



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE AGRONOMÍA

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del Grado
Académico de Ingeniero Agrónomo.

Proyecto de Investigación:

IMÁGENES RGB CAPTURADAS POR AERONAVES PILOTEADAS A DISTANCIA
(RPA) PARA LA ESTIMACIÓN DE ALTURA Y COBERTURA VEGETAL EN
GENOTIPOS DE *Zea mays*

Autor:

Dayanara Marianela Moreira Solis

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Erick Alberto Eguez Enriquez MSc.

Quevedo - Los Ríos –Ecuador

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Dayanara Marianela Moreira Solis**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Dayanara Marianela Moreira Solis

C.C: 120795503-8



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Erick Alberto Eguez Enriquez MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que la estudiante, **Dayanara Marianela Moreira Solis** realizó el Trabajo de Integración Curricular titulado **“Imágenes RGB capturadas por aeronaves piloteadas a distancia (RPA) para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de Zea mays”**, previo a la obtención del Grado Académico de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Erick Alberto Eguez Enriquez, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito **Ing. Erick Alberto Eguez Enriquez MSc.**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe de Proyecto de Investigación titulado, **“Imágenes RGB capturadas por aeronaves piloteadas a distancia (RPA) para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de *Zea mays*”**, presentado por la estudiante **Dayanara Marianela Moreira Solis**, egresado de la Carrera de Agronomía, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un ____ y similitud ____, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.



Ing. Erick Alberto Eguez Enriquez, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES
CARRERA DE AGRONOMÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Imágenes RGB capturadas por naves piloteadas a distancia (RPA) para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de *Zea mays*”

Presentado al Consejo Directivo de la Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por:

Ing. Edwin Miguel Jiménez Romero, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Dr. Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Luis Sánchez Fonseca, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Este agradecimiento va dirigido a Dios por permitirme la vida aquí en la tierra, cuidado y guiado durante todo este proceso estudiantil.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo UTEQ por educarme con docentes que fueron la guía principal en la formación como futura profesional, los cuales se han ganado mi estima y aprecio.

A los responsables del área de Teledetección en EETP-INIAP Ing. Karen Albacura y el Ing. Jordy Arcos, quienes con su paciencia me guiaron bajo sus enseñanzas. También a Lisseth Bravo que fue un excelente equipo de trabajo para la realización de este proyecto.

A mi director de Proyecto de Investigación Ing. Erick Eguez MSc., con quien siempre estaré agradecida por el tiempo dedicado y la paciencia puesta en el desarrollo de este proyecto.

A mi madre por ser la persona que a pesar de no tener el recurso suficiente trabajó durante años para darme una educación de calidad y forjarme con principios y ética.

DEDICATORIA

A Dios por darme la dicha de llegar a este mundo terrenal y conocer todas las maravillas que el ofrece.

A mi madre Mariana Solis por enseñarme que el que lucha consigue sus metas en la vida y que el factor económico no es impedimento para lograr tus sueños, que solo la constancia y la perseverancia te harán tener éxito. A mi padre Pedro Moreira (+) que desde el cielo cuidó y veló cada uno de mis pasos dentro del periodo universitario.

A mi esposo Josué Kang quien, con su paciencia lidia con cada uno de mis problemas, sujeta mi mano y no me deja sola, gracias por ser mi compañero de vida y quererme tal y como soy. A mi hijo Igor Kang. Que llegó a mi vida el 2022 y me enseña cada día que el amor más fuerte es el de una madre con su hijo, te amo y este logro es por ti y para ti.

A la Ing. Sonnia Barzola MSc. por su aprecio y apoyo brindado; gracias acogerme en su hogar y por convertirse en un ejemplo a seguir para mí y mi hijo.

Y a todos quienes desinteresadamente apoyan mi espíritu emprendedor. Con todo mi cariño este proyecto es para ustedes.

Dayanara Marianela Moreira Solis.

RESUMEN

El estudio de la altura y cobertura vegetal del cultivo de Maíz forrajero se considera una variable relevante para el monitoreo óptimo de los cultivos relacionados con la productividad y el rendimiento de los cultivos. El objetivo principal del proyecto fue emplear imágenes RGB capturadas por RPA para la estimación de cobertura y altura del Maíz. Se realizaron 5 vuelos con el dron DJ Mavic mini que contenía una cámara de espectro rojo, verde y azul (Cámara RGB). La captura de las imágenes fue a 30m de altura sobre el nivel del suelo, con una resolución de 0.79 cm por pixel, las imágenes se procesaron en los softwares de Agisoft Metashape para obtener el Ortomosaico, Modelo del Terreno y Modelo de Elevación; y con QGIS se realizó la extracción de datos de altura con una selección al azar de 10 plantas por parcela y a su vez la resta de bandas del Ortomosaico con la ayuda de la calculadora ráster para obtener los RGBVI. También se tomaron los datos de altura de forma convencional seleccionando 10 plantas por parcela o tratamiento y se estableció la correlación existente entre las dos formas de extracción de datos. QP-543 resultó el híbrido de maíz con mayor vigor y desarrollo vegetativo en comparación con los otros híbridos. Los índices utilizados para poder extraer la vegetación mostraron alta precisión en las primeras etapas del desarrollo, por lo cual es posible poder utilizarlos para conocer datos como densidad y vigor del cultivo. El cálculo de correlación corroboró que existe una relación débil entre las dos formas de extraer datos, lo que indica una respuesta favorable para este proyecto de investigación.

Palabras clave: RGB, Altura, Cobertura vegetal, RPA, *Zea mays*.

ABSTRACT

The study of height and vegetation cover in forage maize crops is considered a relevant variable for optimal crop monitoring related to productivity and yield. The main objective of the project was to use RGB images captured by RPAs to estimate the coverage and height of maize. Five flights were conducted using a DJI Mavic Mini drone equipped with a red, green, and blue spectrum camera (RGB camera). The images were captured from a height of 30 meters above ground level, with a resolution of 0.79 cm per pixel. The images were processed using Agisoft Metashape software to obtain the orthomosaic, terrain model, and elevation model. QGIS was used to extract height data by randomly selecting 10 plants per plot and subtracting the orthomosaic bands with the help of the raster calculator to obtain the RGBVI. Conventional height data were also collected by selecting 10 plants per plot or treatment, and the correlation between the two data extraction methods was established. QP-543 was the maize hybrid with the greatest vigor and vegetative development compared to the other hybrids. The indices used to extract vegetation showed high accuracy in the early stages of development, making it possible to use them to determine crop density and vigor. The correlation calculation corroborated a weak relationship between the two data extraction methods, indicating a favorable response for this research Project.

Keywords: RGB, Height, Vegetation cover, RPA, *Zea mays*.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
TABLA DE CONTENIDO.....	x
CODIGO DUBLÍN	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.	
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Problema de investigación.....	4
1.1.1. <i>Planteamiento del problema</i>	4
Diagnostico.....	4
Pronóstico.....	4
1.1.2. <i>Formulación del problema</i>	4
1.1.3. <i>Sistematización del problema</i>	5
1.2. Objetivos	6
1.2.1. <i>Objetivo general</i>	6
1.2.2. <i>Objetivos específico</i>	6
1.3. Justificación.....	7
CAPÍTULO II.	

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1. Marco conceptual.....	9
2.1.1. Teledetección	9
2.1.2. Imágenes RGB.....	9
2.1.3. Aeronaves pilotadas a distancia (RPA)	9
2.1.4. Estimación de altura	9
2.1.5. Cobertura vegetal	9
2.1.6. Agricultura de precisión	10
2.2. Marco referencial	10
2.2.1. Importancia del cultivo de maíz.....	10
2.2.2. Origen del maíz.....	11
2.2.3. Taxonomía del maíz	11
2.2.4. Botánica del maíz.....	12
2.2.4.1. Tallo.....	12
2.2.4.2. Raíces.....	12
2.2.4.3. Hojas.....	12
2.2.4.4. Inflorescencia.....	12
2.2.4.5. Fruto.....	13
2.2.5. Teledetección y agricultura de precisión.....	13
2.2.6. Tipos de sensores utilizados en aeronaves pilotadas a distancia	13
2.2.6.1. Sensores RGB (Rojo, Verde, Azul).....	14
2.2.6.2. Sensores Multiespectrales.....	14
2.2.6.3. Sensores Hiperespectrales.	14
2.2.6.4. Sensores LIDAR (Light Detection and Ranging).	14
2.2.6.5. Cámaras Termográficas.	14
2.2.7. Principios de las imágenes RGB.....	15
2.2.8. Aeronaves pilotadas a distancia (RPA) en agricultura	15
2.2.9. Procesamiento de imágenes.....	16
2.2.9.1. Estimación de altura de cultivos.	16

2.2.9.2. Evaluación de la cobertura vegetal.	17
2.2.9.3. Factores que afectan la precisión de las estimaciones.	17
2.2.10. Revisión bibliográfica sobre el empleo de imágenes RGB para la estimación de altura y cobertura vegetal en las plantas.	18
CAPÍTULO III.	
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	22
3.1. Localización.....	23
3.2. Tipo de Investigación.....	23
3.3. Método de investigación	23
3.3.1. Método de observación	24
3.3.2. Método deductivo.....	24
3.3.3. Método inductivo	24
3.3.4. Método analítico	24
3.3.5. Método de síntesis.....	24
3.4. Fuentes de recopilación de información	24
3.4.1. Fuentes primarias	24
3.4.2. Fuentes secundarias.....	25
3.5. Diseño de la investigación	25
3.5.1. Factores de estudio	25
3.5.2. Tratamientos	25
3.5.3. Diseño experimental	26
3.5.3.1. Análisis estadístico.....	26
3.5.3.2. Unidad experimental.....	26
3.6. Instrumentos de investigación.....	27
3.6.1. Manejo del experimento.....	27
3.6.1.1. Labores culturales en el Maíz.	27
3.6.1.2. Obtención de imágenes para procesamiento de datos.....	31
3.6.2. Variables evaluadas.....	34
3.6.2.1. Índice de Vegetación Rojo Verde Azul (RGBVT).....	34

3.6.2.2. <i>Altura de planta.</i>	34
3.6.2.3. <i>Correlación de variables agronómicas tomadas de forma convencional y por Naves Piloteadas a Distancia (RPA).</i>	38
3.7. <i>Tratamientos de los datos.</i>	38
3.8. <i>Recursos humanos y materiales</i>	39
3.8.1. <i>Recursos humanos</i>	39
3.8.2. <i>Materiales</i>	39
3.8.2.1. <i>Material vegetal.</i>	39
3.8.2.2. <i>Materiales de oficina.</i>	39
3.8.2.3. <i>Equipos.</i>	39
3.8.2.4. <i>Software.</i>	39
CAPÍTULO IV.	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. <i>Resultados.</i>	41
4.1.1. <i>Altura de planta</i>	41
4.1.1.1 <i>Altura de plantas semana 3 (Análisis de datos del factor A).</i>	41
4.1.1.2. <i>Altura de plantas semana 3 (Análisis de datos del factor B).</i>	41
4.1.1.3. <i>Altura de plantas semana 3 (Interacción A x B).</i>	42
4.1.1.4. <i>Altura de plantas semana 4 (Análisis de datos Factor A).</i>	43
4.1.1.5. <i>Altura de plantas semana 4 (Análisis de datos Factor B).</i>	44
4.1.1.6. <i>Altura de plantas semana 4 (Interacción A x B).</i>	45
4.1.1.7. <i>Altura de plantas semana 5 (Análisis de datos Factor A).</i>	45
4.1.1.8. <i>Altura de plantas semana 5 (Análisis de datos factor B).</i>	46
4.1.1.9. <i>Altura de plantas semana 5 (Interacción A x B).</i>	47
4.1.1.10. <i>Altura de plantas semana 6 (Análisis de datos Factor A).</i>	48
4.1.1.11. <i>Altura de plantas semana 6 (Análisis de datos Factor B).</i>	48
4.1.1.12. <i>Altura de plantas semana 6 (Interacción A x B).</i>	49
4.1.1.13. <i>Altura de plantas semana 7 (Análisis de datos Factor A).</i>	50
4.1.1.14. <i>Altura de plantas semana 7 (Análisis de datos Factor B).</i>	51

4.1.1.15. <i>Altura de plantas semana 7 (Interacción A x B).</i>	51
4.1.2. <i>Índice de Vegetación RGBVI</i>	52
4.1.3. <i>Correlación de alturas (Convencional y por RPA)</i>	55
4.2. <i>Discusión</i>	56
CAPÍTULO V.	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. <i>Conclusiones</i>	61
5.2. <i>Recomendaciones</i>	62
CAPÍTULO VI.	
BIBLIOGRAFÍA	65
6.1. <i>Bibliografía</i>	66
CAPÍTULO VII.	
ANEXOS	73
7.1. <i>Anexos</i>	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz.	11
Tabla 2. Características agroclimáticas del sitio experimental	23
Tabla 3. Tratamientos en estudio	25
Tabla 4. Esquema de análisis de varianza	26
Tabla 5. Característica del campo experimental	27
Tabla 6. Registro de datos de siembra	28
Tabla 7. Fertilización	29
Tabla 8. Control de malezas.....	29
Tabla 9. Control de plagas y enfermedades	30
Tabla 10. Riego	31
Tabla 11. Descripción técnica de Dron DJI Mavic Mini	31
Tabla 12. Descripción técnica de Cámara RGB.....	32
Tabla 13. Bitácora de vuelos.....	33
Tabla 14. Coordenadas de los puntos de control.....	34
Tabla 15. Código de campos para procesar datos en QGIS	37
Tabla 16. Análisis de correlación de altura semana 7 (Convencional y RPA)	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Croquis del área de estudio.....	28
Figura 2. Panificación de vuelo.	33
Figura 3. Altura de plantas semana 3.....	41
Figura 4. Altura semana 3 Híbridos de Maíz (Factor B)	42
Figura 5. Altura de plantas Semana 3 (Interacción A x B).....	43
Figura 6. Altura de Plantas semana 4 (Análisis de datos Factor A).....	43
Figura 7. Análisis de varianza semana 4 Híbridos (Factor B).	44
Figura 8. Análisis de varianza semana 4 (Interacción A x B).....	45
Figura 9. Alturas de plantas semana 5 (Análisis de datos factor A)	46
Figura 10. Altura de plantas semana 5 (Análisis de factor B)	47
Figura 11. Análisis de varianza semana 5 (Interacción A x B).....	47
Figura 12. Alturas de plantas semana 6 (Análisis de datos factor A)	48
Figura 13. Altura de plantas semana 6 (Análisis de factor B)	49
Figura 14. Análisis de varianza semana 6 (Interacción A x B).....	50
Figura 15. Alturas de plantas semana 7 (Análisis de datos factor A)	50
Figura 16. Altura de plantas semana 7 (Análisis de factor B)	51
Figura 17. Análisis de varianza semana 7 (Interacción A x B).....	52
Figura 18. Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 3 y 4.....	53
Figura 19. Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 5 y 6.....	534
Figura 20. Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 7.....	535
Figura 19. Análisis de correlación de altura de plantas semana 7 (convencional y RPA).....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Mapa de distribución de los tratamientos en estudio	74
Anexo B. RGB Semana 3 (18 de julio del 2023).....	75
Anexo C. RGB Semana 4 (26 de julio del 2023)	75
Anexo D. RGB Semana 5 (07 de agosto del 2023)	75
Anexo E. RGB Semana 6 (18 de agosto del 2023).....	75
Anexo F. RGB Semana 7 (28 de agosto del 2023).....	76
Anexo G. MDE Semana 3 (18 de julio del 2023)	76
Anexo H. MDE Semana 4 (26 de julio del 2023).....	76
Anexo I. MDE Semana 5 (07 de agosto del 2023)	76
Anexo J. MDE Semana 6 (18 de agosto del 2023).....	77
Anexo K. MDE Semana 7 (28 de agosto del 2023)	77
Anexo L: Análisis de varianza Altura semana 3.	77
Anexo M: Análisis de varianza altura de plantas semana 4.	77
Anexo N: Análisis de varianza altura de plantas semana 5.	78
Anexo O: Análisis de varianza altura de planta semana 6.	78
Anexo P: Análisis de varianza altura de plantas semana 7.	78
Anexo Q: Análisis de varianza, interacción factor A x B semana 7.	79

CODIGO DUBLÍN

Título:	Imágenes RGB capturadas por aeronaves piloteadas a distancia (RPA) para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de <i>Zea mays</i>
Autor:	Dayanara Marianela Moreira Solis
Palabras clave:	RGB, Altura, Cobertura vegetal, RPA, <i>Zea mays</i> .
Fecha de publicación:	2024
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2024
Resumen:	El estudio de la altura y cobertura vegetal del cultivo de Maíz forrajero se considera una variable relevante para el monitoreo óptimo de los cultivos relacionados con la productividad y el rendimiento de los cultivos. El objetivo principal del proyecto fue emplear imágenes RGB capturadas por RPA para la estimación de cobertura y altura del Maíz. Se realizaron 5 vuelos con el dron DJ Mavic mini que contenía una Cámara RGB. La captura de las imágenes fue a 30m de altura sobre el nivel del suelo, con una resolución de 0.79 cm por pixel, las imágenes se procesaron en los softwares de Agisoft Metashape para obtener el Ortomosaico, Modelo del Terreno y Modelo de Elevación; y con QGIS se realizó la extracción de datos de altura con una selección al azar de 10 plantas por parcela...
Abstract:	The study of the height and vegetative cover of forage maize crops is considered a relevant variable for optimal monitoring of crops related to productivity and yield. The main objective of the project was to employ RGB images captured by UAVs to estimate maize cover and height. Five flights were conducted with the DJI Mavic Mini drone, which contained a red, green, and blue spectrum camera (RGB Camera). The images were captured at 30 meters above ground level, with a resolution of 0.79 cm per pixel. The images were processed in Agisoft Metashape software to obtain the Orthomosaic, Terrain Model, and Elevation Model; and QGIS was used for height data extraction with a random selection of 10 plants per plot, and the subtraction of Orthomosaic bands with the help of the raster calculator to obtain the RGBVI...
Descripción	94 hojas Inen A4, 3 Cd' s.
URL:	

INTRODUCCIÓN

El maíz, principal cultivo a nivel mundial utilizado en industrias, consumo humano, y alimentación de ganado (Santana *et al.*, 2018). La mayor parte de producción es utilizada para la alimentación de animales ya sea en grano, forraje ensilado o verde (Simón *et al.*, 2018). Además de ser un cultivo de mayor importancia económica (Guerreño *et al.*, 2019).

El maíz es el cultivo transitorio principal cultivado en Ecuador, su producción se estima al 1.38 millones de toneladas (Zambrano *et al.*, 2022). Siendo la provincia de Los Ríos el mayor productor con 49,26% seguido de la provincia de Manabí con 28,64% (INEC, 2021).

La agricultura ha venido avanzando a través del tiempo y con ella la demanda de satisfacer las necesidades alimentarias (Balbontín *et al.*, 2016), dando paso a la implementación de herramientas tecnológicas que permitan mejorar la planificación de actividades agrícolas, para predecir daños y tomar decisiones adecuadas ante situaciones que afectan el desarrollo de los cultivos (Berrío *et al.*, 2015).

La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), generan información en un mapa con características de los cultivos permitiendo estudiar la distribución espacial y su evolución en el tiempo mediante una secuencia de imágenes (Balbontín *et al.*, 2016).

La cobertura vegetal es un parámetro importante para el monitoreo de cultivos; está directamente relacionado con el crecimiento y la evapotranspiración, ya que el desarrollo de la cubierta vegetal indica la etapa de estimación del coeficiente del cultivo. La altura de la planta es una de las variables más utilizadas para caracterizar el desarrollo y predecir el rendimiento del cultivo (Yu *et al.*, 2013).

