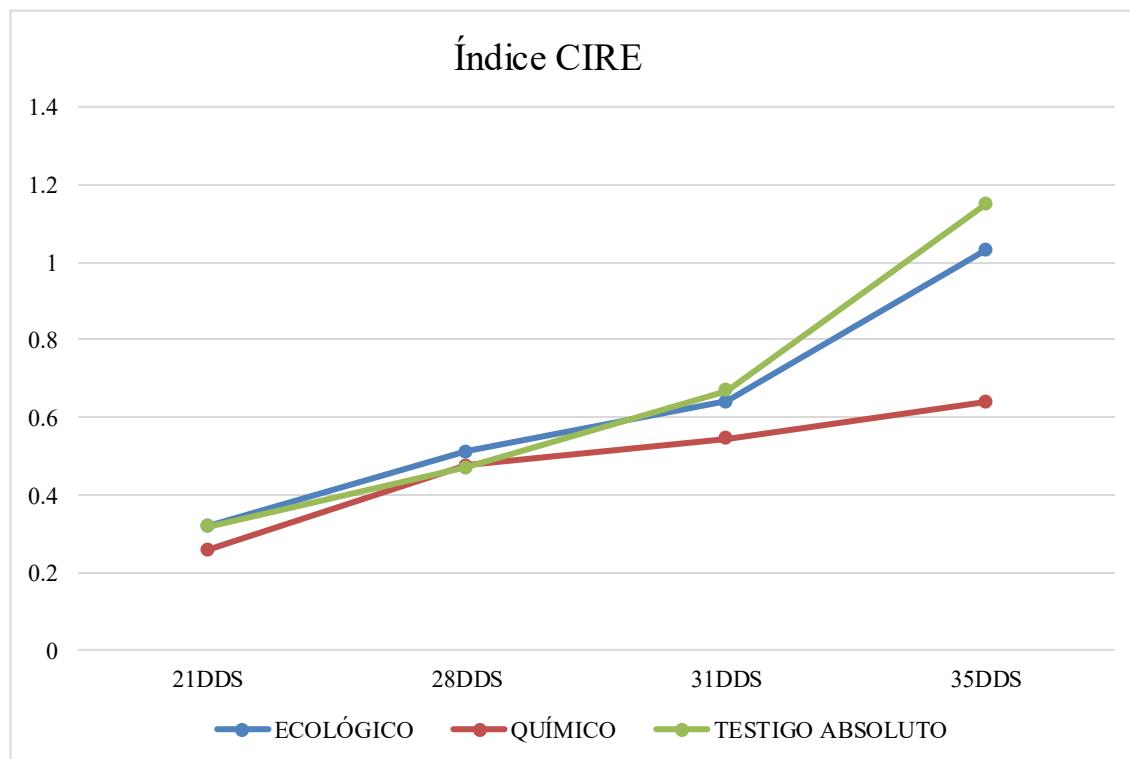
Variación temporal del índice CIRE en maíz según los tratamientos de manejo

TRATAMIENTO	21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	0.319	a	0.512	a	0.641	a	1.030	a
QUÍMICO	0.258	b	0.476	b	0.546	b	0.639	b
TESTIGO	0.317	a	0.469	b	0.688	a	1.148	a

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.05$

Figura 3

Análisis temporal del índice CIRE en maíz bajo tres alternativas de control



Nota. Los valores del CIRE varían según el objeto estudiado, valores menores indican plantas estresadas y valores mayores indican plantas vigorosas y sanas.

Según los resultados mostrados en la tabla 8 se observa que, a los 21 DDS, el tratamiento ecológico (0.319) y testigo (0.317) se ubicaron en el mismo grupo estadístico, presentando valores significativamente superiores al tratamiento químico (0.258). Este comportamiento sugiere una mayor actividad fisiológica inicial en las plantas no sometidas al control químico.

En la evaluación realizada a los 28 DDS, el tratamiento ecológico alcanzó el mayor valor del índice CIRE (0.512), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.476) y testigo (0.469), los cuales presentaron valores similares entre sí. Este resultado indica una mejor condición fisiológica de las plantas bajo manejo ecológico en este periodo.

A los 31 DDS, el tratamiento ecológico (0.641) y testigo (0.688) mostraron los valores más altos del índice CIRE, sin diferencias significativas entre ellos, mientras que el tratamiento químico presentó un valor significativamente menor (0.546).

A los 35 DDS, el índice CIRE fue significativamente mayor en los tratamientos ecológico (1.030) y testigo (1.148), los cuales no difirieron entre sí, y superaron al tratamiento químico (0.639). Este comportamiento evidencia una reducción sostenida del índice CIRE en el tratamiento químico hacia el final del período evaluado.

4.2.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada Verde (GNDVI)

Tabla 9

Resultados del ANOVA del índice GNDVI durante el periodo de evaluación

	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	22.1	26	43.4	492
p	<.001	<.001	<.001	<.001

Tabla 10

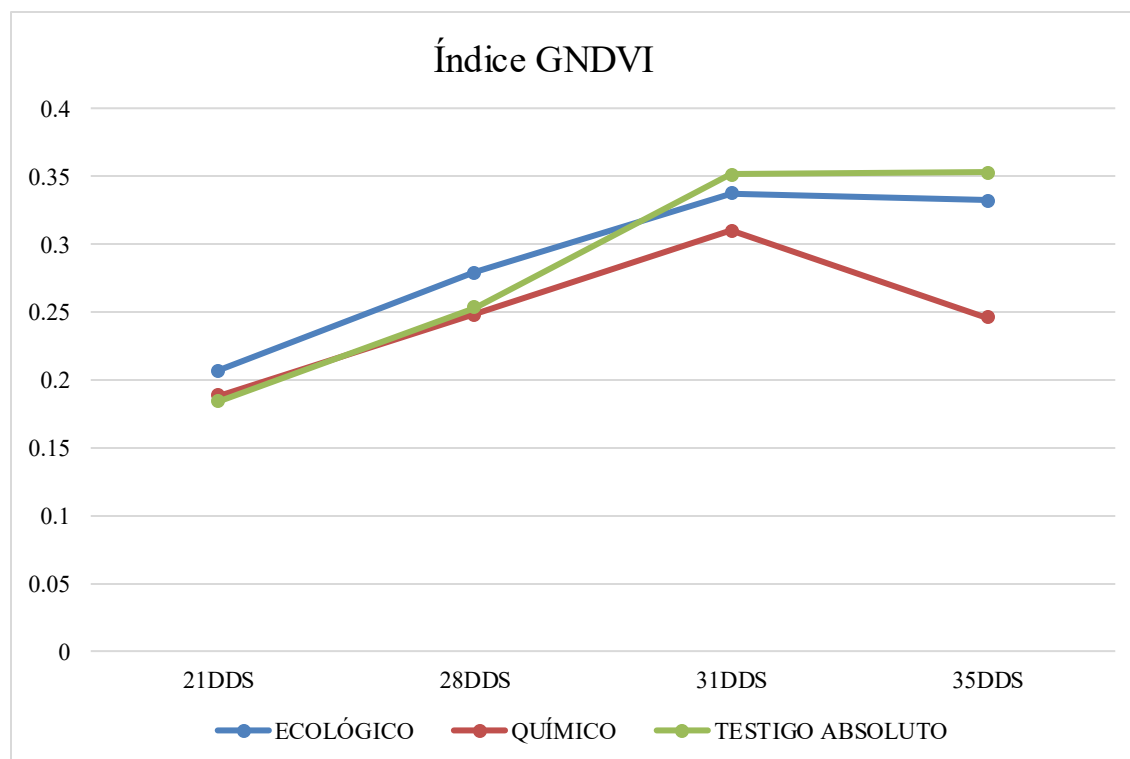
Variación temporal del índice GNDVI en maíz según los tratamientos de manejo

	21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
TRATAMIENTO	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	0.207	a	0.279	a	0.337	a	0.332	a
QUÍMICO	0.188	b	0.248	b	0.310	b	0.246	b
TESTIGO	0.184	b	0.253	b	0.351	c	0.353	c

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.001$

Figura 4

Análisis temporal del índice GNDVI en maíz bajo tres alternativas de control



Nota. Durante esta etapa fenológica se consideran rangos del índice que varían de 0 a 0.6, valores bajos revelan vegetación en desarrollo.

Según los resultados mostrados en la tabla 10, a los 21 DDS, el tratamiento ecológico registró el valor más alto del índice GNDVI (0.207), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.188) y testigo (0.184), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Este comportamiento sugiere un mayor vigor inicial de las plantas bajo manejo ecológico.

A los 28 DDS, el tratamiento ecológico mantuvo el mayor valor de GNDVI (0.279), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.248) y testigo (0.253). Estos

resultados indican una mejor condición fisiológica del cultivo en el tratamiento ecológico durante esta etapa del desarrollo.

A los 31 DDS, el tratamiento testigo alcanzó el valor más alto del índice GNDVI (0.351), seguido del tratamiento ecológico (0.337), mientras que el tratamiento químico presentó el menor valor (0.310), diferenciándose significativamente de los otros tratamientos.

A los 35 DDS, el tratamiento ecológico (0.332) y testigo (0.353) presentaron valores significativamente superiores al tratamiento químico (0.246), sin diferencias estadísticas entre sí. Este resultado evidencia una reducción sostenida del índice GNDVI en el tratamiento químico hacia el final del período evaluado.

