

**ANÁLISIS DE CULTIVO DE MAÍZ PARA ENSILAJE UTILIZANDO IMÁGENES DESDE  
UN UAV**

**ALEXANDER MORENO TORO  
EDISSON SALGADO POLO**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2018**

*Análisis de Cultivo de Maíz para Ensilaje  
utilizando imágenes desde un UAV  
Moreno Toro, Alexander;  
Salgado Polo, Edison.  
2018*

## **ANÁLISIS DE CULTIVO DE MAÍZ PARA ENSILAJE UTILIZANDO IMÁGENES DESDE UN UAV**



**UNIVERSIDAD DE  
MANIZALES**

**ALEXANDER MORENO TORO  
EDISSON ANDRES SALGADO POLO**

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar  
al título de Especialista en Información Geográfica.

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
MANIZALES  
2018**

## AGRADECIMIENTOS

*Freddy Eliseo Hernández Jorge*, Ingeniero Agrónomo, Profesor de la Universidad de Caldas, nos abrió las puertas de las Granja Montelindo de la Universidad de Caldas para poder realizar nuestras investigaciones y análisis, además nos explicó y enseñó los conocimientos básicos para el cultivo de maíz.

*Jorge Humberto Vanegas Saldarriaga*, Operario programa maquinaria agrícola de la granja Montelindo de la Universidad de Caldas, actual administrador de la granja y la persona que en cada visita nos proporcionó información suficiente para sacar adelante este proyecto.

*Oscar Cardona Morales*, PhD. en Ingeniería Automática, Director de la Maestría en Teledetección en la Universidad Católica de Manizales, ayudó en la toma de las imágenes con el dron Phantom 4 Advanced que tiene la cámara multispectral.

*José Fernando Mejía Correa*, Doctor en Ingeniería, Director de la Especialización en SIG en la Universidad de Manizales, gestionó los préstamos de los drones de la universidad para completar el estudio realizado de los cultivos de maíz.

*Johnatan Vallejo Cardona*, Magister en Tecnologías de la Información Geográfica, Profesor de la Universidad de Manizales, realizó el último vuelo necesario para tener los insumos para la finalización del proyecto.

## **DEDICATORIA**

A nuestras familias quienes han sido los guías incondicionales de nuestras vidas y quienes nos recuerdan a cada día la importancia de la formación académica.

A nuestros docentes quienes fueron los acompañantes en nuestro proceso Académico.

A todas las personas que pasan por nuestras vidas enseñándonos que lo más importante en nuestro camino es aprender poco a poco y día a día.

Dedico este trabajo principalmente a mi madre por que sin el apoyo de ella no hubiera llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional, a ella todo mi agradecimiento por ser el pilar en mi vida demostrándome siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias. A mi padre, que, a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como para mí. A mi hermano Juan Carlos ejemplo de disciplina y constancia y que en ausencia de mi padre siempre tomaste ese lugar, a mi hermano John Faber símbolo de unión familiar, espero seguir tus pasos. A mi hermano José Fernando ejemplo de lucha, nobleza y por último a mis dos hermosos hijos, Salomé y Juan Felipe a quienes amo con todo mi corazón, trabajaré todos los días para ser un mejor padre y de quien solo espero que algún día se sientan orgullosos de mí.  
Edisson Salgado Polo

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. ÁREA PROBLEMÁTICA.....	18
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIV GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3. JUSTIFICACIÓN.....	20
4. MARCO TEÓRICO.....	21
4.1 SISTEMAS AÉREOS NO PILOTADOS (UAS) Y SISTEMAS AÉREOS PILOTADOS REMOTAMENTE (RPAS).....	22
4.1.1 PLAN DE VUELO .....	26
4.1.1.1 Planificación De Vuelo Para Generar Ortomapas.....	27
4.1.1.2 Planificación De Vuelo Canteras Áreas Construidas.....	27
4.1.1.3 Planificación De Vuelo Para Generar Volúmenes 3d.....	28
4.1.2 REGLAMENTACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA - RPAS EN OLOMBIA.....	29
4.2 Cámara MULTIESPECTRALES TETRACAM ADC.....	30
4.3 SOFTWARE UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES...31	
4.3.1 Agisoft Photoscan.....	31
4.3.2 ArcGIS.....	31
4.3.3 QGIS.....	31
4.4 SANIDAD VEGETAL (PLANT HEALTH).....	31
4.4.1 NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada).....	32
4.5 TELEDETECCION.....	33
4.5.1 Resolución Espacial.....	33
4.5.2 Resolución Espectral.....	34
4.5.3 Frecuencia de Cobertura.....	34
4.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	35
4.6.1 Componentes de un SIG.....	35
4.6.2 Beneficios de un SIG.....	36
4.6.3 GPS.....	36
4.7 ENSILAJE.....	36
4.8 ANTECEDENTES.....	38
4.8.1 Antecedentes Locales.....	38
4.8.1.1 Caracterización de niveles de intervención antrópica en ecosistemas páramo utilizando análisis de imágenes multiespectrales.....	38
4.8.1.2 Modelo para cuantificar la variabilidad Físico-Química del suelo por medio de análisis geoespacial.....	38
4.8.2 Antecedentes Nacionales.....	38
4.8.2.1 Análisis geoestadístico para mejorar el aprovechamiento de aguas subterráneas.....	38
4.8.2.2 Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa.....	39

