



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS Y BIOLÓGICAS

CARRERA AGROPECUARIA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Agropecuario.

Título del Proyecto de Investigación:

“CICLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CONSIDERANDO
SU ESTADO FENOLÓGICO A TRAVÉS DE SU RESPUESTA ESPECTRAL CON EL
USO DE LA TECNOLOGÍA AEROSPACIAL Y ESPECTRAL”

Autor:

Yordy Ariel Arcos Palma

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Danilo Yáñez Cajo, MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

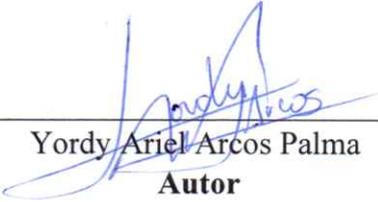
2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Yordy Ariel Arcos Palma**, 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 trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f.



Yordy Ariel Arcos Palma
Autor

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Danilo Yáñez Cajo MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Yordy Ariel Arcos Palma**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “Ciclo vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) considerando su estado fenológico a través de su respuesta espectral con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

f. 

Ing. Danilo Yáñez Cajo, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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

Ing. Danilo Javier Yáñez Cajo, docente de la Facultad de Ciencias Pecuarias y biológicas como director certifico que la unidad de integración curricular del estudiante Yordy Ariel Arcos Palma, titulada: “Ciclo vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) considerando su estado fenológico a través de su respuesta espectral con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral”, fue ingresado a la herramienta informática URKUND producto del análisis se obtuvo una similitud de un 6%, lo cual está considerado dentro de los parámetros aceptables que establecen el reglamento e instructivos de la unidad de integración curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo



Document Information

Analyzed document	proyecto_ag_yordy.docx (D149659423)
Submitted	11/14/2022 6:19:00 PM
Submitted by	
Submitter email	yordy.arcos2017@uteq.edu.ec
Similarity	6%
Analysis address	dyanezc.uteq@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO / TESIS CARLOS ANGULO.pdf
	Document TESIS CARLOS ANGULO.pdf (D139612915)
	Submitted by: carlosjavier212301@gmail.com
	Receiver: dyanezc.uteq@analysis.orkund.com



6

f.

Ing. Danilo Yáñez Cajo, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS PECUARIAS Y BIOLÓGICAS
CARRERA AGROPECUARIA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Ciclo vegetativo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) considerando su estado fenológico a través de su respuesta espectral con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral”

certificado de aprobación por tribunal de sustentación

Presentado a la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
Ing. José Luis Muñoz Marcillo Ph.D.

INTEGRANTE DEL TRIBUNAL
Ing. Germán Jácome López MS. c.

INTEGRANTE DEL TRIBUNAL
Ing. José Espinosa Carrillo Ph.D.

MOCACHE – LOS RÍOS – ECUADOR

2022

AGRADECIMIENTOS

Es preciso mencionar que la participación en este proyecto de investigación fue amplia. En primer lugar, quiero agradecer a el MSc. Danilo Yánez Cajo, director de la presente investigación, quién gracias a su paciencia y constancia, y motivación, me ayudó a concluir de manera muy profesional y ética mi investigación.

Quiero agradecer de manera especial al ing. Germán Jácome López, quien fue parte del proyecto desde el inicio, además de compartir sus conocimientos y experiencias.

Gracias a la Universidad y a la Facultad de Ciencias Pecuarias y Biológicas, junto con las autoridades y docentes de la institución, quienes han sido parte fundamental para poder llegar a cumplir esta meta.

Yordy Ariel Arcos Palma

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico principalmente a mi familia, el apoyo constante de ellos hizo que sea posible cumplir este objetivo. Es por esto que he brindado todo mi esfuerzo para culminar de manera exitosa esta investigación.

A mis amigos, que fueron desde el inicio una parte importante para mí, por estar siempre presentes, en apoyo moral, por estar en este largo camino.

Para finalizar este proyecto está dedicado a todas las personas que me apoyaron en algún momento de mi estancia en la Universidad, aquellos que me brindaron su aporte de conocimientos para que el presente trabajo sea de calidad.

Yordy Ariel Arcos Palma

RESUMEN

En Ecuador, el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) constituye la materia prima básica para la elaboración de balanceados, empleada en la producción de especies animales domesticas que contribuyen a la soberanía alimentaria de la población. Los factores ambientales (inundaciones, déficit hídrico, radiación, etc.), y las prácticas agrícolas, tienen un impacto importante sobre los cultivos. Los daños en el sector agrícola son cada vez más frecuentes e inciden negativamente en la seguridad alimentaria. El uso de sensores remotos permite observar diversos rasgos agronómicos, como el contenido de nitrógeno de hojas, densidades de cultivos, la fenología. El objetivo de esta investigación es analizar el ciclo agronómico y respuesta espectral del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), considerando factores fenológicos. Los parámetros evaluados fueron altura de planta, diámetro de tallo, e Índice de vegetación (NDVI). Los resultados de las evaluaciones presentan diferencias altamente significativas ($p < 0.05$) para la variable altura de planta, obteniendo en T3 (semilla criolla, manejo químico, con resiembra), una altura promedio de 257.75 cm, de igual forma el T3 se destaca en diámetro de tallo con un promedio de 19.57 mm. El índice de vegetación fue mayor en el T3, mostrando significancia estadística en comparación a los demás tratamientos. El manejo químico mostro ser estadísticamente superior al manejo orgánico, el índice resultante del manejo fue de 0.82 en comparación al índice del manejo orgánico que fue 0.69. La altura se relaciona positivamente con el NDVI, debido a su resultado de correlación $r = 0.7785$.

Palabras clave: NDVI, Precisión, Reflectancia, Espectrometría, Zonificación.

ABSTRACT

In Ecuador, corn (*Zea mays* L.) is the basic raw material for the production of animal feed, used in the production of domestic animal species that contribute to the food sovereignty of the population. Environmental factors (floods, water deficit, radiation, etc.) and agricultural practices have an important impact on crops. Damage to the agricultural sector is becoming increasingly frequent and has a negative impact on food security. The use of remote sensing allows the observation of various agronomic traits, such as leaf nitrogen content, crop densities, phenology. The objective of this research is to analyze the agronomic cycle and spectral response of maize (*Zea mays* L.), considering phenological factors. The parameters evaluated were plant height, stem diameter, and vegetation index (NDVI). The results of the evaluations show highly significant differences ($p < 0.05$) for the variable plant height, obtaining in T3 (creole seed, chemical management, with replanting), an average height of 257.75 cm, likewise T3 stands out in stalk diameter with an average of 19.57 mm. The vegetation index was higher in T3, showing statistical significance compared to the other treatments. Chemical management proved to be statistically superior to organic management, the resulting management index was 0.82 compared to the organic management index of 0.69. Height is positively related to NDVI, due to its correlation result $r = 0.7785$.

Keywords: NDVI, Accuracy, Reflectance, Spectrometry, Zoning.

TABLA DE CONTENIDO

Declaración de autoría y cesión 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
Agradecimientos	vi
Dedicatoria	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Código dublín.....	xv
Introducción	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Problema de la investigación.....	3
1.1.1. Planteamiento del problema.	3
1.1.2. Formulación del problema.	4
1.1.3. Sistematización del problema.....	4
1.2. Objetivos.	4
1.2.1. Objetivo general.	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Justificación.....	5
CAPÍTULO II	6
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	6
2.1. Marco conceptual.	7
2.2. Marco referencial.	8
2.2.1. Origen del maíz	8
2.2.2. Taxonomía.....	8
2.2.3. Descripción botánica.	9
2.2.3.1. Raíces.	9
2.2.3.2. Tallos.....	9
2.2.3.3. Tallos.....	9
2.2.3.4. Hojas.	10
2.2.3.5. Tallos.....	10
2.2.4. Ciclo vegetativo del maíz.....	10
2.2.4.1. Germinación y emergencia (fase ve).....	10
2.2.4.3. Desarrollo de hojas.....	11
2.2.4.4. Seis hojas verdaderas v6.	11
2.2.4.5. Etapa v9, v10, v12, vt.....	11

2.2.5. Etapa reproductiva del maíz.....	11
2.2.6. Etapa de cosecha.....	12
2.2.7. Manejo orgánico en maíz.....	12
2.2.8 Teledetección y tecnología aeroespacial.....	13
2.2.8.1 Drones.....	13
2.2.9. Índices de vegetación.....	14
2.2.9.1. NDVI.....	14
2.2.10. Agricultura de precisión.....	15
2.2.10.1. Mapeo y monitoreo de cultivos.....	15
2.2.11. Ventajas del uso de información digital.....	15
2.2.11.1. Análisis de imágenes.....	16
2.2.11.2. Análisis espacial.....	16
2.2.11.3. Sistemas de información geográfica.....	16
2.2.12. Aplicación de los SIG.....	16
CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.1. Localización.....	18
3.1.1. Condiciones climáticas y agronómicas.....	18
3.2. Metodología.....	19
3.2. Tipo de investigación.....	19
3.2.1. Línea de investigación.....	19
3.2.2. De campo.....	19
3.2.3. Experimental.....	19
3.3. Método de investigación.....	19
3.3.2. Método de observación.....	19
3.3.3. Método analítico.....	20
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	20
3.5. Diseño del experimento.....	20
3.6. Instrumentos de investigación.....	22
3.6.1. Variables evaluadas.....	22
3.6.1.1. Altura de planta (cm).....	22
3.6.1.2. Diámetro de tallo (mm).....	22
3.6.1.3. Índices de vegetación.....	22
3.7. Tratamiento de los datos.....	23
3.8. Ensayo de la investigación.....	23
3.8.1. Registro y proceso de la información espectral.....	23
3.9. Recursos humanos y materiales.....	24

3.9.1. Recursos humanos.....	24
3.9.2. Recursos materiales de la investigación.....	25
3.9.3. Materiales de campo.....	25
3.9.4. Equipo aeroespacial.....	25
3.9.5. Equipo de oficina	26
CAPÍTULO IV.....	27
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Respuesta espectral durante el ciclo agronómico del cultivo de maíz considerando su fenología.....	28
4.1.1 Análisis de varianza de Altura de planta.....	28
4.1.2. Análisis de varianza del diámetro del tallo.....	29
4.1.3. Análisis de varianza del índice de vegetación NDVI.....	31
4.1.4. Análisis de varianza NDVI en semilla, manejo y resiembra.....	32
4.2. Análisis espectral de fenología.....	33
CAPÍTULO V.....	37
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
5.1. Conclusiones.....	38
5.2. Recomendaciones.....	38
CAPÍTULO VI.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	39
6.1. Bibliografía.....	40
CAPÍTULO VII.....	43
ANEXOS.....	43
7.1 Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.
7.1.1 Índices de vegetación.....	44
7.1.2. Tablas del análisis de varianza.....	47
7.1.3. Manejo del cultivo y equipos.....	49

Índice de tablas

Tabla 1. taxonomía del maíz	8
Tabla 2. Condiciones climáticas y agronómicas	19
Tabla 3. Esquema del Análisis de varianza (ANDEVA) para Diseño Completamente al Azar	21
Tabla 4. Factores y subfactores considerados en la investigación	22
Tabla 5. Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento	23
Tabla 6. Materiales de campo	25
Tabla 7. Equipos de vuelo	26
Tabla 8. Herramientas para procesar datos	26
Tabla 9. Promedios y coeficientes de variación de altura de planta registrado en el cultivo de maíz.	28
Tabla 10. Promedios y coeficientes de variación de diámetro del tallo registrado en el cultivo de maíz.....	30
Tabla 11. Promedios y coeficientes de variación del índice de vegetación NDVI en el cultivo de maíz	31
Tabla 12. Promedio y coeficiente de variación de la variable NDVI registrada en el cultivo de maíz bajo el tipo de semilla, tipo de manejo y resiembra	33

Índice de figuras

Figura 1. Etapa vegetativa y reproductiva del maíz.	12
Figura 2. Pre procesamiento de las escenas en el software Pix4D	24
Figura 3. Altura de planta de cada tratamiento hasta el fin de la etapa vegetativa	29
Figura 4. Diámetro de tallo evaluado semanalmente hasta el fin de la etapa vegetativa	30
Figura 5. Comportamiento del índice de vegetación en el cultivo de maíz	34
Figura 6. Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 3	34
Figura 7. Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 4	35
Figura 8. Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 5	36