El desarrollo de tecnologías de posicionamiento y el empleo de drones y cámaras, permiten obtener imágenes georreferenciadas de alta resolución, complementadas con los procesamiento fotogramétricos brindando modelos digitales de elevación para una estimación de cobertura y altura de los cultivos. Varios estudios han utilizado modelos digitales derivados de imágenes de drones para calcular la altura y/o el crecimiento de cultivos en el espacio (Nazir *et al.*, 2021).

En su investigación Marcial *et al.*, (2019). Realizaron el procesamiento fotogramétrico de imágenes de drones, con modelo digital de elevación del dosel (MDED) para estimar la variación espacial en la altura de las plantas en maíz; realizaron alturas de vuelo (52 m), utilizando una cámara de luz visible (RGB), siendo un procedimiento para el monitoreo de plantaciones agrícolas utilizando imágenes obtenidas con tecnología de drones y algoritmos de clasificación de objeto, además; realizaron mediciones en olivares donde se evaluó la resolución espectral y espacial a dos alturas de vuelo (50 y 100 m) utilizando dos sensores, una cámara de luz visible (RGB), siendo el coeficiente de determinación (R^2) obtenido entre los valores medidos y los estimados fue de 0.998, la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) y el error absoluto medio (MAE) fueron 3.20 cm y 2.37 cm, respectivamente.

Los resultados muestran que, utilizando una cámara digital de alta precisión montada en un dron, es posible estimar la variación espacio-temporal de la altura del maíz. Esta variable es muy importante para la aplicación de maquinaria agrícola de precisión (Marcial *et al.*, 2019). En base a lo antes indicado se establece como objeto principal de la investigación el uso de imágenes RGB capturadas por aeronaves pilotadas a distancia (RPA) para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de *Zea mays*.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1.Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

El uso de prácticas y métodos ancestrales pueden enfrentar varios problemas cuando se utiliza sin emplear tecnología moderna, así como el uso de técnicas manuales y herramientas rudimentarias, lo que puede llevar a una menor eficiencia y productividad en comparación con las prácticas agrícolas modernas. La agricultura ha venido presentando cambios a través del tiempo y con ella el empleo de nuevas tecnologías para la mejora en rendimientos y producción.

Diagnóstico

El 26% de Maíz en el Ecuador se produce en Los Ríos, siendo una producción a mayor escala lo que vuelve la medición de variables no cubiertas en su totalidad. Esto surge en base a que existe un desaprovechamiento por los agricultores en el uso de aplicaciones tecnológicas en la agricultura de precisión para el seguimiento del desarrollo (vegetativo, reproductivo) del maíz.

La escasez de conocimiento sobre el empleo de herramientas como Drones, imágenes RGB y nuevas técnicas para el análisis de variables agronómicas en maíz se dan por causa al costo de los equipos, el limitado acceso a la innovación tecnológica.

Pronóstico

El uso de drones en maíz puede proporcionar varios beneficios significativos para los agricultores. Al aprovechar esta tecnología, los agricultores pueden mejorar la eficiencia, precisión y rendimiento general de su cultivo, brindando ventajas como la detección temprana de problemas, la agricultura de precisión y el monitoreo detallado ayudando a mejorar la productividad, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, lo que resulta en un manejo eficiente y sostenible del maíz.

1.1.2. Formulación del problema

¿De qué manera las imágenes RGB capturadas por aeronaves pilotadas a distancia (RPA) permitirán la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de *Zea mays*?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cómo determinar el índice de vegetación por imágenes RGBVI obtenidas de RPAS?
- ¿Cuál es la correlación de las variables agronómicas con los valores obtenidos de RGB por RPAS?

1.2.Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Emplear imágenes RGB capturadas por naves piloteadas a distancia (RPA) para la estimación de cobertura vegetal y altura en genotipos de *Zea mays*.

1.2.2. *Objetivos específico*

- Determinar el índice de vegetación por imágenes RGBVI obtenidas de RPAS.
- Correlacionar las variables agronómicas con los valores obtenidos de las imágenes RGB por RPAS.

1.3. Justificación

El empleo de nuevas tecnologías en la agricultura han favorecido a la producción y rendimiento de cultivos de importancia agronómica, lamentablemente existe un poco uso y falta de conocimiento por falta de los agricultores de la zona, es por esto que la presente investigación se enfocará en empleo de imágenes RGB obtenidas por RPAS para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de *Zea mays*, puesto que al emplear este método se simplifica el tiempo de trabajo en campo y toma de datos de las variables nombradas.

Al implementar drones e imágenes RGB en la agricultura de precisión permiten no solo conocer el estado del cultivo, sino establecer un monitoreo y mapeo aéreo preciso, detección temprana de problemas, evaluación del rendimiento, optimización de recursos, ahorro de tiempo y mano de obra, además de establecer una planificación y gestión mejorada. Esto ayuda a mejorar la productividad, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, lo que resulta en un manejo más eficiente y sostenible del cultivo de maíz.

Este proyecto se justifica por el beneficio que otorga a los productores y agricultores, los drones facilitan la recopilación de datos precisos y en tiempo real sobre el crecimiento de las plantas en grandes áreas de terreno, detectando de forma temprana los problemas y optimizar recursos como el agua y fertilizantes. Además de ser útil para estudios ecológicos, de investigación agronómica y monitoreo ambiental.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Teledetección

La teledetección es el proceso de recopilación y análisis de información sobre objetos, áreas o fenómenos a través de la observación remota. En este caso, se utiliza la teledetección para recopilar datos sobre campos de maíz utilizando aeronaves pilotadas a distancia equipadas con cámaras RGB (Hernández y Hornero, 2021).

2.1.2. Imágenes RGB

Las imágenes RGB se refieren a imágenes capturadas en el espectro visible de luz, es decir, en las longitudes de onda de luz roja (R), verde (G) y azul (B). Estas imágenes proporcionan información sobre el color y la textura de los objetos en la escena (Flores *et al.*, 2020).

2.1.3. Aeronaves pilotadas a distancia (RPA)

También conocidas como drones, estas aeronaves son vehículos no tripulados que pueden volar de forma autónoma o ser controlados remotamente por un operador humano. Se utilizan para capturar imágenes aéreas de alta resolución de campos de cultivo de maíz de manera eficiente y precisa (Andreu *et al.*, 2021).

2.1.4. Estimación de altura

Utilizando las imágenes capturadas por las aeronaves pilotadas a distancia, es posible estimar la altura de las plantas de maíz en el campo. Esto puede lograrse mediante técnicas de procesamiento de imágenes que analizan la sombra proyectada por las plantas o mediante el uso de modelos 3D generados a partir de las imágenes (Flores *et al.*, 2020).

2.1.5. Cobertura vegetal

La cobertura vegetal se refiere a la cantidad de área del suelo cubierta por las plantas en un campo agrícola. Las imágenes RGB capturadas por las aeronaves pueden ser procesadas para

calcular la cobertura vegetal, lo que proporciona información sobre la densidad y distribución de las plantas de maíz en el campo (Estrada , 2021).

2.1.6. Agricultura de precisión

La agricultura de precisión se basa en el uso de tecnologías de información y comunicación (TIC) para optimizar la gestión de los cultivos agrícolas. La utilización de imágenes capturadas por aeronaves pilotadas a distancia para la estimación de altura y cobertura vegetal en genotipos de maíz es un ejemplo de cómo la agricultura de precisión puede mejorar la eficiencia y la productividad en la producción de alimentos (Esquivel *et al.*, 2023).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Importancia del cultivo de maíz

El maíz ha sido fundamental en diversos sectores económicos a nivel global durante el siglo XX y principios del XXI. En naciones industrializadas, el maíz desempeña roles clave como alimento para el ganado, materia prima para la fabricación de alimentos procesados, entre otros usos. Para los campesinos e indígenas en muchos países de América, el maíz ha sido y seguirá siendo crucial para su subsistencia (Seratos, 2009).

El maíz es un cultivo de gran relevancia en Ecuador, dado su papel fundamental en la seguridad alimentaria de la población. En particular, el maíz amarillo duro, del cual el 80% se destina a la producción de alimento balanceado, es cultivado principalmente en la región litoral. Además, es el cultivo transitorio más destacado en términos de superficie sembrada, con alrededor de 300,000 hectáreas dedicadas a su cultivo. Durante las últimas dos décadas, se ha observado un crecimiento constante en su producción y rendimiento (Hernández , 2019).

La producción de maíz en los campos ecuatorianos está en constante aumento, impulsada por el uso de semillas híbridas de alto rendimiento. Estas semillas permiten a los agricultores incrementar su cosecha en una misma área cultivada. Sin embargo, se toman todas las precauciones necesarias durante el cultivo para proteger el desarrollo de las plantas y mitigar los efectos negativos de plagas y enfermedades (Romero, 2020).

2.2.2. Origen del maíz

Comúnmente se acepta que el maíz fue una de las primeras plantas domesticadas por agricultores hace entre 7,000 y 10,000 años. La evidencia más antigua del uso del maíz como alimento humano proviene de ciertos sitios arqueológicos en México, donde se han hallado pequeñas mazorcas de maíz que se estima tienen más de 5,000 años de antigüedad, descubiertas en cuevas utilizadas por las poblaciones prehistóricas (Paliwal, 2010).

El maíz, un cultivo originario de América, fue fundamental en la dieta de las culturas indígenas estadounidenses durante varios siglos antes de la llegada de los europeos al continente. Aunque el origen exacto de esta planta sigue siendo un enigma, los descubrimientos arqueológicos y paleobotánicos indican que el maíz era cultivado en el valle de Tehuacán, al sur de México, hace aproximadamente 4,600 años (Izquierdo, 2012).

2.2.3. Taxonomía del maíz

Clasificación taxonómica del maíz según Cabrerizo (2012) (Tabla 1).

Tabla 1

Clasificación taxonómica del maíz

Clasificación	Nombre
Reino:	Vegetal
Subreino:	Embriobionta
División:	Angiospermae
Clase:	Monocotyledoneae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Género:	Zea
Especie:	mays
Nombre científico:	<i>Zea mays</i>

Fuente: (Cabrerizo, 2012).

Elaborado: Autor

2.2.4. Botánica del maíz

2.2.4.1. Tallo.

El tallo es único, erguido y puede crecer hasta alcanzar los 4 metros de altura. Es fuerte y no tiene ramificaciones. Su apariencia se asemeja a la de una caña, carece de nudos y posee una médula esponjosa que es visible al realizar un corte transversal (InfoAgro, 2022).

2.2.4.2. Raíces.

El sistema radicular incluye una porción de raíces adventicias seminales que representan aproximadamente el 52% de la planta, y constituyen el principal sistema de fijación y absorción de la misma. Por otro lado, el sistema nodular representa el 48% de la masa total de raíces de la planta. Las raíces de anclaje tienen la función de sostener la planta en posición vertical, previniendo su caída (Sánchez, 2014).

2.2.4.3. Hojas.

Las hojas son largas y lanceoladas, dispuestas de manera alterna a lo largo del tallo. Presentan venas paralelas y son de considerable tamaño. Se envuelven alrededor del tallo y tienen vellosidades en la superficie superior. Además, los bordes de las hojas son extremadamente agudos y cortantes (Guacho, 2014).

2.2.4.4. Inflorescencia.

El maíz exhibe una inflorescencia monoica, lo que significa que tiene flores masculinas y femeninas separadas dentro de la misma planta. La inflorescencia masculina se caracteriza por una panícula de color amarillo que contiene una cantidad significativa de polen, estimada entre 20 y 25 millones de granos.

Cada pequeña flor en la panícula tiene tres estambres donde se produce el polen. Por otro lado, la inflorescencia femenina tiene menos granos de polen, alrededor de 800 a 1000, y se desarrolla en estructuras vegetativas llamadas espádices, que están dispuestas lateralmente (InfoAgro, 2022).

2.2.4.5. Fruto.

Los granos del maíz se agrupan en una estructura conocida como "mazorca" o "piña", que constituye una infrutescencia. La cantidad y tamaño de estas mazorcas están estrechamente ligados al rendimiento de los granos, ya que dependen de factores como la longitud, el número de hileras y su peso (Delgado, 2018).

2.2.5. Teledetección y agricultura de precisión

La teledetección es una tecnología que ha revolucionado la forma en que se monitorean y gestionan los recursos naturales, incluyendo la agricultura. Esta disciplina se basa en la captura de información sobre la superficie terrestre desde sensores ubicados en plataformas aéreas o satelitales, lo que permite obtener datos sobre la cobertura vegetal, el uso del suelo, la salud de los cultivos y otros parámetros relevantes para la agricultura. Esta información se utiliza para tomar decisiones más informadas y precisas en la gestión de los cultivos, lo que ha dado origen a la agricultura de precisión (Camas y Mamani, 2022).

La agricultura de precisión es un enfoque basado en el uso de tecnologías avanzadas, como la teledetección, los sistemas de información geográfica (SIG) y la agricultura de datos, para optimizar la gestión de los cultivos y maximizar la eficiencia en el uso de recursos.

Al combinar datos obtenidos de diversas fuentes, como imágenes satelitales, imágenes capturadas por aeronaves pilotadas a distancia (RPA) y datos de sensores en campo, los agricultores pueden realizar una monitorización detallada de sus cultivos y tomar decisiones personalizadas en tiempo real (Perea *et al.*, 2021).

2.2.6. Tipos de sensores utilizados en aeronaves pilotadas a distancia

Existen diversos tipos de sensores utilizados en aeronaves pilotadas a distancia (RPA) para la captura de datos e imágenes en aplicaciones agrícolas (García *et al.*, 2021).

En las aeronaves piloteadas a distancia (RPA) se emplean diversos tipos de sensores para la recopilación de datos e imágenes en aplicaciones agrícolas. Según García *et al.* (2021), entre los más comunes se encuentran:

2.2.6.1. Sensores RGB (Rojo, Verde, Azul).

Estos sensores capturan imágenes en el espectro visible de luz, lo que permite obtener información sobre el color y la textura de los objetos en la escena. Son útiles para la evaluación visual de los cultivos y la detección de cambios en la vegetación (Montes, 2023).

2.2.6.2. Sensores Multiespectrales.

Estos sensores capturan información en varias bandas del espectro electromagnético, más allá del visible, como el infrarrojo cercano (NIR) y el infrarrojo medio (MIR). Esto permite obtener datos sobre la salud de las plantas, la cantidad de biomasa y la detección de estrés vegetal (Canales *et al.*, 2022).

2.2.6.3. Sensores Hiperespectrales.

Estos sensores capturan información en una amplia gama de longitudes de onda, lo que permite un análisis detallado de la composición química de los objetos en la escena. Son útiles para la identificación de diferentes tipos de cultivos, la detección de enfermedades y la evaluación de la calidad del suelo (Rebollo *et al.*, 2021).

2.2.6.4. Sensores LIDAR (Light Detection and Ranging).

Estos sensores emiten pulsos de luz láser y miden el tiempo que tarda en reflejarse en los objetos en la superficie terrestre. Esto permite generar modelos tridimensionales del terreno y calcular la altura de las plantas con gran precisión (Rubia, 2020).

2.2.6.5. Cámaras Termográficas.

Estos sensores capturan imágenes que muestran la radiación térmica emitida por los objetos en la escena. Son útiles para detectar variaciones de temperatura en los cultivos, lo que puede indicar estrés hídrico, enfermedades o deficiencias nutricionales (Montes, 2023).

Los sensores con cámaras termografías son útiles para identificar variaciones de temperatura en los cultivos, lo que puede señalar estrés hídrico, enfermedades o deficiencias nutricionales.

2.2.7. Principios de las imágenes RGB

Las imágenes RGB (Rojo, Verde, Azul) son un tipo de representación visual que captura información en el espectro visible de luz. Este tipo de imágenes se componen de tres canales de color: rojo, verde y azul, que se combinan para formar una imagen en color. Cada píxel en una imagen RGB tiene un valor numérico asociado en cada canal, que representa la intensidad de luz en esa banda de color específica. Por ejemplo, un píxel con valores altos en los canales rojo y verde y un valor bajo en el canal azul se percibirá como un tono amarillo en la imagen final (Estrada, 2021).

Los principios básicos de las imágenes RGB se basan en el modelo de color aditivo, donde los diferentes colores se combinan sumando las intensidades de luz en cada canal. En este modelo, la mezcla de luz roja, verde y azul en proporciones variables produce una amplia gama de colores, incluidos los tonos secundarios y terciarios. Este enfoque se asemeja al funcionamiento del ojo humano, que percibe los colores al combinarse diferentes longitudes de onda de luz (Flores *et al.*, 2020).

Las imágenes RGB son ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones, desde la fotografía digital hasta la teledetección y la visión por computadora. En el contexto de la teledetección agrícola, las imágenes RGB capturadas por aeronaves pilotadas a distancia (RPA) proporcionan información detallada sobre la cobertura vegetal, la salud de los cultivos y otros parámetros agrícolas (Pérez, *et al.*, 2022).

2.2.8. Aeronaves pilotadas a distancia (RPA) en agricultura

Las aeronaves pilotadas a distancia (RPA), comúnmente conocidas como drones, han surgido como una herramienta revolucionaria en la agricultura moderna. Estas aeronaves son capaces de realizar vuelos autónomos o ser controladas remotamente por un operador humano, lo que les permite capturar datos e imágenes de alta resolución sobre los campos agrícolas de manera rápida y eficiente (Marcial *et al.*, 2017).

En el contexto agrícola, los drones equipados con sensores especializados pueden proporcionar información detallada sobre la salud de los cultivos, la cobertura vegetal, la topografía del terreno y otros parámetros importantes para la gestión agrícola (Marcial *et al.*, 2017).

La utilización de RPA en agricultura ofrece una serie de ventajas significativas. En primer lugar, los drones pueden cubrir grandes extensiones de terreno en un corto período de tiempo, lo que permite a los agricultores monitorear sus campos de manera más frecuente y precisa. Además, los datos recopilados por los drones pueden ser procesados y analizados utilizando técnicas de teledetección y análisis de imágenes, lo que proporciona información valiosa para la toma de decisiones agrícolas (González. *et al.*, 2016).

2.2.9. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes en el contexto de la agricultura implica la aplicación de técnicas y algoritmos para extraer información útil de las imágenes capturadas por diversos medios, como drones o satélites. Este procesamiento puede incluir varias etapas, como la corrección geométrica y radiométrica para eliminar distorsiones y mejorar la calidad de la imagen, la segmentación para identificar y separar objetos de interés, y la clasificación para asignar categorías a diferentes regiones de la imagen (Camas y Mamani, 2022).

Además, se pueden aplicar técnicas avanzadas de análisis de patrones y aprendizaje automático para detectar cambios en la vegetación, estimar la biomasa de los cultivos, o identificar enfermedades y estrés en las plantas. El procesamiento de imágenes juega un papel crucial en la agricultura de precisión al proporcionar a los agricultores información detallada y en tiempo real sobre el estado de sus cultivos, lo que les permite tomar decisiones más informadas y optimizar el manejo agrícola para mejorar los rendimientos y reducir los costos (Canales *et al.*, 2022).

2.2.9.1. Estimación de altura de cultivos.

La estimación de la altura de los cultivos es un aspecto fundamental en la agricultura de precisión, ya que proporciona información crucial sobre el desarrollo y la salud de las plantas. En este proceso, se utilizan datos recopilados por diferentes medios, como drones equipados con sensores adecuados o imágenes satelitales, para calcular la altura de las plantas de manera precisa y eficiente (Estrada, 2021).

Entre los métodos comúnmente empleados se encuentran el uso de técnicas de procesamiento de imágenes para analizar la geometría de las plantas y determinar su altura en relación con el

terreno circundante, así como el empleo de modelos matemáticos y algoritmos de aprendizaje automático para estimar la altura a partir de datos de sensores. La estimación de la altura de los cultivos es de vital importancia para diversas aplicaciones agrícolas, como el monitoreo del crecimiento de los cultivos, la detección temprana de enfermedades o estrés en las plantas, y la optimización de prácticas de manejo, como la aplicación de fertilizantes o la irrigación (Garcia *et al.*, 2021).