4.8.2.3 Apoyo a la Agricultura de Precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde vehículos aéreos no tripulados UAV.	39
4.8.3 Antecedentes Internacionales.....	39
4.8.3.1 Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.....	39
4.8.3.2 Case Study. Agriculture Drones Bring Big Value to Potato Growers.....	40
4.8.3.3 La adquisición de datos para la agricultura de precisión basada en la teledetección.....	40
4.8.3.4 Aplicaciones de teledetección para la agricultura de precisión: un enfoque de comunidad de aprendizaje.....	40
4.8.3.5 Diseño y realización de un sistema de información de agricultura de precisión basado en 5S.....	41
5. METODOLOGÍA.....	42
5.1 TIPO DE TRABAJO.....	42
5.2 PROCEDIMIENTO.....	42
5.2.1 Fase 1. Recopilación de la información.....	42
5.2.2 Fase 2. Procesamiento de las Imágenes.....	48
5.2.3 Fase 3. Análisis de la información.....	56
6. RESULTADOS.....	59
6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS.....	59
6.1.1 Ubicación del estudio.....	59
6.1.2. Índices de vegetación.....	60
6.1.2.1 Construcción del ortomosaico.....	60
6.1.2.2 Índice de Vegetación NDVI multiespectral.....	61
6.1.2.3 Índice de Vegetación NDVI RG.....	63
6.1.2.4 Índice de Vegetación NDVI – DroneDeploy.....	65
6.1.2.5 Índice de Vegetación VARI RG.....	66
6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	67
7. CONCLUSIONES.....	69
8. RECOMENDACIONES.....	70
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación Granja Montelindo “Vereda la Rochela” Palestina (Caldas).	17
Figura 2. Drone ASPIRE ONE. _____	23
Figura 3. Drone Mavic Pro. _____	23
Figura 4. Phantom 4 Advanced. _____	24
Figura 5. Phantom 3 Standard. _____	24
Figura 6. Trayectoria planificación de vuelo. _____	27
Figura 7. Trayectoria planificación de vuelo de canteras y áreas construidas. ____	28
Figura 8. Trayectoria planificación de vuelo para generar volúmenes 3D. _____	29
Figura 9. Cámara Multiespectral Tetracam ACD. _____	30
Figura 10. NDVI Parcela 1. _____	32
Figura 11. NDVI Zoom Parcela 1. _____	32
Figura 12. Firma espectral planta y longitud de onda de las bandas utilizadas. _	33
Figura 13. Componentes de un SIG. _____	35
Figura 14. Beneficios de un SIG. _____	36
Figura 15. Maquinas utilizadas en la producción de ensilaje en la Granja Montelindo.	37
Figura 16. Explicación Agrónomo Freddy Eliseo proceso de cultivo de maíz. ____	43
Figura 17. Explicación proceso ensilaje por parte del administrador de la Granja Montelindo (Don Jorge). _____	43
Figura 18. Phantom 3 Standard, drone usado en el vuelo 1. _____	44
Figura 19. Acompañamiento del agrónomo y administrador de la granja durante el vuelo. _____	44
Figura 20. Explicación Edison de los resultados obtenidos con las imágenes capturas (imágenes aún sin procesar). _____	44
Figura 21. Socialización con el equipo de trabajo respecto a lo encontrado durante el vuelo 1. _____	44
Figura 22. Granja Montelindo, imagen capturada por el drone en el vuelo 1. ____	45
Figura 23. Imagen capturada por el drone en el vuelo 1. _____	45
Figura 24. Phantom 4 Advanced, drone usado en el vuelo 2. _____	45
Figura 25. Plan de vuelo hecho a través de la app de Pix4D. _____	45
Figura 26. Cámara multiespectral Tetracam ACD Micro adaptada al drone. ____	46
Figura 27. Tapete para calibrar las imágenes tomadas con la cámara multiespectral. _____	46
Figura 28. Imagen capturada por la cámara multiespectral adaptada al drone en el vuelo 2. _____	46
Figura 29. Imagen capturada por el drone en el vuelo 2. _____	46

Figura 30. Mavic Pro, drone usado en el vuelo 3. _____	47
Figura 31. Inspire One, drone usado en el vuelo 3. _____	47
Figura 32. Desarrollo del plan de vuelo sobre el cultivo de maíz. _____	47
Figura 33. Toma de muestras del campo para su posterior análisis. _____	47
Figura 34. Imagen capturada por la cámara del Mavic Pro en el vuelo 3. _____	47
Figura 35. Imagen capturada por la cámara del Inspire One en el vuelo 3. _____	47
Figura 36. Nube de puntos - Agisoft. _____	49
Figura 37. MDE (Modelo Digital de Elevación) - Agisoft. _____	49
Figura 38. Modelo 3D - Agisoft. _____	49
Figura 39. Puntos de enlace - Agisoft. _____	49
Figura 40. Ejemplo 1 Ortomosaico - Agisoft. _____	49
Figura 41. Ejemplo 2 Ortomosaico - Agisoft. _____	49
Figura 42. MoV33 - Vista del Mapa y Opciones de Procesamiento. _____	50
Figura 43. MoV4 - Vista del Mapa y Opciones de Procesamiento. _____	50
Figura 44. MoV33 - rayCloud. _____	51
Figura 45. MoV4 - rayCloud. _____	51
Figura 46. MoV33 - Plan de vuelo para este proyecto. _____	51
Figura 47. MoV4 - Plan de vuelo para este proyecto. _____	51
Figura 48. MoV33 - Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions. _____	51
Figura 49. MoV4 - Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions. _____	51
Figura 50. MoV33 - Overlap. _____	52
Figura 51. MoV4 - Overlap. _____	52
Figura 52. MoV33 - 2D Keypoint Matches. _____	52
Figura 53. MoV4 - 2D Keypoint Matches. _____	52
Figura 54. MoV33 - Digital Surface Model (DSM). _____	53
Figura 55. MoV4 - Digital Surface Model (DSM). _____	53
Figura 56. MoV33 - Orthomosaic. _____	53
Figura 57. MoV4 - Orthomosaic. _____	53
Figura 58. App DroneDeploy. _____	54
Figura 59. Cargue de imágenes. _____	54
Figura 60. Selección de imágenes a procesar. _____	54
Figura 61. Mapa 2D. _____	54
Figura 62. Modelo 3D. _____	54
Figura 63. Modelo de Elevación. _____	54
Figura 64. Sanidad Vegetal – RGB - NDVI. _____	55
Figura 65. Sanidad Vegetal – NRG - NDVI. _____	55
Figura 66. Sanidad Vegetal – RGB – NDVI (Zones). _____	55
Figura 67. Sanidad Vegetal – NRG – NDVI - Zones. _____	55
Figura 68. Sanidad Vegetal – RGB - VARI. _____	55
Figura 69. Sanidad Vegetal – NRG - VARI. _____	55
Figura 70. Sanidad Vegetal – RGB – VARI (Zones). _____	56
Figura 71. Sanidad Vegetal – NRG – VARI - Zones. _____	56
Figura 72. Espectro visible. _____	57
Figura 73. NDVI DRONE Deploy. _____	59