Índice de anexos

Figura 1. Índice de vegetación de semana 1	44
Figura 2. Índice de vegetación de semana 3.	44
Figura 3. Índice de vegetación de semana 5.	45
Figura 4. Índice de vegetación de semana 8.	45
Figura 5. Índice de vegetación de semana 12.	46
Figura 6. Índice de vegetación de semana 15	46
Anexo 7. Índice de vegetación de semana 16.	47
Imagen 1. H. Preparación del terreno antes de la siembra del maíz.....	49
Imagen 2. Drone Mavic 2 Pro.	50
Imagen 3. Preparación del drone para acoplar la camara multispectral.	50

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Ciclo vegetativo del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) considerando su estado fenológico a través de su respuesta espectral con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral”				
Autor:	Yordy Ariel Arcos Palma				
Palabras clave:	NDVI	Precisión	Espectrometría	Zonificación	
Fecha de publicación:					
Editorial:					
Resumen:	<p>Resumen. - En Ecuador, el cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.) constituye la materia prima básica para la elaboración de balanceados, empleada en la producción de especies animales domesticas que contribuyen a la soberanía alimentaria de la población. Los factores ambientales (inundaciones, déficit hídrico, radiación, etc.), y las prácticas agrícolas, tienen un impacto importante sobre los cultivos. Los daños en el sector agrícola son cada vez más frecuentes e inciden negativamente en la seguridad alimentaria. El uso de sensores remotos permite observar diversos rasgos agronómicos, como el contenido de nitrógeno de hojas, densidades de cultivos, la fenología. El objetivo de esta investigación es analizar el ciclo agronómico y respuesta espectral del cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.), considerando factores fenológicos. Los parámetros evaluados fueron altura de planta, diámetro de tallo, e Índice de vegetación (NDVI). Los resultados de las evaluaciones presentan diferencias altamente significativas ($p < 0,05$) para la variable altura de planta, obteniendo en T3 (semilla criolla, manejo químico, con resiembra), una altura promedio de 257.75 cm, de igual forma el T3 se destaca en diámetro de tallo con un promedio de 19.57 mm. El índice de vegetación fue mayor en el T3, mostrando significancia estadística en comparación a los demás tratamientos. El manejo químico mostro ser estadísticamente superior al manejo orgánico, el índice resultante del manejo fue de 0.82 en comparación al índice del manejo orgánico que</p>				

fue 0.69. La altura se relaciona positivamente con el NDVI, debido a su resultado de correlación $r = 0.7785$.

Abstract. - In Ecuador, corn (*Zea mays* L.) is the basic raw material for the production of animal feed, used in the production of domestic animal species that contribute to the food sovereignty of the population. Environmental factors (floods, water deficit, radiation, etc.) and agricultural practices have an important impact on crops. Damage to the agricultural sector is becoming increasingly frequent and has a negative impact on food security. The use of remote sensing allows the observation of various agronomic traits, such as leaf nitrogen content, crop densities, phenology. The objective of this research is to analyze the agronomic cycle and spectral response of maize (*Zea mays* L.), considering phenological factors. The parameters evaluated were plant height, stem diameter, and vegetation index (NDVI). The results of the evaluations show highly significant differences ($p < 0.05$) for the variable plant height, obtaining in T3 (creole seed, chemical management, with replanting), an average height of 257.75 cm, likewise T3 stands out in stalk diameter with an average of 19.57 mm. The vegetation index was higher in T3, showing statistical significance compared to the other treatments. Chemical management proved to be statistically superior to organic management, the resulting management index was 0.82 compared to the organic management index of 0.69. Height is positively related to NDVI, due to its correlation result $r = 0.7785$.

Descripción:	
URL:	

Introducción

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) es producido a nivel mundial, debido a que se desarrolla en diversos tipos de suelos y en diversas condiciones agroecológicas (1). La producción de maíz en el año 2020 fue de 5.75 t ha⁻¹ en promedio, y se cosecharon alrededor 1162 millones de toneladas, siendo superior a la cantidad de toneladas cosechadas de otros granos como el arroz y el trigo (2).

En Ecuador, el cultivo de maíz constituye la materia prima básica para la elaboración de balanceados, empleada en la producción de especies animales domesticas que contribuyen a la soberanía alimentaria de la población (3). Es el cultivo transitorio de mayor importancia en el Ecuador, la superficie sembrada es aproximadamente 300.000 ha (4). El rendimiento del maíz en los últimos años ha ido en aumento, debido al uso de semillas híbridas y tecnologías que optimizan el manejo del cultivo. El rendimiento del maíz duro seco en Ecuador es de aproximadamente 4.64 t ha⁻¹ (5).

Los factores ambientales (inundaciones, déficit hídrico, radiación, etc.), y las prácticas agrícolas, tienen un impacto importante sobre los cultivos. Los daños en el sector agrícola son cada vez más frecuentes e inciden negativamente en la seguridad alimentaria (6). El uso excesivo de agroquímicos se relaciona en gran medida a la presencia de malas hierbas, y a su vez estos factores tienen un impacto directo sobre la producción (7).

La teledetección y la agricultura de precisión ofrecen alternativas de alta precisión, que son esenciales para reducir el uso de herbicidas, plaguicidas, insecticidas, etc.; mediante la zonificación de áreas con deficiencias y la aplicación en tratamientos localizados (7). Esta tecnología es aplicable a todos los tipos de cultivo de interés agronómico (8). Debido a la alta resolución espacial, espectral, y temporal, es posible observar variaciones temporales de los parámetros biofísicos de los cultivos (9).

Por lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo analizar la dinámica agronómica del cultivo de maíz y conocer su respuesta espectral, con el fin de obtener mediante espectrometría, relaciones entre parámetros biofísicos y los índices de vegetación. Es importante destacar que la correcta gestión del espacio permite aumentar y optimizar la producción.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación.

1.1.1. Planteamiento del problema.

En Ecuador, una de las limitantes tecnológicas que presenta la agricultura, y puntualmente en el cultivo de maíz, es la carencia de información y estudios sobre teledetección para el análisis y gestión de la misma, mismos que se encuentran condicionados por una carencia de profesionales con estos conocimientos y los recursos limitados para la adquisición de sensores remotos, como por ejemplo sensores multiespectrales, y tecnologías más de vanguardia como lidar.

El cultivo de maíz en la zona central de la costa ecuatoriana se ve afectado por la permanente introducción de materiales genéticos comerciales, cuyo ciclo vegetativo y sanitario es condicionado por prácticas agrícolas propias del modelo agroindustrial y factores ambientales específicos, por ejemplo, sequías y lluvias prolongadas, distancia de siembra, ciclos de fertilización, control de malas hierbas, insectos y demás enfermedades, que inciden en la producción.

Al respecto, estas prácticas agrícolas y factores ambientales que condicionan la productividad de cultivares de maíz, deben ser caracterizados mediante la utilización de herramientas tecnológicas vanguardistas como, GNSS, sensores de alta resolución espacial y espectral, para llegar a un enfoque de “agricultura de precisión”, Fountas et al. (10), señalan que la agricultura de precisión se define como el “manejo de la variabilidad espacial y temporal a nivel de subparcela de campo, para mejorar el retorno económico y reducir el impacto ambiental”

Los resultados de la aplicación de la teledetección contribuirán con información para la toma de decisiones sobre aspectos del manejo vegetal y la producción. aumentando la competitividad a través de una mayor eficacia en las prácticas agrícolas del cultivo de maíz.

Diagnóstico

En Ecuador, los estudios en maíz aplicando tecnologías espectrales y espaciales están limitados, debido a que, la información acerca de los sensores remotos y la teledetección son precarios en la región. Las respuestas que se obtienen de los rasgos agronómicos es por medio de dichos sensores, es clave para la investigación.

Pronóstico

La gestión del espacio adecuado, en parcelas o subparcelas, permite caracterizar los terrenos y optimizar el uso de los insumos agrícolas por medio de aplicaciones localizadas. Se logra relacionar la dinámica obtenida por espectrometría, dejando así el cultivo óptimo para la toma de decisiones.

1.1.2. Formulación del problema.

¿Es posible determinar el ciclo agronómico con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral, tomando en cuenta la fenología en el cultivo de maíz?

1.1.3. Sistematización del problema.

- ¿Se podrá determinar el ciclo vegetativo y reproductivo del maíz (*Zea mays* L.), bajo el concepto de espectrometría?
- ¿Se podrá determinar bajo espectrometría las diferentes dinámicas de la fenología considerando tipos de semilla y manejos?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

Determinar el ciclo agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) considerando su estado fenológico a través de su respuesta espectral con el uso de la tecnología aeroespacial y espectral.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Evaluar el comportamiento agronómico del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo el tipo de manejo, semilla y resiembra.

- Analizar la respuesta espectral del cultivo de maíz (*Zea mays* L.), mediante espectrometría.
- Determinar la dinámica del ciclo vegetativo y reproductivo del maíz (*Zea mays* L.), bajo el concepto de espectrometría.
- Analizar posibles diferencias entre variedades genotípicas del maíz y manejo, en base a la respuesta espectral.

1.3. Justificación.

El maíz está entre los principales cultivos del Ecuador, por lo que es necesario implementar tecnologías que permitan conocer cómo se encuentra la vegetación, la sanidad de la planta, a través de su respuesta espectral. Es necesario implementar la tecnología aeroespacial para reducir el uso de insumos agrícolas, optimizar las prácticas agrícolas, y Conocer el estado de nutrición de manera temporal en los cultivos.

La tecnología aeroespacial y espectral nos permite tener acceso a los cultivos de manera temporal, tener otra visión de lo que es la agricultura, tener a disposición índices con información acerca de la humedad, la clorofila existente en el cultivo, la salud de la vegetación, etc. Son aplicaciones que sirven para identificar y trabajar de manera específica en zonas con afecciones.

El uso de drones y cámaras multispectrales, son muy relevantes para la agricultura de precisión, o un pilar fundamental para que esta exista, de esta manera al estar ligada con la teledetección se pueden cartografiar diversas zonas o parcelas de distintos cultivos, determinar el crecimiento y el desarrollo de todo tipo de cultivares, no obstante, lo cual no solo ayuda a observar la vegetación, esto permite a los agricultores tomar decisiones y estrategias para aumentar la productividad, y gestionar de manera precisa los recursos como los agroquímicos, de esta manera se reducen los impactos ambientales y se puede lograr tener al menos algo de desarrollo sustentable (11).

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual.

2.1.1. El maíz

El maíz es una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia de las Poáceas, su ciclo es anual, las inflorescencias femeninas (mazorca) se forman en las yemas laterales de la axila de hoja (12).

2.1.2. NDVI.

Índice normalizado diferencial de vegetación, a través de valores permite realizar análisis, siendo un indicador de la sanidad de los cultivos, la degradación de verdor de los ecosistemas (13).

2.1.3. NDRE.

Índice normalizado de borde rojo, es sensible a las etapas del cultivo y responde al contenido de clorofila de los cultivos, y por lo tanto a la cantidad de nitrógeno (14).

2.1.4. GCI.

Índice de clorofila verde, permite detectar vegetación con clorosis y es complementario con los otros índices mencionados (14).

2.1.5. Drone.

Vehículo o sistema aéreo no tripulado, por sus ventajas en cuanto maniobrabilidad y peso, es usado para mapeo, fotografía aérea, monitoreo de zonas, etc (15).

2.1.6. Georreferenciar.

Es una técnica que se usa para asignar un sistema de coordenadas a los objetos espaciales (15).

2.1.7. Ortomosaico.

Es uno de los productos que se obtienen a partir de las escenas procesadas, el ortomosaico permite observar el terreno en forma de foto 2D (15).

2.1.8. Fotogrametría.

Es una técnica que permite obtener las formas o dimensiones de un objeto en el espacio a través de imágenes satelitales o ortofotos tomadas desde un dispositivo aéreo (15).

2.1.6. GNSS.

Sistema Global de navegación satelital.

2.2. Marco referencial.

2.2.1. Origen del maíz

Existió una variedad que se denominó teosinte, muy similar al maíz, y esta especie sufrió cambios a través de su domesticación, en lo que respecta a la morfología, pero sigue siendo muy controversial el origen del maíz, existen varias teorías como la del maíz tunicado, la teoría del maíz silvestre. La teoría del maíz tunicado es la que habla del teosinte y es la más aceptada como antecesor de lo que conocemos ahora como maíz(12).