4.2.3. Índice de Ratio de Absorción de Clorofila (MCARI)

Tabla 11

Resultados del ANOVA del índice MCARI durante el periodo de evaluación

	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	64.3	21.1	96.3	302
p	<.001	<.001	<.001	<.001

Tabla 12

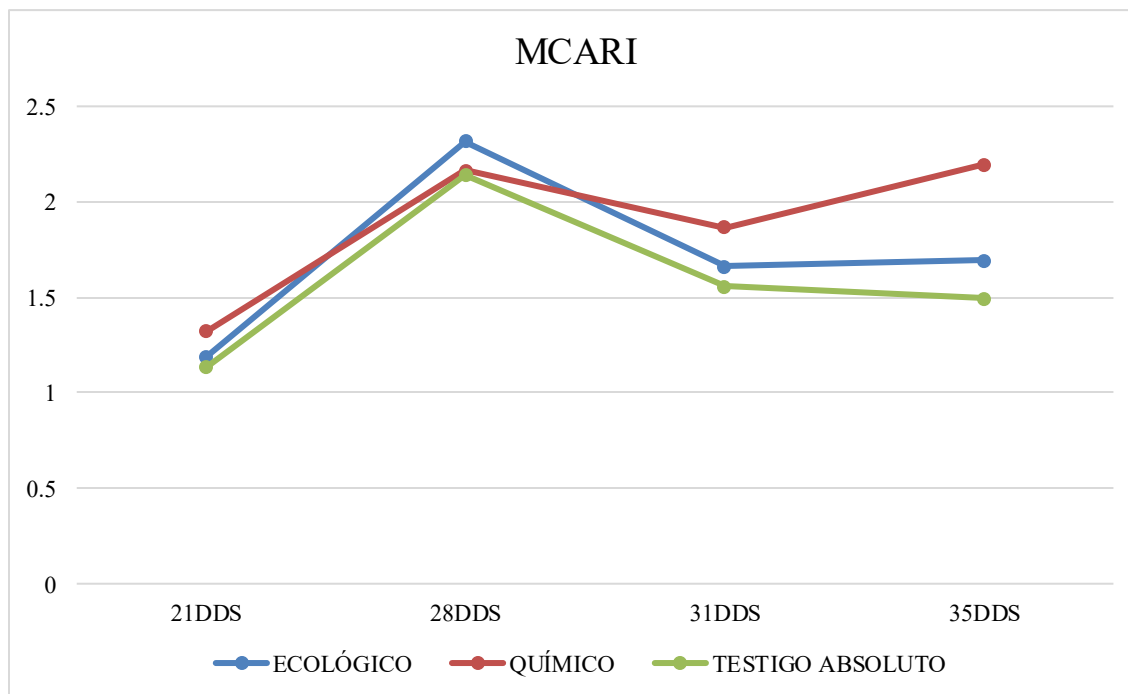
Variación temporal del índice MCARI en maíz según los tratamientos de manejo

	21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
TRATAMIENTO	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	1.1883	a	2.314	a	1.659	a	1.691	a
QUÍMICO	1.3201	b	2.165	b	1.868	b	2.196	b
TESTIGO	1.1332	c	2.140	b	1.554	c	1.495	c

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.001$

Figura 5

Análisis temporal del índice MCARI en maíz bajo tres alternativas de control



Nota. Durante esta etapa fenológica se consideraron rangos de 0 a 3. Valores cercanos a 0 presentan plantas estresadas y valores cercanos a 3 presentan plantas más sanas.

Según los resultados mostrados en la tabla 12, a los 21 DDS, el tratamiento químico registró el mayor valor del índice MCARI (1.3201), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos ecológico (1.1883) y testigo (1.1332). Este resultado indica una mayor expresión del índice en las plantas bajo manejo químico en la etapa inicial de evaluación.

A los 28 DDS, el índice MCARI fue significativamente mayor en el tratamiento ecológico (2.314), seguido del tratamiento químico (2.165) y del testigo (2.140), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Este comportamiento sugiere una respuesta fisiológica más favorable del cultivo bajo manejo ecológico durante esta etapa del desarrollo.

A los 31 DDS, el tratamiento químico presentó el mayor valor del índice MCARI (1.868), diferenciándose estadísticamente del tratamiento ecológico (1.59) y del testigo (1.554), los cuales mostraron valores significativamente menores. Este resultado evidencia una mayor expresión del índice en el tratamiento químico durante este periodo específico.

A los 35 DDS, el tratamiento químico presentó el mayor valor del índice MCARI (2.196), diferenciándose significativamente del tratamiento ecológico (1.691) y testigo (1.495), que presentaron valores menores. Demostrando de manera consecutiva que los tratamientos vieron una diferenciación en su efecto según el MCARI también a los 35 DDS.

4.2.4. Índice de Diferencia Normalizada de Borde Rojo (NDRE)

Tabla 13

Resultados del ANOVA del índice NDRE durante el periodo de evaluación

	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	16.9	5.08	35.2	391
p	<.001	0.007	<.001	<.001

Tabla 14

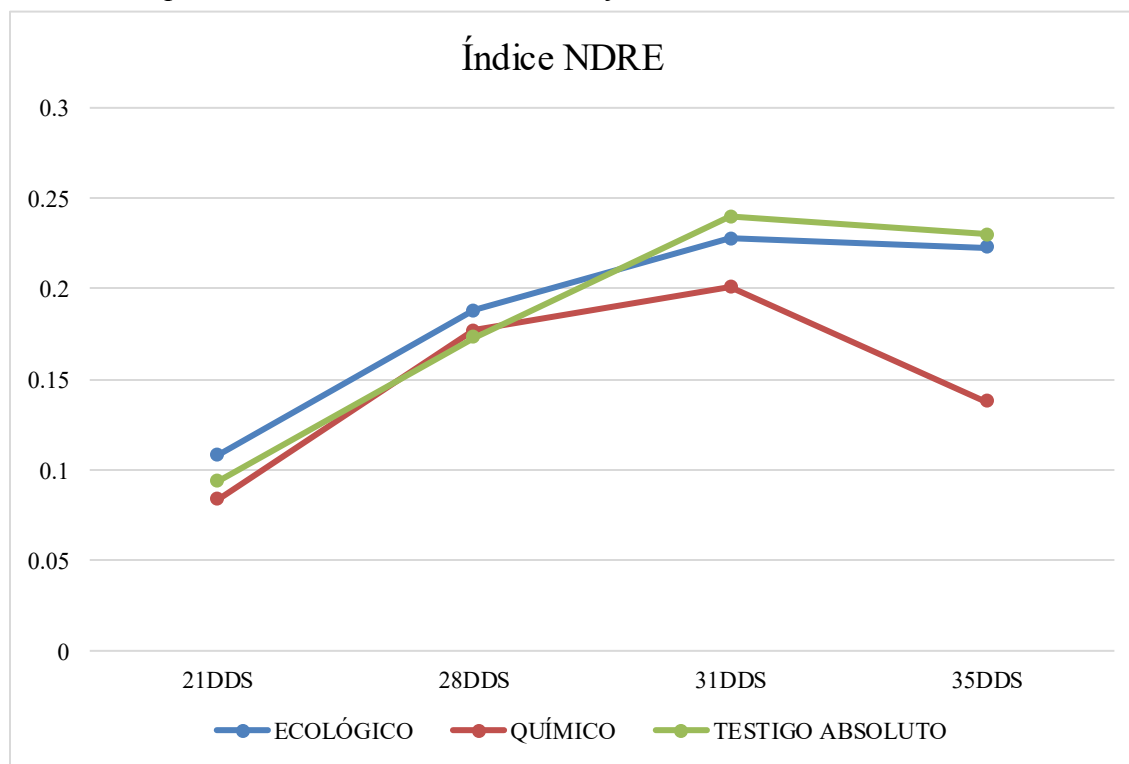
Variación temporal del índice NDRE en maíz según los tratamientos de manejo

TRATAMIENTO	21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	0.108	a	0.188	a	0.228	a	0.223	a
QUÍMICO	0.084	b	0.177	b	0.201	b	0.138	b
TESTIGO	0.094	b	0.173	b	0.240	a	0.230	a

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.05$

Figura 6

Análisis temporal del índice NDRE en maíz bajo tres alternativas de control



Según los resultados obtenidos en la tabla 14, a los 21 DDS, el tratamiento ecológico alcanzó el mayor valor del índice NDRE (0.108), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.084) y testigo (0.094), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Este resultado indica una mejor condición fisiológica inicial de las plantas bajo manejo ecológico.

En la evaluación realizada a los 28 DDS, el tratamiento ecológico mantuvo valores significativamente superiores de NDRE (0.188), mientras que el tratamiento químico (0.177) y testigo (0.173) presentaron valores similares entre sí y menores al tratamiento ecológico. Este comportamiento sugiere una mayor eficiencia en la actividad fotosintética de las plantas bajo manejo ecológico durante esta etapa.

A los 31 DDS, el tratamiento ecológico (0.228) y testigo (0.240) se ubicaron en el mismo grupo estadístico, presentando valores significativamente superiores al tratamiento químico (0.201).

A los 35 DDS, el índice NDRE fue significativamente mayor en los tratamientos ecológico (0.223) y testigo (0.230), los cuales no presentaron diferencias estadísticas entre sí, y superaron al tratamiento químico (0.138). Este resultado evidencia una reducción del índice NDRE en el tratamiento químico hacia el final del período evaluado.

4.2.5. Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

Tabla 15

Resultados del ANOVA del índice NDVI durante el periodo de evaluación

	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
F	39	63.4	6.6	112
p	<.001	<.001	0.002	<.001

Tabla 16

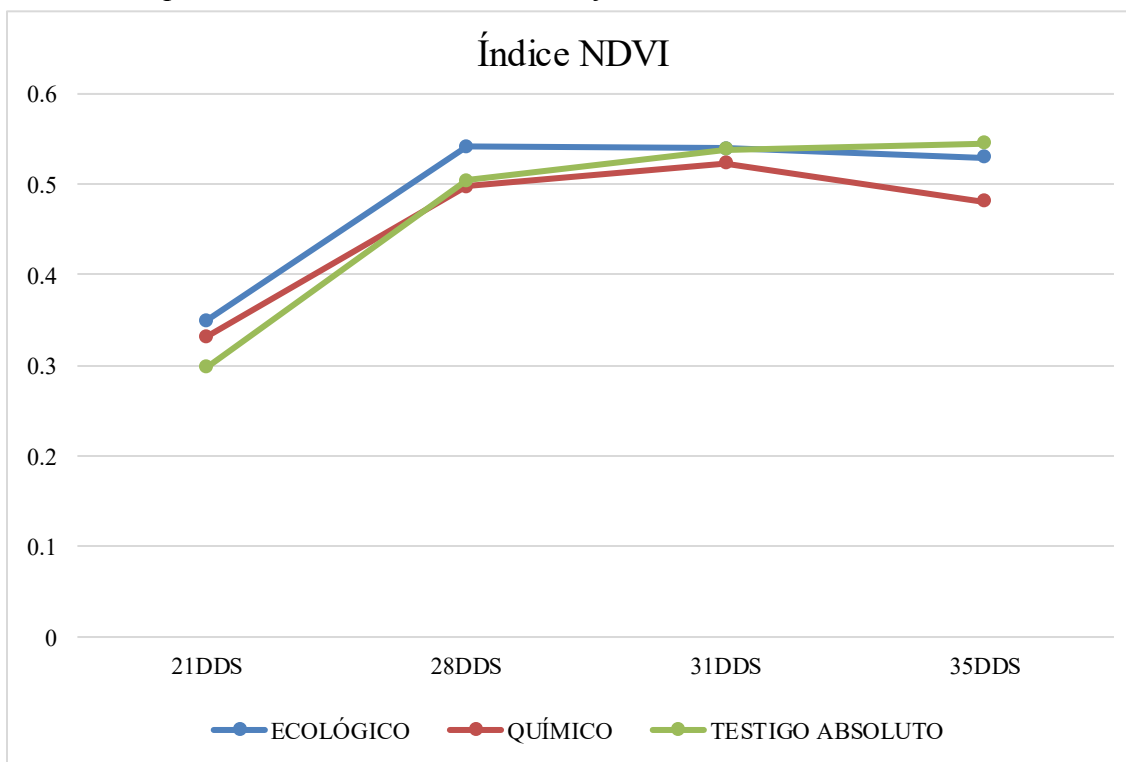
Variación temporal del índice NDVI en maíz según los tratamientos de manejo