Figura 74. Ubicación área de estudio.	59
Figura 75. Área de estudio.	61
Figura 76. Parcelas Área de estudio.	61
Figura 77. Banda 1 NIR.	61
Figura 78. Banda 2 ROJO.	61
Figura 79. Banda 3 VERDE.	61
Figura 80. Toma aérea cámara multiespectral parcela 2.	62
Figura 81. NDVI imagen multiespectral parcela 2.	62
Figura 82. Reclasificación NDVI Cámara multiespectral parcela 2.	63
Figura 83. NDVI Phantom 4.	84
Figura 84. NDVI Phantom 3.	84
Figura 85. Zoom NDVI Phantom 4.	84
Figura 86. Zoom NDVI Phantom 3.	84
Figura 87. Histograma NDVI Phantom 4.	84
Figura 88. Histograma NDVI Phantom 3.	84
Figura 89. NDVI DroneDeploy.	65
Figura 90. Histograma DroneDeploy.	66
Figura 91. VARI Phantom 4.	67
Figura 92. VARI Phantom 3.	67
Figura 93. Zoom VARI Phantom 4.	67
Figura 94. Zoom VARI Phantom 3.	67
Figura 95. Reflectancia en algunas superficies.	68

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Especificaciones Técnicas Cámaras Drone. _____	48
Tabla 2. Status de los proyectos realizados con Agisoft. _____	50
Tabla 3. Control de vuelos y Ortomosaicos creados. _____	56
Tabla 4. Área de las Parcelas donde se realizó el estudio. _____	61

## GLOSARIO

**Agricultura de precisión:** Son modernas herramientas que permiten la obtención y análisis de datos georreferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y eficiencia en el uso de los insumos.

**ArcMap:** Aplicación central utilizada en ArcGIS, es el lugar donde visualiza y explora los dataset SIG de su área de estudio, donde asigna símbolos y donde crea los diseños de mapa para imprimir o publicar.

**Base de datos:** Conjunto de datos relacionados que se almacenan de forma que se pueda acceder a ellos de manera sencilla, con la posibilidad de relacionarlos entre si y ordenarlos en base a diferentes criterios, los cuales son recolectados y explotados por los sistemas de información

**Calibrar:** Proceso de comparar los valores obtenidos por un instrumento de medición con la medida correspondiente de un patrón de referencia (o estándar).

**Cámara:** Aparato que sirve para registrar imágenes estáticas o en movimiento.

**Coordenadas geográficas:** Son un sistema de coordenadas que permite que cada ubicación en el globo terráqueo sea especificada por un conjunto de números, letras o símbolos.

**Datos georreferenciados:** datos espaciales que pertenecen a ubicaciones específicas en la superficie terrestre.

**Georrefenciación:** proceso de asociación de puntos de datos con ubicaciones específicas en la superficie terrestre.

**GPS:** Sistema de Posicionamiento Global, más conocido por sus siglas en inglés, GPS (siglas de Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en todo el globo terráqueo la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros, aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión.

**Hectárea:** es una medida de superficie (física) equivalente a 100 áreas o 10.000 metros cuadrados. Es la superficie que ocupa un cuadrado de 100 metros de lado.

**Imagen:** Figura de una persona o cosa captada por el ojo, por un espejo, un aparato óptico, una placa fotográfica, etc., gracias a los rayos de luz que recibe y proyecta.

**Información:** Conjunto de datos organizados y procesados que constituyen mensajes, instrucciones, operaciones, funciones y cualquier tipo de actividad que

tenga lugar en relación con un ordenador.

**NDVI:** El índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI) es un índice normalizado que le permite generar una imagen que muestra el verdor (la biomasa relativa). Este índice aprovecha el contraste de las características de dos bandas de un dataset ráster multispectral: las absorciones de pigmento de clorofila en la banda roja y la alta reflectividad de los materiales de las plantas en la banda cercana al infrarrojo (NIR).

**Nube:** Es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es Internet.

**Pixel:** Unidad básica de una imagen digitalizada en pantalla a base de puntos de color o en escala de grises.

**Procesamiento de datos:** Conjunto de operaciones que un ordenador realiza partiendo de un programa, permitiendo la acumulación y manipulación de elementos de datos para producir información significativa.

**Procesamiento de Imágenes:** Conjunto de técnicas que se aplican a las imágenes digitales con el objetivo de mejorar la calidad o facilitar la búsqueda de información.

**Resolución de Imagen:** Es el grado de detalle o calidad de una imagen digital ya sea escaneada, fotografiada o impresa. Este valor se expresa en ppp (píxeles por pulgada) o en inglés dpi (dots per inch). Cuantos más píxeles contenga una imagen por pulgada lineal, mayor calidad tendrá.

**RGB:** es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios. El modelo de color RGB no define por sí mismo lo que significa exactamente rojo, verde o azul, por lo que los mismos valores RGB pueden mostrar colores notablemente diferentes en distintos dispositivos que usen este modelo de color. Aunque utilicen un mismo modelo de color, sus espacios de color pueden variar considerablemente.

**Sistema de información geográfico:** sistema generalmente basado en computadoras para la entrada, almacenaje, recuperación, análisis y muestra de datos geográficos. La base de datos está usualmente compuesta de mapas como representaciones espaciales llamadas capas. Estas capas pueden contener información de un número de atributos, incluyendo la topografía del terreno, el uso de la tierra, posición de la tierra, rendimiento de los cultivos, dosis de aplicación de insumos y niveles de nutrientes del suelo.

**Sistema de posicionamiento global:** más conocido por sus siglas en inglés como

GPS (Global Position System), es un sistema que permite determinar en toda la tierra la posición de un objeto con una precisión de metros a centímetros.

**Software:** Se refiere al conjunto de programas, rutinas, instrucciones y reglas permiten a la computadora realizar determinadas tareas informáticas.

**UAV:** Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (del inglés unmanned aerial vehicle) o comúnmente **dron**, es una aeronave que vuela sin tripulación. Un VANT es un vehículo sin tripulación reutilizable, capaz de mantener de manera autónoma un nivel de vuelo controlado y sostenido, y propulsado por un motor de explosión, eléctrico, o de reacción.

**WGS84:** Es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto del globo terráqueo (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS84 son las siglas en inglés de World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984).