En sus principios el maíz fue clasificado en dos géneros separados como el *Zea* y *Euchlaena*, Pero gracias a diversos estudios realizados por los científicos Reeves y Mangelsdorf en 1942, se logró determinar un solo género tomando como referencia estudios citológicos. Donde se comparó la similitud entre estos grupos de plantas (12).

2.2.2. Taxonomía.

Tabla 2.

taxonomía del maíz

Reino	Vegetal
Subreino	Embriobionta
División	Angiospermae
Clase	Monocotyledoneae
Orden	Poales

Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i> L.

Obtenido de: FAO (16)

2.2.3. Descripción botánica.

2.2.3.1. Raíces.

La raíz del maíz es robusta, y fasciculada, el sistema radicular del maíz no solo cumple con la función de aportar nutrientes, también sirve como un anclaje para la planta, donde las raíces adventicias crean un anclaje perfecto al suelo siendo importante para la planta (17).

2.2.3.2. Tallos.

El tallo del maíz se encuentra conformado por nudos y entrenudos, y el número de estos es variable según la variedad de maíz, El tallo tiene una parte inferior y otra que se encuentra debajo del suelo, éstas partes tienen entrenudos muy pequeños de donde salen las raíces tanto principales como los brotes laterales (17).

En el tallo los entrenudos que se encuentran en la parte superior, tienen forma cilíndrica; y se puede ver en el corte transversal la epidermis, consta de una pared gruesa y también de haces vasculares (Conductoras de agua y nutrientes que se obtienen desde el suelo o las que se elaboran en las hojas (17).

2.2.3.3. Tallos.

La inflorescencia del maíz es terminal estaminada o flor masculina, esto debido a que el maíz es monoico; las flores femeninas o mazorcas se encuentran ubicadas en las yemas laterales, es así como se da el grano debido a su inflorescencia (18).

Además, las inflorescencias son unisexuales por lo que están determinadas en crecer en lugares distintos de la planta, la polinización del maíz es anemófila, por lo tanto, el polen o los granos pueden viajar distancias de entre 100 y 100 m.(18).

2.2.3.4. Hojas.

El maíz en cuanto a sus hojas es muy similar a las otras gramíneas, lo que constituye a la hoja es; la vaina, cuello y la lámina. su constitución presenta cuello, vaina y una lámina. El cuello de la planta es la zona en donde se observa la vaina envolvente y la lámina abierta. La banda angosta es la lámina y puede tener hasta 1,5 m de largo por 10 cm de ancho, y llega a finalizar a un ápice perspicaz (17).

2.2.3.5. Tallos.

El desarrollo de los granos se da cuando el producto acumula la fotosíntesis, por lo que se absorbe mediante la raíz, por lo general una mazorca puede contener de entre 300 a 1000 granos, esto depende del diámetro y la longitud, además del número de hileras de la mazorca. El peso es distinto, el grano puede llegar a pesar alrededor de 19 a 30 g por cada 100 granos (17).

2.2.4. Ciclo vegetativo del maíz.

2.2.4.1. Germinación y emergencia (fase ve).

La emergencia se da cuando el coleóptilo brota por encima de la superficie del suelo. El maíz por lo general emerge entre 6-7 días después de la siembra, cuando las condiciones de temperatura y humedad son las idóneas. Cuando hay condiciones desfavorables, el maíz puede llegar a retrasar su emergencia hasta 15 días (19).

2.2.4.2. Tres hojas verdaderas v3.

El crecimiento aún se encuentra por debajo del suelo, el tallo no se alarga demasiado en esta etapa. Cuando las raíces seminales dejan de crecer, los pelos de la raíz nodal crecen. Precisamente todos los brotes de hoja que se producen se forman desde la V3 hasta la V5. En esta etapa la altura promedio es de 20 cm (19).

2.2.4.3. Desarrollo de hojas.

La planta de maíz hasta que tiene cuatro hojas verdaderas(V4), aún carece de tallo, cuando el crecimiento llega al nivel del suelo, se habla de una quinta hoja verdadera (V5), recién en este momento se observa la iniciación de la panoja en el perspicaz ápice (19).

2.2.4.4. Seis hojas verdaderas v6.

En esta fase el tallo comienza a subir, las raíces crecen 4 nudos más abajo del tallo, ya es posible observar brotes de espigas. El crecimiento de las espigas depende siempre de la variedad, la distancia de siembra, la densidad poblacional, la fertilidad y algunas condiciones abióticas (19).

2.2.4.5. Etapa v9, v10, v12, vt.

En las fases V9 se muestran brotes de mazorcas, comienzas su desarrollo en los nudos de la parte aérea, por debajo de los últimos 8 nudos, aquí se ve un crecimiento acelerado, Próximo a la etapa V10 ya el crecimiento se concentra en la acumulación de la materia seca.(19).

La etapa V12 muestra a las espigas formadas con antela al desarrollo de la panoja. Sin embargo, los granos potenciales se determinan cerca de la etapa v17 donde emergen las barbas. El desarrollo de los granos se ve afectado por la cantidad de agua o nutrientes que disponga. En la fase o etapa VT, o conocida como panojamiento, comienza alrededor de 2 a 3 días antes que las barbas emerjan, ya en esta etapa la planta tiene su crecimiento final en altura y da paso a la liberación de polen (19).

2.2.5. Etapa reproductiva del maíz.

El comienzo de la etapa reproductiva se da cuando aparecen los estigmas que se encargan de capturar el polen, esta etapa es conocido como R1, posteriormente la mazorca comienza a cambiar su estructura desarrollando un poco más hasta alcanzar los niveles de humedad necesarios para la cosecha(20).

En la fase R6 la mazorca cumple su estado de madurez fisiológica, los granos en esta fase alcanzar el peso seco necesario, los granos se tornan de un color más oscuro, y a su vez el grano se une a la mazorca, siendo este el indicador de que el maíz está en esta fase de madurez. Sin embargo, la humedad debe estar entre 30-35%(20).

Figura 1.

Etapa vegetativa y reproductiva del maíz.

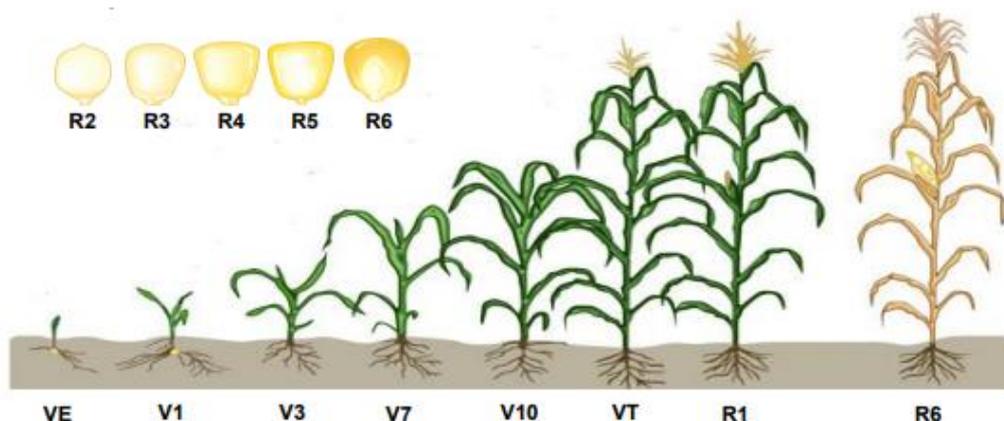


Figura obtenida de Toledo en: Etapas de desarrollo de cereales. (20)

2.2.6. Etapa de cosecha.

En la cosecha son varios los factores que se toman en cuenta, donde se incluyen varios procesos necesarios para que la cosecha se lleve a cabo, estos son: cosechado, procesamiento, el secado, limpieza, y la separación de mazorcas en base al tamaño, el uso de los agroquímicos, hasta que llegar al almacenamiento (17).

En el cultivo de maíz el ciclo hasta su finalización suele estar dado desde los 150 a 190 días, claro que esto es dependiente de la variedad, ya a los 5 meses se está cosechando aproximadamente, donde se espera llegar a niveles de humedad de entre 15% y 12%, lo más recomendable es llegar a obtener niveles de humedad muchos más bajos (17).

2.2.7. Manejo orgánico en maíz.

El manejo orgánico comprende en aportar, materia orgánica por medio de abonos orgánicos, por lo que es positivo para la fertilidad del suelo y para la nutrición de las plantas; no obstante, los abonos orgánicos no son comparables con los abonos sintéticos en el sentido

de los nutrimentos que contiene cada uno. El contenido de un compost de N puede llegar a 1-3%, mientras que un sintético puede llegar al 10% (21).

El proceso en que se metaboliza la materia orgánica implica el actuar de los catalizadores, porque la microflora del suelo se restablece y la calidad del suelo se regenera. Por otro lado, la materia orgánica activa la acción de las fosfatasa, donde interactúa positivamente con la biomasa microbiana (21). La variedad criolla de maíz es mucho más alta que los híbridos comerciales, aproximadamente 1,7 m más alto que los híbridos (22).

2.2.8 Teledetección y tecnología aeroespacial.

La teledetección une los conocimientos y las tecnologías que son usadas para el análisis y observación, de todos los fenómenos terrestres, en otras palabras, la teledetección es una disciplina que permite obtener información de los fenómenos terrestres sin tener algún tipo de contacto con estos fenómenos (11).

En la actualidad, el uso que se le da a teledetección es de carácter moderno, porque en este caso se utilizan ya sensores montados en plataformas aéreas como los drones, para detectar y poder clasificar los fenómenos específicamente, por medio de la luz visible, o el infrarrojo cercano, esto por medio de las ondas electromagnéticas (Di Leo, 2015).

El uso de la información espacial, y la gestión del espacio en los últimos años ha tenido un impacto en el manejo de los cultivos, con el uso de plataformas o vehículos aéreos no tripulados (VANT o Drone). Se estima que los aparatos no tripulados en la próxima década serán dirigidos a la agricultura entre 80 y 90% específicamente, con el objetivo de realizar agricultura de precisión (23).

2.2.8.1 Drones.

Existe una clasificación en el caso de los drones, según su sustentación el dron se clasifica en ala fija o de ala rotatoria, también se clasifican según el tipo de propulsión que dispongan como eléctricos, o turbohélices, otra clasificación tiene que ver con la autonomía de vuelo, que es el tiempo en que el equipo puede estar en función (11).

Los drones vienen con un sistema de geoposicionamiento (GPS), también constan de cámaras con una resolución muy alta hablando del sensor RGB o llamado también sensor de espectro visible, constan de cámaras multispectrales, con varias bandas incluyendo el infrarrojo cercano. constan de sensores contra los choques, con radioenlace y se pueden controlar mediante la conexión con un dispositivo móvil (11).

2.2.9. Índices de vegetación.

2.2.9.1. NDVI.

El NDVI (índice normalizado diferencial de vegetación), se creó con el fin de separar la vegetación del suelo, por medio del brillo o la reflectancia que tienen los objetos. En particular este índice puede reflejar la relación entre la fotosintética y la estructura de las hojas, lo que permite así determinar la vigorosidad de las plantas (24).

Los valores que refleja un NDVI es en base a la reflectancia, quiere decir que es la energía que absorbe la planta la que se observa reflejada y eso se lo hace con la banda roja y el infrarrojo cercano (NIR). El cálculo es una fórmula simple donde se usan las dos bandas antes mencionadas (24).

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

Esta fórmula nos muestra el NDVI y la relación entre la reflectancia de estas dos bandas, esto hace posible conocer cómo se encuentra la vegetación. Los valores de los índices están situados entre -1 y 1. Los valores cercanos a 1, son los valores con mayor índice de vegetación o clorofila, vigor, los que van acercándose a -1 muestran que el vigor disminuye (24).

Los usos que se le dan a estos índices van mejorando a día, porque ahora se puede discriminar no solo la cobertura de una plantación, se puede evaluar de manera temporal y constante y establecer cómo se encuentran los cultivos, estimar las características como el contenido de clorofila, el contenido hídrico o el contenido nutricional de las plantas (25).