	21 DDS		28 DDS		31 DDS		35 DDS	
TRATAMIENTO	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS	MEDIA	GS
ECOLÓGICO	0.350	a	0.542	a	0.540	a	0.530	a
QUÍMICO	0.332	b	0.498	b	0.523	b	0.481	b
TESTIGO	0.298	c	0.504	b	0.539	a	0.545	c

Nota. GS: Grupo de significancia. $p < 0.05$

Figura 7

Análisis temporal del índice NDVI en maíz bajo tres alternativas de control



Nota. Para esta etapa fenológica se consideraron valores del 0 a 0.8, valores más altos indican plantas saludables y vigorosas, mientras que valores cercanos al 0 indican vegetación en desarrollo.

Según los resultados mostrados en la tabla 14, a los 21 DDS, el tratamiento ecológico registró el mayor valor del índice NDVI (0.350), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.332) y testigo (0.298). Este comportamiento indica un mayor vigor inicial de las plantas bajo manejo ecológico.

En la evaluación realizada a los 28 DDS, el tratamiento ecológico mantuvo el valor más alto del índice NDVI (0.542), diferenciándose estadísticamente de los tratamientos químico (0.498) y testigo (0.504), los cuales no presentaron diferencias significativas entre sí. Estos

resultados sugieren una mejor condición fisiológica del cultivo en el tratamiento ecológico durante esta etapa.

A los 31 DDS, el tratamiento ecológico (0.540) y testigo (0.539) se ubicaron en el mismo grupo estadístico, presentando valores significativamente superiores al tratamiento químico (0.523).

A los 35 DDS, el tratamiento testigo alcanzó el mayor valor del índice NDVI (0.545), diferenciándose estadísticamente del tratamiento químico (0.481). El tratamiento ecológico presentó un valor intermedio (0.530), mostrando un comportamiento similar al testigo y superior al tratamiento químico. Este resultado evidencia una disminución relativa del índice NDVI en el tratamiento químico hacia el final del período evaluado.

4.3. Variables evaluadas manualmente durante el periodo de estudio

Tabla 17

Variables obtenidas de las cartillas de evaluación fitosanitaria

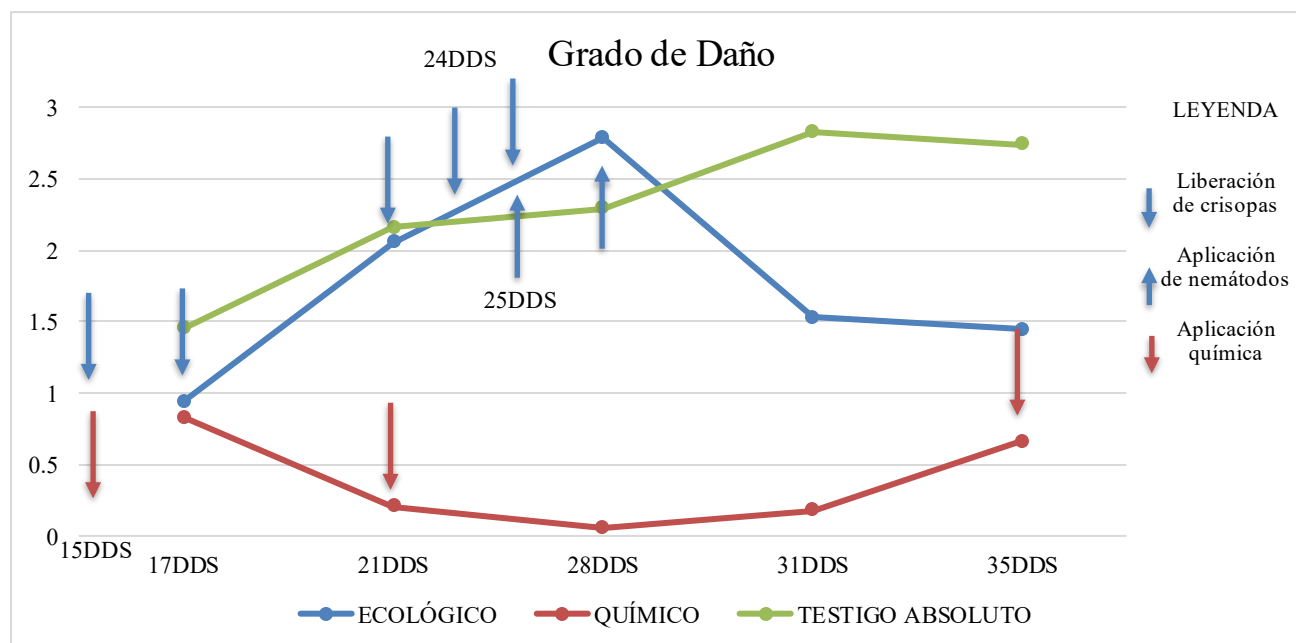
Variables	Tratamientos	17DDS	21DDS	28DDS	31DDS	35DDS
GD	ECOLÓGICO	0.94 a	2.05 a	2.785 a	1.53 a	1.445 a
	QUÍMICO	0.83 a	0.21 b	0.06 b	0.18 b	0.66 b
	TESTIGO	1.45 b	2.16 a	2.29 a	2.83 c	2.74 a
LV/Planta	ECOLÓGICO	0.22 a	0.76 a	0.88 a	0.06 a	0.11 a
	QUÍMICO	0.05 b	0.04 b	0.01 b	0.01 b	0.06 a
	TESTIGO	0.65 c	1.02 c	0.93 a	0.58 c	0.57 b
% PI	ECOLÓGICO	18.50 a	68.50 a	70.00 a	6.00 a	11.00 a
	QUÍMICO	5.00 b	4.00 b	1.00 b	1.00 a	5.50 a
	TESTIGO	44.00 c	66.50 a	75.00 a	56.00 b	54.50 b

Nota. GD = Grado de daño. LV = Larvas vivas. PI = Plantas infestadas

4.3.1. Grado de daño

Figura 8

Dinámica del grado de daño foliar en maíz bajo tres estrategias de control



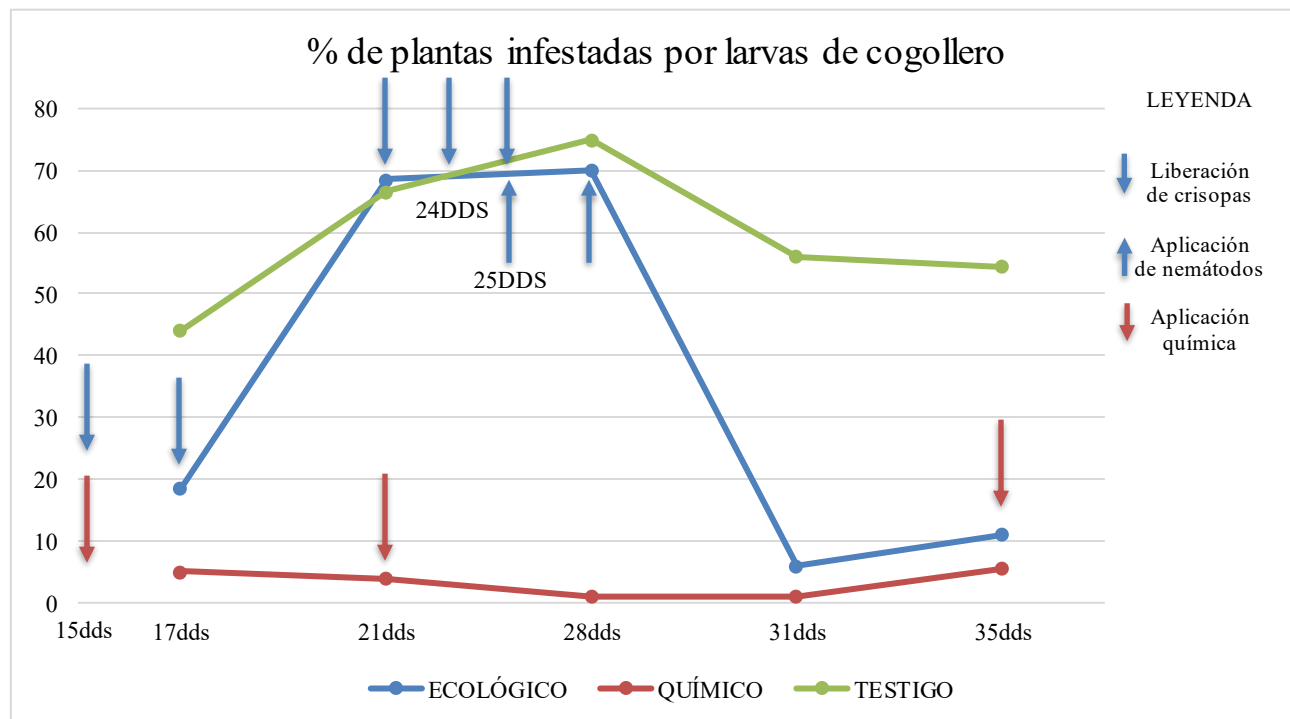
Nota. Escala del grado de daño de 0 (representa una planta sana) y 5 (daño extremo).