## **RESUMEN**

Con este trabajo queremos mostrarles cómo podemos usar de manera útil los Vehículos aéreos no tripulados (UAV) para realizar agricultura de precisión, así mismo ver la utilidad en los SIG (sistemas de información geográfica) analizando de manera específica el área de estudio para la toma de decisiones.

Por esta razón queremos realizar un estudio de índices de vegetación en los cultivos de maíz que será cosechado para ensilaje en la granja Montelindo, queremos analizarlo con vehículos aéreos no tripulados (UAV) que cargará una cámara multiespectral adicional a la cámara interna que tiene el drone (imágenes RGB), realizaremos un análisis de la variabilidad en estos cultivos según los diferentes índices de vegetación (NDVI y VARI) y haremos un análisis del cultivo en donde podamos identificar sus deficiencias y puntos a atacar para obtener un producto de mejor calidad buscando también el aumento de producción por hectárea.

**PALABRAS CLAVES:** UAV, Agricultura de precisión, Índices de vegetación, Sistemas de información geográfica, Cámaras multiespectrales.

## ABSTRACT

With this work we want to show you how we can use unmanned aerial vehicles (UAV) in a useful way to perform precision agriculture, as well as to see the utility in GIS (geographic information systems) analyzing in a specific way the study area for taking of decisions.

For this reason we want to perform a study of vegetation indices in the corn crops that will be harvested for silage in the Montelindo farm, we want to analyze it with unmanned aerial vehicles (UAV) that will charge an additional multispectral camera to the internal camera that has the drone (RGB images), we will carry out an analysis of the variability in these crops according to the different vegetation indexes (NDVI and VARI) and we will do an analysis of the crop where we can identify its deficiencies and points to attack to obtain a better quality product looking also the increase in production per hectare.

**KEY WORDS:** UAV, precision agriculture, vegetation indices, geographic information systems, multispectral cameras.

## INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión, cada vez más toma fuerza para el análisis y gestión para obtener mayor productividad y aprovechamiento de los recursos naturales y como es nuestro caso en la agricultura, este análisis se encontraba condicionado por algunas limitantes en cuanto a la resolución, espectral y temporal de las imágenes disponibles. Con el auge de los drones (ala fija o alas rotatorias) y con el avance en el desarrollo de microsensores, la posibilidad de tener una alta resolución en las imágenes para su análisis de los niveles visuales (espacial, espectral y temporal) abren un sin número de posibilidades en este campo además de dar una solución económicamente viable para los agricultores.

Los vehículos no tripulados (DRON/UAV), abrieron la posibilidad de llevar cámaras especiales que han desarrollado una nueva plataforma versátil para tomar imágenes que pueden ser analizadas minuciosamente por expertos para extraer información muy valiosa y de esta manera tomar decisiones.

A principios de esta década los drones (UAV) toman fuerza en el uso de agricultura, generando un impacto económico importante que ayuda al avance e investigación de nuevos métodos de uso, y es así como un 90% mercados potenciales de uso de estos dispositivos se destina para la agricultura y la seguridad. (José, 2015)

La agricultura de precisión se basa en el manejo específico de un área de cultivo, para ello se utilizan herramientas tecnológicas como el posicionamiento global (GPS), dispositivos de distribución de riego, fertilizantes y plaguicidas variables, sensores climatológicos y de cultivo. La información es plasmada en mapas digitales sobre los cuales se toman decisiones de manejo. Según Plant (2001), el uso de la agricultura de precisión está supeditado a los beneficios económicos y define tres criterios para que esto se cumpla: (1) que la variabilidad de los factores dentro del área de cultivo influya en la producción final, (2) que las causas de la variabilidad puedan ser identificadas y (3) que la información obtenida pueda ser usada para mejorar las prácticas de manejo del cultivo y mejorar la productividad. (EXSIS, s.f.) para caracterizar esta variabilidad se utilizan herramientas tecnológicas como los sistemas de posicionamiento global, sensores e imágenes multiespectrales obtenidas con drones, esta información que son tomadas por las cámaras son almacenadas y procesadas para generar datos que como se dijo anteriormente ayuda al agricultor a tomar decisiones importantes que a la postre generará un ahorro económico importante y no solo impacta económicamente si no también ambientalmente, haciendo al agricultor y su finca competitivos en el mercado.

A continuación, podemos ver algunos de los beneficios en el uso de estas tecnologías.

- La detección de áreas infestadas por malas hierbas en cultivos herbáceos.

- La detección de zonas que necesitan mayor o menor riego en frutales.
- La detección de zonas infectadas por hongos en olivar.

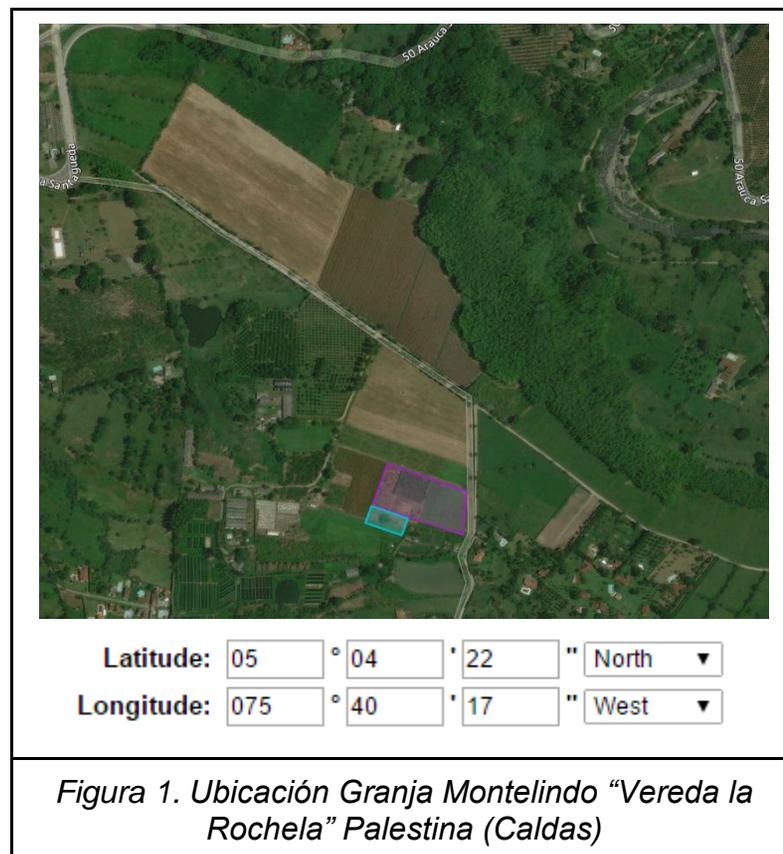
Berni et al (2009), considera que los UAV vienen a cubrir las limitaciones que tienen actualmente el uso de satélites y aviones en el manejo de cultivos en tiempo real, como son la falta de imágenes con resolución espacial y espectral óptimas y una mejora de la capacidad de revisita necesaria para detectar determinados problemas que afectan al desarrollo de los cultivos como, por ejemplo (Díaz García-Cervigón, 2015):