2.2.10. Agricultura de precisión.

La precisión en la agricultura corresponde a un conjunto de estrategias en donde se asocia la tecnología de la información con la finalidad de recolectar datos que sean de total utilidad. Su fin es dar opciones para la toma de decisiones. Sin embargo, la aplicación de estas tecnologías no han sido implementado a los pequeños y medianos agricultores debido a la insuficiente información existente en algunas zonas del mundo (26).

La realidad es que los beneficios que muestra la agricultura de precisión son varios; entre ellos: Reduce considerablemente la aplicación de agroquímicos, el impacto al medioambiente se reduce, se optimizan las producciones, la información que se obtiene es precisa (26).

2.2.10.1. Mapeo y monitoreo de cultivos.

La información que llega dar el uso de imágenes espectrales, en cuanto a la precisión y el detalle es alto, los parámetros que brinda son ideales para el diagnóstico y la corrección de lo que suceda en el cultivo, se pueden estudiar áreas específicas de un cultivo, así como las demás zonas (26).

Para realizar un monitoreo, y para la recolección de datos es imprescindible contar con un sensor RGB y un Sensor que cuente con el infrarrojo cercano, contar con un GPS o a su vez con una estación GNSS, para mayor precisión es recomendable usar una estación GNSS. Las ventajas de monitorear un cultivo, es precisamente el poder corregir inmediatamente y poder realizar ajustes tanto en aplicación de agroquímicos como el control de las enfermedades(26).

2.2.11. Ventajas del uso de información digital.

Las herramientas tecnológicas han logrado predecir situaciones generales y específicas en el campo agrícola, una de las ventajas es la resolución temporal y la resolución espacial que brindan estos equipos. En la actualidad el uso de sensores multiespectrales son cada vez más comunes encontrar en equipos aeroespaciales como drones. (27).

2.2.11.1. Análisis de imágenes.

Por lo general las imágenes que se obtienen de los sensores montados en los tipos de plataformas (drone), son procesados en software específicos, entre los más utilizados está Pix4D mapper y Agisoft Metashape. Dentro de estos softwares se pueden calcular los índices de vegetación, aunque también se suelen usar programas SIG para el análisis de los datos (28).

2.2.11.2. Análisis espacial.

El análisis espacial corresponde al uso de un conjunto de técnicas, conceptos y métodos que permitan manejar u operar el espacio, y previo a esto se debe realizar una revisión exhaustiva de la información obtenido para garantizar que los datos sean consistentes (29).

2.2.11.3. Sistemas de información geográfica.

En lo largo de la historia los sistemas de información geográfica (SIG) han sido definidos por muchos autores, todos ellos lo definen de una manera acertada. Según Santos (30), Los SIG son herramientas que permiten gestionar, realizar análisis de la información que se encuentre en el espacio georreferenciada, haciendo uso de herramientas informáticas.

Es importante aclarar que el 80% de la información que podemos observar es posible georreferenciar, hospitales, casas, rocas, personas, etc. Eso es un buen criterio para tomar en cuenta a los SIG, y otra cosa importante de la información geográfica, es la capacidad de dar respuestas sobre los límites entre países, lagos, océanos (31).

2.2.12. Aplicación de los SIG.

Los SIG tienen muchas aplicaciones, entre ellas se encuentra el manejo de la cartografía mundial, el control de la infraestructura (redes de almacenamiento, redes de agua), permite gestionar el territorio de manera precisa, ya que los SIG pueden almacenar millones de datos que ayudan al análisis de esta información (32).

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

Esta investigación se realizó en el campus “La María”, de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, que se encuentra ubicado en el kilómetro 7 1/2 de la vía Quevedo - El Empalme, Cantón Mocache, Provincia de Los Ríos. La ubicación geográfica es de 1° 3’18” de latitud sur y 79° 25’ 24” de longitud oeste.

Mapa 1

Ubicación de la zona de investigación



3.1.1. Condiciones climáticas y agronómicas

Tabla 3

Características agro meteorológicas de la Finca Experimental “La María” UTEQ - Mocache.

Datos meteorológicos	Valores promedios
Temperatura (°C)	27
Humedad relativa (%)	87.71
Precipitación (mm/año)	2271.29
Heliofanía (horas luz/año)	915.56
Topografía	Irregular

3.2. Metodología

3.2. Tipo de investigación.

3.2.1. Línea de investigación.

Esta tesis se encuentra formando parte del proyecto “Tecnología aeroespacial y espectral, para cuantificar la dinámica vegetativa y sanitarias, del cultivo de maíz (*Zea mays* L), en la zona central de la costa ecuatoriana”, el cual se encuentra enmarcado en; la línea Agricultura, Silvicultura, y Producción animal y sub línea de investigación: Desarrollo de conocimiento de tecnologías de agricultura alternativa, aplicable a las condiciones del trópico húmedo y subhúmedo del Litoral ecuatoriano.

3.2.2. De campo.

Se evaluó la respuesta de dos variedades de semilla de maíz (híbrida y criolla), sometida a factores geofísicos (temporalidad) y de manejo (orgánico y químico), con el fin de conocer el ciclo vegetativo del maíz, permitiendo dar respuestas sobre su producción y utilidad en un escenario actual del Ecuador

3.2.3. Experimental.

Es un diseño longitudinal, el cual involucra la manipulación de unas variables, pero únicamente la observación del comportamiento de otras, motivo por el cual se conoce como un diseño de muestreo longitudinal.

3.3. Método de investigación.

3.3.2. Método de observación.

Existen dos grandes grupos de observación de variables: 1) variables agronómicas, 2) variables espectrales, estas relacionadas al ciclo vegetativo del maíz dentro de nuestro diseño

considerando las condiciones agroclimáticas del Campus Universitario “La María”, cantón Mocache.

3.3.3. Método analítico.

Este método permitió establecer los resultados del ciclo agronómico del maíz, sometido a la manipulación de una variable “manejo”, considerando: 1) manejo orgánico, 2) manejo químico, 3) control

3.4. Fuentes de recopilación de información.

La información de esta investigación fue obtenida de dos grandes tipos de fuentes, Se realizó la colección de datos en cultivos, datos agronómicos, y datos espectrales, toma de sensor Parrot sequoia.

- **Fuentes primarias:** Datos del componente agronómico (diámetro y altura) y del componente aeroespacial.
- **Fuentes secundarias:** Información de artículos científicos como referencia para toma de datos.

3.5. Diseño del experimento.

Se realizó un Diseño Completamente al Azar (DCA), se evaluaron parámetros agronómicos como altura de planta, diámetro de tallo, y parámetro espectral el índice de vegetación NDVI. Las evaluaciones de los datos recolectados fueron analizadas en el software estadístico InfoStat, aplicando la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Las regresiones lineales y correlación de Pearson por medio del software estadístico GraphPad Prism.

La superficie donde se ubicaron las unidades experimentales fue 1008 m², las parcelas fueron de 5 metros de longitud y 5 metros de ancho, la distribución de las parcelas fue acorde al mapa 2, el experimento contó de 12 tratamientos y 2 repeticiones por tratamiento. Dentro de ello se distribuyó en tipo de manejo (orgánico, químico, sin manejo), la semilla (semilla criolla, semilla híbrida), y la resiembra (con resiembra, sin resiembra).

Tabla 3*Esquema del Análisis de varianza (ANDEVA) para Diseño Completamente al Azar*

Fuente de variación	Fórmula	Grados de Libertad
Tratamiento	$t-1$	11
Error experimental	$t(r-1)$	12
Total	$t.r-1$	23

Fuente: Autor

3.5.1 Modelo Matemático

El modelo matemático implementado del diseño experimental es:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Y_{ij} = Es el total de una observación.

μ = Es la media de la población de los datos del experimento.

T_i = Es el efecto del tratamiento i .

E_{ij} = Es el error experimental.

Tabla 4.*Factores y subfactores considerados en la investigación*

Factores	Sub Factores
Temporalidad	Húmeda
Tipo de semilla	Criolla Híbrida
Tipo de manejo	Orgánico Químico Sin manejo
Resiembra	Con resiembra Sin resiembra

Fuente: Autor

3.6. Instrumentos de investigación.

Al tratarse de una investigación de observación – experimentación, se hizo uso de herramientas de carácter cuantitativo, en este caso son:

Las parcelas de campo con sus 12 tratamientos.

Bases de datos (registro de variables y sus respectivas observaciones), posterior procesamiento en paquetes estadísticos (R core).

Instrumentos de medición de espectrometría (formato ráster, TIF), para post - procesamiento de imágenes en software específico (QGIS, Metashape).

3.6.1. Variables evaluadas.

3.6.1.1. Altura de planta (cm).

Esta medida se realizó con un flexómetro tomando así la medida desde la parte inferior de la planta, hasta la parte más alta de sus hojas, tomando datos de esta variable cada 7 días hasta el fin de la etapa vegetativa, obteniendo una cantidad de datos favorable para su evaluación.

3.6.1.2. Diámetro de tallo (mm).

En esta variable se utilizó un calibrador o pie de rey y el registro de los datos se la realizó cada 7 días después de la siembra hasta el final de la fase vegetativa del cultivo.

3.6.1.3. Índices de vegetación

Se basan en medidas de reflectancia y espectrometría, las cuales se obtienen a partir de la lógica reflectancia de cada objeto geográfico que estructura el suelo, en este caso el cultivo de maíz y sus diferentes variables expuestas ya en este trabajo.

3.6.1.3.1. NDVI

Para obtener este índice de vegetación se utilizó la banda del infrarrojo cercano (NIR) y la banda del rojo, aplicando una ecuación se obtiene el NDVI.

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

3.7. Tratamiento de los datos

El proceso de generación y recopilación de los datos se hizo a través del software EXCEL, a continuación, en la tabla 5 se muestran los tratamientos bajo evaluación.

Tabla 5.

Descripción de los tratamientos evaluados en el experimento.

Nº tratamientos	Descripción
1	Semilla criolla – Manejo orgánico - Resiembra
2	Semilla criolla – Manejo orgánico - Sin resiembra
3	Semilla criolla – Manejo químico - Resiembra
4	Semilla criolla – Manejo químico – Sin resiembra
5	Semilla criolla – Manejo 0 - Resiembra
6	Semilla criolla – Manejo 0 – Sin resiembra
7	Semilla híbrida – Manejo orgánico - Resiembra
8	Semilla híbrida – Manejo orgánico – Sin resiembra
9	Semilla híbrida – Manejo químico - Resiembra
10	Semilla híbrida – Manejo químico – Sin resiembra
11	Semilla híbrida – Manejo 0 - Resiembra
12	Semilla híbrida – Manejo 0 – Sin resiembra

Fuente: Autor

3.8. Ensayo de la investigación

3.8.1. Registro y proceso de la información espectral

Este estudio contó de un componente aeroespacial, en este componente fueron participes los instrumentos aeroespaciales, donde se encuentran el dron, y la cámara multispectral. Los horarios de vuelo del dron, para levantar la información del cultivo van de 10H00 a 11h00 todos los días lunes hasta la finalización del cultivo.

3.9.2. Recursos materiales de la investigación

3.9.3. Materiales de campo

Tabla 6.

Materiales de campo

Material, equipo/ Concepto	Unidad	Cantidad
Semilla criolla	kg	1.5
Semilla ADV9139	kg	1.5
Urea	kg	12
Muriato	kg	6
Clorpirifos	mL	20
Methomil - tiametoxam	mL	40
Biol	L	30
Bocashi	Kg	50
Biorregulador de ají	L	6
Piola	Rollo	2
Cinta métrica	U	1
Bomba de fumigar	U	2
Botas	Par	1
Cuaderno de campo	u	2

Fuente: Autor

3.9.4. Equipo aeroespacial

Tabla 7

Equipos de vuelo

Material, equipo/ Concepto	Unidad	Cantidad
Drone Mavic 2 Pro	u	1
Camara Parrot Sequoia	u	1
Prototipo para cámara multiespectral	u	1

Fuente: Autor

3.9.5. Equipo de oficina

Tabla 8

Herramientas para procesar datos

Material, equipo/ Concepto	Unidad	Cantidad
Computador	u	2
Impresora	u	1
Software	u	4

Fuente: Auto

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Respuesta espectral durante el ciclo agronómico del cultivo de maíz considerando su fenología

4.1.1 Análisis de varianza de Altura de planta.

En la tabla 9, se aprecia el promedio y el coeficiente de variación para la variable altura de planta registrados a los 20, 35, y 55 días. El tratamiento 3 (Manejo químico, semilla criolla, con resiembra) mostró diferencias significativas en la evaluación de 35 días, se destaca con un promedio de 88.89 cm. Se puede observar que el tratamiento 3 (semilla criolla, manejo químico, con resiembra), mostró una mayor altura durante la evaluación de los 55 días. Estos resultados coinciden con los reportados por Flores et al, y Balbuena et al (34,35), donde se evaluó distintas variedades de maíz criollo bajo un manejo orgánico, el maíz criollo presenta una altura más pronunciada con respecto a las variedades híbridas, esto debido a que las semillas son conservadas sin ningún tipo de mejoramiento. Sin embargo Vallejo (36), reporta altura bajo adaptación de una variedad criolla en Fortul, usando lixiviados aeróbicos y anaeróbicos de raquis, la altura promedio que presentó fue de 212 cm, siendo estos resultados inferiores los presentados en esta investigación. Los coeficientes de variación de esta variable se encuentran ente 14.73 y 16.96.