Según la figura 8, durante las evaluaciones realizadas a los 17, 21, 28, 31 y 35 DDS, se observaron diferencias significativas en el daño causado por *Spodoptera frugiperda* entre los tres tratamientos. El manejo químico mantuvo de forma constante los niveles más bajos de afectación, evidenciando una acción rápida y persistente. El tratamiento ecológico mostró un comportamiento fluctuante: inicialmente comparable al químico, disminuyó su efectividad en las evaluaciones intermedias, pero se recuperó parcialmente hacia el final, logrando reducir el daño respecto al testigo, aunque sin igualar al control químico. En cambio, el testigo absoluto registró consistentemente el mayor nivel de daño, reflejando la presión natural de la plaga sin intervención. En conjunto, los resultados confirman la superioridad del tratamiento químico, el desempeño intermedio del ecológico y la alta vulnerabilidad del testigo.

4.3.2. Plantas infestadas

Figura 9

*Porcentaje de plantas infestadas por larvas vivas de *Spodoptera frugiperda**

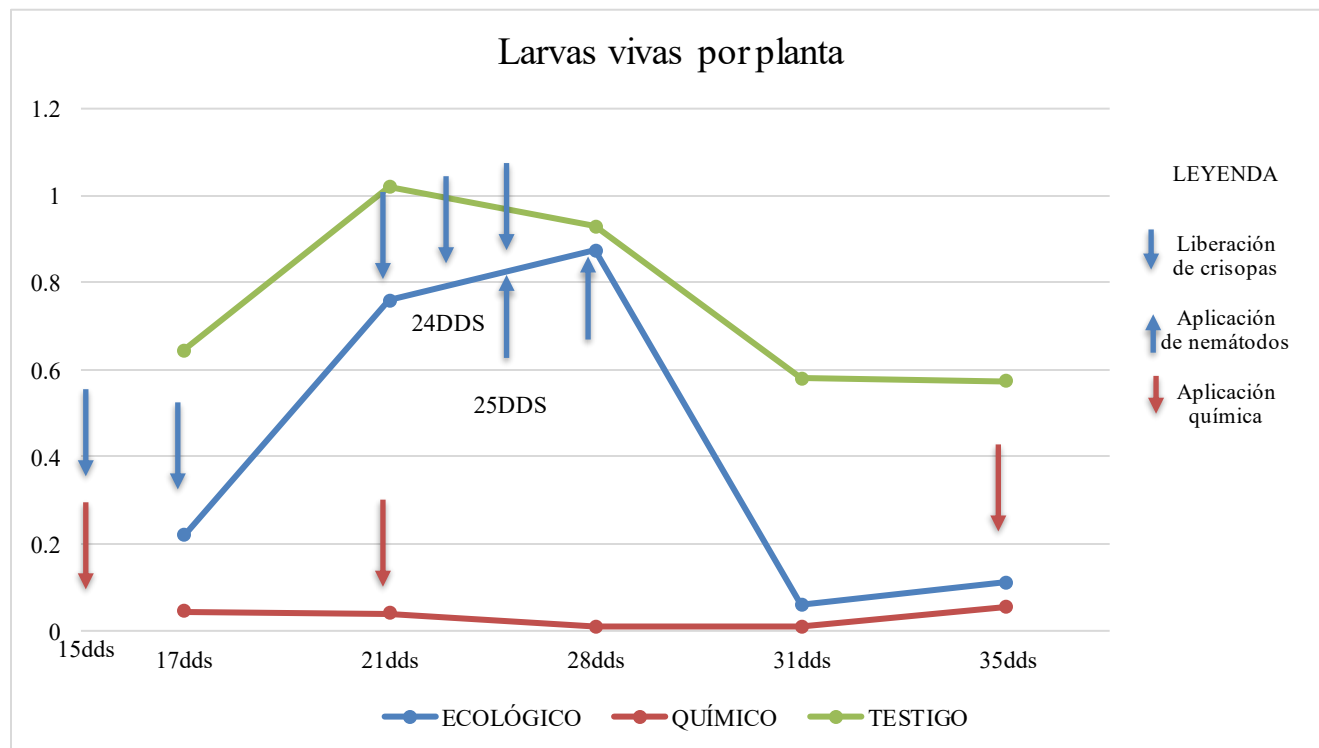


Según la figura 9, durante las evaluaciones realizadas se observó que el porcentaje de plantas infestadas por larvas vivas de *Spodoptera frugiperda* mantenía una marcada diferencia significativa entre los tratamientos. Observándose que el tratamiento químico mantuvo los niveles más bajos de infestación, lo que confirma su alta efectividad de los productos utilizados en el control del cogollero. Por otro lado, el tratamiento ecológico mostro una infestación elevada en las evaluaciones intermedias (21 y 28 DDS), con valores similares al testigo absoluto, pero presento una reducción considerable a los 31 DDS. Dicha reducción se atribuye al efecto retardado de los controladores biológicos. En cuanto al testigo absoluto, este registro los porcentajes de infestación más altos durante todo el periodo de evaluación, reflejando la ausencia de mecanismos de control.

4.3.3. Larvas vivas encontradas

Figura 10

Promedio de larvas vivas por planta



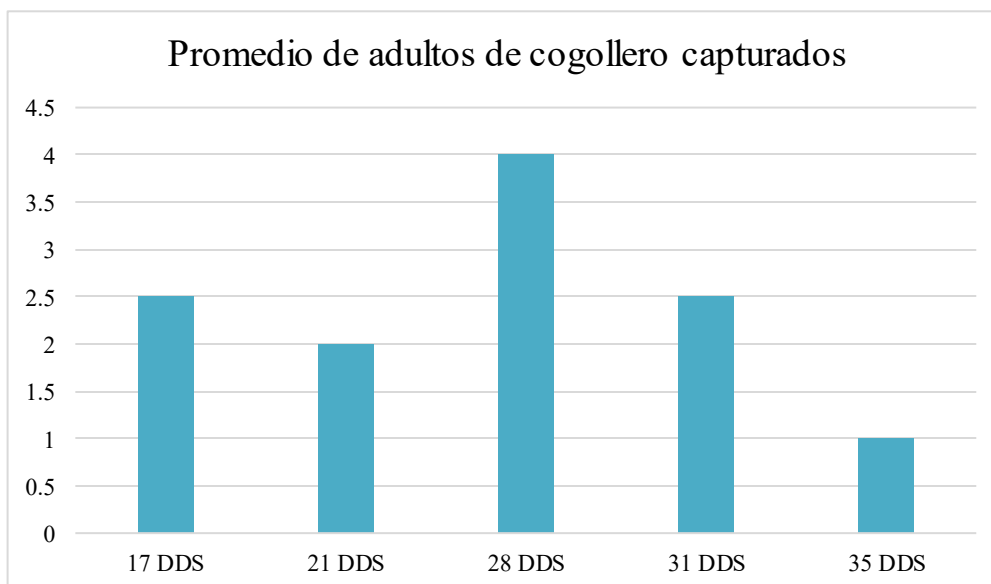
Según la figura 10, el porcentaje de plantas infestadas y el número de larvas vivas por planta mostraron diferencias entre tratamientos y a lo largo del período de evaluación. El tratamiento químico mantuvo de manera consistente los valores más bajos de larvas vivas por planta durante todo el período evaluado con valores cercanos a cero larvas por planta, lo que indica un control altamente efectivo y sostenido. En contraste, el tratamiento testigo presentó los mayores niveles de larvas vivas por planta, alcanzando valores máximos entre los 21 y 28 DDS, lo que evidencia la progresión natural del ataque de *S. frugiperda* en ausencia de control. Por su parte, el tratamiento ecológico mostró un comportamiento intermedio, con un incremento significativo del número de larvas vivas por planta en las evaluaciones intermedias, seguido de una reducción marcada a partir de los 31 DDS, lo que sugiere un efecto de control tardío. Estos

resultados confirman que el manejo químico fue el más eficiente para reducir la población larval del gusano cogollero, mientras que el manejo ecológico presentó una respuesta retardada y el testigo mantuvo niveles elevados de infestación durante todo el período de evaluación.

4.3.4. *Adultos de S. frugiperda capturados con trampas mixtas*

Figura 11

Promedio de adultos de cogollero capturados en las trampas mixtas



Según la figura 11, las evaluaciones realizadas a las trampas mixtas en el tratamiento ecológico, muestran una variación temporal en la presencia de la plaga a lo largo del periodo evaluado. Observándose que a los 28 DDS se presentó mayor captura de adultos de cogollero, reflejando un pico poblacional que coincide con un incremento en el porcentaje de plantas infestadas. A partir de los 31 DDS se evidencio una disminución progresiva en el número de adultos capturados, alcanzando el valor más bajo a los 35 DDS.

Tabla 18

Análisis de correlación entre variables evaluadas manualmente a lo largo del periodo de estudio.

Variables correlacionadas			17 DDS	21 DDS	28 DDS	31 DDS	35 DDS
LV/Planta	% PI	Rho de					
		Spearman	0.984***	0.921***	0.996***	0.996***	0.998***
		valor p	<.001	<.001	<.001	<.001	<.001
GD	% PI	Rho de					
		Spearman	0.725**	0.919***	0.678*	0.882***	0.800**
		valor p	0.008	<.001	0.015	<.001	0.002
LV/Planta	GD	Rho de					
		Spearman	0.715**	0.859***	0.653*	0.864***	0.794**
		valor p	0.009	<.001	0.021	<.001	0.002

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Según la tabla 18, los resultados obtenidos de la matriz de correlación, se puede observar que las variables evaluadas muestran correlaciones positivas y consistentes entre sí a lo largo del periodo de evaluación, lo que refleja un comportamiento biológicamente coherente del ataque de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz. La relación entre el número de larvas vivas por planta y el porcentaje de plantas infestadas fue particularmente elevada en todas las fechas de evaluación, con coeficientes cercanos a la unidad y valores de significancia altamente confiables ($p < 0.001$). Este resultado indica que, a medida que aumenta la cantidad de larvas, se incrementa de forma proporcional la infestación del cultivo. De manera similar, el grado de daño presentó una correlación positiva y significativa con el porcentaje de plantas infestadas, lo que sugiere que una mayor distribución del insecto se traduce en daños más severos sobre el follaje. Asimismo, la relación observada entre larvas vivas por planta y grado de daño confirma que la intensidad

del daño está estrechamente ligada a la presencia activa del insecto. En conjunto, estos resultados validan la coherencia biológica entre las variables y respaldan su uso integrado para la evaluación del impacto del cogollero en el cultivo de maíz.