- Manejo eficiente del agua.
- Tratamiento localizado de herbicidas.
- Uso óptimo de fertilizantes.
- Conteo de planta.
- Supervisión de áreas fumigadas.
- Detección temprana de plagas y enfermedades en cultivos.

## 1. ÁREA PROBLEMÁTICA

Los cultivos de maíz para ensilaje en la granja Montelindo no tienen un análisis tecnificado para identificar los diferentes problemas que estos cultivos puedan presentar en determinado momento. Por esta razón la producción de ensilaje en calidad y cantidad puede ser mejor. Se detecta que el uso de fertilizantes y plaguicidas dentro del cultivo se hace de forma general e indiscriminada generando sobrecostos por la compra de estos insumos, de igual manera se hacen riegos en lugares que no lo necesitan; tenemos zonas en donde se observa un crecimiento anormal con respecto al resto del cultivo, pero estos lugares no son detectados en su totalidad ya sea porque es muy extenso el cultivo o a simple vista no son observados. La granja Montelindo se encuentra ubicada a 38 kilómetros de la ciudad de Manizales, en el flanco Oeste de la cordillera central de Colombia, en el municipio de Palestina (Caldas), en la vereda Santaguada; con una extensión de 64 hectáreas a 1010 msnm, temperatura promedio de 22.8° Celsius, presentando una precipitación promedio anual de 2200 m.m.

El área objeto de estudio es de 3 hectáreas, en los cuales se encuentran diferentes tiempos de sembrado de maíz, dividido en tres parcelas.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Plantear soluciones puntuales a los problemas detectados en los cultivos de maíz para mejorar su calidad y producción de ensilaje a través del procesamiento digital de las imágenes obtenidas con los UAV.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Capturar imágenes multiespectrales y RGB con la ayuda de los UAV, para su posterior análisis.
- Analizar los resultados de los índices de vegetación (NDVI y VARI).
- Determinar las diferentes variables o problemáticas que puede tener el cultivo de maíz.
- Visualizar la información capturada mediante herramientas SIG.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El agro colombiano durante las últimas décadas ha estado olvidado (esa es la percepción que muchos tenemos), cada vez escuchamos en las noticias que los campesinos tuvieron que dejar sus tierras por culpa del conflicto armado, solo ahora es cuando estamos viendo que para el post-conflicto se le está dando un apoyo importante a esos campesinos y agricultores para que vuelvan al campo y lo hagan cada vez más productivo. Es allí en donde nuestro proyecto entra a aportar para dicha mejora.

Con el estudio que se realizará en la granja Montelindo podremos identificar las áreas problemáticas del cultivo a través de las imágenes tomadas, de esta manera obtendremos información valiosa para el agricultor determinando así las zonas donde debe actuar, bien sea para fumigar, fertilizar o irrigar agua. Lo anterior tendrá un beneficio no solamente económico si no en la calidad de su cultivo. De igual manera nuestro estudio se podrá replicar a otros cultivos de la zona y del país, beneficiando al campesino.

Este proyecto tiene como novedad la usabilidad de tecnología de punta dedicada al Agro, los drones llegan en el momento exacto para ayudar al pequeño y grande agricultor en la mejora de sus productos tanto en su producción como en su calidad. El poder determinar a través de imágenes el estado de la vegetación hasta hace unos años era impensable, ahora con el uso de drones es posible determinar sus necesidades y dar opciones para suplirlas.

A nivel investigativo abre las puertas para que todo agricultor pueda usar este tipo de tecnología en sus predios, buscando obtener un punto de vista diferente al acostumbrado.

En la parte socioeconómica los campesinos y agricultores van a poder mejorar producción y calidad en sus productos finales, permitiéndoles ahorrar dinero en insumos y fertilizantes ya que van a saber en dónde exactamente se debe atacar los cultivos, aumentar sus ingresos que a su vez mejorará su calidad de vida.

## 4. MARCO TEÓRICO

En el contexto de la investigación sobre agricultura de precisión y su estrecha relación con los drones como herramienta fundamental para la toma de imágenes aéreas, estas serán analizadas después de un adecuado procesamiento, todo lo anterior ayudará a tomar decisiones que implicarán un ahorro económico y una mejor calidad de los cultivos.

La agricultura es considerada como una de las actividades económicas más importantes para distintas zonas a nivel mundial, por esta razón a través del tiempo ha ido evolucionando y adaptando nuevas estrategias con el propósito de cubrir los requerimientos de los productores y de las distintas formas de cultivo. Un ejemplo de esto es la denominada agricultura de precisión, la cual se refiere a la gestión de la producción agrícola a partir de la observación, la medida y la forma de resolver cualquier factor que puedan determinar que un cultivo tenga éxito o no.