Tabla 9

Promedios y coeficientes de variación de altura de planta registrado en el cultivo de maíz.

No.	Tratamientos	Promedio (días)		
		20	35	55
1	Semilla criolla – Manejo orgánico - Resiembra	24.14 a	42.78 b	92.66 d
2	Semilla criolla – Manejo orgánico - Sin resiembra	24.03 a	43.54 b	99.37 cd
3	Semilla criolla – Manejo químico - Resiembra	26.02 a	88.89 a	257.75 a
4	Semilla criolla – Manejo químico – Sin resiembra	22.46 a	64.18 ab	210.07 ab
5	Semilla criolla – Manejo 0 - Resiembra	23.60 a	50.53 b	109.00 cd
6	Semilla criolla – Manejo 0 – Sin resiembra	21.22 a	44.92 b	97.05 d
7	Semilla híbrida – Manejo orgánico - Resiembra	21.84 a	34.70 b	86.96 d
8	Semilla híbrida – Manejo orgánico – Sin resiembra	18.32 a	39.78 b	67.73 d
9	Semilla híbrida – Manejo químico - Resiembra	22.68 a	63.66 ab	192.18 abc
10	Semilla híbrida – Manejo químico – Sin resiembra	24.86 a	61.84 ab	213.67 ab
11	Semilla híbrida – Manejo 0 - Resiembra	23.14 a	39.61 b	109.70 cd
12	Semilla híbrida – Manejo 0 – Sin resiembra	23.55 a	50.63 b	122.76 bcd
X		22.99	52.09	138.24
CV		14.73	17.20	16.96

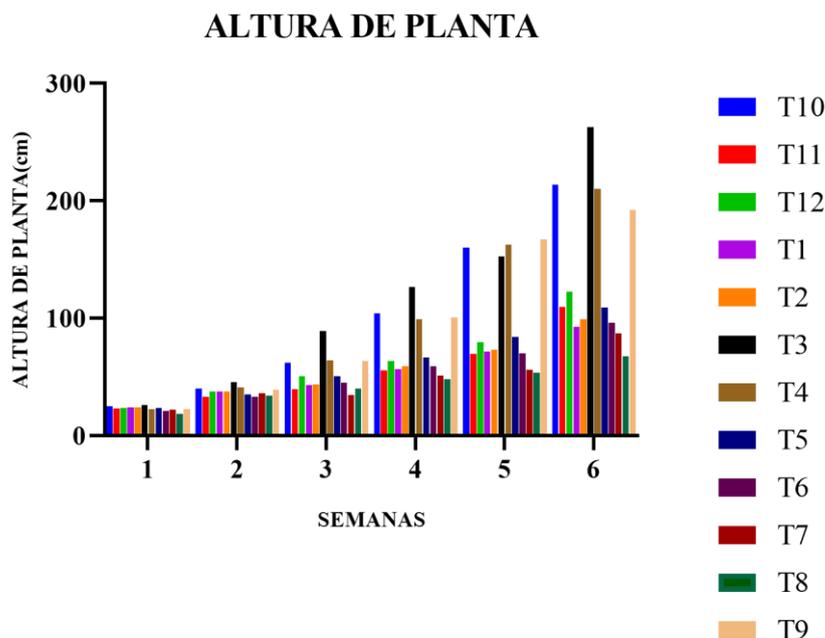
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la figura 3, Se puede evidenciar la altura promedio de cada tratamiento en el cultivo de maíz, registrados 15 días después de la siembra y posteriormente cada semana hasta el fin

de la etapa vegetativa. La altura de planta muestra una tendencia positiva donde destacan los tratamientos antes mencionados.

Figura 3

Altura de planta de cada tratamiento hasta el fin de la etapa vegetativa



4.1.2. Análisis de varianza del diámetro del tallo.

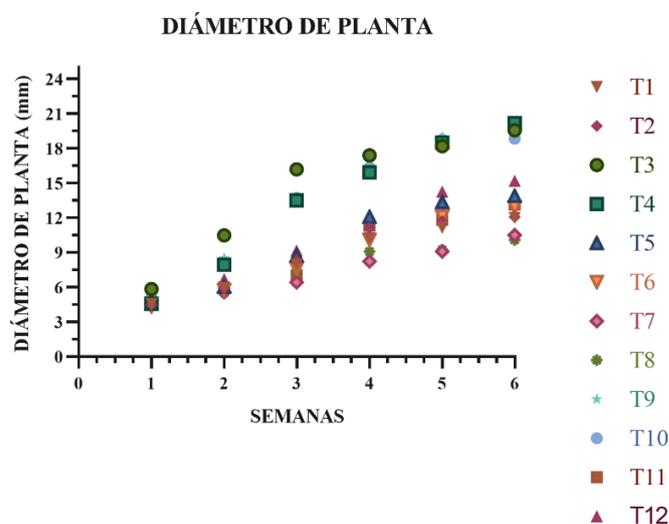
En la tabla 10, se pueden observar los promedios y el coeficiente de variación de la variable diámetro de tallo que se registró a los 20, 35, y 55 días. El tratamiento 3 (semilla criolla, manejo químico, con resiembra) tuvo un mayor diámetro de tallo en las 3 evaluaciones registradas, con un promedio de 5,85 mm, 16.20 mm, 19.57 mm. Los datos obtenidos muestran que el manejo químico, bajo el tipo de semilla alcanza mayor diámetro. El Tratamiento 8 (semilla híbrida, manejo, orgánico, sin resiembra) y el tratamiento 7 (semilla híbrida, manejo orgánico, con resiembra) mostró menor diámetro en la evaluación de 55, cuyo diámetro fue de 10.09 mm y 10.51 mm. Estos resultados de diámetro de planta son similares a los reportados por Rodríguez et al. (37), quien evaluó el diámetro de tallo en la variedad de maíz criollo en dos comunidades de Chiapas, México. El coeficiente de variación durante las evaluaciones oscilo entre 7.69 y 21.21.

Tabla 10.*Promedios y coeficientes de variación de diámetro del tallo registrado en el cultivo de maíz.*

No.	Tratamientos	Promedio (días)		
		20	35	55
1	Semilla criolla – Manejo orgánico - Resiembra	4.56 ab	7.97 ab	12.01 bc
2	Semilla criolla – Manejo orgánico - Sin resiembra	4.50 ab	8.32 ab	12.07 bc
3	Semilla criolla – Manejo químico - Resiembra	5.85 a	16.20 a	19.57 a
4	Semilla criolla – Manejo químico – Sin resiembra	4.60 ab	13.51 ab	17.41 abc
5	Semilla criolla – Manejo 0 - Resiembra	4.57 ab	8.74 ab	13.00 abc
6	Semilla criolla – Manejo 0 – Sin resiembra	4.35 b	7.61 b	11.73 bc
7	Semilla híbrida – Manejo orgánico - Resiembra	4.55 ab	6.44 b	10.51 c
8	Semilla híbrida – Manejo orgánico – Sin resiembra	4.60 ab	7.38 b	10.09 c
9	Semilla híbrida – Manejo químico - Resiembra	5.03 ab	13.59 ab	18.92 ab
10	Semilla híbrida – Manejo químico – Sin resiembra	5.13 ab	13.72 ab	18.58 ab
11	Semilla híbrida – Manejo 0 - Resiembra	4.47 ab	7.05 b	13.15 abc
12	Semilla híbrida – Manejo 0 – Sin resiembra	4.79 ab	9.17 ab	14.21 abc
X		4.75	9.97	14.27
CV		7.69	21.21	13.02

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la figura 4, Se puede evidenciar el diámetro de tallo promedio de cada tratamiento en el cultivo de maíz, registrados 15 días después de la siembra y posteriormente cada semana hasta el fin de la etapa vegetativa. Se observa la tendencia positiva en el desarrollo del diámetro de tallo durante las evaluaciones, se destaca el tratamiento 3 en las evaluaciones realizadas.

Figura 4*Diámetro de tallo evaluado semanalmente hasta el fin de la etapa vegetativa*

4.1.3. Análisis de varianza del índice de vegetación NDVI

En la tabla 11, se observa el promedio y el coeficiente de variación de la variable NDVI donde se evaluó el índice a los 20, 35, y 55 días. El análisis de varianza muestra diferencias significativas entre los tratamientos que se evaluaron. Mediante el índice de vegetación se puede observar que el tratamiento 3 destaca significativamente en todas las evaluaciones registradas, con un índice de vegetación superior que fue de 0.32, 0.85, 0.86. El índice de vegetación permite observar por medio de datos digitales el vigor o la sanidad del cultivo, esto concuerda con Kharuf et al. (38), donde se observa que el contenido de clorofila o de vigor disminuye conforme la vegetación esté cumpliendo su ciclo, o a su vez el índice disminuye cuando la vegetación no esté saludable. El coeficiente de variación para la variable NDVI fue de 7.81, 5.65, 5.64 en la primera, segunda y tercera evaluación.

Tabla 11

Promedios y coeficientes de variación del índice de vegetación NDVI en el cultivo de maíz.

No.	Tratamientos	Promedio (días)		
		20	35	55
1	Semilla criolla – Manejo orgánico - Resiembra	0.16 de	0.73 ab	0.65 bc
2	Semilla criolla – Manejo orgánico - Sin resiembra	0.25 b	0.71 ab	0.65 bc
3	Semilla criolla – Manejo químico - Resiembra	0.32 a	0.85 a	0.86 a
4	Semilla criolla – Manejo químico – Sin resiembra	0.18 cd	0.76 ab	0.77 abc
5	Semilla criolla – Manejo 0 - Resiembra	0.22 bc	0.73 ab	0.66 bc
6	Semilla criolla – Manejo 0 – Sin resiembra	0.13 ef	0.74 ab	0.64 c
7	Semilla híbrida – Manejo orgánico - Resiembra	0.02 g	0.74 ab	0.71 bc
8	Semilla híbrida – Manejo orgánico – Sin resiembra	0.04 g	0.55 c	0.65 bc
9	Semilla híbrida – Manejo químico - Resiembra	0.16 de	0.76 ab	0.80 ab
10	Semilla híbrida – Manejo químico – Sin resiembra	0.20 bcd	0.75 ab	0.79 abc
11	Semilla híbrida – Manejo 0 - Resiembra	0.12 ef	0.62 bc	0.64 c
12	Semilla híbrida – Manejo 0 – Sin resiembra	0.10 f	0.66 bc	0.64 bc
X		0.16	0.72	0.71
CV		7.81	5.65	5.64

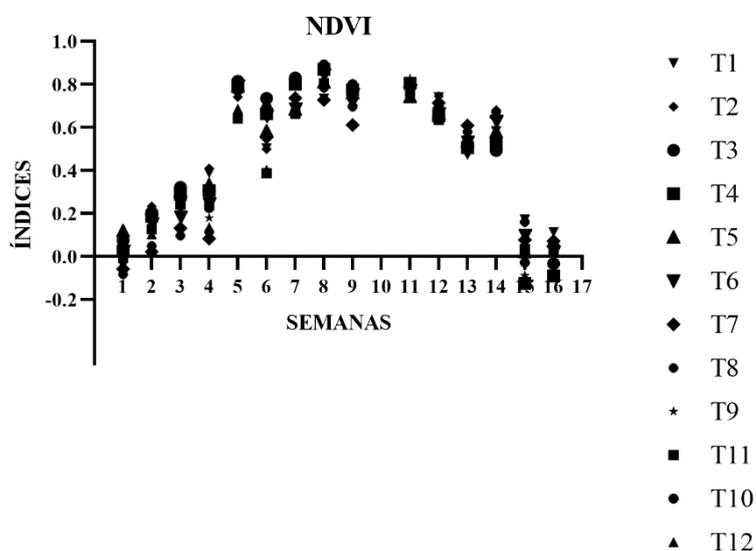
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Figura 5, Se observó el comportamiento espectral del maíz durante todas las evaluaciones cada semana. El índice de vegetación tiene una tendencia positiva durante las 8 primeras semanas, esto acorde a que durante esa etapa el maíz se encuentra en etapa vegetativa y por lo tanto el maíz sigue desarrollándose en altura y diámetro, y en cobertura vegetal. Sin embargo, después de la semana 8 se evidencia que el maíz tuvo una tendencia negativa del índice de vegetación, y es debido a que la planta deja de desarrollar cobertura vegetal, lo que concuerda con el INIA (39), donde demuestra que el maíz empieza a

desarrollar la panoja y posteriormente la mazorca, por lo tanto, el verdor de las hojas disminuye constantemente hasta el fin de su ciclo.