2.2.9.2. Evaluación de la cobertura vegetal.

La evaluación de la cobertura vegetal es un proceso esencial en la monitorización y gestión de los cultivos agrícolas. Se realiza mediante el análisis de imágenes capturadas por diferentes medios, como drones o satélites, que permiten obtener una visión global de la distribución y densidad de la vegetación en un área determinada. Este análisis puede incluir la aplicación de técnicas de procesamiento de imágenes para segmentar y clasificar las áreas vegetadas, así como la cuantificación de la cobertura vegetal utilizando índices de vegetación como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) o el Índice de Área Foliar (LAI) (Flores *et al.*, 2020).

La evaluación de la cobertura vegetal proporciona información valiosa sobre el estado de los cultivos, como su vigor, salud y densidad, lo que permite a los agricultores detectar problemas de manera temprana, como la presencia de enfermedades, plagas o estrés hídrico, y tomar decisiones informadas sobre el manejo de los cultivos, como la aplicación de fertilizantes, la irrigación o la cosecha (Marcial *et al.*, 2017).

2.2.9.3. Factores que afectan la precisión de las estimaciones.

La precisión de las estimaciones en teledetección agrícola y procesamiento de imágenes está influenciada por una serie de factores fundamentales. Entre ellos, la calidad de los datos de entrada es crítica; las imágenes capturadas por drones o satélites deben tener una resolución espacial y espectral adecuada, así como una precisión radiométrica consistente para garantizar resultados precisos. Las condiciones atmosféricas también desempeñan un papel significativo: la presencia de nubes, neblina o incluso la hora del día en que se capturan las imágenes pueden afectar la calidad de los datos y, por ende, la precisión de las estimaciones (Rebollo *et al.*, 2021).

Además, la calibración y corrección de las imágenes son pasos esenciales para minimizar los errores sistemáticos y mejorar la precisión de los resultados. Esto implica la aplicación de técnicas para corregir la distorsión causada por la iluminación, la reflexión especular u otros artefactos presentes en las imágenes. La variabilidad espacial y temporal de la vegetación también debe considerarse: las diferencias en la topografía, la composición genética de los cultivos y las prácticas agrícolas pueden introducir incertidumbre en las estimaciones (Perea *et al.*, 2021).

2.2.10. Revisión bibliográfica sobre el empleo de imágenes RGB para la estimación de altura y cobertura vegetal en las plantas.

En la investigación de Marcial *et al.*, (2017) con el objetivo de estimar la cobertura vegetal del cultivo de maíz mediante algoritmos de segmentación de imágenes (Otsu y Otsu- Valley) y el índice exceso de verde (ExG) obtenido de las imágenes adquiridas desde un VANT en una etapa intermedia de crecimiento del cultivo. El valor umbral calculado con el algoritmo de Otsu- Valley permitió estimar la fracción de la cobertura vegetal con una mayor precisión (94-99.5%), con respecto al algoritmo de Otsu (78-93.5%).

Así mismo García *et al.*, (2020) con el objetivo de estimar la fracción de cobertura vegetal durante el desarrollo del cultivo de maíz a partir de imágenes tomadas por un sensor que captura información en el espectro del rojo, verde y azul (RGB) montado en un vehículo aéreo no tripulado, con índices de vegetación y métodos de umbralización. Para la extracción de la vegetación y transformación de los ortomosaicos a escala de grises se emplearon cuatro índices de vegetación (IV): índice de verdor triangular (TGI), índice exceso de verde (EXG), índice de resistencia atmosférica visible (VARI) e índice de diferencia normalizado verde-rojo (NGRDI). Los índices utilizados para extraer la vegetación mostraron alta precisión en las primeras etapas de desarrollo, por lo que es posible utilizarlos para conocer la germinación, densidad y vigor inicial del cultivo. Se encontró que el índice EXG presentó errores de 2.2 a 17.8 % en la estimación de la fracción de cobertura de la vegetación durante el desarrollo del cultivo; errores menores al 5 % se obtuvieron mediante el umbral calculado con el método Fuzzy hasta los 58 días después de siembra. El uso de las imágenes digitales de alta resolución desde el vehículo aéreo no tripulado (UAV) permitió estimar la cobertura vegetal con errores menores al 5 % en las primeras etapas de desarrollo del cultivo del maíz.

González *et al.*, (2016) describe y compara tres técnicas diferentes de segmentación por color que han sido aplicadas a la estimación del porcentaje de cobertura vegetal en cultivos de lechuga de variedad Little Gem. La primera técnica es una segmentación manual supervisada con ayuda del software ENVI, basada en una selección imagen a imagen de las zonas de interés, permitiendo al experto humano validar el resultado del proceso para cada imagen. La segunda usa modelos de color probabilísticos no paramétricos y ha sido hecha con el programa CAPS; aunque es automática, requiere de un entrenamiento previo. La tercera es un método completamente no supervisado basado en clustering con el algoritmo Cmeans y lógica difusa. Los resultados experimentales demuestran la validez de los dos métodos automáticos como potenciales sustitutos del proceso supervisado en situaciones donde se necesite evitar la intervención de un operador.

De igual manera Pérez *et al.*, (2022) evaluó la precisión de la estimación de cobertura vegetal mediante dron en matorrales semiáridos de la Sierra de Filabres (Almería) tras una quema prescrita (2 años). La cobertura estimada por dron mostró una alta correlación con la obtenida mediante muestreos de vegetación ($R^2=0.81$). Esta estimación varió entre clases de cobertura, con mayor error en matorrales claros, y menor para espantal denso (RMSE relativo 33% vs. 9%). La diversidad y la pendiente no afectaron en la precisión de la estimación de cobertura, mientras que las parcelas con mayor riqueza mostraron un mayor error en dicha estimación. Estos resultados indican que en ambientes semiáridos la estimación de cobertura con dron subestima los valores reales en matorrales claros.

Ordoñez y Pedraza, (2023) con el objetivo de destacar la importancia de los UAV en estudios ambientales, así como su desarrollo y avances en los últimos años. Encontró una correlación general de palabras clave que se enfocan en aplicaciones de UAV, como aprendizaje automático, sensores remotos y árboles de decisión. También se analizaron las marcas líderes en la suministración de tecnología, incluyendo cámaras, aeronaves y sensores utilizados, así como los modelos más frecuentemente empleados en los estudios revisados para analizar la tendencia del mercado en este campo tecnológico.

Así mismo Estrada, (2021), con el objetivo de identificar y estimar la biomasa de las comunidades vegetales de tolar y bofedales de puna seca a través de sensores multiespectrales incorporados en los UAS. El estudio determinó que la mejor altura de vuelo para identificar la comunidad vegetal tolar de puna seca y la especie segmentada, el arbusto de tola, es de 25

metros, mientras que para los cojines de DIMU de los bofedales es de 25 a 50 metros, precisando que la observación de las especies segmentadas de tola y DIMU a 75 y 100 metros de altura es difusa. Por otra parte, el modelo Random Forest, con una precisión de entrenamiento y prueba de 0.94, un coeficiente Kappa de 0.9071 y $R^2 = 0.482$, predijo en promedio 3 g/pixel y 2 g/pixel de MV de césped para las épocas de lluvia y seca. La biomasa predicha para el componente tola fue de 15 g/pixel de MV para ambas épocas del año.

Este mismo modelo, con precisión de entrenamiento y prueba de 0.8206, un coeficiente Kappa de 0.833 y $R^2 = 0.479$, predijo un promedio de 2.5 g/pixel y 2 g/pixel de MV del componente DIMU para las épocas de lluvia y seca. El proceso de escalamiento se realizó con un nivel de asociación ($p=0.61$ y $p=0.96$) entre ortofotografía e imágenes Rapideye, con un nivel de precisión de 0.8253 de entrenamiento y 0.8306 de prueba, un índice Kappa de 0.8091 y $R^2 = 0.4620$. La predicción de biomasa con las imágenes escaladas comparadas con la predicción realizada para ortofotografías, presentó una diferencia que va desde 49% a 115.57%, por ello, es necesario seguir investigando algoritmos y ecuaciones que disminuyan la diferencia encontrada (Estrada , 2021).

Estrada y Ñaupari, (2021), con el objetivo de determinar la mejor altura de vuelo de las UAV en la detección e identificación de las comunidades vegetales tolar y bofedal de puna seca. El estudio determinó que el rango de NDVI para la identificación de tolares de *Parastrephia lepidophylla* es de 0,20 a 0,45 y para bofedales de *Distichia muscoides* es de 0,68 a 0,95; finalmente usando ortofotografías RGB y NDVI se determinó que la mejor altura de vuelo para identificar las especies segmentadas Tola y DIMU es de 25 m seguido de 50 m.

Esquivel *et al.*, (2023), con el objetivo de generar un modelo de predicción de la dinámica de la productividad anual de un pastizal semiárido del norte de México mediante la cobertura vegetal estimada en fotografías digitales obtenidas por dron. Las variables de estudio medidas fueron la producción de biomasa de corte directo como variable dependiente y la cobertura vegetal estimada en imágenes digitales adquiridas por dron como variable independiente. El número de muestras recogidas de ambas variables fue de 640 durante el año 2020. Con el 50% de los datos se generó el modelo de predicción y con el otro 50% de los datos el modelo de validación, los modelos de regresión ajustados fueron de la forma $Y = \beta_0 + \beta_1X + \beta_2X^2$ con R^2 ajustado = 71.64% y 69.90% respectivamente. Esta metodología propuesta ofrece un medio no destructivo y preciso para el monitoreo y evaluación anual de pastizales en áreas secas.

Salas y De la Fuente, (2022), realizó una regresión lineal entre ambos métodos que mostraron diferencias estadísticas entre las 2 temporadas. Obtuvo una relación muy baja entre la variable estimada y observada de (R^2) de 0.0268, pendiente de 0.057377, MAE: 0.0711335%, RMSE: 0.00797239 para la temporada 2019-2020. Sin embargo, para la temporada 2020- 2021, existió una relación moderadamente fuerte entre fc observada y la fc estimada, con un $R^2= 0.76669$ con pendiente de 0.641026, MAE: 0.0322436 % y RMSE: 0.00152509 %. Por medio de los resultados se concluye que el Kc se puede obtener a través de un Kr entregado por la fc capturadas por el UAV, sin embargo, se debe tener en cuenta factores climáticos y agronómicos.

Huerta *et al.*, (2018) evaluaron el efecto del sistema aéreo de cuatro cultivos, tres de escarda (*Zea mays* L., *Phaseolus vulgaris* L. y *Cucurbita pepo* L.) y uno denso (*Avena sativa* L.) sobre la pérdida de suelo y escurrimiento superficial mediante lluvia simulada. El crecimiento de la cobertura vegetal se cuantificó a través de fotografías digitales cada 15 días a partir de la siembra, captando la imagen multitemporal y suelo desnudo. El uso de coberturas vegetales manifiesta una relación exponencial negativa respecto a la pérdida de suelo; de los cultivos considerados en relación a la pérdida de suelo para reducir el proceso erosivo fue mayor en cebada > calabacita > frijol > maíz; la mejor correlación cobertura vegetal y reducción de la pérdida fue del cultivo de frijol seguido por calabacita, maíz y avena.

Por último, Salvador *et al.*, (2021), con el objetivo de investigar la relación entre índices espectrales, estimados a partir de la reflectancia, medida con un radiómetro multiespectral a nivel de superficie y de imágenes S-2; con la FCV, estimada mediante fotografías digitales a través de la aplicación para celulares Canopeo. Se generaron dos modelos para estimar la FCV, a partir de la información radiométrica a nivel de superficie, la validación de estos arrojó un valor alto de $R^2 = 0.92$ y un CME = 7.3% entre datos de FCV medidos y estimados; sin embargo, en el caso de los datos estimados con imágenes S-2 se obtuvieron valores más bajos de $R^2= 0.67$ y CME = 17.6%, lo cual se atribuyó a un posible efecto de la atmósfera, ya que el periodo de estudio coincidió con la temporada de lluvias. Finalmente, en el caso del CND, los mejores resultados se obtuvieron con el modelo generado a partir del ClGreen, con el cual se obtuvo un R^2 de 0.91 y un CME de 0.63 g.m⁻², al comparar el CND medido con relación al estimado.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

La investigación se realizó en los terrenos del Programa de Ganadería y Pastos de la Estación Experimental Tropical Pichilingue (EETP) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), la cual se encuentra ubicada en el Km 5 vía Quevedo – El Empalme, provincia de Los Ríos.

Tabla 2

Características agroclimáticas del sitio experimental

Detalle	Características
Provincia	Los Ríos
Cantón	Mocache
Parroquia	Mocache
Latitud	1° 01' 43" S
Longitud	79° 30' 20" O
Altitud	75 msnm
Humedad relativa	82%
Temperatura promedio anual	25 °C
Precipitación promedio anual	294.6 mm

Fuente: (EETP - INIAP)

Elaborado: Autor

3.2. Tipo de Investigación

Este trabajo de investigación se encontró direccionado de forma experimental, se llevó a cabo el levantamiento de datos en el campo a través de equipos tecnológicos y los datos se procesarán mediante programas de análisis estadístico para obtener resultados que serán correlacionados con datos obtenidos de forma convencional.

3.3. Método de investigación

Se establecen los siguientes métodos para el cumplimiento y desarrollo de estrategias y técnicas para recolectar, analizar e interpretar datos con el fin de responder preguntas de investigación, para ello se utilizaron los siguientes métodos:

3.3.1. Método de observación

Indispensable para el conocimiento del área donde se planteó el ensayo y planificación de vuelos de Naves Piloteadas a Distancia.

3.3.2. Método deductivo

Se utilizó el método deductivo para el planteamiento de hipótesis y formulación de objetivos, partiendo desde lo más general hasta lo más específico.

3.3.3. Método inductivo

Se aplicó el método inductivo para el análisis de variables agronómicas que presentan los genotipos de *Zea mays*.

3.3.4. Método analítico

Se planteó el método analítico para el análisis de los resultados obtenidos durante el desarrollo vegetativo de los genotipos de *Zea mays*.

3.3.5. Método de síntesis

Se utilizó para el planteamiento de la discusión, conclusión y recomendación de la investigación a partir de los resultados obtenidos.

3.4. Fuentes de recopilación de información

3.4.1. Fuentes primarias

Aquella información obtenida en la evaluación de las variables a través de la observación directa, que permita obtener respuestas ante la aplicación de imágenes RGV obtenidas de RPAS para la estimación de cobertura y altura en híbridos de Maíz. para asegurar la exactitud

y fiabilidad de estas estimaciones, es esencial comparar y correlacionar los resultados obtenidos de las imágenes RGB con las mediciones directas realizadas en el campo.

3.4.2. Fuentes secundarias

Toda información extraída de libros, revistas, manuales divulgativos, guías técnicas y demás material bibliográfico para el desarrollo del marco teórico y discusión sobre el empleo de nuevas tecnologías para la medición de variables agronómicas en especies vegetales.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Factores de estudio

Factor A: Distancia de siembra entre hileras (D1 0 0.80 m; D2 = 0.60 m; D3 = 0.40 m).

Factor B: Híbridos de Maíz (INIAP-H551 e INIAP-H554; INIAP 543 y Advanta 9789).

3.5.2. Tratamientos

Para la formulación del proyecto se contó con 12 tratamientos que provienen de la interacción de la distancia de siembra entre hileras por híbridos de maíz (a x b) (Tabla 3).

Tabla 3

Tratamientos en estudio

Tratamiento	Código	Descripción
T ₁	D1M1	INIAP H551 y d1 0.80 m
T ₂	D2M1	INIAP H551 y d2 0.60
T ₃	D3M1	INIAP H551 y d3 0.40
T ₄	D1M2	INIAP H554 y d1 0.80
T ₅	D2M2	INIAP H554 y d2 0.60
T ₆	D3M2	INIAP H554 y d3 0.40
T ₇	D1M3	INIAP 543 y d1 0.80
T ₈	D2M3	INIAP 543 y d2 0.60
T ₉	D3M3	INIAP 543 y d3 0.40

Tratamiento	Código	Descripción
T ₁₀	D1M4	Advanta 9789 y d1 0.80
T ₁₁	D2M4	Advanta 9789 y d2 0.60
T ₁₂	D3M4	Advanta 9789 y d3 0.40

Elaborado: Autor

3.5.3. Diseño experimental

Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo en Parcelas Divididas, siendo la parcela grande la distancia de siembra entre (d1 0 0.80 m; d2 = 0.60 m; d3 = 0.40 m) a la cual se designados como Factor A y las parcelas pequeñas Híbridos de Maíz (INIAP-H551 e INIAP-H554; INIAP 543 y Advanta 9789) designados como el Factor B.

3.5.3.1. Análisis estadístico

Se realizó el siguiente análisis de varianza (Tabla 4).

Tabla 4

Esquema de análisis de varianza

Fuente de variación		Grados de libertad
Total	$(a * b * r)$	47
Repetición	$(r - 1)$	3
Factor A (Distancia de siembra entre hileras)	$(a - 1)$	2
Error de A	$[(r - 1) * (a - 1)]$	6
Factor B (Híbridos de Maíz)	$(b - 1)$	3
Interacción (A x B)	$(a - 1) (b - 1)$	6
Error de B		27

Elaborado: Autor

3.5.3.2. Unidad experimental

Se contó con 12 tratamientos y 4 repeticiones siendo un total de 48 unidades experimentales, la distancia de siembra entre hileras fue acorde al Factor A (D1: 0.80 m, D2: 0.60 m; D3: 0.40 m) siendo el área

total del experimento 3404 m² tomando él cuenta solo el área total de parcela útil para la toma de datos (Tabla 5).

Tabla 5

Característica del campo experimental

Descripción	Unidad
Numero de repeticiones	4
Número total de tratamientos	12
Unidades experimentales	48
Área total de la parcela útil	d1=7.04 m ² ; d2 = 5.8 m ² ; d3 = 3.52 m ²
Área total del experimento	3404 m ²

Elaborado: Autor

3.6. Instrumentos de investigación

3.6.1. Manejo del experimento

3.6.1.1. Labores culturales en el Maíz.

a) Preparación del suelo

La preparación del suelo consistió en un pase de arado y dos pases de rastra. Siendo pieza fundamental para garantizar un terreno adecuado para la siembra, ya que un suelo bien preparado mejora significativamente las condiciones para la germinación de semillas y facilita el establecimiento del cultivo. El arado ayuda a romper y airear el suelo, permitiendo una mejor penetración del agua y de los nutrientes esenciales. Los pases de rastra, por su parte, nivelan y desmenuzan los terrones, creando una superficie más uniforme y fina que es ideal para la plantación. Además, una adecuada preparación del suelo también contribuye a reducir la competencia de malezas y mejora el contacto de las semillas con el suelo, lo que es crucial para un crecimiento robusto y saludable de las plantas.

b) Delimitación de parcelas

Las parcelas fueron de 10 m de largo cada parcela midió de acuerdo a su densidad de siembra, el d1 fue de 4 m, d2 3 m y d3 con 2.20 m. cada parcela tuvo 6 hileras, se delimitaron con estacas utilizando piola. Entre cada parcela existen 2 m de distancia y 4 m entre bloques (Figura 1).

Figura 1

Croquis del área de estudio



Nota: Croquis de distribución de tratamientos en el área de estudio. Distancia de siembra entre hileras (D1: 0.80*0.20 m; D2: 0.60*0.20 m; D3: 0.40*0.20 m) e Híbridos de Maíz (M1: INIAP – H551; M2: INIAP – H554; M3: QPM – 543; M4: ADVANTA9789).

c) Siembra.

La siembra se efectuó el 22 de junio del 2023; de forma manual con la utilización de espeques dando 52 golpes por hilera a una distancia de 20 cm por planta, la distancia de siembra fue acorde a la distancia entre hilera de cada tratamiento (Tabla 6) permitiendo distribuir de forma aleatoria los tratamientos dentro del campo de investigación para dar con el cumplimiento del Diseño de Boques Completamente al Azar (DBCA).