La agricultura de precisión funciona como un esquema de administración que hace uso de múltiples tecnologías, con el objetivo de recolectar datos útiles que permitan favorecer a la producción a través de la comparación de diferentes fuentes; no obstante, ayuda a recopilar, interpretar y aplicar la información obtenida con el fin de impulsar y avanzar hacia una mejora que beneficie a la agricultura en distintas escalas. (hydroenv., 2016)

Esta actividad hace uso de herramientas que permiten aumentar la rentabilidad de los cultivos, así como su calidad, cantidad y rendimiento, por lo tanto ocupa elementos como computadoras, sensores de suelo, sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de información geográfica, monitores de rendimiento y cualquier otra tecnología que ayude a controlar y automatizar el manejo específico de una zona o área de cultivo y además que permita gestionar de forma localizada a distintas especies vegetales desde diferentes puntos. (hydroenv., 2016)

La agricultura de precisión ayuda a aumentar la eficiencia productiva de manera considerable, ya que permite llevar a cabo un análisis mucho más profundo del área; lo cual implica conocer la variabilidad del campo, es decir que a través de esto es posible saber si el lugar es óptimo para cultivar y qué se puede producir en él, entre otras cosas; además gracias a esta técnica es se pueden realizar muestreos del suelo con el fin de conocer sus condiciones, el tipo de materia orgánica con la que cuenta, las deficiencias y los nutrientes que puede aportar. (hydroenv., 2016)

#### **4.1 SISTEMAS AÉREOS NO PILOTADOS (UAS) Y SISTEMAS AÉREOS PILOTADOS REMOTAMENTE (RPAS).**

Estos son pequeños dispositivos no tripulados que son controlados remotamente con unas características técnicas muy buenas para realizar toma de imágenes. Estos dispositivos (UAS/RPAS), están conformados básicamente en 4 partes necesarios para hacer posible la toma de imágenes y por ende la recolección de datos.

La serie Canadair CL-89 y CL-289 son diferentes aeronaves de un sistema de vigilancia cuya aplicación ha abarcado varias décadas. Su desarrollo comenzó en los 60's, operaron de forma preliminar en los años setenta, se avanzó en su diseño mejorado en los ochenta y entraron en servicio con este rediseño en los noventa. Han estado en servicio hasta el año 2000.

El sistema original, CL-89, se desarrolló para proporcionar inteligencia visual sobre el territorio enemigo en diferido con un radio operativo de 70 km. UAV se lanzaba con un motor cohete de combustible sólido desde una rampa y se recuperaba con un paracaídas y un airbag. Para la observación diurna estaba equipado con una cámara convencional más una cámara de infrarrojos de barrido lineal y para la nocturna, únicamente la cámara infrarroja. Uno de los principales requisitos de diseño era su supervivencia frente a los sistemas defensivos potencialmente sofisticados del enemigo; por ello se diseñó con un diámetro reducido (0,33 m), alas de 0,94 m de envergadura y una elevada velocidad (740 km/h) que lo hacían difícilmente detectable. El guiado se llevaba a cabo mediante la pre-programación de un autopiloto basado en giróscopos verticales y direccionales junto con la información de altímetros y anemómetros barométricos.

En la década de los 2000 se le añadió un sistema de navegación más precisa basada en GPS, que le permitía volar siguiendo más de cerca el terreno, y un radar de apertura sintética para operación en cualquier condición meteorológica.

Todos estos modelos utilizaban un sistema de navegación y control giro-estabilizado en tres ejes basado en un AFCS (Autonomous Flight Control System; sistema autónomo de control de vuelo) computerizado, y un doble canal de enlace seguro.

El desarrollo en paralelo de cargas de pago con sensores cada vez más sofisticados abrió el campo para otras posibles misiones, incluyendo las de guerra electrónica, designación láser, relé de comunicaciones y otras más, además de las cámaras de TV e infrarrojas. La mayor precisión de la navegación y el guiado también permitió la recuperación más fiable en redes instaladas en tierra, aunque la recuperación en los barcos todavía presenta algunos problemas para los aviones de ala fija. (Rejado, 2016)

**Plataforma de Vuelo:** el propio vehículo y su carga, es decir, la cámara fotográfica y otros sensores.

**Sistema de Control de Vuelo:** Formado por receptores GPS+EGNOS integrados en la plataforma de vuelo. Georreferencia la información obtenida y controla el seguimiento del vehículo aéreo.

**Sistema de Lanzamiento y Recuperación:** controla el despegue y el aterrizaje.

**Sistema de Comunicaciones:** a través de la radio, comunica la estación de control con el UAS.

**UAS:** A continuación, se describirán algunas características técnicas de las UAS utilizados en el desarrollo de la investigación,



*Figura 2. Drone ASPIRE ONE*



*Figura 3. Drone Mavic Pro*



Figura 4. Phantom 4 Advanced



Figura 5. Phantom 3 Standard

**Figura No.1 Drone ASPIRE ONE:** En un primer vistazo nos damos cuenta de que hay una cosa que lo hace especial, y eso es la incorporación de una cámara para grabar desde las alturas en formato 4K. Los desarrolladores han ideado el dron en torno a la cámara, ya que **las "patas" del artilugio se pliegan** en el aire para dejar una visión completa al objetivo. Gracias al sistema de elementos giratorios ideado - gimbal o cardán -, la cámara **puede apuntar en los 360 grados** sobre su eje principal. El sensor encargado de registrar la información es de tipo CMOS y cuenta con **12 megapíxeles**. En cuanto a la lente, es un gran angular que capta 94 grados, y está construida con nueve elementos. La cámara cuenta con diferentes modos de funcionamiento en la grabación de vídeo, desde 1080p con 24 y 60 imágenes por segundo, hasta resolución **4K a 24 y 30 imágenes por segundo**. También puede tomar fotografías, de hecho, incluso las guarda en formato RAW (Adobe DNG Support). (XATADA, 2014)

Dos mandos: uno para volar, otro para grabar. El dron cuenta de serie con el sistema Lightbridge de DJI, que permite retransmitir lo que la cámara está captando en nuestros dispositivos móviles. Hablamos de calidad 720p a una distancia de 2 kilómetros del dron. Aquí cobra interés la aparición de **un segundo mando de control**, opción que posibilitan en DJI, para que una persona pueda estar controlando el vuelo, mientras una segunda se encarga de la cámara y todos sus parámetros. La velocidad máxima que Inspire 1 es capaz de conseguir es de 80 kilómetros por hora. Su campo de actuación es de unos 700 metros con respecto a nuestro mando, con una altura máxima de 300 metros. El punto más delicado de estos gadgets está en la autonomía, que en este caso es de **18 minutos de vuelo**. Afortunadamente la capacidad de batería va mostrándose en tiempo real en nuestro mando, para que siempre estemos a tiempo de hacer volver vivo al dron. (Kote Puerto, 2014) (XATADA, 2014)