Figura 5

Comportamiento del índice de vegetación en el cultivo de maíz



4.1.4. Análisis de varianza NDVI en semilla, manejo y resiembra.

En la tabla 12, se observa el promedio y el coeficiente de variación del índice de vegetación en el tipo de semilla, y en el manejo y en resiembra, las evaluaciones se realizaron a los 20, 35 y 65 días. El tipo de semilla muestra estadísticamente diferencias a los 20 días, donde el índice de vegetación es de 0.19. El manejo químico se destaca en la evaluación de los 65 días, siendo estadísticamente con un promedio de 0.82 de índice de vegetación superior al manejo orgánico y el testigo. El tipo de manejo está sometido al uso de insumos agrícolas y al uso de insumos de origen orgánico, según Huato et al (40) reportó que el manejo químico presenta una mayor cobertura vegetal debido a la fertilización. El índice de vegetación determina el vigor y el contenido nutricional de la planta, los valores más cercanos al 1 indican una vegetación más verde. Esto concuerda con Perea et al (41), donde se indica que la relación de los espectros rojo e infrarrojo cercano, muestran diferencias en la vegetación mediante la absorción de la luz de las plantas. Los coeficientes de variación de la variable NDVI considerando los factores semilla, manejo y resiembra fue de 25.75, 5.50, y 2.59, en las evaluaciones realizadas respectivamente.

Tabla 12

Promedio y coeficiente de variación de la variable NDVI registrada en el cultivo de maíz bajo el tipo de semilla, tipo de manejo y resiembra.

		Promedio (días)		
No.	Semilla	20	35	65
1	Criolla Mocache	0.19 a	0.78 a	0.73 a
2	Hibrida (ADV9139)	0.11 b	0.74 a	0.72 a
X		0.15	0.77	0.73
<hr/>				
No.	Tipo de Manejo			
1	Orgánico	0.11 a	0.79 a	0.69 b
2	Químico	0.19 a	0.76 a	0.82 a
3	Sin Manejo	0.15 a	0.72 a	0.67 b
X		0.15	0.76	0.73
<hr/>				
No.	Resiembra	20	35	65
1	Con resiembra	0.15 a	0.76 a	0.74 a
2	Sin resiembra	0.15 a	0.76 a	0.72 a
X		0.15	0.76	0.73
<hr/>				
CV		25.75	5.50	2.49

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

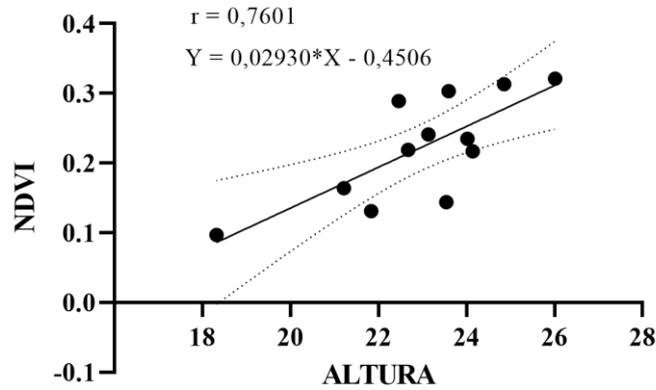
4.2. Análisis espectral de fenología.

La altura se relaciona positivamente con el NDVI, demostrado en su coeficiente de correlación $r = 0.7785$ y el $p < 0.05$. Se debe considerar que el desarrollo de la planta en su etapa vegetativa produce cierta cantidad de hojas, la etapa V3 a los 15 días cuenta con un índice NDVI de 0.56, lo que relaciona adecuadamente al número de hojas y verdor, y consecuentemente en la semana 8 la planta ya se encuentra en la etapa V12 y el NDVI es de 0.89, debido que la presencia de hojas produce un verdor más intenso en hojas maduras. Esto concuerda con (28,42), que concluye que la relación verdor con número de hojas y NDVI tiene una cuantificación positiva.

En la figura 5, se observó cómo se relaciona la altura con el índice de vegetación NDVI, la correlación de Pearson muestra un $r = 0.7601$, y muestra una relación favorable en la semana 1 en las dos evaluaciones, mostrando la altura promedio y los índices promedios de cada uno de los tratamientos.

Figura 5

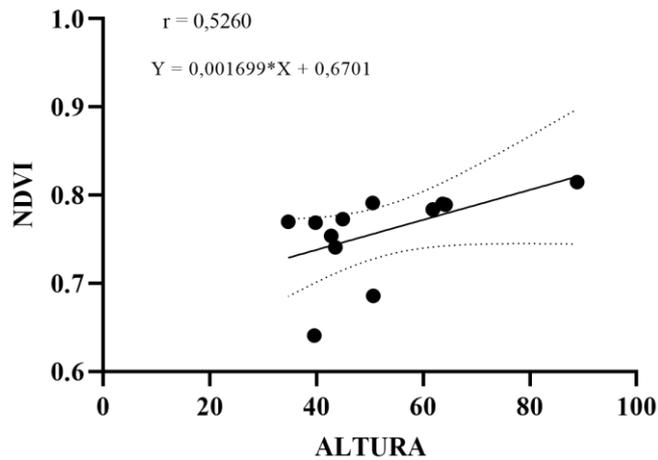
Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 1



En la figura 6, se observó cómo se relaciona la altura con el índice de vegetación NDVI, la correlación de Pearson muestra un $r = 0,5260$, y muestra una relación favorable en la semana 3 en las dos evaluaciones, mostrando la altura promedio y los índices promedios de cada uno de los tratamientos.

Figura 6

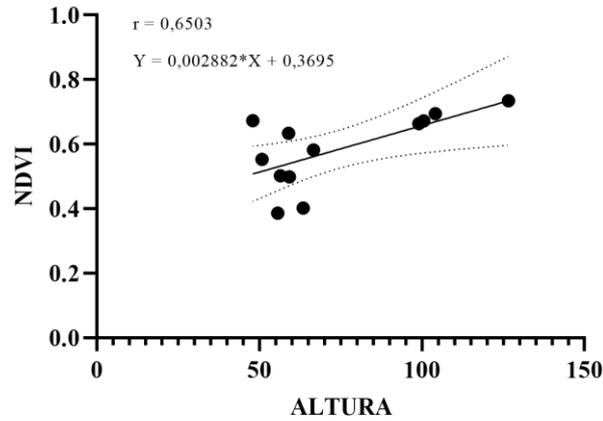
Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 3



En la figura 7, se observó cómo se relaciona la altura con el índice de vegetación NDVI, la correlación de Pearson muestra un $r = 0,6503$, y muestra una relación favorable en la semana 4 en las dos evaluaciones, mostrando la altura promedio y los índices promedios de cada uno de los tratamientos.

Figura 7

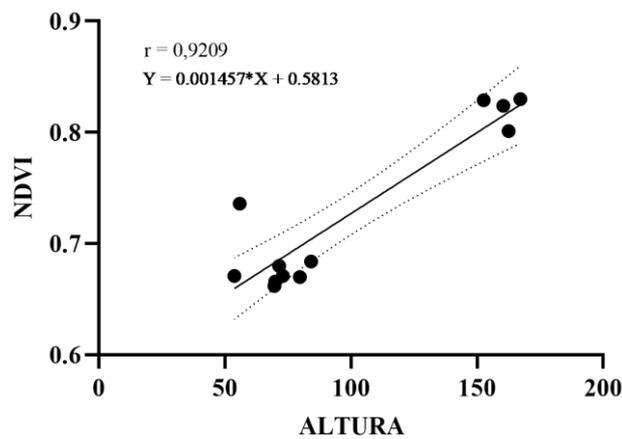
Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 4



En la figura 8, se observó cómo se relaciona la altura con el índice de vegetación NDVI, la correlación de Pearson muestra un $r = 0.9209$, y muestra una relación favorable en la semana 5 en las dos evaluaciones, mostrando la altura promedio y los índices promedios de cada uno de los tratamientos. La correlación fue más alta en la semana 5.

Figura 8

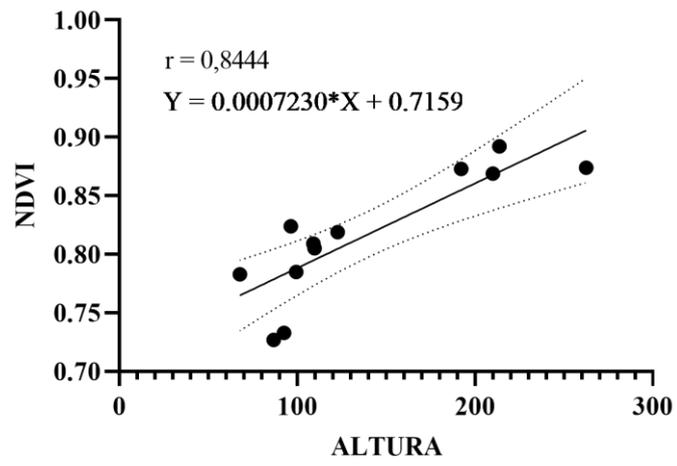
Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 5



En la figura 10, se observó cómo se relaciona la altura con el índice de vegetación NDVI, la correlación de Pearson muestra un $r = 0.8444$, y muestra una relación favorable en la semana 6 en las dos evaluaciones, mostrando la altura promedio y los índices promedios de cada uno de los tratamientos.

Figura 10

Correlación entre altura de planta y el índice de vegetación NDVI de la semana 6



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- La semilla Criolla tuvo más altura y mayor diámetro de tallo, el T3 corresponde a la semilla criolla, y su factor agronómico fue mayor que la semilla comercial. El NDVI está estrechamente relacionado con los factores agronómicos.
- El manejo químico fue superior al manejo orgánico en los parámetros biofísicos, y fue ligeramente superior en el índice de vegetación, con respecto al índice que mostró el manejo orgánico.
- Los NDVI sirven para realizar un diagnóstico del ciclo vegetativo, debido a que cuantitativamente queda demostrado que la vigorosidad se relaciona con la altura y el diámetro del tallo y el verdor. El número de hojas influye en sus valores de reflectancia, por lo tanto, la espectrometría es una herramienta importante para el análisis de maíz en la región.

5.2. Recomendaciones.

- La tecnología multiespectral y los valores de espectrometría definen el comportamiento del cultivo de maíz, teniendo en cuenta su efectividad para la cuantificación de vigor y contenido de nitrógeno de la planta, es un indicador eficaz de las deficiencias agronómicas.
- Realizar más estudios aumentando el análisis del contenido de clorofila para cuantificar y determinar si existe una relación con los índices de vegetación.
- Es recomendable el uso de la tecnología aeroespacial y espectral porque es la agricultura del futuro.
- Relacionar información de los factores agronómicos, con los factores climáticos. Para encontrar posibles tipos de interacción entre temporadas.