Tabla 6

Registro de datos de siembra

Datos de siembra	
Siembra	Jueves 22/06/2023
Distancia de siembra	d1 = 0.80 m; d2 = 0.60 m; d3 = 0.40 m
Golpes por hilera	52 golpes por hilera
Híbridos de Maíz	INIAP-H551 e INIAP-H554; INIAP 543 y Advanta 9789

Elaborado: Autor

d) Fertilización.

La fertilización edáfica se realizó en base a la recomendación básica de nutrientes que demanda el cultivo en base a un análisis de suelos, la base aplicada será de acuerdo con la recomendación del Departamento de Suelos y Aguas de la EETP- del INIAP (Tabla 7).

Tabla 7

Fertilización

Fertilización	Días después de la siembra	Dosis
Primera fertilización	5	50 Kg de Yara Complex + 25 kilos de DAP
Segunda fertilización	19	75 Kg de Urea + 25 Kg de Yara Complex
Tercera fertilización	34	100 Kg de Urea + 25 Kg de Yara Complex + 25 Kg Sulpomag

Elaborado: Autor

e) Control de malezas.

Para garantizar un control efectivo de las malezas, se requirió emplear productos químicos específicos como el Glifosato (utilizado para el manejo de malezas antes de la siembra) durante la fase de preemergencia y el Nicosulfurón (Herbicida selectivo utilizado el control de malezas gramíneas y de hoja ancha) en la etapa de post emergencia (Tabla 8). Aunque el uso de herbicidas tiene ventajas, también es importante tener en cuenta los posibles impactos ambientales y para la salud humana. Por ende, se contó con la guía práctica proporcionada por (EETP – INIAP).

Tabla 8

Control de malezas

Control de malezas	Dosis
Pre emergente	Glifosato 900 cc x 3 bombas mochila; Amina 150 cc; Clorpirifo 600 cc y Atrazina 300 g.
Post emergente	32 g de Nicosulfuron 4 bombas mochila; 120 cc de Amina; 80 cc de Fijador agrícola y 200 g de Atrazina

Elaborado: Autor

f) Control de plagas y enfermedades.

Para el manejo de plagas y enfermedades se realizó un monitoreo y según las poblaciones presentes, se aplicaron los insecticidas, fungicidas y bactericidas recomendados dentro del Manejo Integrado de Plagas del INIAP para cada caso presentado durante el ciclo del Maíz (Tabla 9). Las enfermedades fueron evaluadas y de presentarse niveles sobre lo normal se utilizó los productos específicos según el caso.

Tabla 9

Control de plagas y enfermedades

Fumigación	Días después de la siembra	Dosis
Primera fumigación (foliar + insecticida)	6	100 cc de Evergreen x 1 bomba mochila, 20 cc de Solaris y 10 cc de Fijador.
Segunda fumigación (foliar + insecticida + fungicida)	13	50 gramos de Algamin x 1 bomba mochila, 50 gramos de Mancozeb y 25 cc de Thiodicar.
Tercera fumigación (foliar + insecticida + fungicida)	28	300 cc de Sewwed Extrac 3 bombas mochila, 75 cc de Audaz, 90 cc de Difeconazole, 30 cc de fijador agrícola y 45 cc de Solaris.
Cuarta fumigación (Bactericida + Fungicida + insecticida)	44	120 gramos de Starner (Oxilinic acid) 3 bombas de 15 litro motor, 150 cc de Difeconazole, 120 cc de Audaz y 60 cc de fijador agrícola.

Elaborado: Autor

g) Riego

Se realizó el riego acorde a las necesidades del cultivo y las condiciones climáticas que se presentaron en el área de estudio (tabla 10).

Tabla 10*Riego aplicado después de la siembra*

Riego	Días después de la siembra	Tempo de riego
Primer riego	41	1 hora
Segundo riego	52	1 hora

Elaborado: Autor**3.6.1.2. Obtención de imágenes para procesamiento de datos.****a) Características del equipo de vuelo.**

Fue necesaria la utilización del dron marca DJI serie Mavic 2 por ser una marca reconocida en el mercado por su precio y calidad, utilizado por profesionales y estudiantes de fotografía y video por su avanzada tecnología y capacidad de captura de alta calidad (Tabla 11).

El equipo fue proporcionado por la Estación Experimental Tropical Pichilingue del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (EETP – INIAP).

Tabla 11*Descripción técnica de Dron DJI Mavic Mini*

DJI MAVIC MINI 2	
Peso de despegue	249 g
Dimensiones	Plegado: 140×81×57 mm (L×W×H)
Distancia diagonal	213mm
Velocidad máxima de ascenso	4 m/s (modo S) 2 m/s (modo P) 1,5 m/s (modo C)
Velocidad máxima de descenso	3 m/s (modo S) 1,8 m/s (modo P) 1 m/s (modo C)
Altura máxima de despegue	3000 m
Tiempo máximo de vuelo	30 minutos

Elaborado: Autor

b) Características de la cámara RGB.

Se requirió el uso de una cámara RGB de 12 megapíxeles para capturar las imágenes, equipada con sensores que miden la cantidad de luz presente en el espectro visible de los colores primarios (Tabla 12).

Tabla 12

Descripción técnica de Cámara RGB

Cámara RGB	
Sensor	Píxeles efectivos: 12 MP
Lente	FOV: 83° Equivalente al formato de 35 mm: 24 mm Apertura: f/2.8 Rango de disparo: 1 m a ∞
Formato de foto	jpeg

Elaborado: Autor

c) Parámetros de vuelo.

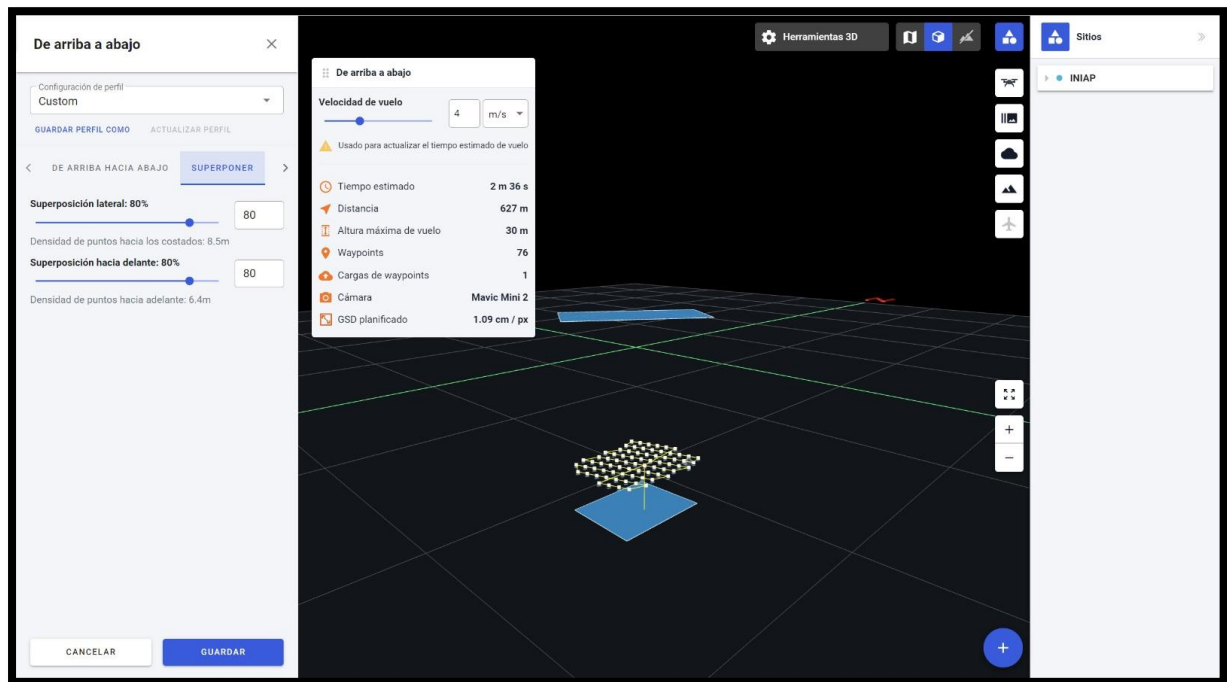
Los vuelos programados se realizaron en (EETP - INIAP) utilizando la aplicación Dron Harmony, la cual es compatible con el Dron DJI Mavic 2. Esta aplicación facilitó la planificación y ejecución de los vuelos para el mapeo del área de estudio.

Los vuelos se efectuaron los martes a las 10:30 a.m., con altitud de 30 metros para los vuelos debido al crecimiento de las plantas de maíz, con un traslape del 80% en horizontal y vertical, a una velocidad de 4 metros por segundo.

Durante los vuelos, se recorrió una distancia de 627 metros en un tiempo de 2 minutos y 36 segundos. El GSD (distancia entre el punto central de dos píxeles consecutivos) planificado fue de 1.09 cm por píxel, realizando un total de cinco vuelos durante el desarrollo vegetativo del cultivo de maíz (Figura 2) (Tabla 13).

Figura 2

Panificación de vuelo.



Nota: La figura representa la planificación de vuelo elaborada en Dron Harmony indicando el traslape, altitud, velocidad y distancia de recorrido ejecutado por el Dron DJI Mavic 2.

Tabla 13

Bitácora de vuelos

N° de vuelo	Días después de la siembra	Fecha	Altura (m)	Numero de Imágenes
1	14	18 / 07 / 2023	30	139
2	22	26 / 07 / 2023	30	284
3	34	07 / 08 / 2023	30	102
4	42	18 / 08 / 2023	30	104
5	52	28 / 08 / 2023	30	96

Elaborado: Autor

d) Puntos de control

Se implantaron puntos provisionales para la validación, continuamente se complementó con polígonos para puntos de control usando GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite)

RTK (Cinemática en Tiempo Real) para obtener una ubicación más precisa en relación con las estaciones fijas. Este enfoque permitió mejorar la precisión y fiabilidad de las mediciones, lo que resultó en una mayor calidad y confiabilidad de los datos recopilados.

Tabla 14

Coordenadas de los puntos de control.

Puntos de control	Este	Norte	Altitud
PT0	668594.207	9880689.475	84.854
PT1	668593.125	9880757.159	84.82
PT2	668633.608	9880753.493	83.446
PT3	668635.632	9880682.388	84.275
PT4	668632.044	9880696.865	83.466

Elaborado: Autor

3.6.2. Variables evaluadas

3.6.2.1. Índice de Vegetación Rojo Verde Azul (RGBVI).

Una vez obtenido el Ortomosaico se realizó el cálculo del índice en el software QGIS, con la herramienta Calculadora Ráster, donde se empleó la siguiente fórmula para la obtención del índice RGBVI.

$$\text{RGBVI} = (((G \times G) - (R \times B))) / (((G \times G) + (R + B)))$$

Donde:

G = banda verde

R = banda roja

B = banda azul

3.6.2.2. Altura de planta.

a) Toma de altura de plantas de forma convencional

Se realizó de manera convencional en campo la toma de datos con un intervalo de cada 10 días posterior a la fecha de siembra hasta la etapa de floración obteniendo un total de 5 datos finales por planta.

b) Toma de altura de plantas mediante la captura de imágenes con RPA

Fueron necesarios los softwares de Metashape Agisoft y QGIS para el procesamiento de imágenes y obtención de datos para la estimación de altura de plantas de Maíz.

Metashape Agisoft:

Se incorporaron las imágenes capturadas por el dron DJI Mavic junto con su cámara RGB, con una orientación de nivel medio. Cada punto de control fue identificado en su centro. Se generó una nube de puntos densa de calidad media a moderada. Posteriormente, se procesó de forma continua la nube de puntos densa para obtener un Ortomosaico, el cual facilitó la clasificación del Modelo Digital de Terreno (MDT) y el Modelo Digital de Elevación (MDE), siendo exportado para su posterior procesamiento en QGIS.

- **Orientación y puntos de control:**

1. Al abrir el programa de Agisoft se despliega la ventana, en donde se guía hacia flujo de trabajo y se añadieron todas las fotografías obtenidas a través del dron con cámara RGB con orientación media. En la calculadora se verificó la zona (WGS 84 / UTM zona 17 SUR). En referencia se añadieron los puntos o coordenadas, continuamente se dio doble clic en cada imagen filtrando la foto por marcadores y colocando los puntos de control en el centro de referencia.

- **Nube de puntos densa:**

1. En flujo de trabajo se seleccionó el icono de crear nube de puntos densa con calidad de procesamiento media, se aceptó y el programa empezó a generar la Nube de Puntos Densa.

- **Malla:**

1. En flujo de trabajo se seleccionó el icono de crear malla, en donde los orígenes de los datos resultaron de la nube de puntos densa, con tipo de superficie arbitrario (3D) con calidad alta.

- **Ortomosaico:**

1. En el área de flujo de trabajo se seleccionó la opción de crear Ortomosaico, se observaron las características como la Zona, los parámetros como la superficie y modo de mezcla.

- **Modelo de elevaciones:**

1. Para dar origen al modelo de elevaciones se recurrió a flujo de trabajo en la opción crear modelo de elevaciones.

- **Clasificación de puntos de terreno:**

1. En herramientas, se seleccionó el icono de clasificar puntos de terreno, se verificó que sea al 45% y con dimensión máxima de 0.1, se aceptó y el programa empezó a generar la clasificación.
2. Para observar si se realizó la clasificación se recurrió a flujo de trabajo y dio clic en la opción de Nube de puntos Terreno en el icono de clasificar puntos

- **Obtención de modelo de elevaciones y modelo de terreno**

1. Para crear el modelo de elevaciones se va a flujo de trabajo y dio clic en el área de crear modelo de elevaciones de esta forma se obtuvo el MDE (Modelo de Elevaciones). Para obtener el MDT (Modelo de Terreno) se realizó el mismo proceso con la condición de especificar que solo queremos obtener el MDT.

QGIS:

- **Selección al azar de plantas:**

1. En QGIS se agregaron las capas Ráster MDT (Modelo de Terreno), MDE (Modelo de Elevación) y RGB (Ortomosaico Rojo, Verde, Azul) con las que se trabajó para obtener los índices de vegetación y altura.

2. Se creó una capa vectorial con orientación punto y se verificó la zona 17 sur, una vez que se creó la capa se edita y se selecciona 10 plantas al azar por cada tratamiento.
3. A esta capa la denominó “Planta”.

- **Resta de capas:**

1. La capa de MDT se cambió su visibilidad a Mapa de sombras, dando origen al archivo de PROCESAMIENTO.
2. En calculadora Ráster se realizó la operación de resta (MDE - MDT) brindando como resultado la capa MDV.
3. Con el icono de información se corroboró que los datos del terreno den 0 y los de elevación sean mayor a 0.

- **Añadir atributos:**

1. Al activar la capa vectorial Shape (PUNTOS_PLANTA) y MDE (Modelo de Elevación) se procedió a crear un nuevo archivo tipo Shape con tipo Polígono el cual se denominó (PARCELA).
2. Se procedió a añadir los campos: Parc_Grand, Parc_Pqña, Bloque y Código
3. Continuamente de crearon los polígonos y añadieron las descripciones de cada campo:

Tabla 15

Código de campos para procesar datos en QGIS

Código	Descripción
PARC_GRAND	Distancia de siembra entre hileras
PARC_PQNA	Hibrido de Maíz
BLOQUE	Distribución en el campo (Repetición)

Elaborado: Autor

- **Añadir atributos uniendo campos:**

1. Una vez realizado los polígonos de nuestra capa tipo Shape, se agregaron al proyecto la capa inicial a la que denominamos PARCELA
2. En la caja de herramientas se seleccionó el icono UNIR ATRIBUTOS POR LOCACIÓN.

3. Se seleccionaron las dos capas de parcela y esta unión la denominó (PARCELA_ATRIBUTOS).

- **Obtención de valores de altura de plantas:**

1. En el área de (HERRAMIENTAS DE TRABAJO) se agregó el tipo de geometría a partir de la capa de polígonos a la que denominó (parcela_atributos). En la opción de POINT SAMPLING TOOL se seleccionó (parcela_atributos) y (MDV).
2. Esta selección se la denominó (ALTURA). En la CAJA DE HERRAMIENTAS Y PROCESOS, seleccionó (Unir atributos por locación) uniendo la capa de ALTURA y PARCELA.
3. Se guardó esta unión como PUNTOS_ALTURA_SAMPLING, ejecutamos y revisamos la tabla obtenida.
4. Los valores obtenidos se extraen y se agregan al archivo de Excel para poder procesarlos en R Studio.

3.6.2.3. Correlación de variables agronómicas tomadas de forma convencional y por Naves Piloteadas a Distancia (RPA).

Para el análisis de datos de la correlación de alturas tomadas de forma convencional y por Naves Piloteadas a Distancia (RPA) se realizó con el programa de Excel a través del cálculo de medias de las alturas por tratamiento, analizadas por la herramienta de Análisis de correlación, lo cual nos permitió conocer si existe una correlación en tendencia positiva o negativa.

3.7. Tratamientos de los datos

La información se tabuló en el programa R Studio bajo el siguiente análisis:

- Análisis de varianza

- Separación de medias para prueba múltiple de probabilidad, Tukey al 5%

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

- Estudiante responsable del Proyecto de Investigación
- Director del Proyecto de Investigación
- Equipo de labores culturales de EETP – INIAP
- Ingenieros del área de Teledetección de EETP - INIAP

3.8.2. Materiales

3.8.2.1. Material vegetal.

- Híbridos de Maíz: INIAP-H551; INIAP-H554; INIAP 543 y Advanta 9789

3.8.2.2. Materiales de oficina.

- Papel Bond
- Cuaderno
- Impresora
- Computadora de alto rendimiento

3.8.2.3. Equipos.

- Dron DJI Mavic Mini con cámara visible (RGB)

3.8.2.4. Software.

- QGIS
- Agisoft Metashape
- R Studio

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

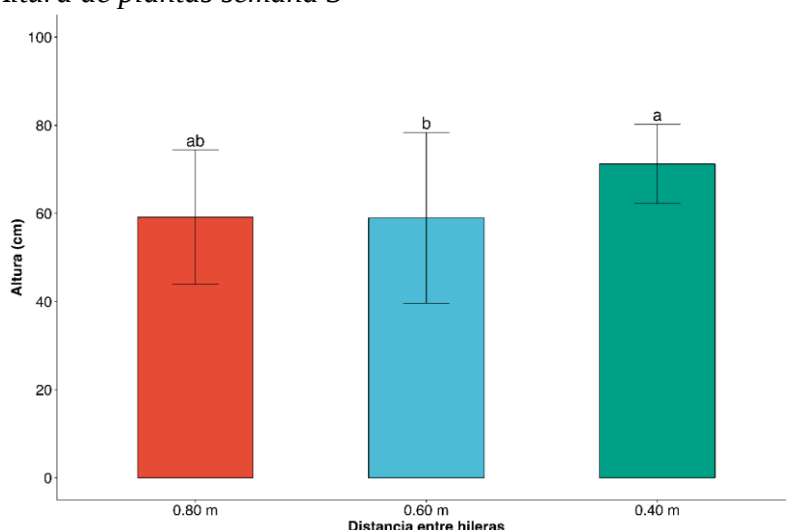
4.1. Resultados

4.1.1. Altura de planta

4.1.1.1 Altura de plantas semana 3 (Análisis de datos del factor A).

En los datos de altura de la semana 3 obtenidos por el vehículo no tripulado con su cámara RGB se presenta una diferencia en la altura con el análisis de datos del Factor A (Distancia entre hileras) siendo D1 (0.80 m) 59.16 cm, semejante significativamente con D3 (0.40 m) 71.23 cm y D2 (0.60m) 58.97cm y a su vez D3 (0.40 m) 71.23 cm y D2 (0.60 m) 58.97cm siendo diferentes significativamente entre sí (Figura 3). Estos resultados son respaldados por el coeficiente de variación del 17.88%. emitidos por la prueba de Tukey $P < 0.05$ siendo para densidades 0.035.