**Figura No.2 Drone Mavic pro:** El nuevo dron de DJI llamado el Mavic Pro es el mejor dron del mercado en estos momentos, mostrado al mundo en septiembre de 2016. Los especialistas en el tema están seguros en afirmar que es el mejor dron que hay en el mercado. Es un dron que cabe en una pequeña maleta o inclusive sin el control en el bolsillo de un pantalón, está altamente equipado con lo último de tecnología del momento. (drones.com, 2016)

Características de la Aeronave o Dron:

Dimensiones del dron doblado: H83mm x W83mm x L198mm

Dimensión de dron en diagonal sin incluir las hélices: 335 mm

Peso del dron con batería y hélices y protector de Gimbal: 1.64 lbs (743 g)

Peso del dron con batería y hélices, sin el protector de Gimbal: 1.62 lbs (734 g)

Velocidad máxima de ascenso: 16.4 ft/s (5 m/s) en Modo Sport

Máxima velocidad de descenso: 9.8 ft/s (3 m/s)

Velocidad máxima en modo Sport sin viento: 40 mph (65 kph)

Altura máxima de vuelo sobre el nivel del mar: 16404 feet (5000 m)

Tiempo máximo de vuelo sin viento y volando velocidad constante de 15.5 mph (25 kph): 27 Minutos

Tiempo máximo de vuelo en un solo punto estático in viento: 24 minutos

Distancia máxima de vuelo del dron: 8 mi (13 km)

Temperatura de operación: 32° to 104° F (0° to 40° C)

Sistema GPS: GPS americano y GLONASS Ruso

Cuenta en su interior con un controlador de vuelo con 24 procesadores integrados para manejar todas sus funciones, como manejar sus múltiples sensores para mantenerlo en vuelo, sensores en su barriga para mantenerlo estable en interiores, sensores frontales para evitar que se estrelle y evitar obstáculos, doble sistema GPS para mantener una posición sin importar las condiciones. y todo lo demás necesario para controlar su cámara de alta resolución de 12 Mpx que puede hacer video en 4K. (drones.com, 2016)

**Figura No.3 Phantom 4:** Una cámara mejorada está equipada con un sensor de 1 pulgada de 20 megapíxeles capaz de grabar videos de 4K / 60fps y imágenes en modo Burst a 14 fps. La adopción de la aleación de titanio y la aleación de magnesio aumentan la rigidez del fuselaje y reducen el peso, haciendo que el Phantom 4 Pro similar en peso al Phantom 4. El sistema FlightAutonomy agrega sensores de visión trasera dual e infrarrojo sistemas de detección para un total de 5 direcciones de detección de obstáculos y 4 direcciones para evitar obstáculos. (DJI, 2016)

La cámara incorporada se ha rediseñado para usar un sensor CMOS de 1 pulgada y 20 megapíxeles. Una lente diseñada a medida compuesta por ocho elementos es organizado en siete grupos, es la primera cámara DJI que utiliza un obturador mecánico, eliminando la distorsión del obturador rodante que puede ocurrir al tomar imágenes de sujetos que se mueven rápidamente o cuando se vuela a alta

velocidad. (DJI, 2016)

En efecto, es tan poderoso como muchas cámaras terrestres tradicionales. Mas poderoso el procesamiento de video admite videos H.264 4K a 60 fps o H.265 4 K a 30 fps, ambos con una tasa de bits de 100Mbps. Sensores y procesadores avanzados asegúrese de que todo se captura con más detalles de la imagen y los datos de imagen necesarios para una postproducción avanzada. (DJI, 2016)

**Figura No.4 Phantom 3:** En primer lugar Phantom 3 Standard dispone de una cámara con una resolución de vídeo UHD capaz de conseguir grabaciones en 2.7K, por encima de la resolución que permite Phantom 3 Advanced. Aunque Phantom 3 Profesional se mantiene en cabeza con sus vídeos en 4K. (DJI, 2016)

La resolución de imágenes también es ligeramente diferente, aunque en este caso salen perdiendo los megapíxeles efectivos que ofrece el Standard, 12 frente a los 12.4 que el resto de Phantom 3. (DJI, 2016)

DJI ha tenido el placer de anunciar el nuevo DJI Phantom 3 standard: el Phantom 3 con la cámara más accesible con vuelo inteligente jamás construido. Seguro, fácil y divertido de volar, el DJI Phantom 3 Standard hace que sea el phantom más asequible para que todo el mundo pueda volar. Con un sistema de vuelo intuitivo, cámara integrada, visualización en vivo de alta definición, y más, el DJI Phantom 3 standard le da todo lo que necesitas para volar y traer una nueva dimensión a su vida. (DJI, 2016)

Graba los momentos que desea recordar y compartir, esos momentos inolvidables. El Phantom 3 Standard le da toda una nueva perspectiva para los deportes, fiestas y eventos familiares con una cámara incorporada que captura vídeo HD 2.7K y 12 fotos megapíxeles.

Mantener la cámara perfectamente estable con un estabilizador de 3, quedando el archivo como de cine. A medida que el Phantom se inclina y gira, el estabilizador suaviza la cámara y el nivel, eliminando todo movimiento o vibración no deseada. (JAVIER, 2015)

**4.1.1 Plan de vuelo.** Hay tres aspectos que son claves a la hora de realizar fotogrametría con drones:

- La trayectoria de vuelo
- El solape entre las imágenes.
- Posición de la cámara.

Estos tres elementos vienen determinados por una necesidad común: para que un detalle sea fielmente reconstruido, es necesario que aparezca en un número mínimo

de fotografías. Cuanto más variados y numerosos sean los puntos de vista, más abundancia de información útil a la hora de hacer el procesamiento. A continuación, analizamos diferentes escenarios y el plan de vuelo fotogramétrico recomendado para cada caso. (aerial-insights, s.f.)

**4.1.1.1 Planificación de vuelo para generar ortomapas.** La trayectoria a seguir será la de forma de cuadrícula (ver imagen). Los solapes mínimos son entre 75% (frontal) y al menos el 60% (lateral). La posición de la cámara estará totalmente perpendicular apuntando al suelo (plano cenital).