4.4. Matrices de correlación entre grado de daño e índices de vegetación

Tabla 19

Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento ecológico

Índices		21DDS	28DDS	31DDS	35DDS
		GD	GD	GD	GD
CIRE	Rho de Spearman	0.221**	0.021	0.407***	-0.126
	valor p	0.002	0.766	<.001	0.075
GNDVI	Rho de Spearman	0.217**	0.061	0.391***	-0.159*
	valor p	0.002	0.389	<.001	0.025
MCARI	Rho de Spearman	-0.123	-0.049	-0.076	0.060
	valor p	0.084	0.492	0.284	0.396
NDRE	Rho de Spearman	0.230**	0.009	0.400***	-0.137
	valor p	0.001	0.900	<.001	0.054
NDVI	Rho de Spearman	0.123	0.064	0.326***	-0.157*
	valor p	0.082	0.365	<.001	0.026

Según la tabla 19, a los 21 DDS se registraron correlaciones estadísticamente significativas entre el grado de daño y los índices CIRE, GNDVI y NDRE, mientras que MCARI y NDVI no presentaron relaciones significativas. En el monitoreo a los 28 DDS ninguno de los índices analizados mostró correlaciones estadísticamente significativas con el GD. A los 31 DDS, se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre el GD y los índices CIRE, GNDVI, NDRE y NDVI, mientras que MCARI continuó sin evidenciar asociación significativa.

Finalmente, a los 35 DDS se registraron correlaciones estadísticamente significativas entre el GD y los índices GNDVI y NDVI, mientras que los demás índices no mostraron relaciones significativas.

Tabla 20

Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento químico

Índices		21DDS	28DDS	31DDS	35DDS
		GD	GD	GD	GD
CIRE	Rho de Spearman	0.029	0.095	-0.034	-0.028
	valor p	0.686	0.180	0.636	0.693
GNDVI	Rho de Spearman	0.072	0.023	-0.085	0.014
	valor p	0.308	0.747	0.233	0.847
MCARI	Rho de Spearman	0.055	0.015	-0.062	-0.040
	valor p	0.443	0.837	0.383	0.576
NDRE	Rho de Spearman	0.026	0.029	-0.029	0.015
	valor p	0.711	0.679	0.679	0.835
NDVI	Rho de Spearman	0.060	0.003	-0.144*	0.042
	valor p	0.398	0.968	0.042	0.558

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Según la tabla 20, a los 21 DDS ninguno de los índices evaluados mostró correlaciones estadísticamente significativas con el grado de daño. En la evaluación realizada a los 28 DDS, tampoco se registraron correlaciones estadísticamente significativas entre el GD y los índices analizados. A los 31 DDS, se observó una correlación estadísticamente significativa entre el GD y el índice NDVI, mientras que CIRE, GNDVI, MCARI y NDRE no evidenciaron asociaciones significativas. Finalmente, a los 35 DDS, ninguno de los índices evaluados presentó correlaciones estadísticamente significativas con el GD.

Tabla 21

Matriz de correlación entre grado de daño e índices de vegetación a lo largo del periodo de monitoreo en el tratamiento testigo

Índices		21DDS	28 DDS	31DDS	35DDS
		GD	GD	GD	GD
CIRE	Rho de Spearman	0.130	-0.207**	-0.081	-0.045
	valor p	0.067	0.003	0.255	0.531
GNDVI	Rho de Spearman	0.153*	-0.156*	-0.052	-0.081
	valor p	0.031	0.028	0.467	0.251
MCARI	Rho de Spearman	-0.109	0.260***	0.003	-0.086
	valor p	0.126	<.001	0.961	0.227
NDRE	Rho de Spearman	0.124	-0.185**	-0.055	-0.032
	valor p	0.081	0.009	0.436	0.648
NDVI	Rho de Spearman	0.113	-0.127	-0.035	-0.145*
	valor p	0.112	0.073	0.626	0.040

Nota. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

Según la tabla 21, a los 21 DDS se registraron correlaciones estadísticamente significativas entre el grado de daño y el índice GNDVI, mientras que los índices CIRE, MCARI, NDRE y NDVI no presentaron asociaciones significativas. En la evaluación realizada a los 28 DDS, se observaron correlaciones estadísticamente significativas entre el GD y los índices CIRE, GNDVI, MCARI y NDRE, en tanto que NDVI no evidenció relación significativa. A los 31 DDS, ninguno de los índices analizados mostró correlaciones estadísticamente significativas con el GD. Finalmente, a los 35 DDS se registró una correlación estadísticamente significativa entre el GD y el índice NDVI, mientras que CIRE, GNDVI, MCARI y NDRE no presentaron asociaciones significativas.

4.5. Discusiones

A lo largo del periodo de evaluaciones realizadas manualmente (17, 21, 28, 31 y 35 DDS), se registraron diferencias significativas en el grado de daño ocasionado por *Spodoptera frugiperda* entre los tres tratamientos monitoreados. El tratamiento químico destacó por su eficacia constante y sostenida, manteniendo los valores más bajos de daño en todas las fechas, lo que demuestra su acción rápida y prolongada en la protección del cultivo. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Sisay et al., 2019), quienes demostraron que la aplicación de insecticidas de origen químico incrementa la mortalidad de *S. frugiperda* y se disminuye considerablemente el daño foliar.

En cuanto al tratamiento ecológico, este mostró una efectividad variable, con resultados comparables al químico en las primeras evaluaciones, pero con una disminución de su desempeño en etapas intermedias (21 y 28 DDS), seguida de una recuperación parcial hacia los 31 y 35 DDS, donde logró reducir significativamente el daño respecto al testigo, aunque sin igualar al control químico. Estos resultados coinciden con lo reportado por (Babendreier et al., 2020), quienes señalan que, si bien el control ecológico llega a producir muy buenos resultados, el tratamiento químico ofrece un control más efectivo del gusano cogollero.

Por su parte, el testigo absoluto evidenció los niveles más altos de daño de manera consistente, reflejando así la dinámica de la plaga en el cultivo sin intervención, confirmando la necesidad de aplicar medidas de manejo para mitigar las pérdidas. En conjunto, los resultados de las evaluaciones de campo indican que el tratamiento químico fue el más eficiente en el control del daño, el ecológico representó una alternativa intermedia con potencial de mejora, y el testigo reflejó la mayor susceptibilidad ante la plaga.

A lo largo de las fechas de evaluación no se encontraron correlaciones inversas que se presenten de manera consistente y estadísticamente significativa en el tiempo, lo que limita la capacidad de los índices de vegetación evaluados para diagnosticar de forma precisa el grado de daño observado. Si bien algunos índices mostraron asociaciones significativas en momentos puntuales del periodo de evaluación, estas relaciones no se mantuvieron de manera estable a lo largo del ciclo monitoreado. En este sentido, el análisis independiente por fecha no implica que un índice sea funcional únicamente en etapas específicas, sino que, para fines de diagnóstico confiable, los índices deben exhibir una relación inversa sostenida y significativa durante todo el periodo de evaluación, condición que no se cumplió en el presente estudio.

V. Conclusiones

1. A partir de los resultados obtenidos, se evidencia que las imágenes multiespectrales no permitieron reflejar de manera adecuada el desempeño del control ecológico de *Spodoptera frugiperda*. Los índices no tuvieron una correlación significativa con el grado de daño causado por el gusano cogollero.
2. El tratamiento ecológico mostró una respuesta variable, con mayor daño en etapas intermedias y una recuperación parcial en las evaluaciones finales, pero sin igualar la efectividad del tratamiento químico, siendo este el más eficaz al mantener los niveles más bajos de daño.
3. En cuanto al uso de imágenes multiespectrales para estimar la eficacia del tratamiento ecológico, los resultados no permitieron obtener una conclusión clara, ya que durante el periodo de evaluación no se identificaron correlaciones negativas significativas y consistentes entre los índices espectrales y el daño foliar observado.
4. Para determinar la salud general del cultivo, el índice MCARI fue el más efectivo para diferenciar los tratamientos, mientras que los demás índices evaluados no mostraron diferencias significativas consistentes.
5. Los índices de vegetación no mostraron correlaciones inversas y sostenidas con el daño causado por *Spodoptera frugiperda*, lo que limita su uso para diagnosticar directamente el daño foliar. Las correlaciones puntuales observadas estarían influenciadas por la variabilidad fenológica, fisiológica o por factores bióticos y abióticos.

VI. Recomendaciones

- ✓ Se recomienda integrar herramientas de medición en campo, como clorofilómetro SPAD, ceptómetro y sensores de radiación fotosintéticamente activa (PAR), con el fin de complementar y validar la información registrada por el VANT, fortaleciendo así la precisión del análisis espectral.
- ✓ Optimizar los parámetros de vuelo, incrementando la superposición frontal y lateral, y disminuyendo la altura, permitiría obtener imágenes más nítidas, comparables entre fechas y capaces de reflejar con mayor sensibilidad las variaciones sutiles asociadas al daño foliar.
- ✓ Considerando que *Spodoptera frugiperda* presenta ataques recurrentes y una elevada capacidad de reinfestación, para el tratamiento ecológico se recomienda aumentar la frecuencia de liberación de crisopas en la etapa temprana del cultivo para permitir que se establezca dentro del cultivo en picos de aparición de larvas.
- ✓ Se sugiere incorporar imágenes hiperespectrales y analizar índices más específicos, que permitan identificar de manera más sensible los cambios sutiles asociados al estrés biótico en el cultivo.