Figura 3
Altura de plantas semana 3



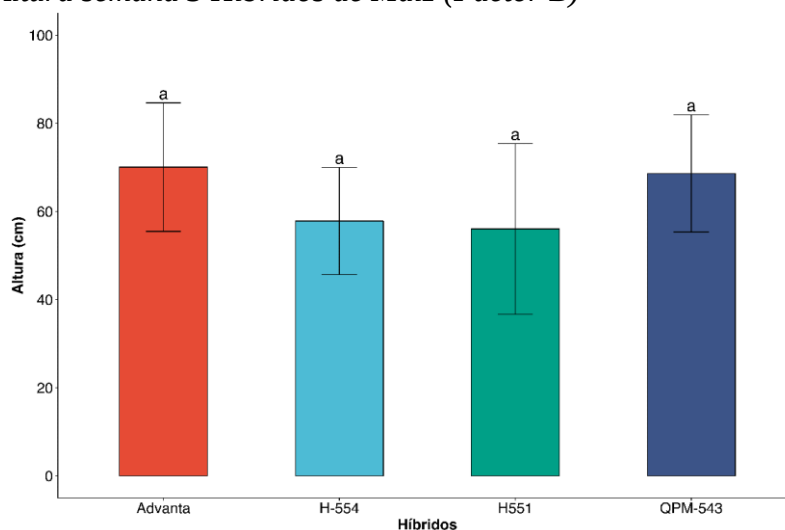
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.
Distancia entre hileras: D1(0.80 m); D2(0.60 m) y D3(0.40 m).

4.1.1.2. Altura de plantas semana 3 (Análisis de datos del factor B).

En los datos de altura de la semana 3 obtenidos por el vehículo no tripulado con su cámara RGB no presenta una diferencia en el crecimiento de los Híbridos de Maíz (Factor B) datos que pueden ser visibles como alturas en cm (Figura 4). Dando como resultados por el cálculo de medias ADVANTA 70.05cm de altura, H - 554 57.82 cm de altura, INIAP - H551 56.02cm de altura y QPM - 543 68.62 cm de altura.

Figura 4

Altura semana 3 Híbridos de Maíz (Factor B)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Híbridos de Maíz (Factor B): M1 (INIAP – H551), M2 (INIAP – H554), M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTAT 9789).

4.1.1.3. Altura de plantas semana 3 (Interacción A x B).

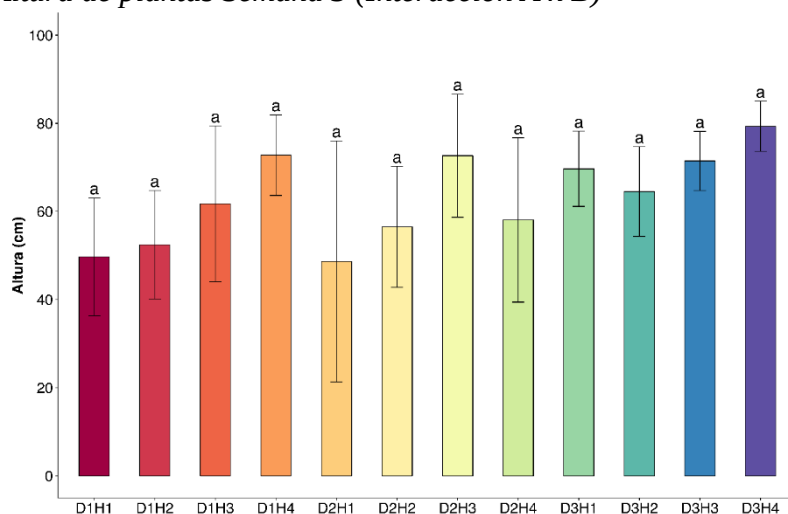
En los datos de altura de la semana 3 obtenidos por el vehículo no tripulado con su cámara RGB no presenta una diferencia en el crecimiento de los Híbridos de Maíz (INIAP – H551, INIAP – H554, QPM – 543 Y ADVANTA 9789) correspondiente al Factor B y su interacción dada por la Distancia de siembra entre hileras (0.80 m, 0.60 m y 0.40 m) correspondientes al Factor A; los datos que pueden ser visibles como alturas en cm (Figura 5).

A pesar de no poseer diferencia significativa en el crecimiento de los híbridos de maíz en función de la distancia de siembra entre hileras, se destaca entre los tratamientos D3M4 (0.40 m y ADVANTA 9789) que presentó una altura promedio de 71.23 cm, mientras que el tratamiento D2M1 (0.60 m e INIAP – H551) con menor promedio de alturas con 58.98cm (Figura 5).

Esto vuelve interesante la observación, puesto que, a pesar de no existir diferencias significativas en el crecimiento de los híbridos de maíz con relación a la distancia de siembra entre hileras, se puede observar como el tratamiento D3M4 se destaca por tener una altura promedio de 71.23 cm.

Figura 5

Altura de plantas Semana 3 (Interacción A x B)



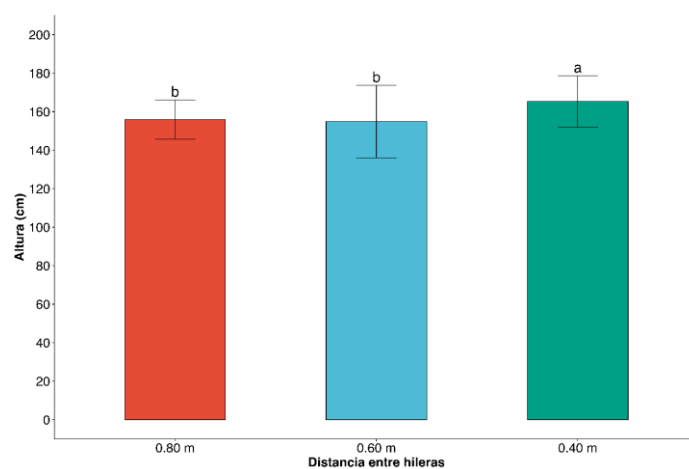
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.

4.1.1.4. *Altura de plantas semana 4 (Análisis de datos Factor A).*

En semana 4, el análisis de datos con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) mostró que el híbrido H3 (QPM - 543) una altura promedio de 172.36 cm, siendo significativamente más alto que los híbridos H1 (INIAP - H551), H4 (ADVANTA 9789) y H2 (INIAP - H554), que tuvieron alturas promedio de 158.33cm, 156.87cm y 147.30cm, respectivamente (Figura 6).

Figura 6

Altura de Plantas semana 4 (Análisis de datos Factor A).



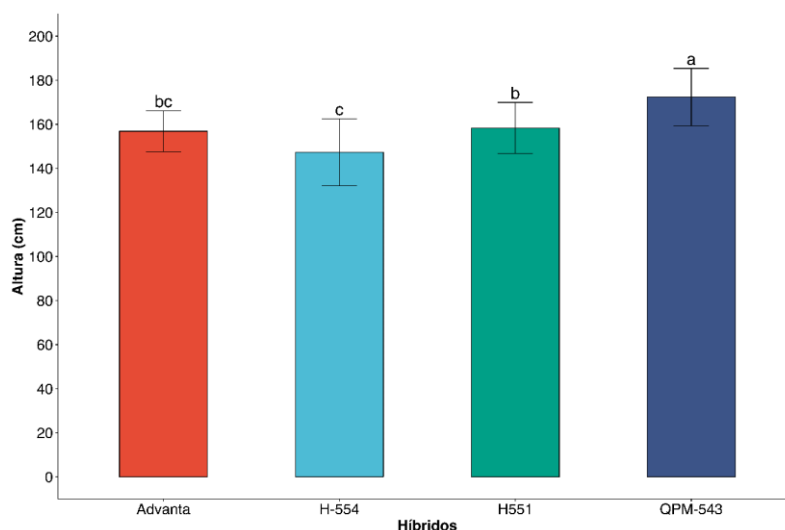
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Distancia entre hileras: D1(0.80m); D2(0.60m) y D3(0.40m).

4.1.1.5. Altura de plantas semana 4 (Análisis de datos Factor B).

El análisis de datos de la semana 4 realizados con la prueba de Tukey $P < 0.05$ siendo para densidades 0.013 cuyo coeficiente de variación es de 4.62%. El híbrido H3 (QPM – 543) en el cálculo de medias obtuvo el índice de altura de 172.36 cm siendo el de mayor altura en comparación con H1 (INIAP – H551) que obtuvo una altura promedio de 158.33cm y H4 (ADVANTA9789) con una altura de 156.87cm y H2 (INIAP – H554) con altura promedio de 147.30cm (Figura 7).

Lo que sugiere que el híbrido H3 (QPM – 543) tiene un rendimiento superior en términos de altura en comparación con los otros híbridos evaluados H1 (INIAP – H551), H2 (INIAP – H554) y H4 (INIAP – H554). Aunque el análisis de datos no mostró diferencias significativas en general, los resultados muestran que el híbrido H3 (QPM – 543) tiene un potencial de crecimiento superior en estas condiciones y densidades de siembra específicas.

Figura 7.
Análisis de varianza semana 4 Híbridos (Factor B).



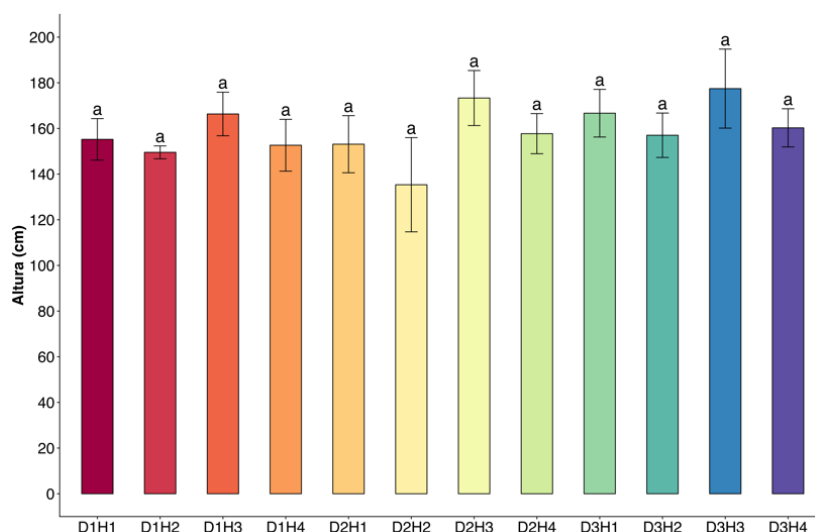
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Híbridos de Maíz (Factor B): M1 (INIAP – H551), M2 (INIAP – H554), M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTAT 9789).

4.1.1.6. Altura de plantas semana 4 (Interacción A x B).

El análisis de datos de la semana 4, realizado con la prueba de Tukey ($P < 0.05$) para la interacción entre la distancia de siembra entre hileras y los híbridos de maíz, revela que no existen diferencias significativas en el crecimiento de las plantas. El coeficiente de variación obtenido es de 6.03%, lo cual indica una variabilidad moderada en los datos. Los resultados muestran que la altura promedio de las plantas varía entre 120 cm y 160 cm (Figura 8), indicando que, bajo las condiciones experimentales evaluadas, la distancia de siembra y el tipo de híbrido no afectan significativamente la altura del maíz durante este periodo de crecimiento.

Figura 8

Análisis de varianza semana 4 (Interacción A x B)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.

4.1.1.7. Altura de plantas semana 5 (Análisis de datos Factor A).

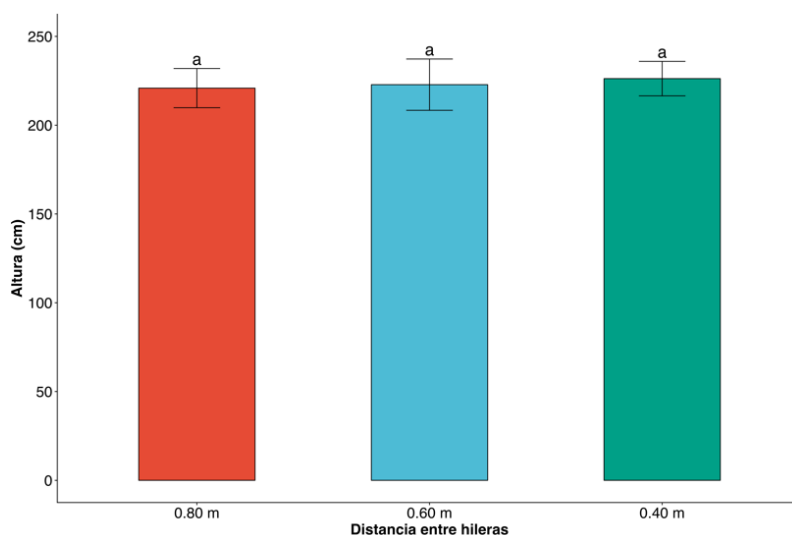
El análisis de datos correspondiente a la semana cinco realizado con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$ y un coeficiente de variación es de 2.21% manifiesta que no existe diferencia significativa entre los factores evaluados.

Las alturas de plantas fueron medidas en base a tres distancias de siembra diferente: D1 (0.80 m) con una altura promedio de 220.88 cm, D2 con una altura promedio de (0.60 m) 222.82 cm y D3 con una altura promedio de (0.40 m) 226.23 cm (Figura 9).

Estos resultados indican que la variación en la distancia de siembra por hilera no tiene un impacto significativo en la altura de las plantas dentro del contexto del estudio realizado.

Figura 9

Alturas de plantas semana 5 (Análisis de datos factor A)



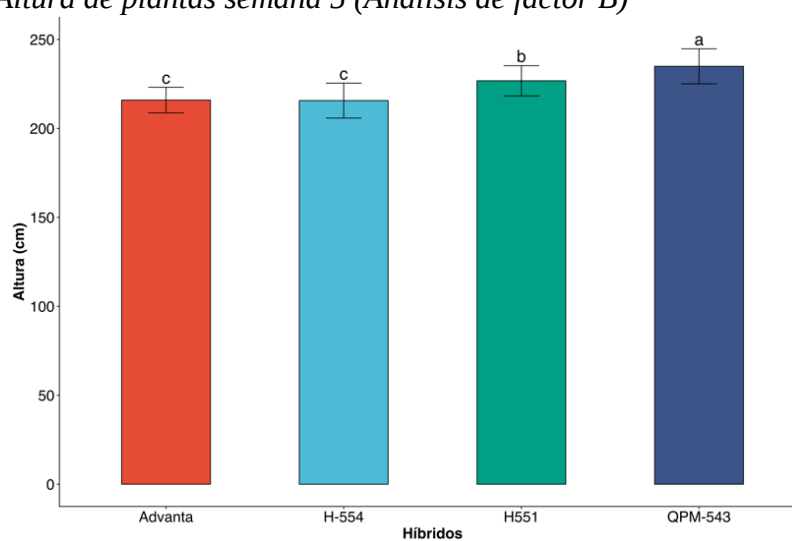
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.
Distancia entre hileras: D1(0.80m); D2(0.60m) y D3(0.40m).

4.1.1.8. Altura de plantas semana 5 (Análisis de datos factor B).

El análisis de datos correspondiente a la semana cinco realizado con la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$ y un coeficiente variación es de 3.23% manifiesta que no existe diferencia relativamente significativa entre los factores evaluados en términos de alturas de plantas.

Sin embargo, M3 (QPM – 543) la que presentó una la mayor altura promedio con 234.91cm, seguido por M1 (INIAP – H551) con una altura promedio de 226.76 cm, M4 (ADVANTA 9789) con una altura promedio de 215.94 cm y M2 (INIAP – H554) con una altura promedio de 215.63 cm. Aunque no existan diferencias significativas entre los híbridos en estudio, los resultados sugieres que la variedad M3(QPM – 543) puede tener un potencial de crecimiento superior en comparación con las otras variedades evaluadas (INIAP- H551, INIAP – H554 y ADVANTA 9789) (Figura 10).

Figura 10
Altura de plantas semana 5 (Análisis de factor B)

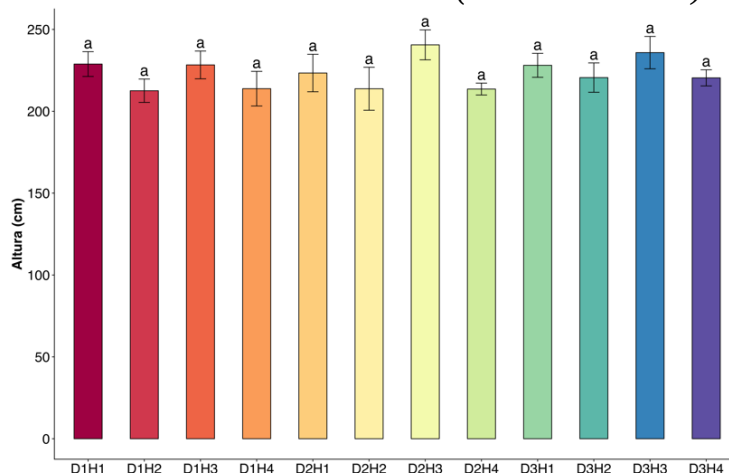


Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.
Híbridos de Maíz (Factor B)

4.1.1.9. *Altura de plantas semana 5 (Interacción A x B).*

El análisis de interacción de los factores A y B indican que los tratamientos en estudio poseen alturas cercanas oscilando entre 200 cm a 250 cm de altura indicando que no existe una diferencia significativa entre ellas, según la prueba de Tukey $p < 0.05$ (Figura 11).

Figura 11
Análisis de varianza semana 5 (Interacción A x B)



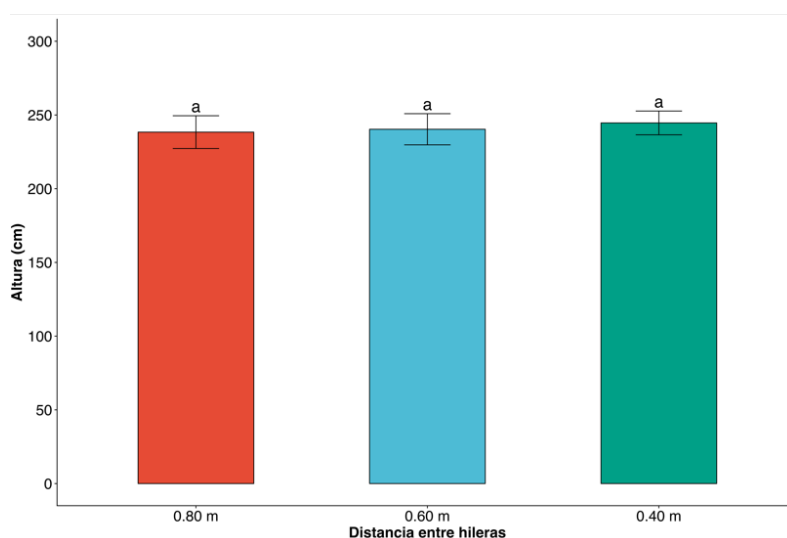
Nota: Las barras expresan la media y las líneas verticales muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.

4.1.1.10. Altura de plantas semana 6 (Análisis de datos Factor A).

Al analizar los datos de altura de plantas en la semana 6 en relación con diferentes distancias entre hileras: 0.80 m, 0.60 m y 0.40 m, representadas en cada barra, esto permitió indicar que no hay diferencias significativas en la altura de las plantas entre las distintas distancias, según la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P < 0.05$. Las alturas promedio son bastante similares, rondando los 230 cm en todos los casos (Figura 12). Esto sugiere que la distancia entre hileras no afecta de manera significativa la altura de las plantas y las líneas verticales sobre las barras muestran la variabilidad de las mediciones, confirmando la consistencia de los resultados.