•

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

6.1. Bibliografía.

1. Da Silva Oviedo MO, Caballero Casuriaga OL, López EM, Servín Niz AI, López Avalos DF, Valdez Ocampo FD, et al. Fertilización fosfatada y su influencia en caracteres agronómicos del maíz cultivado sobre mucuna ceniza (*Mucuna pruriens*) incorporada y en cobertura del suelo. Siembra [Internet]. diciembre de 2022 [citado 31 de octubre de 2022];9(2). Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2477-88502022000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. Albán G. Generación de tecnologías en el cultivo de maíz en Iberoamérica. ACI Av En Cienc E Ing [Internet]. 8 de abril de 2022 [citado 31 de octubre de 2022];14(1). Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/2625>
3. FAO. Agricultura Familiar en América Latina y el Caribe [Internet]. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2014 [citado 2 de noviembre de 2022] p. 486. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i3788s/i3788s.pdf>
4. Zambrano Mendoza JL, Yáñez G. C, Sangoquiza Caiza CA, Limongi Andrade R, Alarcón Cobeña F, Zambrano Zambrano EE, et al. Situación del cultivo de maíz en Ecuador: investigación y desarrollo de tecnologías en el Iniap. octubre de 2019 [citado 30 de junio de 2022]; Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5457>
5. SIPA. Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador. 2021.
6. Ascención RB, Mastachi-Loza CA, Galindo Alcántara A, Hernández Téllez M, Becerril-Piña R, Ascención RB, et al. Metodología para la estimación de pérdidas económicas de cultivos de maíz siniestrados por inundaciones usando teledetección. Rev Geogr Norte Gd. septiembre de 2021;(79):207-27.
7. Jurado Expósito M, Castro AI de, Torres Sánchez J, Jiménez Brenes FM, López Granados F. Optimización de la cartografía de malas hierbas mediante técnicas geoestadísticas y teledetección con UAV [Internet]. Universidad Pública de Navarra / Nafarroako Unibertsitate Publikoa; 2017 [citado 2 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://academic-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/27197>
8. Andreu A, Carpintero E, González-Dugo MP. Teledetección para la agricultura [Internet]. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Córdoba: Junta de Andalucía; 2018 [citado 2 de noviembre de 2022]. 50 p. Disponible en: <https://savannahwatch.cc/wp-content/uploads/sites/29/2021/02/TELEDETECCION-SERVIFAPA.pptx.pdf>
9. Ovando G, Casa A de la, Díaz G, Díaz P, Bressanini L, Miranda C, et al. Desempeño de diferentes índices de vegetación de Sentinel-2A para estimar el rendimiento de soja en agricultura de precisión. Agriscientia. diciembre de 2021;38(2):1-12.
10. Fountas S, Søren M, Pedersen SM, Blackmore S. ICT in Precision Agriculture – diffusion of technology An overview of Precision Agriculture. En 2004.
11. Di Leo N. Drones: nueva dimensión de la teledetección agroambiental y nuevo paradigma para la agricultura de precisión. mayo de 2015 [citado 29 de junio de 2022]; Disponible en: <http://rephip.unr.edu.ar/xmlui/handle/2133/13373>
12. Sánchez Ortega I. Maíz I (*Zea mays*). REDUCA Biol [Internet]. 30 de diciembre de 2014 [citado 29 de junio de 2022];7(2). Disponible en: <http://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739>

13. Tovar CLM. El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. *Unasylya Rev Int Silvíc E Ind For.* 2011;62(238):39-46.
14. Flores-Rodríguez AG, Flores-Garnica JG, González-Eguiarte DR, Gallegos-Rodríguez A, Zarazúa-Villaseñor P, Mena-Munguía S, et al. Análisis comparativo de índices espectrales para ubicar y dimensionar niveles de severidad de incendios forestales. *Investig Geográficas* [Internet]. 2021 [citado 10 de noviembre de 2022];(106). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-46112021000300103&lng=es&nrm=iso&tlng=es
15. Rivera LB, Bonilla BM, Obando-Vidal F. Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en plantaciones de café variedad Castillo. *Cienc Tecnol Agropecu* [Internet]. 23 de abril de 2021 [citado 10 de noviembre de 2022];22(1). Disponible en: <https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/1578>
16. FAO. El maíz en la nutrición humana - Introducción [Internet]. [citado 30 de junio de 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/t0395s/T0395S02.htm>
17. Ortigoza J, López Talavera CA, Gonzalez Villalba JD. Cultivo de maíz. Asunción: Universidad Nacional de Asunción; 2019.
18. ICCA II de C para la, Ministerio de Agricultura y Ganadería SS (El S (MAG), Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal SS (El S (CENTA), Cooperación (COSUDE) AS para el D y la, Deras Flores H. Guía técnica: el cultivo de maíz. 10 de septiembre de 2020 [citado 30 de junio de 2022]; Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893>
19. OXFAN. Desarrollo vegetativo del maíz. 2018 feb p. 35.
20. Toledo R. Etapas de desarrollo de cereales [Internet]. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2018 [citado 18 de julio de 2022]. Disponible en: <http://www.agro.unc.edu.ar/~wpweb/cereales/wp-content/uploads/sites/31/2018/07/Etapas-fenologicas-de-cereales-y-oleaginosas.pdf>
21. Álvarez-Solís JD, Gómez-Velasco DA, León-Martínez NS, Gutiérrez-Miceli FA. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia.* agosto de 2010;44(5):575-86.
22. Boschini C, Elizondo J. Producción de forraje con maíz criollo y maíz híbrido. *Agron Mesoam.* 2002;13(1):13-7.
23. Pino V. E. Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia Arica.* marzo de 2019;37(1):75-84.
24. Díaz García-Cervigón JJ. Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión. [Internet]. [Madrid]: Universidad Complutense de Madrid; 2015. Disponible en: https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
25. Revelo Luna D, Mejía Manzano J, Montoya-Bonilla BP, Hoyos García J, Revelo Luna D, Mejía Manzano J, et al. Análisis de los índices de vegetación NDVI, GNDVI y NDRE para la caracterización del cultivo de café (*Coffea arabica*). *Ing Desarro.* diciembre de 2020;38(2):298-312.
26. García E, Flego F. Agricultura de precisión. *Cienc Tecnol.* 1 de enero de 2008;99-117.
27. de la Casa A, Ovando G. Integración del Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada (NDVI) y del Ciclo Fenológico de Maíz para Estimar el Rendimiento a Escala Departamental en Córdoba, Argentina. *Agríc Téc.* diciembre de 2007;67(4):362-71.

28. Trueba A. Análisis de imágenes multiespectrales aéreas de vegetación. Universidad de Cantabria; 2017.
29. Programa De Maestría En Sistemas De Información Geográfica Y Teledetección Escuela De Ciencias Geográficas. Rev Geográfica América Cent. 2010;2(45):201-7.
30. Santos M. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. Editorial UNED; 2020. 443 p.
31. Navarro AP. Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática. Editorial UOC; 2011. 348 p.
32. Sendra JB, García RC. El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial. An Geogr Univ Complut. 1 de enero de 2000;20:49-49.
33. INAMHI. Información agrometeorológica del campús «La María».
34. Balbuena Melgarejo A, Rosales Robles E, Valencia Hilario JC, González Huerta A, Pérez López D de J, Sánchez Nava S, et al. Competencia entre maíz y teocintle: efecto en el rendimiento y sus componentes. Cent Agríc. 2011;38(1):5-12.
35. Barahona EMTF, Vásquez AAM, Ramírez UH, Parada-Berrios FA, Villatoro RI. Caracterización morfoagronómica de cinco variedades de maíz criollo (*Zea mays*) en la zona de San Luis Talpa bajo un manejo orgánico. Rev Agrociencia. 28 de septiembre de 2018;2(07):6-16.
36. Vallejo CDO. Sistema productivo para la conservación de una variedad de maíz criollo (*Zea mays*), como proyecto demostrativo en el municipio de Fortul departamento de Arauca. :64.
37. Rodríguez-Larramendi L, Guevara-Hernández F, Ovando-Cruz J, Marto-González JR, Ortiz-Pérez R. Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays* L.) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. Cultiv Trop. septiembre de 2016;37(3):137-45.
38. Kharuf-Gutierrez S, Hernández-Santana L, Orozco-Morales R, Aday Díaz O de la C, Delgado Mora I. Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados. Ing Electrónica Automática Comun. agosto de 2018;39(2):79-91.
39. INIA. Manual técnico de maíz amarillo duro. Ministerio de Agricultura y Riego; 2020 p. 146.
40. Damián-Huato MA. Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. Rev Latinoam Recur Nat. 1 de julio de 2010;6(2):67-76.
41. Perea-Ardila MA, Leal-Villamil J, Oviedo-Barrero F, Perea-Ardila MA, Leal-Villamil J, Oviedo-Barrero F. CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL Y MONITOREO DE BOSQUES DE MANGLAR CON TELEDETECCIÓN EN EL LITORAL PACÍFICO COLOMBIANO: BAJO BAUDÓ, CHOCÓ. GRANJA Rev Cienc Vida. diciembre de 2021;34(2):27-44.
42. Vázquez P, Adema E, Fernández B. Dinámica de la fenología de la vegetación a partir de series temporales de NDVI de largo plazo en la provincia de La Pampa. Ecol Austral. agosto de 2013;23(2):77-86.

CAPÍTULO VII
ANEXOS

7.1. Índices de vegetación.