VII. Referencias

- Arnal Barbedo, J. G. (2019). Una revisión sobre el uso de vehículos aéreos no tripulados y sensores de imágenes para monitorear y evaluar el estrés de las plantas. *MDPI*, 3(2).
[https://doi.org/ https://doi.org/10.3390/drones3020040](https://doi.org/https://doi.org/10.3390/drones3020040)
- Aguayo González, D. J., Guevara Lara, F., Luna Ruiz, J. d., Pérez Cabrera, L. E., García Munguía, C. A., & García Munguía, A. M. (2021). Patogenicidad de cepas de Ustilago maydis para la producción en condiciones controladas. *Scielo*, 12(3), 513-524.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342021000300513
- Albetis, J., Duthoit, S., Guttler, F., Jacquin, A., Goulard, M., Poilvé, H., . . . Dedieu, G. (2017). Detección de la enfermedad de la flavescencia dorada de la vid mediante imágenes multispectrales obtenidas por vehículos aéreos no tripulados (UAV). *MDPI*, 4(308), 9.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs9040308>
- Álvarez, J. (2020). *Métodos de control para gorgojo de maíz (Pagiocerus frontalis) en almacén [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio institucional UNCP, Jauja, Perú.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6256/T010_47387151_t.pdf?sequence=1
- Arteaga Alarcón, N. M. (2015). *“Evaluación de la reproducción masiva de nematodos entomopatógenos (Steinernema spp y Heterorhabditis spp) en larvas de gallina ciega (Phyllophaga spp) bajo condiciones controladas” [tesis de grado, UNIVERSIDAD TECNICA ESTATAL DE QUEVEDO]*. repositorio institucional UTEQ, Ecuador.
<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/1286/1/T-UTEQ-0009.pdf>

- Ávila Martínez, D., Cervantes Ortiz, F., Rodríguez Pérez, G., Gámez Vazquez, A. J., García Rodríguez, J. G., & Mendoza Elos, M. (2023). Daño y dinámica poblacional del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en líneas élite de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 34(3). <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v34n3/2215-3608-am-34-03-53809.pdf>
- Babendreier, D., Koku Agboyi, L., Besh, P., Osae, M., Nboyine, J., EK Ofori, S., . . . Kenis, M. (2020). Eficacia de medidas alternativas y respetuosas con el medio ambiente para la protección de plantas contra el gusano cogollero, *Spodoptera frugiperda* , en el maíz. *MDPI*, 11(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/insects11040240>
- Bichelos. (septiembre de 2021). *Chrysoperla carnea*. https://bichelos.com/wp-content/uploads/2021/09/chrysoperla_carnea.pdf
- Brechelt , A. (Abril de 2004). *Manejo Ecológico de Plagas y Enfermedades* . Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina: https://webzoom.freewebs.com/rentawebscr/alonso2013/descargas/Manejo_Ecologico_de_Plagas_A.Bretchel.pdf
- Campuzano, J. (2018). *Comportamiento del Gusano Cogollero (Spodoptera frugiperda J. E. Smith) en Diferentes Etapas Fenológicas del Cultivo de Maíz (Zea Mays L.) Bajo Tres Fechas de Siembra, en Jipijapa - Manabí. [Tesis de Pregrado]*. Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí. <https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1016/1/ULEAM-AGRO-0026.pdf>
- Candiago, s., Remondino, f., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gatelli, M. (2015). Evaluating Multispectral Images and Vegetation Indices for Precision Farming Applications from UAV Images. *Remote Sensing*, 7(4), 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>

- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluación de imágenes multiespectrales e índices de vegetación para aplicaciones de agricultura de precisión a partir de imágenes de vehículos aéreos no tripulados (VANT). *MDPI*, 7(4), 4026-4047. <https://doi.org/10.3390/rs70404026>
- Carvalho, F. (2017). Plaguicidas, medio ambiente y seguridad alimentaria. *Seguridad Alimentaria y Energética*, 6(2), 48-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/fes3.108>
- Casmuz, A., Juarez, M. L., Socías, M. G., Murua, M. G., Prieto, S., Medina, S., . . . Gastaminza, G. (2010). Revisión de los hospederos del gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, 64(3-4), 209-231. <https://www.redalyc.org/pdf/3220/322028487010.pdf>
- Cetzal Ix, W., Casanova Lugo, F., Chay Canul, A. J., & Martínez Puc, J. F. (Febrero de 2019). Agroecosistemas tropicales: conservación de recursos naturales y seguridad alimentaria. *Researchgate*, 238-246. https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Leirana-Alcocer/publication/335453273_Algunas_Especies_con_Potencial_Economico_de_Zonas_Semiaridas_de_Yucatan_Alternativa_Frente_al_Cambio_Climatico_Futuro/links/5d66a3df458515b5b4208514/Algunas-Especies-con-Pote
- Chango Amaguaña, L. I. (2012). “*CONTROL DE GUSANO COGOLLERO (Spodoptera frugiperda) EN EL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays L.)*” [tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. repositorio institucional UTA, Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3174/1/Tesis-33agr.pdf>
- Davidson, C., Jaganathan, V., Sivakumar, A. N., Prince Czarnecki, J. M., & Chowdhary, G. (2022). Predicción de NDVI/NDRE a partir de imágenes aéreas RGB estándar mediante

aprendizaje profundo. *ScienceDirect*, 203.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169922007049>

Espósito, M., Criminaldi, M., Criollo, V., Sarghini, F., & Mayor, A. (2021). Drone and sensor technology for sustainable weed management: a review. *Tecnologías químicas y biológicas en la agricultura*, 8(18). <https://doi.org/https://doi.org/10.1186/s40538-021-00217-8>

FAO. (2021). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo*.

<https://www.fao.org/documents/card/es/c/cb4474es>

FAO. (15 de julio de 2022). *Uso de pesticidas*. estadísticas de la Fao:

<https://www.fao.org/faostat/en/#data/RP/visualize>

Farian Severine Ishengoma, Idris , A. R., & Rutabayiro Ngoga Said. (Mayo de 2021).

Identification of maize leaves infected by fall armyworms using UAV-based imagery and convolutional neural networks. *ScienceDirect*, 184.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106124>.

Franceschini, D. M., Bartolomé, D., Van Apeldoorn, D. F., Suomalainen, J., & Kooistra, L.

(2019). Feasibility of Unmanned Aerial Vehicle Optical Imagery for Early Detection and Severity Assessment of Late Blight in Potato. *Remote Sensing*, 11(3), 224.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs11030224>

Gago, J., Douthe , C., Coopman, R. E., Gallego, P. P., Ribas Carbo, M., Flexas, J., . . . Medrano, H. (2015). UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture.

ScienceDirect, 153(1), 9-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.01.020>

- García, A. (2012). *Efecto letal y subletal de insecticidas sobre diferentes instares de chrysoperla carnea (stephens) (neuroptera: chrysopidae)* [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Repositorio institucional UAAAN, Mexico.
<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/7058>
- Geipel, J., Link, J., & Claupein, W. (2014). Combined Spectral and Spatial Modeling of Corn Yield Based on Aerial Images and Crop Surface Models Acquired with an Unmanned Aircraft System. *MDPI*, 6(11), 10335-10355.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/rs61110335>
- Gibson Poole, S., Humphris, S., Toth, I., & Hamilton, A. (2017). Identificación de la aparición de enfermedades en un cultivo de papas utilizando un UAV equipado con cámaras digitales comerciales, modificadas y no modificadas. *ScienceDirect*, 8(2), 812-816.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1017/S204047001700084X>
- Gilabert, M., González-Piqueras, J., & García-Haro, J. (1997). Acerca de los índices de vegetación. *Revista de Teledetección*(8), 1-10.
- Goya, H. (2020). *Evaluación de trampas (luz) para la captura de adultos Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz(Zea mays L.) en el cantón Palenque* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional UG, Guayaquil, Ecuador.
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/48993/1/Goya%20Casta%20b1eda%20Holger%20Fabricio.pdf>
- Guevara, Y. (2020). *Control biológico del cogollero (Spodoptera frugiperda) en el cultivo de maíz (Zea mays L.), en la comunidad de Santiago, Aymaraes – 2018.* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes]. Repositorio institucional UTEA, APURIMAC,

PERU.

<https://repositorio.utea.edu.pe/bitstream/utea/265/1/Control%20biologico%20del%20cogollo%20%28Spodoptera%20frugiperda%29%20en%20el%20cultivo%20de%20ma%C3%ADz..pdf>

Gutierrez, S. K., Hernández Santana, L., Orozco Morales, R., Aday Díaz, O., & Delgado Mora, I. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Scielo*, 39(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000200007

Gutierrez, S. K., Hernández Santana, L., Orozco Morales, R., Aday Díaz, O., & Delgado Mora, I. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. *Scielo*, 39(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000200007

Guzmán, D. (2017). *Etapas fenológicas del maíz (Zea mays L.) Var. tusilla bajo las condiciones climáticas del cantón Cumandá, provincia de Chimborazo. [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio institucional UTA.
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25123/1/tesis%20029%20Ingenier%20ada%20Agropecuaria%20-%20Guzman%20Dennys%20-%20cd%20029.pdf>

Haboudane, D., R. Miller, J., Tremblay, N., Zarco Tejada, P. J., & Dextraze, L. (2002). Índices integrados de vegetación de banda estrecha para la predicción del contenido de clorofila de los cultivos para su aplicación a la agricultura de precisión. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3), 416-426. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00018-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00018-4)

- Hernández Pardo, C. J. (2008). *Comportamiento del achaparramiento del maíz (Spiroplasma Kunkelii) en Ursulo Galan, Veracruz, Mexico [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]*. Repositorio institucional UAAAN, Mexico.
[http://repositorio.uaaan.mx:8080/bitstream/handle/123456789/3864/60729%20Hern%
 %c3%a1ndez%20Pardo%2c%20C%
 %c3%a9sar%20Juli%
 %c3%a1n.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/bitstream/handle/123456789/3864/60729%20Hern%c3%a1ndez%20Pardo%2c%20C%c3%a9sar%20Juli%c3%a1n.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Hernández, A., Osorio, E., López, J., Ríos, C., Varela, S., & Rodríguez, R. (2018). Insectos benéficos asociados al control del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.). *Agro productividad*, 11(1). <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/142>
- INIA. (2020). *Manejo ecológico para el control de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz amarillo duro en las regiones de Lambayeque y La Libertad*.
- INIA. (2020). *Manual técnico de cultivo de maíz amarillo duro*. Perú. <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/1057>
- Jara, W. (2014). *Manejo integrado del cultivo y de las plagas del maíz*. Repositorio INIA: https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/112/1/Manejo_integrado_del_cultivo_2014.pdf
- Jiménez, C. (2022). *Uso de agroquímicos en el cultivo de papa y la contaminación del suelo agrícola en el distrito de Chinchero, Cusco, Perú [Tesis de grado, Universidad Inca Garcilaso de la Vega]*. Repositorio institucional UIGV, Lima, Peru.
<http://intra.uigv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.11818/6390/TESIS%20CATALINA%20JIMENEZ%20AGUILAR%20-.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Jingcheng Zhang, Yanbo Huang, Lin Yuan, Guijun Yang, Liping Chen, & Chunjiang Zhao. (2015). Using satellite multispectral imagery for damage mapping of armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in maize at a regional scale. *Research Article*, 72, 335-348.
https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/60663500/Publications/Huang/2016/Zhang%20et%20al.%202016_PMS_72-335-348.pdf
- Lehmann Karl, J. R., Nieberding, F., Prinz, T., & Knoth, C. (2015). Analysis of Unmanned Aerial System-Based CIR Images in Forestry—A New Perspective to Monitor Pest Infestation Levels. *MDPI*, 6(3), 594-612. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/f6030594>
- Liu , M., Zhan , Y., Li, J., Kang, Y., Xiuling, S., Gu, X., . . . Yang, J. (2024). Validación de los índices de vegetación de borde rojo en la clasificación de la vegetación en la región monzónica tropical: un estudio de caso en Wenchang, Hainan, China. *MDPI*, 16(11).
<https://doi.org/10.3390/rs16111865>
- Lopez, M. (1990). *Dodonaea viscosa (Sapindaceae) y Erodium cicutarium (Geraniaceae) para el control del gusano cogollero del maíz, Spodoptera frugiperda (J. E. Smith) [Tesis de grado, Universidad Autónoma De San Luis De Potosí]*. Repositorio institucional UASLP, Mexico.
<https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/2093/IAF1DOD99001.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Meneses Tovar, C. L. (2011). NDVI as indicator of degradation. *Unasyhva*, 62(238), 39-46.
<https://www.fao.org/4/i2560e/i2560e07.pdf>