Figura 12

Alturas de plantas semana 6 (Análisis de datos factor A)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Distancia de siembra entre hileras: D1(0.80 m); D2(0.60 m) y D3(0.40 m).

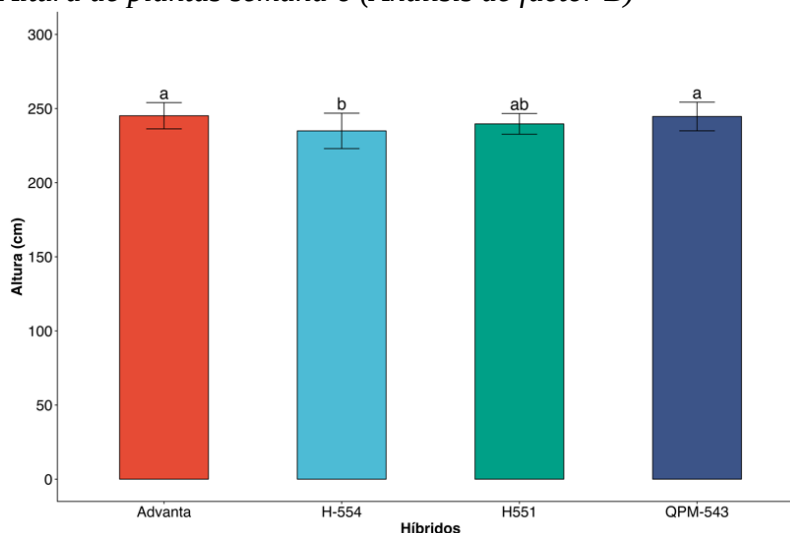
4.1.1.11. Altura de plantas semana 6 (Análisis de datos Factor B).

La altura promedio de las plantas para los cuatro híbridos de maíz evaluados (M1: H – 554, M2: H- 551, M3: QPM – 543 Y M4: ADVANTA 9789) En donde, M4 (ADVANTA 9789) y M3 (QPM – 543) presentan alturas mayores con 250cm poniendo en manifiesto la no existencia de diferencia significativa, M2 (INIAP – H554) tiene una altura menor cercana a 230cm siendo

diferente de M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTA 9789), mientras que M1 (INIAP – H551) posee una altura intermedia de 240 cm indicando que no es significativamente diferente de los otros híbridos (Figura 13).

Figura 13

Altura de plantas semana 6 (Análisis de factor B)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Híbridos de Maíz (Factor B): M1 (INIAP – H551), M2 (INIAP – H554), M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTA 9789).

4.1.1.12. Altura de plantas semana 6 (Interacción A x B).

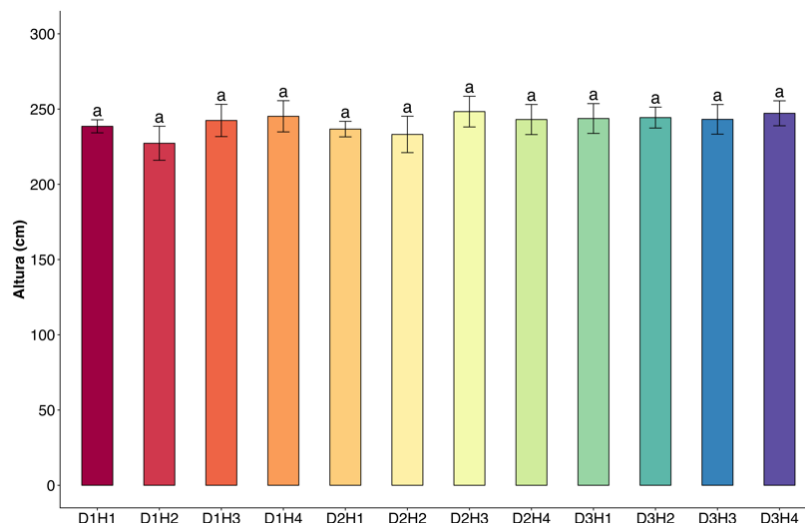
El análisis de interacción de los factores A (Distancia de siembra entre hileras y B (Híbridos de Maíz) indican que los tratamientos en estudio poseen alturas cercanas oscilando entre 230cm a 250cm de altura.

La letra a sobre las barras representan la significancia indicando que no existe una diferencia significativa entre ellas, según la prueba de Tukey $p < 0.05$ (Figura 14).

Concluyendo que el rango de distancias de siembra entre hileras [D1(0.80m); D2(0.60m) y D3(0.40m)] y los híbridos de maíz [M1 (INIAP – H551), M2 (INIAP – H554), M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTA 9789)] evaluados no presentan estadísticamente diferencia significativa, indicando que las alturas del maíz bajo las condiciones de estudio no afectan significativamente.

Figura 14

Análisis de varianza semana 6 (Interacción A x B)



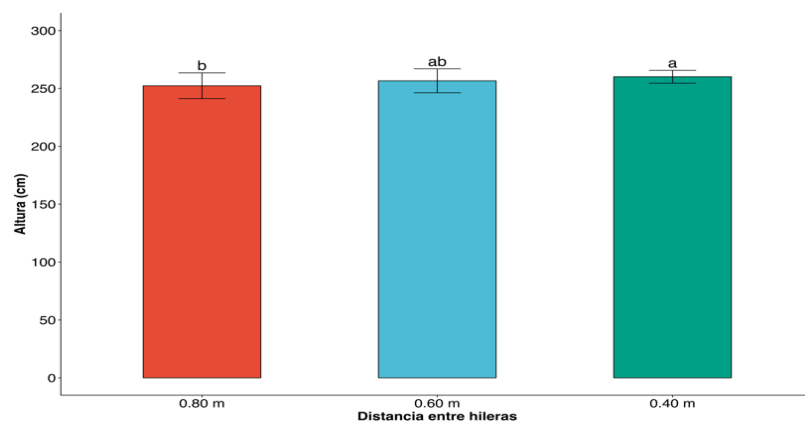
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.

4.1.1.13. Altura de plantas semana 7 (Análisis de datos Factor A).

Al analizar los datos de altura de plantas con relación a las distancias entre hileras, según la prueba de Tukey $P < 0.05$, no se encontró diferencias significativas en la altura de plantas siendo similares con 250 cm a 270cm en todos los casos (Figura 15).

Figura 15

Alturas de plantas semana 7 (Análisis de datos factor A)



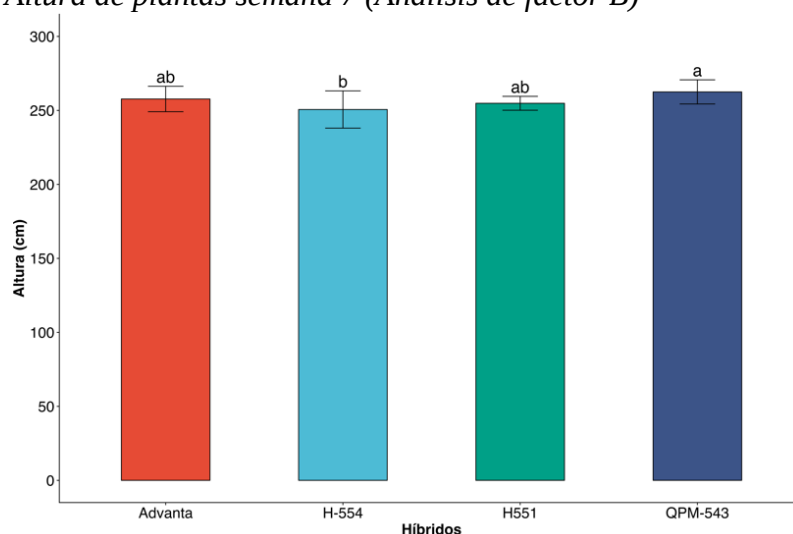
Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.
Distancia entre hileras: D1(0.80m); D2(0.60m) y D3(0.40m).

4.1.1.14. Altura de plantas semana 7 (Análisis de datos Factor B).

La altura promedio de las plantas para los cuatro híbridos de maíz evaluados (M1: H – 554, M2: H- 551, M3: QPM – 543 Y M4: ADVANTA 9789) En donde, M3 (QPM – 543) presenta alturas mayores con 261cm siendo no significativa con M4 (ADVANTA 9789) y M1 (INIAP – H551); pero diferente de M2 (INIAP – H554) que posee una altura menor cercana a 252cm (Figura 16).

Figura 16

Altura de plantas semana 7 (Análisis de factor B)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos. Híbridos de Maíz (Factor B): M1 (INIAP – H551), M2 (INIAP – H554), M3 (QPM – 543) y M4 (ADVANTA 9789).

4.1.1.15. Altura de plantas semana 7 (Interacción A x B).

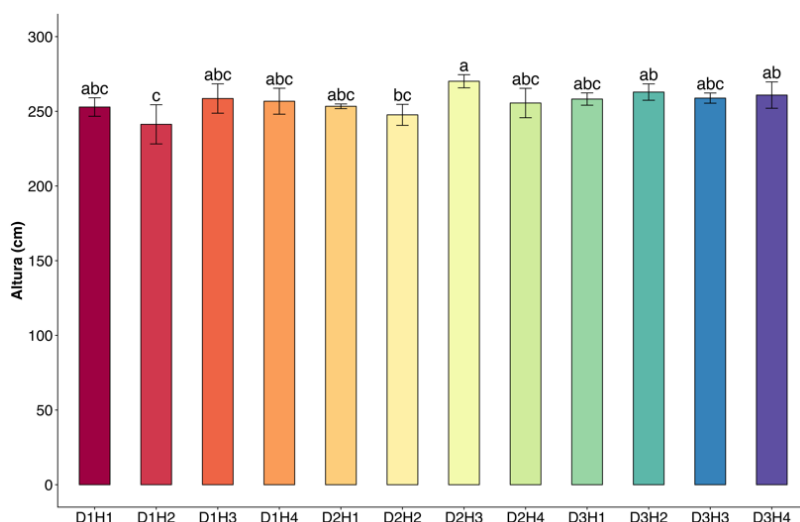
El análisis de interacción de los factores A (Distancia de siembra entre hileras y B (Híbridos de Maíz) indican que los tratamientos en estudio poseen alturas cercanas oscilando entre 250 cm a 280 cm de altura. La letra a sobre las barras representan la significancia indicando que no existe una diferencia significativa entre ellas, según la prueba de Tukey $p < 0.05$.

Destacando entre ellas los tratamientos D2H3 (Distancia entre hileras 0.60m e híbrido de maíz QPM – 543) con una altura promedio de 270cm respectivamente y con un menor porcentaje de

crecimiento el tratamiento D1H2 (Distancia entre hileras 0.80m e Híbrido de maíz INIAP – H554 con una altura promedio de 241cm (Figura 17).

Figura 17

Análisis de varianza semana 7 (Interacción A x B)



Nota: Las barras permiten expresar la media y las líneas ubicadas de forma vertical muestran la desviación estándar existente en el análisis de datos.

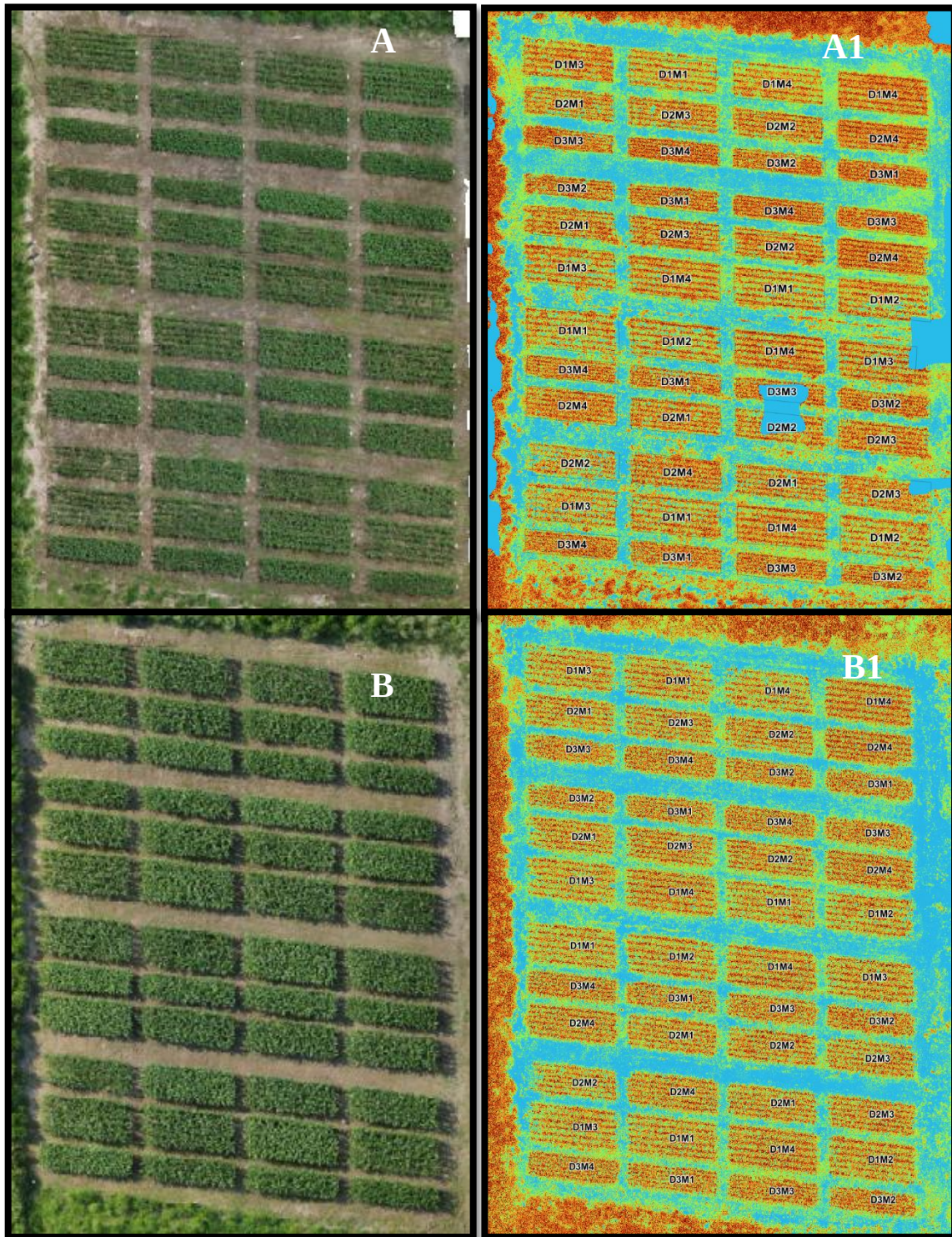
4.1.2. Índice de Vegetación RGBVI

Al momento en que se crearon las capas de mapas a partir de una imagen tipo ráster, se formó una composición de colores a partir de múltiples bandas. Estas composiciones de las tres bandas disponibles otorgaron distintas longitudes de ondas desde proporciones ultravioletas hasta infrarrojas y visibles existentes en el campo electromagnético. Las bandas 1, 2 y 3 representaron datos de regiones visibles, brindando así una imagen multibanda (RGB Ortomosaico) con los colores verdaderos siendo representados como Rojo, Verde y Azul.

Al aplicar la resta de bandas en el RGB obtenido de cada una de las tomas realizadas por el Dron se establecen los Índices de Vegetación RGBVI por cada toma realizada durante el desarrollo del Maíz, siendo estas el resultado del análisis de procesamiento en Agisoft Metashape y QGIS, la resta de bandas permitió establecer la diferencia entre el suelo y vegetación, representando a la vegetación con color naranja y el suelo con color azul por la clasificación dada al cambiar la simbología “Turbo” (Figura 18).

Figura 18

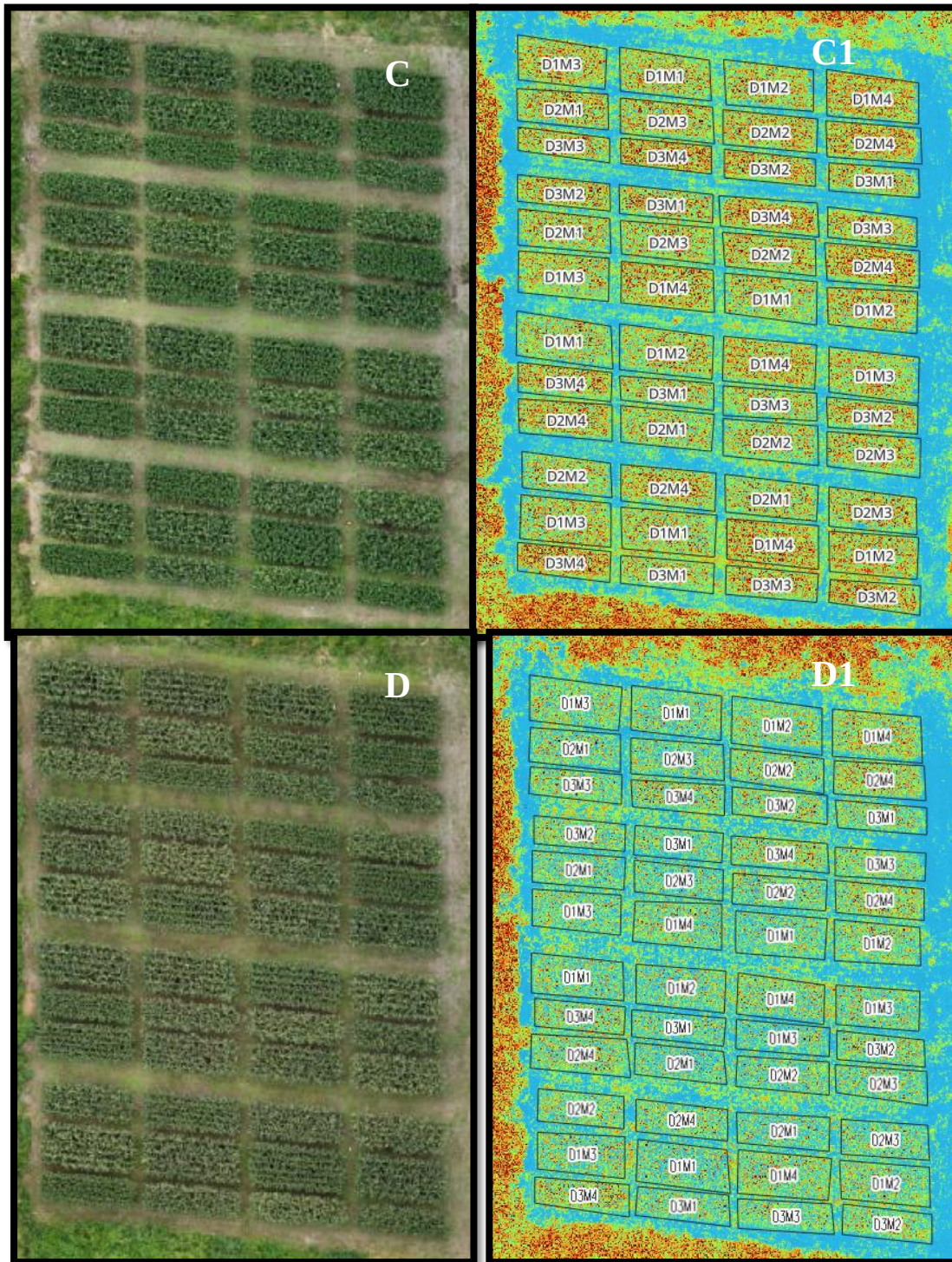
Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 3 y 4



Nota: Ortomosaico generado con imágenes capturadas por RPA durante el desarrollo del cultivo, sitio de muestreo de 627m². A) RGB a los 14 días después de la siembra, A1) RGBVI Índice de Vegetación 14 días después de la siembra a partir de la resta de bandas en QGIS, B) RGB a los 22 días después de la siembra, B1) RGBVI Índice de Vegetación 22 días después de la siembra a partir de la resta de bandas en QGIS.