Figura 1

Índice de vegetación de semana 1

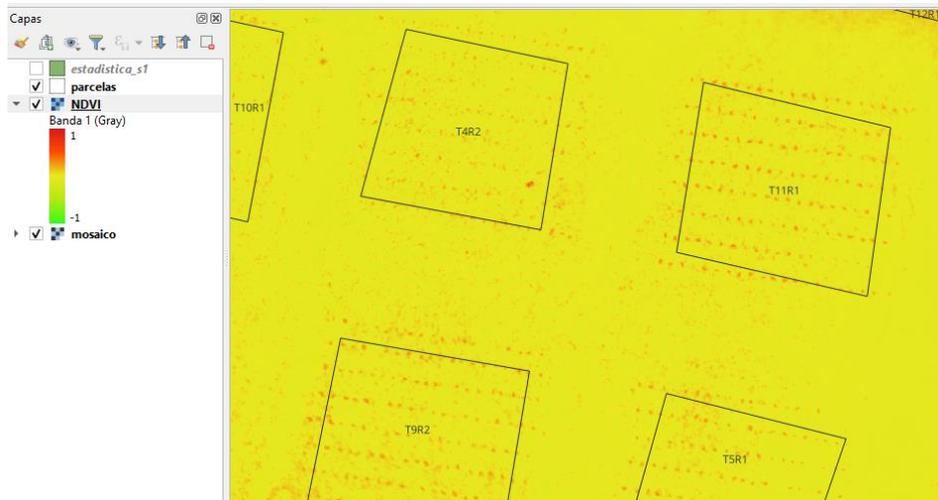


Figura 2

Índice de vegetación de semana 3

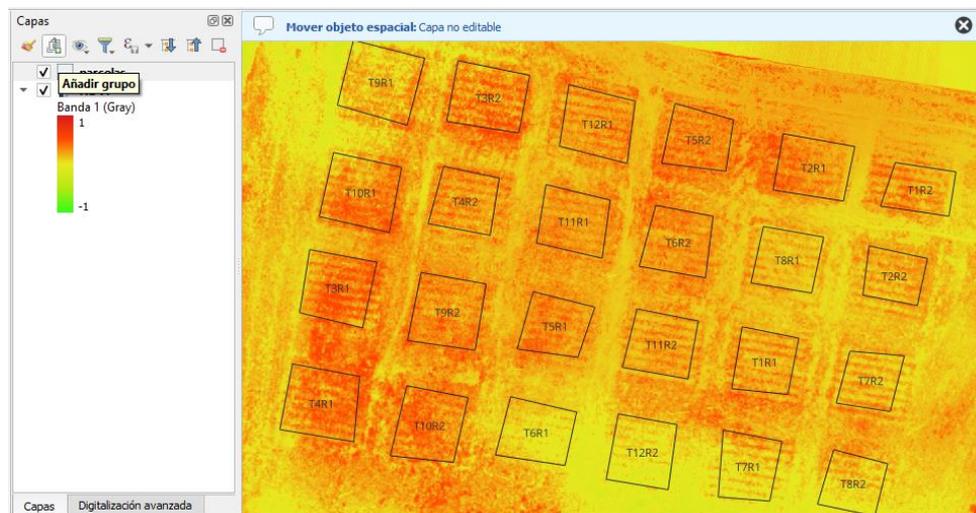


Figura 3

Índice de vegetación de semana 5

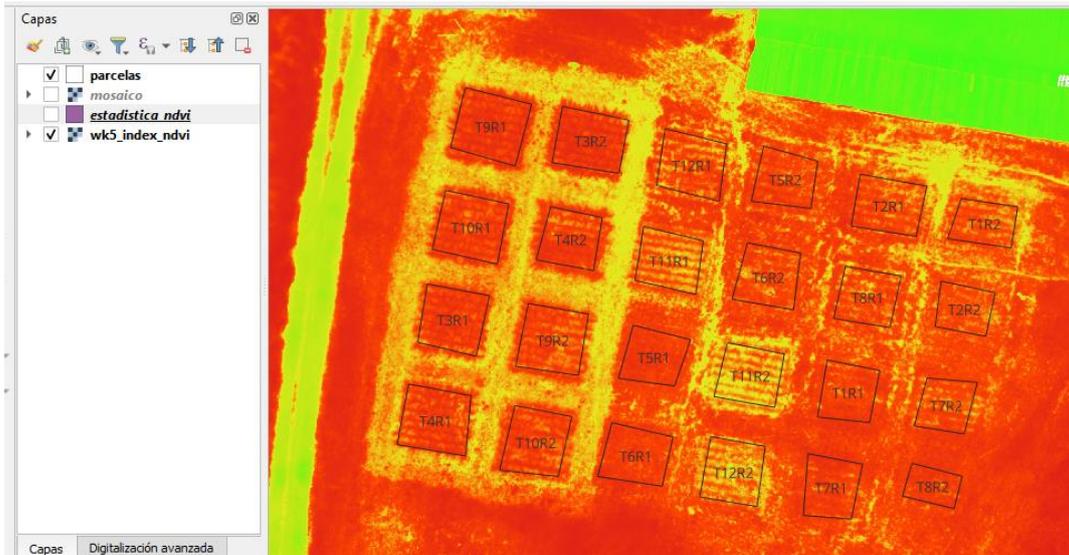


Figura 4

Índice de vegetación de semana 8

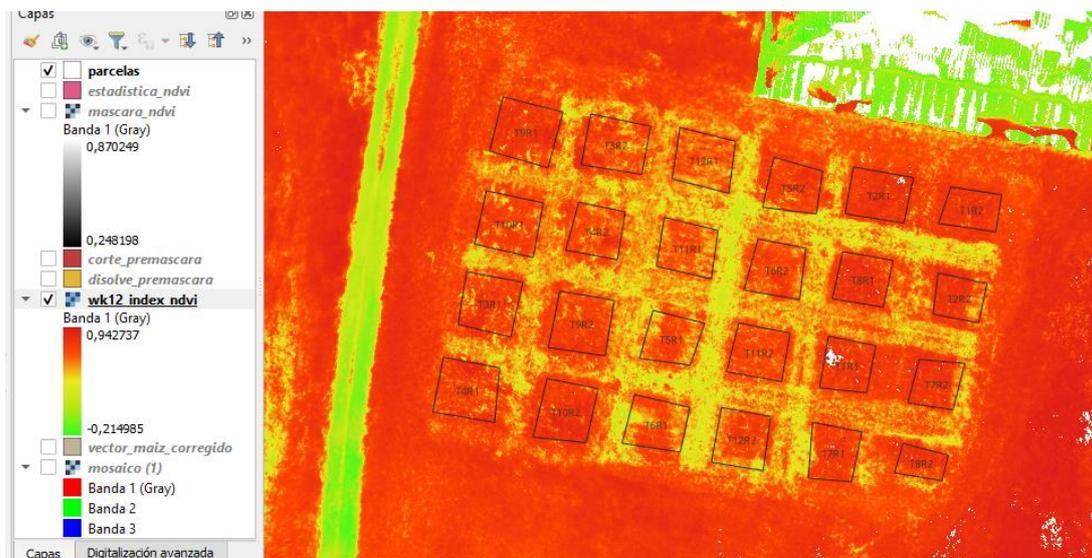


Figura 5

Índice de vegetación de semana 12

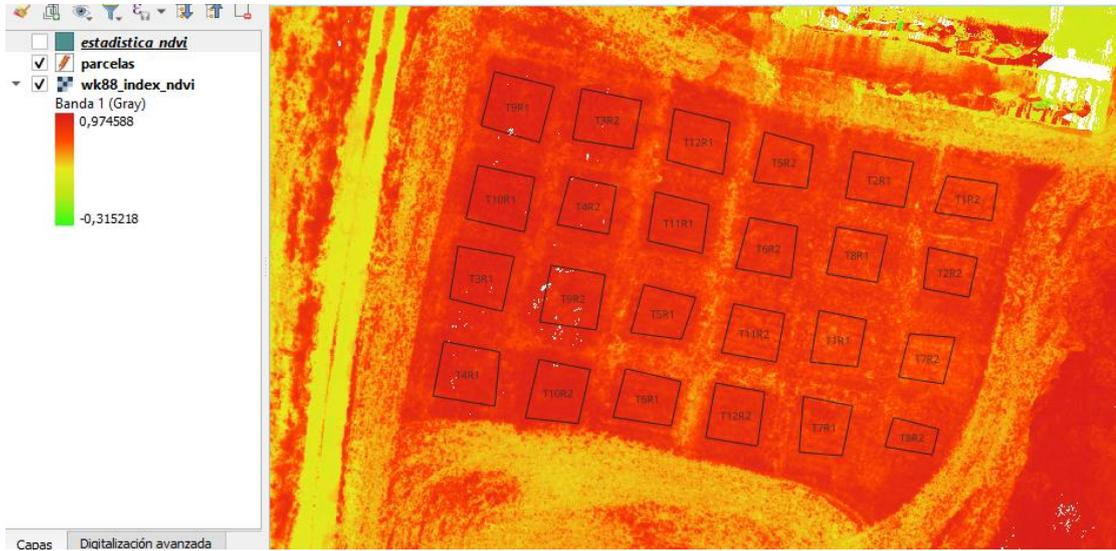


Figura 6

Índice de vegetación de semana 15

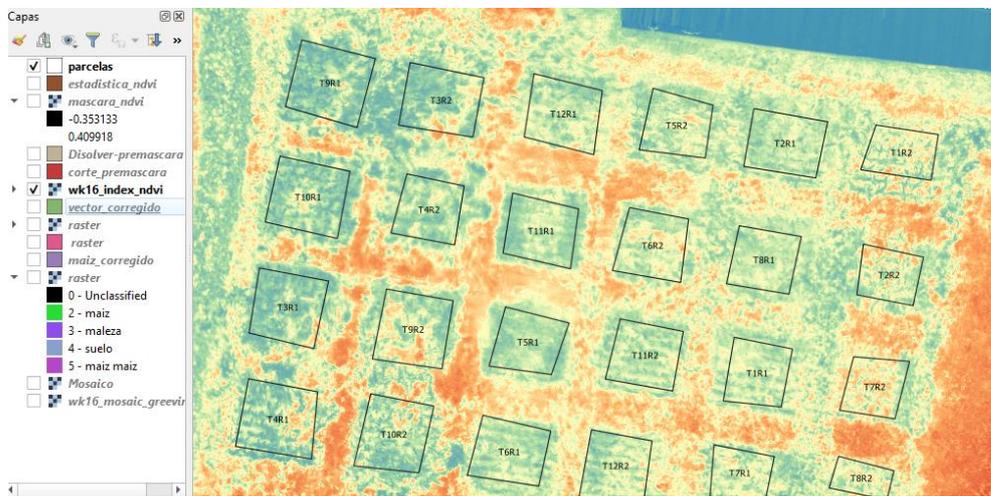
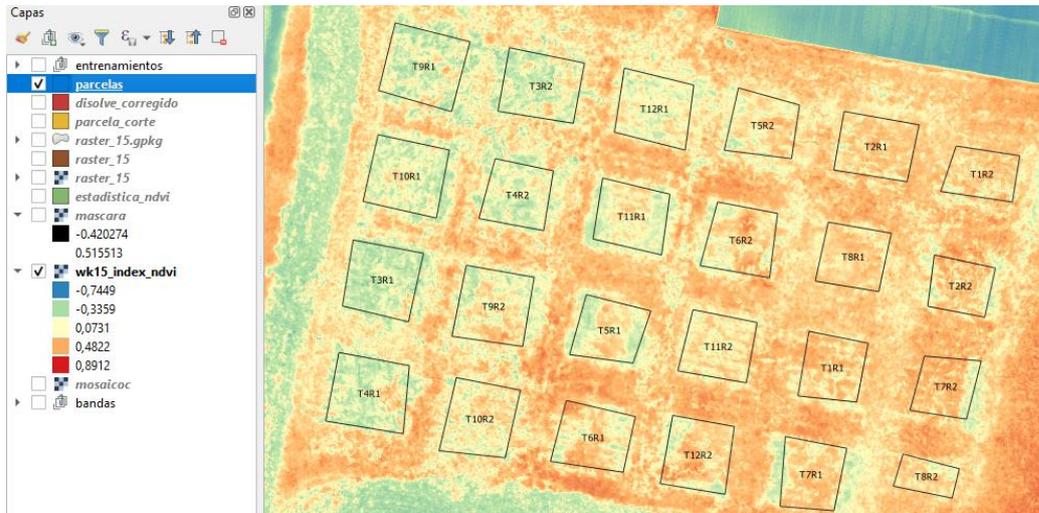


Figura 7.

Índice de vegetación de semana 16



7.2. Tablas del análisis de varianza.

Tabla 13.

Cuadro de Análisis de la Varianza sobre la altura de planta a los 20 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	84,86	11	7,71	0,67	0,7399
TRATAMIENTO	84,86	11	7,71	0,67	0,7399
Error	137,49	12	11,46		
Total	222,34	23			

Tabla 14.

Cuadro de Análisis de la Varianza sobre la altura de planta a los 35 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5108,86	11	464,44	5,79	0,0026
TRATAMIENTO	5108,86	11	464,44	5,79	0,0026
Error	962,70	12	80,22		
Total	6071,56	23			

Tabla 15.

Cuadro de Análisis de la Varianza sobre la altura de planta a los 55 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	85673,94	11	7788,54	14,17	<0,0001
TRATAMIENTO	85673,94	11	7788,54	14,17	<0,0001
Error	6594,93	12	549,58		
Total	92268,87	23			

Tabla 16.*Cuadro de Análisis de la Varianza sobre diámetro de tallo los 20 días después de la siembra.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,79	11	0,34	2,59	0,0587
TRATAMIENTO	3,79	11	0,34	2,59	0,0587
Error	1,60	12	0,13		
Total	5,38	23			

Tabla 17.*Cuadro de Análisis de la Varianza sobre diámetro de tallo los 35 días después de la siembra.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	241,39	11	21,94	4,90	0,0054
TRATAMIENTO	241,39	11	21,94	4,90	0,0054
Error	53,69	12	4,47		
Total	295,08	23			

Tabla 18.*Cuadro de Análisis de la Varianza sobre diámetro de tallo los 55 días después de la siembra.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	258,03	11	23,46	6,80	0,0013
TRATAMIENTO	258,03	11	23,46	6,80	0,0013
Error	41,42	12	3,45		
Total	299,45	23			

Tabla 19.*Cuadro de Análisis de la Varianza sobre el índice de vegetación NDVI a los 20 días después de la siembra.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,15	11	0,01	93,05	<0,0001
TRATAMIENTO	0,15	11	0,01	93,05	<0,0001
Error	1,8E-03	12	1,5E-04		
Total	0,16	23			

Tabla 20.*Cuadro de Análisis de la Varianza sobre el índice de vegetación NDVI a los 35 días después de la siembra.*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,13	11	0,01	7,38	0,0009
TRATAMIENTO	0,13	11	0,01	7,38	0,0009
Error	0,02	12	1,6E-03		
Total	0,15	23			

Tabla 21.

Cuadro de Análisis de la Varianza sobre el índice de vegetación NDVI a los 35 días después de la siembra.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,14	11	0,01	8,11	0,0005
TRATAMIENTO	0,14	11	0,01	8,11	0,0005
Error	0,02	12	1,6E-03		
Total	0,16				

7.3. Manejo del cultivo y equipos.

Imagen 1.

Preparación del terreno antes de la siembra del maíz



Imagen 2.

Drone Mavic 2 Pro



Imagen 3.

Preparación del drone para acoplar la camara multispectral