MIDAGRI. (2022). *Observatorio de Commodities: Maíz Amarillo Duro*.

https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/1285/1/Commodities%20Ma%C3%ADz%20Amarillo%20Duro_%20ene-mar%202022.pdf

MINAGRI. (2012). *INIA 619 Megahíbrido*. INIA.

http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/521/1/Trip-Maiz_amarillo_INIA619.pdf

Mogili, M. R., & Deepak. (2018). Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture. *ScienceDirect*, 133, 502-509.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.063>

Muñoz, P. (2013). *Índices de vegetación*. Centro de información de recursos naturales, Chile.

Negrete Baron, F., & Morales Angulo, J. (Abril de 2003). *EL GUSANO COGOLLERO DEL MAIZ (Spodoptera frugiperda. smith)*. Biblioteca digital agronet:

http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/4870/2/20061127153058_El%20gusano%20cogollero%20del%20maiz.pdf

Neira de Perales, M. E., & Perez Tesen, E. D. (Agosto de 2020). *Manejo ecológico para el control de Spodoptera frugiperda en el cultivo de maíz amarillo duro en las regiones de Lambayeque y La Libertad*. repositorio intitucional INIA:

<https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1148>

Oñate, L. (2016). *Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (Zea mays) var. blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*. Repositorio imstitucional

UTA, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/18305/1/Tesis->

116%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-
 CD%20371.pdf?fbclid=IwAR1yx3NdCffiECH-MtvEG6jQs_Piu_UgeevTsowejILXe-
 4xyjmsIg8UjwM

Paliwal, R. (2001). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO.

<https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>

Parody, B. P. (2011). *Caracterización espacial y temporal de la estructura genética del primer insecto blanco del maíz transgénico Bt en Argentina, el barrenador Diatraea saccharalis (Fabricius)[tesis de grado, Universidad de Buenos Aires]*. biblioteca digital Exactas UBA, Argentina.

https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/collection/tesis/document/tesis_n4976_Parody

Pérez Tesén, E., Neira de Perales, M., & Calderón Arias, C. (2019). Alternativas ecológicas en el control de *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) en el cultivo de maíz amarillo duro. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 541-550.

<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v10n4/a11v10n4.pdf>

Poinar, G., Thomas, G., Haygood, M., & Kenneth, N. (1980). Growth and luminescence of the symbiotic bacteria associated with the terrestrial nematode, *Heterorhabditis Bateriaophora*. *Soil Biology and Biochemistry*, 12(1), 5-10. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(80\)90095-4](https://doi.org/10.1016/0038-0717(80)90095-4)

Ramírez Mendez, A. F., Lozano Sandoval, D. S., & Valencia Achuri, P. A. (2022). Tecnologías de precisión en el cultivo de Maíz (*Zea mays*). *Revista de Ciencias Agropecuarias*, 1(2). <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4679>

- Romero Salcedo, C. D. (2018). *Incidencia del gusano cogollero (Spodoptera frugiperda) en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en las condiciones climáticas del cantón junin provincia de manabí [tesis de grado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí]*. Repositorio institucional ULEAM, Ecuador.
<https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/1448/1/ULEAM-AGRO-0032.pdf>
- Rueda Ramírez, D., Torrado León, E., & H. Becerra, E. (Julio de 2013). Memorias Congreso Colombiano de Entomología. *Sociedad Colombiana de Entomología - SOCOLEN*, 233-240.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13603/81750_67224.pdf?sequence=1#page=244
- Salinas Delgado, L. (2017). *Evaluación del uso de insecticidas en el control de Spodoptera frugiperda J. E. Smith. En Zea mays L. , en Huacapongo - la libertad [tesis de grado, Universidad Nacional De Trujillo J. repositorio institucional UNT, Trujillo, Peru]*.
<https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9941/SALINAS%20DELGADO%20LINDER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sánchez Jara, J., Valle Delgado, J., Pérez Tesén , E., Neira de Perales, M., & Calderón Arias, C. (2019). Control biológico de Spodoptera frugiperda en cultivo de Zea mays: Uso de nematodos entomopatógenos. *Scientia Agropecuaria*, 10(4), 551-557.
- Sánchez Ortega, I. (2014). Maíz I (Zea mays). *REDUCA (Biología)*, VII(2), 151-171.
<https://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739/1776>
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (Zea mays). *REDUCA Biología*, 7(2), 151-171.
<http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739>

Sánchez, J. (2023). *Aplicación de aceite vegetal en el control de los gusanos de la mazorca en cultivo de maíz (Zea mays) [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]*.

Repositorio institucional UTA, Ecuador.

[https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37614/1/Tesis-](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37614/1/Tesis-352%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20S%C3%A1nchez%20Guasti%20Juan%20Carlos.pdf)

[352%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37614/1/Tesis-352%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20S%C3%A1nchez%20Guasti%20Juan%20Carlos.pdf)

[%20S%C3%A1nchez%20Guasti%20Juan%20Carlos.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/37614/1/Tesis-352%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-%20S%C3%A1nchez%20Guasti%20Juan%20Carlos.pdf)

Sarmiento, J., & Casanova, J. (1975). Búsqueda de límites de aplicación en el control del cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda*. *Revista Peruana De Entomología*, 18(1), 104-107. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.059672/Details>

SENAMHI. (Julio de 2021). *Maíz Amarillo Duro*.

[https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%C3)

[amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%C3)

[agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%C3)

[%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%C3)

[C3](https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1423/Ma%C3%ADz-amarillo-duro-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=La%20temperatura%20media%20%C3%B3ptima%20se,de%20clima%20c%C3%A1lido%20y%20semic%C3)

SENASICA. (Febrero de 2021). *Gusano cogollero Spodoptera frugiperda (J.E. Smith)*

(Lepidoptera: Noctuidae).

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y_arroz.pdf)

[_arroz.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/635234/Gusano_cogollero_en_ma_z_y_arroz.pdf)

Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Preet, G., Sidhu, S., . . . Kumar Thukral, A.

(2019). Uso mundial de pesticidas y sus impactos en el ecosistema. *SN Ciencias*

aplicadas, 1(1446). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42452-019-1485-1>

- Simelli, I., & Tsagaris, A. (2015). The Use of Unmanned Aerial Systems (UAS) in Agriculture. *HAICTA*, 730-736. https://ceur-ws.org/Vol-1498/HAICTA_2015_paper83.pdf
- Sisay, B., Tefera, T., Wakgar, M., Ayalew, G., & Mendesil, E. (2019). Eficacia de insecticidas sintéticos y productos botánicos seleccionados contra el gusano cogollero del maíz, *Spodoptera frugiperda*, en el maíz. *MDPI*, 10(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/insects10020045>
- Solórzano, J., Vélez, S., & Vélez, J. (2024). Fusarium spp. en el cultivo de maíz: Identificación, distribución geográfica, sintomatología, micotoxinas, ciclo de la enfermedad, control, y desafíos actuales y futuros. *Scientia Agropecuaria*, 15(4), 537-556.
<https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/6073/6184>
- Soria, S. (2015). *Unidades térmicas para el desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (Zea mays, L.) en la localidad de Cañete [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Repositorio institucional La Molina, Lima, Perú.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2111/H50-S6-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stanton, C., Starek, M. J., Elliott, N., Brewer, M., Maeda, M. M., & Chu, T. (2017). Altura del cultivo derivada de un sistema de aeronaves no tripuladas y métricas de índice de vegetación de diferencia normalizada para la evaluación del rendimiento del sorgo y el estrés de los pulgones. *Revista de teledetección aplicada*, 11(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1117/1.JRS.11.026035>
- Takhtajan, A. (1980). Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *The Botanical review*, 46(3), 225-359. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF02861558>

- Torres Sanches , J., Lopez Granados, F., & Peña, J. M. (2015). An automatic object-based method for optimal thresholding in UAV images: Application for vegetation detection in herbaceous crops. *ScienceDirect*, 114, 43-52.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169915001052>
- Torres Sanches , J., Peña , J. M., De Castro, A. I., & Lopez Granados, f. (Abril de 2014). Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *ScienceDirect*, 103, 104-113.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169914000568>
- Triana, S. (2021). *Eficiencia de Chrysoperla carnea en control de Spodoptera frugiperda en el maíz en San Marcos, provincia de Santa Elena*. Universidad Estatal Península de Santa, Ecuador. <https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/46000/5962/UPSE-TIA-2021-0031.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tumbaco, T. (2019). *Rendimiento de materia verde de dos híbridos de maíz para ensilaje en la comuna Dos Mangas [Tesis de grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]*. Repositorio institucional UPSE.
<https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/4956/1/UPSE-TIA-2019-0011.pdf>
- Vilca, Y. (2010). *Determinación del rendimiento de forraje en cinco híbridos de maíz (Zea mays) en la irrigación 8 de diciembre - ex COPARE - Tacna [Tesis de grado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]*. Repositorio institucional UNJBG, Tacna, Perú. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e888db1d-7fc6-4aec-bd87-ff1ddbfc466/content>

Zarco Tejada , P. J., Guillén Climent, M. L., Hernández Clemente, R., Catalina, A., González, M. R., & Martín, P. (2013). Estimating leaf carotenoid content in vineyards using high resolution hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV).

ScienceDirect, 171(172), 281-294.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.12.013>

Zhang, C., & M. Kovacs, J. (2012). La aplicación de pequeños sistemas aéreos no tripulados para la agricultura de precisión: una revisión. *SpringerLink*, 13, 693–712.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11119-012-9274-5>

VIII. ANEXOS

Figura 12

Delimitación del campo experimental y tendido de cintas de riego



Figura 13

Siembra del maíz INIA-619.