Figura 19

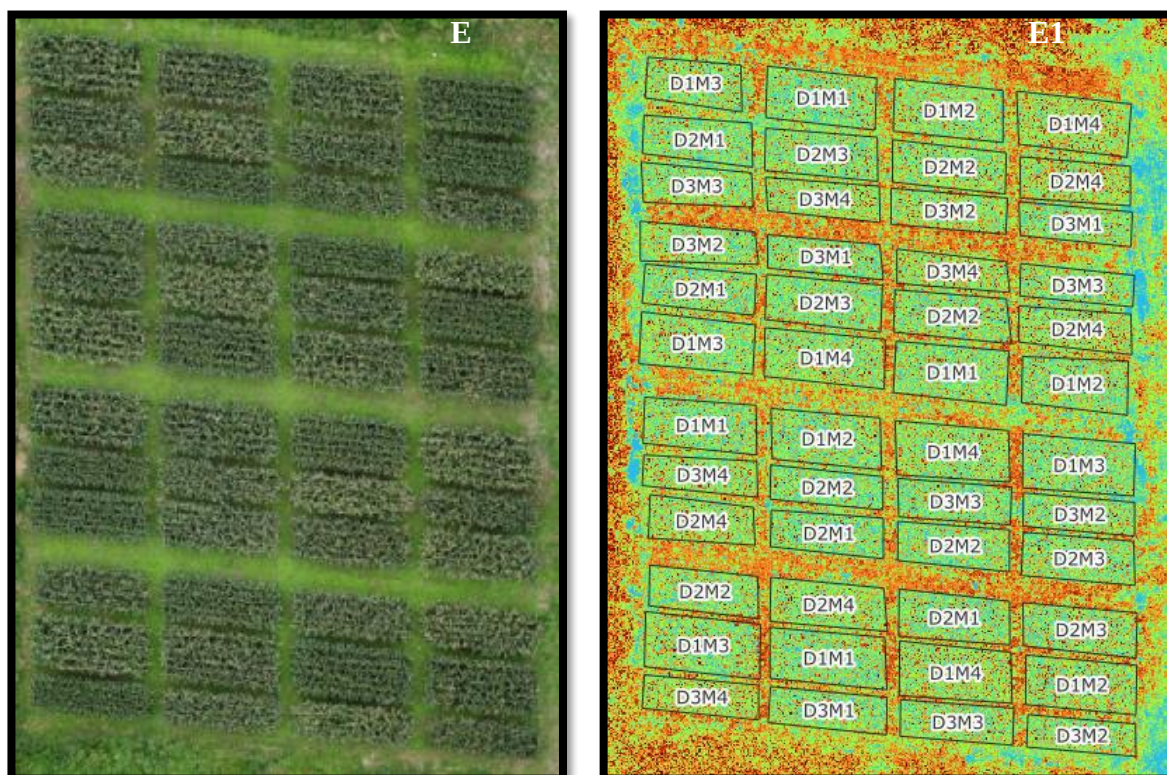
Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 5 y 6.



Nota: Ortomosaico generado con imágenes capturadas por RPA durante el desarrollo del cultivo, sitio de muestreo de 627m². C) RGB a los 34 días después de la siembra, C1) RGBVI Índice de Vegetación 34 días después de la siembra a partir de la resta de bandas en QGIS, D) RGB a los 42 días después de la siembra, D1) RGBVI Índice de Vegetación 42 días después de la siembra a partir de la resta de bandas en QGIS, E) RGB a los 52 días después de la siembra,

Figura 20

Ortomosaico e Índice de Vegetación RGBVI Semana 7.



Nota: Ortomosaico generado con imágenes capturadas por RPA durante el desarrollo del cultivo, sitio de muestreo de 627m² E) RGB a los 52 días después de la siembra, E1) RGBVI Índice de Vegetación 52 días después de la siembra a partir de la resta de bandas en QGIS.

4.1.3. Correlación de alturas (Convencional y por RPA)

Para el análisis de datos de la correlación de alturas medidas de forma convencional y las obtenidas mediante Naves Piloteadas a Distancia (RPA) se tomó como referencia los datos de la semana 7 con un lapso de crecimiento con 52 días después de la siembra indica que existe una relación entre ambos métodos, esta relación es débil (Figura 19).

Siendo el valor de R^2 es de 0.3529 (Tabla 16) sugiriendo que las mediciones tomadas con RPA (Naves Piloteadas a Distancia) no se alinean estrechamente con las mediciones convencionales (Toma de alturas manual).

La relación existente es débil, pero con tendencia a ser positiva, puesto que su línea va ascendiendo a medida que se aproximan los datos.

Tabla 16.

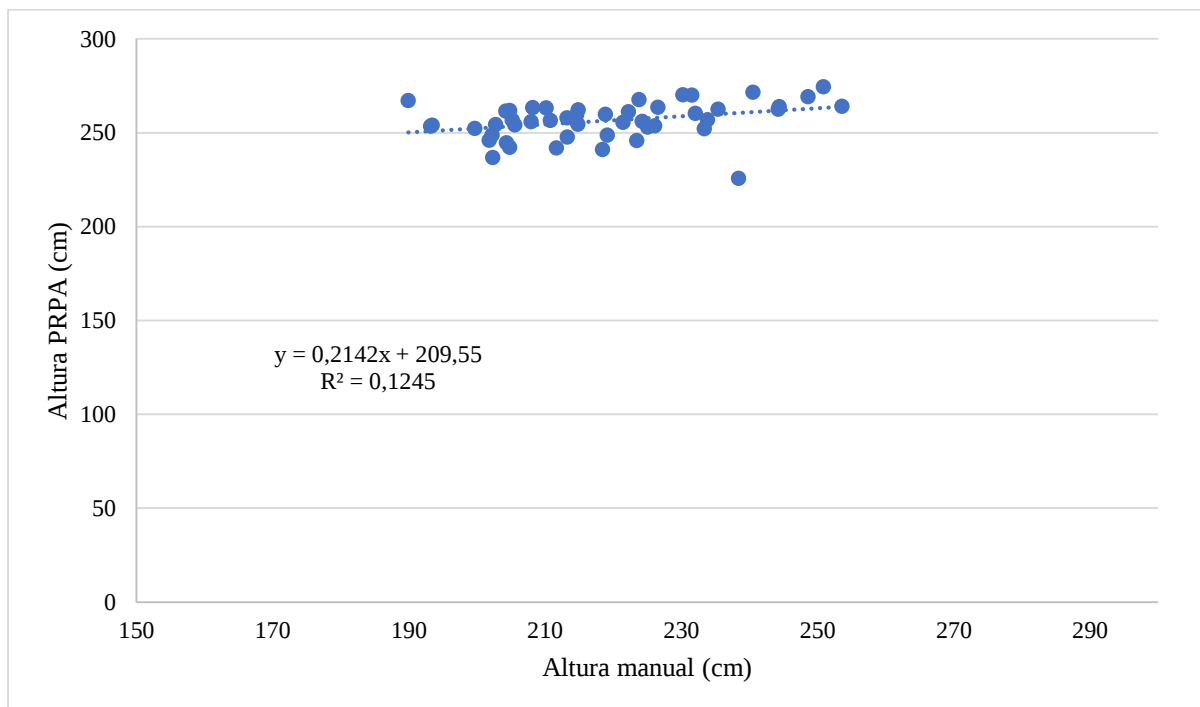
Análisis de correlación de altura semana 7 (Convencional y RPA)

	Altura manual	Altura RPA
Altura manual	1	
Altura RPA	0.3529	1

Elaborado: Autor

Figura 19.

Análisis de correlación de altura de plantas semana 7 (convencional y RPA)



Nota: correlación de datos de altura tomados de forma convencional y por Naves Piloteadas a Distancia (RPA) durante la semana 7. El eje de las X representa la altura de plantas de maíz (cm) extraídas de imágenes RGB y el eje de las Y representa la altura de plantas tomadas de forma convencional (cm). Se presenta la línea de tendencia o correlación.

4.2. Discusión

En los datos de altura de la semana 3 expresan diferencia en la altura con el análisis de datos del Factor A (Distancia entre hileras) siendo D1 (0.80 m) 59.16 semejante significativamente con D3 (0.40 m) 71.23 y D2 (0.60 m) 58.97 y a su vez D3 (0.40 m) 71.23 y D2 (0.60 m) 58.97 esto concuerda con lo descrito por Chapepa *et al.* (2020) Quien señala que la distancia entre

hileras puede influir en la cantidad de luz, nutrientes y espacio disponible para cada planta. Una menor distancia puede optimizar el uso del espacio y los recursos, resultando en un crecimiento más uniforme y mayor altura promedio. Mientras tanto Choi *et al.* (2023) menciona que La densidad de las plantas puede modificar el microclima (temperatura, humedad, viento) entre hileras. Una mayor densidad podría crear condiciones más favorables para el crecimiento vertical al proteger las plantas del viento.

La medición de altura en la semana 3 no presenta una diferencia en el crecimiento de los Híbridos de maíz. Dando como resultados por el cálculo de medias ADVANTA 70.05 cm de altura, H - 554 57.82 cm de altura, INIAP - H551 56.02 cm de altura y QPM - 543 68.62 cm de altura. Estos resultados se relacionan con lo expuesto por Manjunatha *et al.* (2023) quien expresa que si las condiciones de cultivo (suelo, riego, fertilización, etc.) son homogéneas y óptimas, las diferencias en el potencial genético de los híbridos pueden no expresarse completamente. Mientras tanto, Tollenaar *et al.* (2021) señala que esto puede llevar a que los híbridos muestren un crecimiento similar a pesar de sus diferencias genéticas.

Las distancias de siembra de 0.40 m permiten que la planta busque crecer de forma acelerada, aunque el ancho sea menor en comparación a las plantas de D1 con 0.80 m y D2 0.60 m. los resultados concuerdan con los obtenidos por Postma *et al.* (2021) quien concluye que este fenómeno puede ocurrir debido a la competencia por recursos, puesto que, a menor distancia entre hileras, las plantas pueden estar incentivadas a crecer más en altura para acceder a la luz solar, especialmente en condiciones de alta densidad donde la competencia por la luz es más intensa. Por otra parte, Ethridge *et al.* (2023) menciona que esto contrasta con distancias mayores (0,60 m y 0,80 m), donde las plantas tienen más espacio y menos competencia directa, resultando en un crecimiento más uniforme y menos acelerado en altura.

El híbrido H3 (QPM – 543) en el cálculo de medias obtuvo el índice de altura de 172.36 cm siendo el de mayor altura en comparación con H1 (INIAP – H551) que obtuvo una altura promedio de 158.33cm y H4 (ADVANTA9789) con una altura de 156.87 cm y H2 (INIAP – H554) con altura promedio de 147.30 cm. eso se relaciona con los estudios de Berti *et al.* (2021) quien menciona que ciertos híbridos de maíz como H3 podrían tener una mayor resistencia a factores estresantes del ambiente, como la competencia por luz, agua y nutrientes,

lo que le permite alcanzar una mayor altura en condiciones de cultivo similares. Sin embargo, Gunjević *et al.* (2023) menciona que puede tener una eficiencia superior en la absorción y utilización de nutrientes esenciales para el crecimiento, lo que contribuye a su mayor altura en comparación con otros híbridos.

Al analizar los datos de altura de plantas en la semana 6 en relación con diferentes distancias entre hileras: 0.80 m, 0.60 m y 0.40 m, esto permitió indicar que no hay diferencias significativas en la altura de las plantas entre las distintas distancias. Las alturas promedio son bastante similares, rondando los 250cm a 270cm en todos los casos eso concuerda con la investigación de Hilty *et al.* (2021) quien hace referencia a que, en cierto punto, las plantas pueden alcanzar su máximo potencial de crecimiento, más allá del cual el espacio adicional no mejora significativamente el crecimiento. Sin embargo, Tosto *et al.* (2022) Menciona que las plantas tienen mecanismos adaptativos para compensar los diferentes espacios. Por ejemplo, las plantas en hileras más cercanas (0,40 m) podrían asignar más recursos al crecimiento vertical para competir por la luz, mientras que aquellas en hileras más anchas (0,80 m) podrían expandirse más lateralmente. Estas respuestas compensatorias pueden dar como resultado alturas promedio similares en diferentes tratamientos.

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Aunque las diferencias en la altura de las plantas entre los distintos híbridos no son estadísticamente significativas durante el periodo del ciclo vegetativo del cultivo de Maíz (*Zea mays*), M3 (QPM – 543) mostró una tendencia a tener plantas más altas en comparación con los otros híbridos evaluados (INIAP – H551, INIAP – H554 y ADVAATA 9789). Indicando una ventaja en términos de crecimiento para M3 (QPM – 543) en las condiciones del estudio (Distancia de siembra entre hileras), aunque se necesitan más análisis y replicaciones para confirmar si esta diferencia tiene un impacto práctico significativo en el rendimiento agronómico.
- La combinación de la toma de datos convencional y la captura de imágenes por drones para la estimación de la altura de plantas de maíz ofrece un enfoque positivo siendo integrado para la obtención de una visión completa y precisa del crecimiento del cultivo, optimizando las prácticas agrícolas y facilitando la toma de decisiones.

5.2. Recomendaciones

- Es importante tener en cuenta que la validación de las mediciones de altura tomadas por RPAS frente a métodos convencionales son fundamentales para poder garantizar la precisión y fiabilidad de los datos obtenidos. Los estudios que se dediquen a comparar directamente estas mediciones pueden proporcionar información valiosa sobre la eficacia y la utilidad de las imágenes obtenidas por RPAS en la estimación de variables vegetales como la altura de las plantas y el Índice de Vegetación RGBVI.
- A medida que la tecnología de drones se vuelve más accesible de igual forma las técnicas de análisis de datos continúan mejorando lo que conlleva a la combinación de metodologías para revolucionar la agricultura de precisión y mejorar significativamente la gestión de cultivos. Por ende; se recomienda seguir con el estudio de correlación de tomas manual y convencional en otro cultivo y con diferentes distancias de siembra para corroborar la relación que se establece entre ambos.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFIA

6.1. Bibliografía

- Andreu, A., Carpintero, E., y González, M. (2021). Teledetección para la Agricultura. *Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA): Sevilla, Spain*, 1-41.
- Balbontín, Odi, Poblete, Garrido, Campor, y Calera. (2016). Uso de Teledetección y Sig para el manejo de riego en los cultivos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA, Chile. Obtenido de <https://agronomia.uc.cl/proyectos/290-herramientas-de-teledeteccion-para-el-manejo-del-riego/file#:~:text=El%20uso%20de%20im%C3%A1genes%20satelitales,con%20metodolog%C3%ADas%20de%20recorridos%20en>
- Bendig, Kang, Aasen, Bolten, Bennertz, Broscheit, y Gnyp. (2015). Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. *Revista internacional de observación terrestre aplicada y geoinformación*, 39, 79-87. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.02.012>
- Berrio, Mosquera, y Alzáte. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 13(1), 28. Obtenido de <https://ojs.unipamplona.edu.co/ojs/viceinves/index.php/alimen/article/view/1600/1699>
- Berti, M. T., Cecchin, A., Samarappuli, D. P., Patel, S., Lenssen, A. W., Moore, K. J., ... y Kazula, M. J. (2021). Alfalfa established successfully in intercropping with corn in the Midwest US. *Agronomy*, 11(8), 1676.
- Bonnaire, Montoya, y Obando. (2021). Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en plantaciones de café variedad Castillo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(1). doi:https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num1_art:1578
- Cabrerizo, C. (2012). El maíz en la alimentación Humana. Recuperado el 19 de Julio de 2022, de El maíz en la alimentación Humana: <http://www.infoagro.com>
- Camas, J., y Mamani, M. (2022). Evaluación de la vegetación y saturación del suelo en el Área de Conservación Regional Humedales de Ventanilla mediante teledetección en Perú, 2006-2021. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 54-74.
- Canales, R., Miladi, M., y Piñero, P. (2022). Sistema de teledetección anticipada de emisión de gases en una planta de compostaje. Actas del III Congreso Universitario en Innovación y Sostenibilidad Agroalimentaria 2021 (p. 240). Universidad Miguel Hernández.

- Clarke L. (2014). Understanding the drone epidemic. *Computer Law & Security Review*, 30(3), 230-246. doi:<https://doi.org/10.1016/j.clsr.2014.03.002>
- Chapepa, B., Mudada, N., y Mapuranga, R. (2020). The impact of plant density and spatial arrangement on light interception on cotton crop and seed cotton yield: an overview. *Journal of Cotton Research*, 3(1), 18.
- Choi, C. S., Macknick, J., Li, Y., Bloom, D., McCall, J., y Ravi, S. (2023). Environmental Co-Benefits of Maintaining Native Vegetation With Solar Photovoltaic Infrastructure. *Earth's Future*, 11(6), e2023EF003542.
- Delgado, J. (2018). Evaluación agronómica, morfológica y aptitud harinera de variedades tradicionales de maíz (*Zea mays* L.). La Laguna: Universidad de la Laguna: Escuela Politécnica Superior de Ingeniería.
- ESA. (2009). ¿Qué es la teledetección? Obtenido de European Space Agency: https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMO1U3FEXF_0.html
- Esquivel, A., Moreno, A., Gutiérrez, N., Veliz, G., Arellano, F., Bustamante, A., . . . González, A. (2023). Imágenes digitales obtenidas por dron para estimar el rendimiento de la biomasa en un sitio. *Nova Scientia*, 15(30), 1-14.
- Estrada, A. (2021). Comunidades vegetales y estimación de biomasa con sensores multiespectrales y sistemas aéreos no tripulados en pastizales de Puna Seca. *Tesis de Postgrado*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Estrada, A., y Ñaupari, J. (2021). Detección e identificación de comunidades vegetales altoandinas, Bofedal y Tolar de Puna Seca mediante ortofotografías RGB y NDVI en drones “Sistemas Aéreos no Tripulados”. *Scientia Agropecuaria*, 03, 12.
- Ethridge, S. R., Chandra, S., Everman, W. J., Jordan, D. L., Locke, A. M., Owen, M. D., y Leon, R. G. (2023). Rapid evolution of competitive ability in giant foxtail (*Setaria faberi*) over 34 years. *Weed Science*, 71(1), 59-68.
- Flores, N., Castro, I., y Aponte, H. (2020). valuación de las unidades de vegetación en Los Pantanos De Villa (Lima, Perú) mediante sistemas de información geográfica y teledetección. *Arnaldoa*, 27(1), 303-321.
- García, H., Flores, H., Khalil, A., Ascencio, R., Tijerina, L., Vázquez, A., y Mancilla, R. (2020). Estimación de la fracción de cobertura de la vegetación en maíz (*Zea mays*) mediante imágenes digitales tomadas por un vehículo aéreo no tripulado (UAV). . *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 399-399.

- García, J., Guerrero, J., Willems, B., y Espinoza, R. (2021). Propuesta de un Índice de Bofedal para la teledetección de bofedales en cabeceras de cuenca usando imágenes de los Sensores TM, OLI a bordo de los satélites Landsat-Caso estudio: Bofedal Chunal, cuenca alta del río Chillón. . *Revista de Investigación de Física*, 24(2).
- González, M., Hernández, L., García, G., Ruiz, A., y Molina, M. (2016). Estudio y comparación de técnicas de segmentación por color para la estimación de la fracción de cobertura vegetal. In *II Simposio Nacional de Ingeniería Hortícola*, Almería.
- Guacho, F. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) De la localidad san José de Chazo*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Guerreño, López, y González. (2019). *Guía Técnica Cultivo de Mapiz*. (J. O. Guerreño, Ed.) San Lorenzo, Paraguay: (PPT) Proyectos Paquetes Tecnológicos.
- Gunjević, V., Grbeša, D., Zurak, D., Kiš, G., Janječić, Z., Svečnjak, Z., ... y Kljak, K. (2023). Effect of maize hybrid in complete feed on the production performance and economic considerations in laying hens. *Sustainability*, 15(22), 15748.
- Hernández, J. (2019). *Situación del cultivo de maíz en Ecuador: investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap*. Mosquera, Colombia: xxiii Reunión Latinoamericana del Maíz y iv Congreso de Semillas.
- Hernández, R., y Hornero, A. (2021). Monitoreo y evaluación de la desertificación con teledetección. *Ecosistemas*, 30(3), 2240-2240.
- Hilty, J., Muller, B., Pantin, F., y Leuzinger, S. (2021). Plant growth: the what, the how, and the why. *New Phytologist*, 232(1), 25-41.
- Hoummaidi L., Larabi A. , y Alam K. (2021). Using unmanned aerial systems and deep learning for agriculture mapping in Dubai. *Heliyon*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08154>
- Huerta, J., Oropeza, L., Guevara, D., Ríos, D., Martínez, R., Barreto, A., y Mancillo, R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. . *Idesia (Arica)*, 36(2), 153-162.
- IGN. (2015). Teledetección. Instituto Geografico Nacional, 2. Obtenido de <https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>
- INEC. (2021). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020. Ecuador. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

- inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2020/Presentacion%20ESPAC%202020.pdf
- InfoAgro. (2022). Recuperado el 31 de junio de 2022, de El cultivo de maiz (1ª parte): <https://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz.htm>
- INIAP. (1998). Bienvenido a la Estación Experimental Tropical Pichilingue. *INIAP*, 2.
- IS. (2020). *InfoStat*. Obtenido de InfoStat (IS): <https://www.infostat.com.ar/#:~:text=InfoStat%20es%20un%20software%20para,mo delaci%C3%B3n%20estad%C3%ADstica%20y%20an%C3%A1lisis%20multivariado>
- Izquierdo, R. (2012). Evaluación del cultivo de maiz (*Zea mays*) como complemento a la alimentación de bovinos de leche en épocas de escasez de alimento. Cayambe: UPSSQ.
- Manjunatha, T., Ramya, K. T., Lavanya, C., Sarada, C., Senthilvel, S., Yamanura, M., ... & Yadav, P. (2023). Genetic Nature and Role of Environment in Sex Expression and Phenological Characters of Pistillate Lines in Castor (*Ricinus communis* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 1-14.
- Marcial M., Ojeda W., Jimenez S., y Ontiveros R. (2019). Estimación de la altura del cultivo de Maiz usando imágenes RGB obtenidas con un dron. *Quinto congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES 2019*.
- Marcial M., Ontiveros R., Jimenez S., y Ojeda W. (2021). Maize Crop Coefficient Estimation Based on Spectral Vegetation Indices and Vegetation Cover Fraction Derived from UAV-Based Multispectral Images. *Agronomy*, 11(4). doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy11040668>
- Marcial, J., Ojeda, W., González, A., y Jiménez, S. (2017). Estimación de la cobertura vegetal usando imágenes RGB obtenidas desde un dron. III Congreso Nacional de riego y drenaje COMEII 2017. . *COMEI-17048*.
- Montes, A. (2023). Estimación de índices de sequía en la cuenca del río Ichu utilizando datos generados por teledetección-Huancavelica-2019. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 3(1), 44-50.
- Nazir, Terhem, Norhisham, Razali, y Méder. (2021). Monitoreo temprano del estado de salud de *Eucalyptus pellita* cultivado en plantaciones a gran escala espacial a través de imágenes de espectro visible del follaje del dosel utilizando vehículos aéreos no tripulados. *Forests*, 12(10), 05. doi:<https://doi.org/10.3390/f12101393>

- Ordoñez L, y Pedraza I. (2023). Estimación y caracterización de la cobertura vegetal basado en las aplicaciones de las aeronaves no tripuladas UAS. Facultad de Ingeniería Ambiental / Universidad Santo Tomás, 2. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/50495/2023lauraordo%C3%B1ez-davidpedraza.pdf?sequence=1#:~:text=La%20cobertura%20vegetal%20es%20un%20aspecto%20fundamental%20del%20medio%20ambiente,diferentes%20%C3%A1mbitos%20de%20la%20agricultura>.
- Ordoñez, C., y Pedraza, I. (2023). Estimación y caracterización de la cobertura vegetal basado en las aplicaciones de las aeronaves no tripuladas UAS. *Doctoral dissertation*. Universidad Santo Tomás.
- Paliwal, R. (2010). Obtenido de Origen, evolución y difusión del maíz: <https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s03.htm>
- Perea, A., Andrade, J., y Segura, A. (2021). Estimación de biomasa aérea y carbono con Teledetección en bosques alto-Andinos de Boyacá, Colombia. Estudio de caso: Santuario de Fauna y Flora Iguaque. *Perea-Ardila, M. A., Andrade-Castañeda, H. J., & Segura-Madrigal, M. A. , 102*, 99-123.
- Pérez, J., Ramos, E., Tognetti, J., Tarragona, C., Calvo, G., y Rubio, A. R. (2022). Estimación de la cobertura vegetal en matorrales semiáridos mediante el uso de drones tras una quema prescrita. Validación mediante datos de campo. Octavo Congreso Forestal Español.
- Pix4D. (2023). Guía de las soluciones de Pix4D. Obtenido de Pix4D: <https://www.pix4d.com/es/guia-de-las-soluciones-de-pix4d/>
- Postma, J. A., Hecht, V. L., Hikosaka, K., Nord, E. A., Pons, T. L., y Poorter, H. (2021). Dividing the pie: A quantitative review on plant density responses. *Plant, Cell & Environment*, 44(4), 1072-1094.
- Rebollo, F., Fernández, J., Murillo, L., y Moreno, G. (2021). Teledetección y modelos de predicción de la calidad bromatológica de los pastos para una gestión eficiente. . *Tierras. Ovino*, 35, 70-74.
- Romero, J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos.

- Rubia, E. d. (2020). Caracterización de la isla de calor urbana en el campus de la UAM por medio de teledetección. *GeoFocus. International Review of Geographical Information Science and Technology*, 26, 43-67.
- Salas, J., & De la Fuente, D. (2022). Estimación de fracción de cobertura de dosel a partir de imágenes RGB capturadas desde un dron de bajo costo: caso de estudio en avellano europeo (*Corylus avellana* L.). *Doctoral dissertation*. Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía.
- Salvador, M., Bolaños, A., Palacios, E., Palacios, A., López, A., y Muñoz, M. (2021). Estimación de la fracción de cobertura vegetal y contenido de nitrógeno del dosel en maíz mediante sensores remotos. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Sanchez I, y Perez E. (2014). Maiz I (*Zea mays*). *REDUCA (Biología)*, 7(2), 1551-171. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/id/eprint/27974/1/MAIZ%20I.pdf>
- Sánchez, I. (2014). *Maíz I (Zea mays)*. Madrid: Reduca (Biología). Serie Botánica: Universidad Complutense de Madrid. .
- Sankaran S., Mishra A., y Ehsani R. . (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(1), 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.02.007>
- Santana, Granillo, Espinoza, Aguilar, y Ortega. (2018). Caracterización de la cadena de valor del maíz. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 5(9). doi:<https://doi.org/10.29057/ess.v5i9.2899>
- Sarria F. (2018). Sistema de Información Geografica (SIG). Obtenido de <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdf>
- Seratos, J. (2009). El origen y la diversidad del maiz en el continente americano. México: UACM.
- Simón, Gerard, y Golik. (2018). Cereales de Verano. En Simón, & Gerard, *Maíz: Usos y Comercialización* (pág. 177). EDULP (Editorial de la Universidad de La Plata).
- Somarriba. (2015). *Granos basicos*. Nicaragua: UNA-Managua.
- Tollenaar, M., McCullough, D. E., y Dwyer, L. M. (2021). Physiological basis of the genetic improvement of corn. In *Genetic improvement of field crops* (pp. 183-236). CRC Press.
- Tosto, A., Zuidema, P. A., Goudsmit, E., Evers, J. B., & Anten, N. P. (2022). The effect of pruning on yield of cocoa trees is mediated by tree size and tree competition. *Scientia Horticulturae*, 304, 111275.

- UV, y CUOM. (2013). *Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS 1.8*. Mexico: Universidad Veracruzana y Coordinación Universitaria de Observatorios Metropolitanos. Obtenido de <https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>
- Yu, Cao, Bai, Wu, Qin, Zhuo, y Xiao. (15 de 06 de 2013). Tecnología de detección automática basada en imágenes para dos etapas críticas de crecimiento del maíz: emergencia y etapa de tres hojas. *Meteorología Agrícola y Forestal*, 174-175, 65-84. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.02.011>
- Zambrano, y Caviedes. (2022). Estado actual de la producción de maíz en el Ecuador. En I. N. INIA (Ed.), *Memorias de la XXIV Reunión Latinoamericana del Maíz 2022*, (pág. 23). Cajamarca, Perú. doi:<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5886>
- Zhang N., Wang M., y Wang N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2 y 3), 113-132. doi:[https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00096-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00096-0)

CAPÍTULOVII

ANEXOS

7.1. Anexos

Anexo A. Mapa de distribución de los tratamientos en estudio



Anexo B. RGB Semana 3 (18 de julio del 2023)



Anexo C. RGB Semana 4 (26 de julio del 2023)



Anexo D. RGB Semana 5 (07 de agosto del 2023)



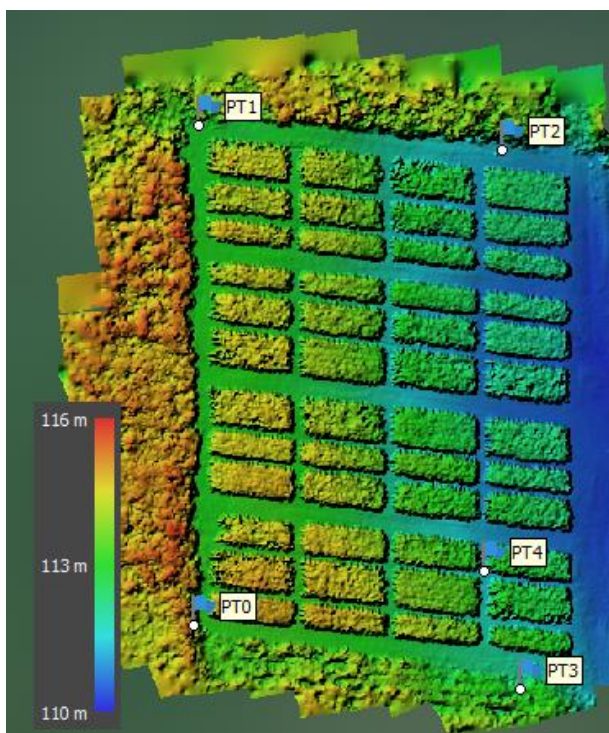
Anexo E. RGB Semana 6 (18 de agosto del 2023)



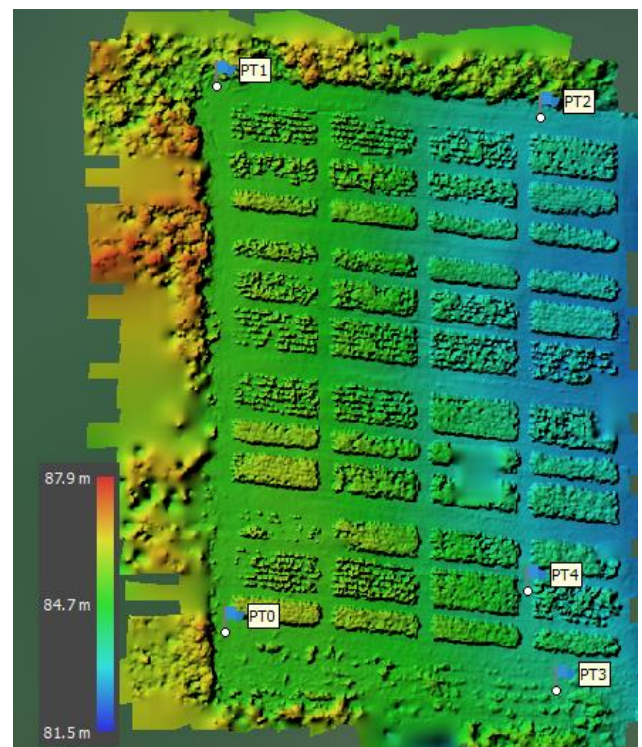
Anexo F. RGB Semana 7 (28 de agosto del 2023)



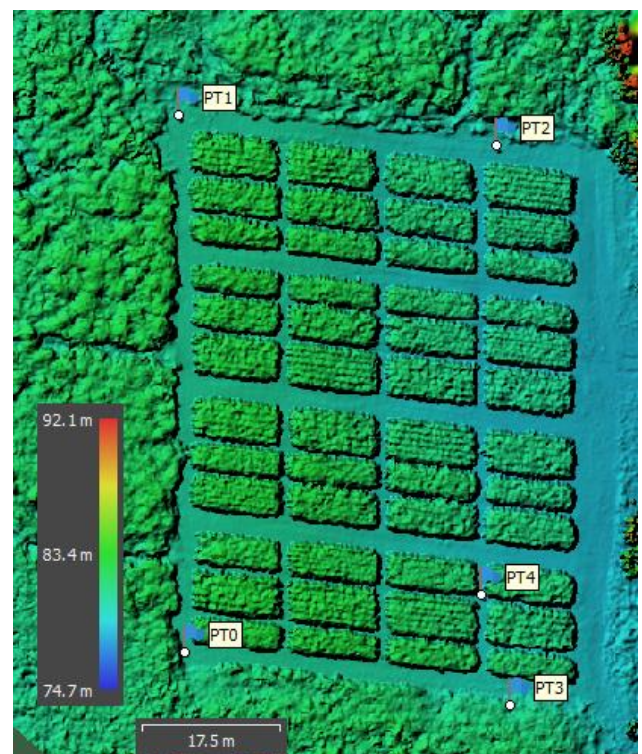
Anexo G. MDE Semana 3 (18 de julio del 2023)



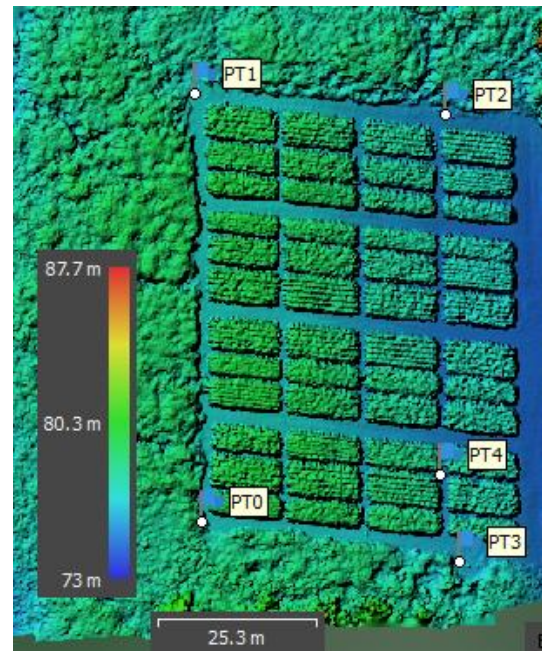
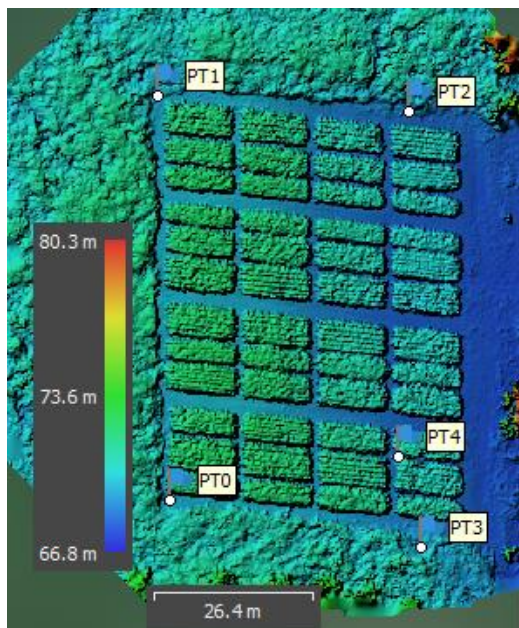
Anexo H. MDE Semana 4 (26 de julio del 2023)



Anexo I. MDE Semana 5 (07 de agosto del 2023)



Anexo J. MDE Semana 6 (18 de agosto del 2023) **Anexo K.** MDE Semana 7 (28 de agosto del 2023)



Anexo L: *Análisis de varianza Altura semana 3.*

Análisis de Varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Densidades	2	1580.1777	790.0888	6.2051043	0.035
Block	3	382.8292	127.6097	1.0022058	0.454
Error A	6	763.9731	127.3289		
Híbridos	3	1880.0597	626.6866	2.7171586	0.064
Densidades: Híbridos	6	1076.0430	179.3405	0.7775762	0.595
Error B	27	6227.2911	230.6404		

CV1 (%) = 17.88; CV2 (%) = 24.06; Mean = 63.1252; Median = 65.215

Anexo M: *Análisis de varianza altura de plantas semana 4.*

Análisis de Varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Densidades	2	1065.0792	532.53959	9.920068	0.013
Block	3	2267.8267	755.94223	14.081579	0.004
Error A	6	322.0984	53.68306		
Híbridos	3	3843.1839	1281.06131	13.990120	p<0.001
Densidades: Híbridos	6	704.2195	117.36991	1.281765	0.299
Error B	27	2472.3631	91.56900		

CV1 (%) = 4.62; CV2 (%) = 6.03; Mean = 158.7167; Median = 157.765

Anexo N: Análisis de varianza altura de plantas semana 5.

Análisis de Varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Densidades	2	234.6986	117.34929	4.817897	0.057
Block	3	1293.2039	431.06796	17.697941	0.002
Error A	6	146.1417	24.35696		
Híbridos	3	3116.7935	1038.93116	19.999549	p<0.001
Densidades: Híbridos	6	411.4794	68.57991	1.320171	0.282
Error B	27	1402.5887	51.94773		

CV1 (%) = 2.21; CV2 (%) = 3.23; Mean = 223.3116; Median = 223.19

Anexo O: Análisis de varianza altura de planta semana 6.

Análisis de Varianza

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Densidades	2	326.9470	163.47351	3.791794	0.086
Block	3	994.0209	331.34031	7.685491	0.018
Error A	6	258.6747	43.11245		
Híbridos	3	829.1021	276.36735	3.888329	0.020
Densidades: Híbridos	6	496.4880	82.74799	1.164216	0.354
Error B	27	1919.0555	71.07613		

CV1 (%) = 2.72; CV2 (%) = 3.5; Mean = 241.1042; Median = 241.35

Anexo P: Análisis de varianza altura de plantas semana 7.

ANALISIS DE VARIANZA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Densidades	2	491.7289	245.86443	5.378323	0.046
Block	3	406.5153	135.50511	2.964196	0.119
Error A	6	274.2837	45.71396		
Híbridos	3	902.5149	300.83830	5.884868	0.003
Densidades: Híbridos	6	972.5174	162.08624	3.170660	0.017
Error B	27	1380.2577	51.12066		

CV1 (%) = 2.64; CV2 (%) = 2.79; Mean = 256.4129; Median = 256.685

Anexo Q: *Análisis de varianza, interacción factor A x B semana 7.*

Analizando híbridos dentro del nivel de densidades						

		GL	SQ	QM	Fc	p.value
Híbridos:Densidades D1	3	721.50693	240.50231	4.704601	0.009081	
Híbridos:Densidades D2	3	1099.62873	366.54291	7.170153	0.001084	
Híbridos:Densidades D3	3	53.89668	17.96556	0.351434	0.788421	
Error b	27	1380.25772	51.12066			