Figura 14

Establecimiento de trampas de luz para el tratamiento ecológico.



Figura 15

Establecimiento de los puntos de control para solucionar el desfase de imágenes



Figura 17

Evaluación manual del grado de daño de las plantas

**Figura 16**

Liberación de Chrysoperla carnea



Figura 18

Cámaras multiespectrales MicaSense y panel de calibración.

**Figura 19**

Ensamblado e instalación de las cámaras multiespectrales en el Drone DJI Matrice 300 RTK



Figura 20

Vuelos de dron sobre la parcela para la obtención de las imágenes multiespectrales



Figura 21

*Aplicación de nemátodos entomopatógenos del género *Heterorhabditis*.*



Figura 22

Larvas de S. frugiperda muerta producto del parasitismo de los nemátodos entomopatógenos.

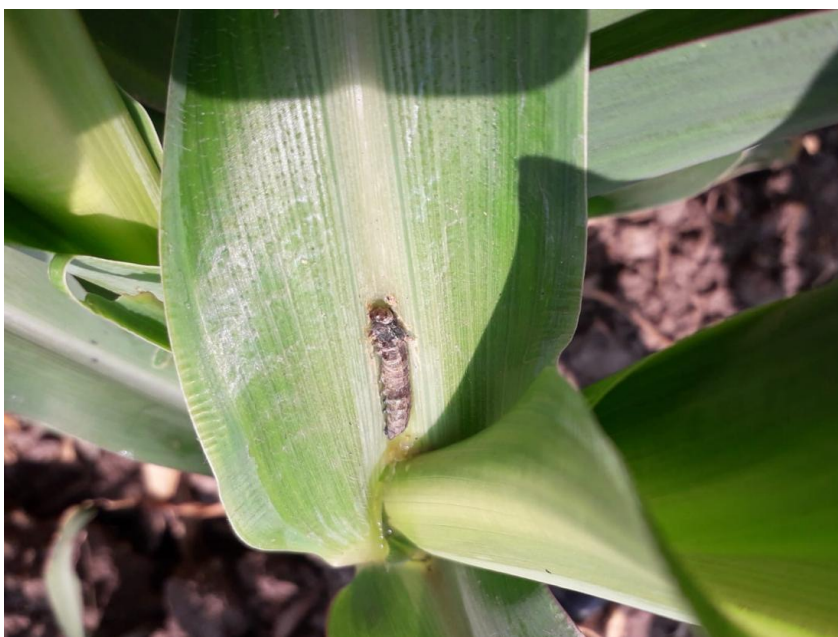


Figura 23

Flujo de trabajo para obtención de imágenes multispectrales

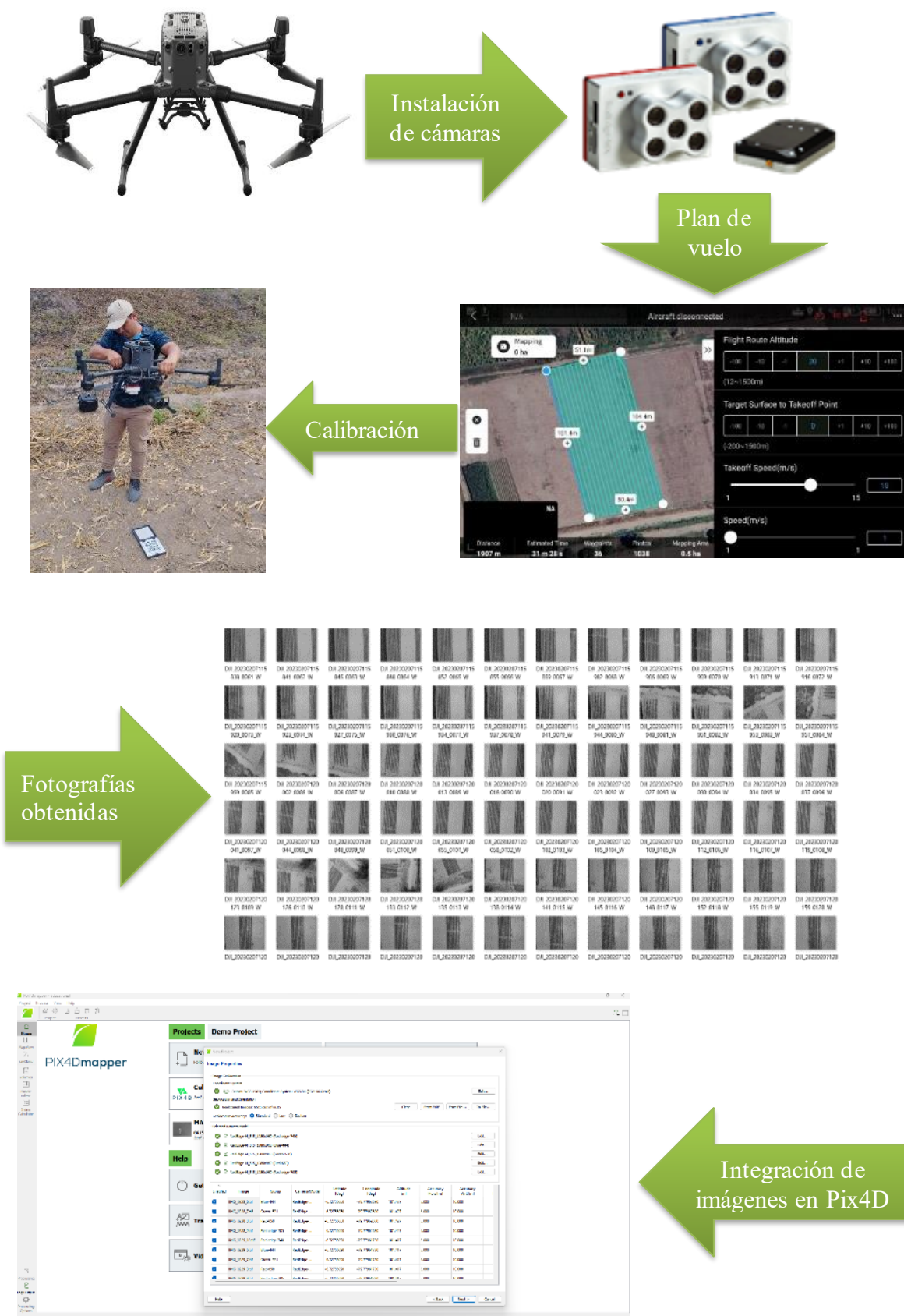


Figura 24

Flujo de trabajo para la obtención de datos

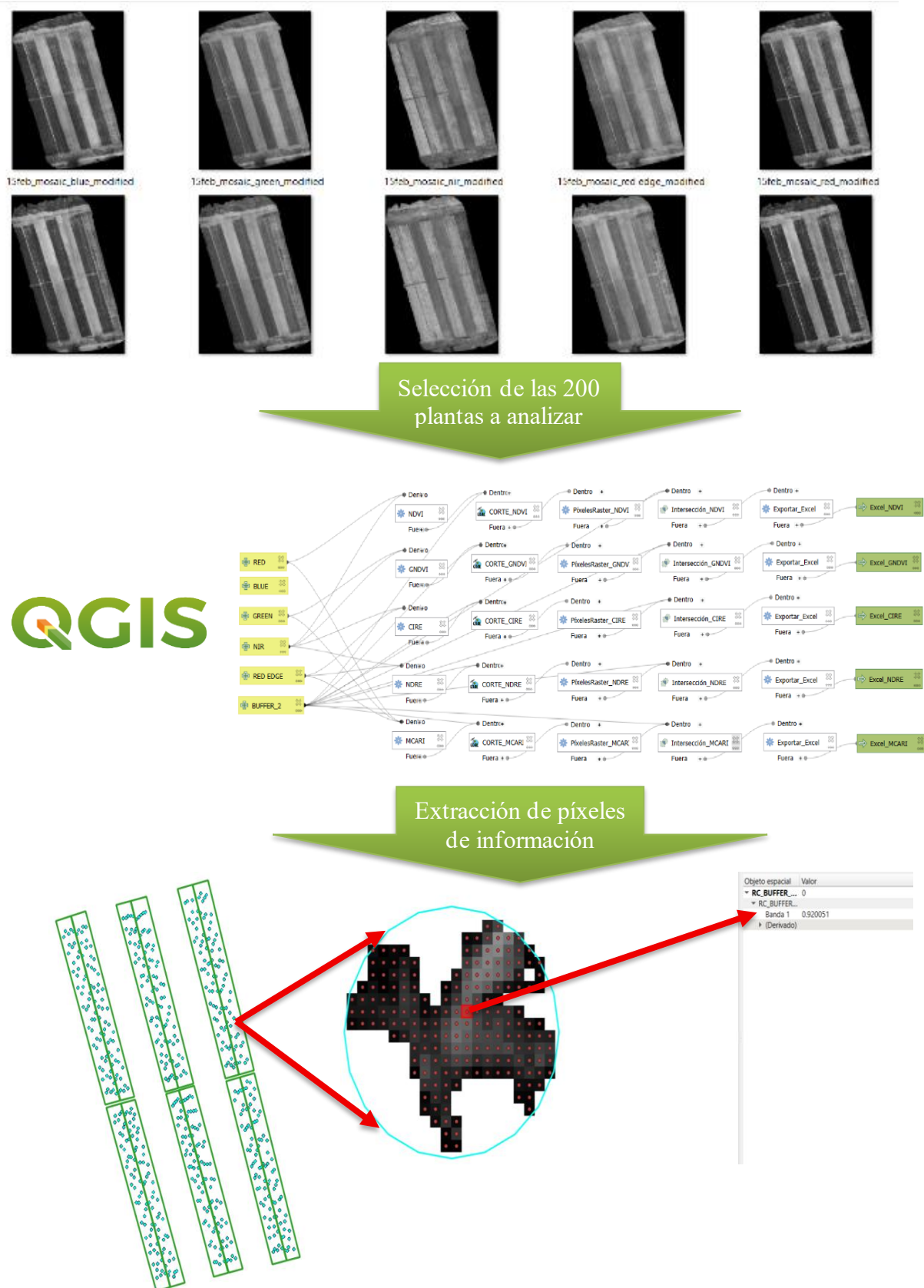


Figura 25

Vista de la parcela experimental