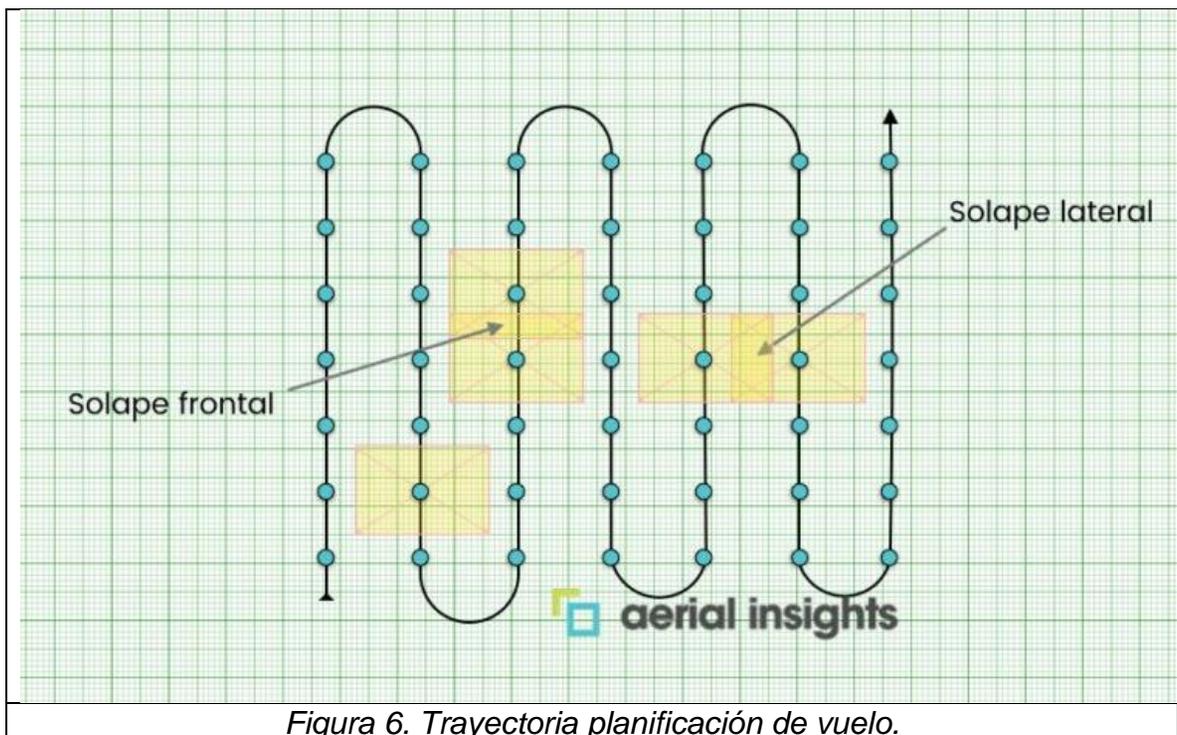


Figura 6. Trayectoria planificación de vuelo.

**4.1.1.2 Planificación de vuelo de canteras y áreas construidas.** Tanto para generar reconstrucciones en 2D como 3D es básico disponer de varios puntos de vista alternativos para cada área. Por ello, es necesario completar una trayectoria de doble cuadrícula, es decir, completar una trayectoria como para el caso de una ortofoto y continuar con otra semejante a 90 grados (ver imagen). Con este tipo de trayectoria nos aseguramos de tener fotografías desde cuatro puntos (aproximados) norte, sur, este y oeste. El solape, igual que en el caso anterior, 75% y 60%. Para que las paredes verticales puedan ser reconstruidas, es necesario que la cámara apunte en un ángulo de entre 10° y 35°.

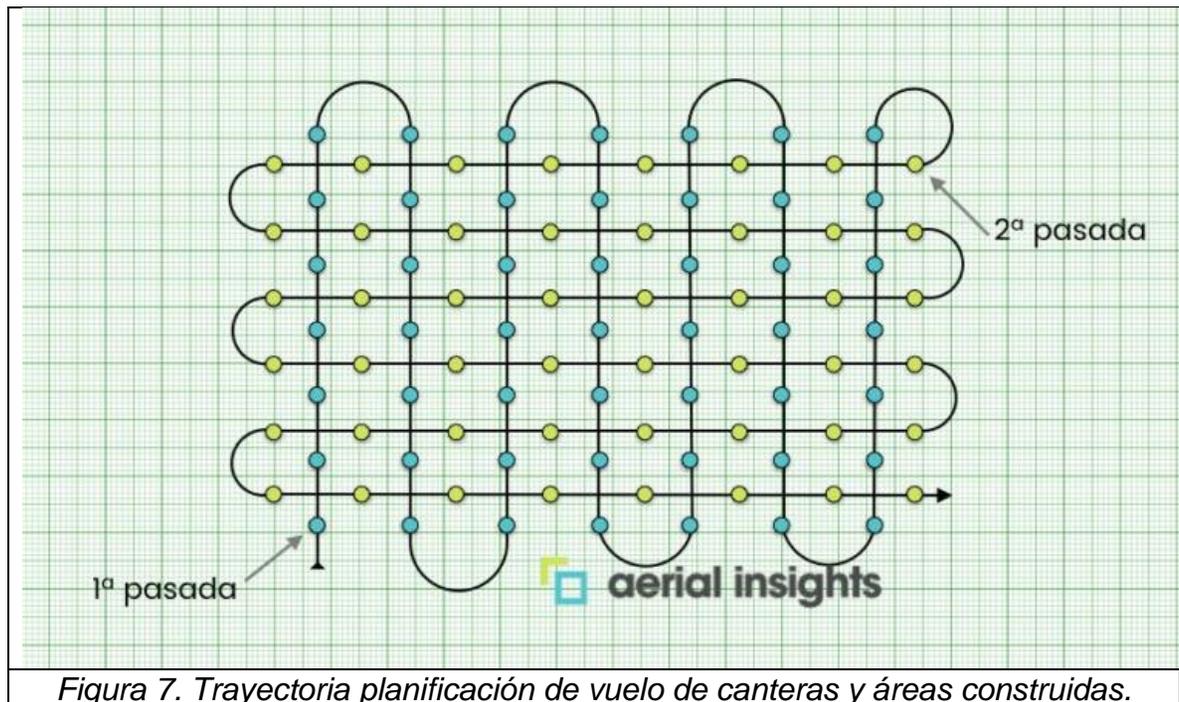


Figura 7. Trayectoria planificación de vuelo de canteras y áreas construidas.

**4.1.1.3 Planificación de vuelo para generar volúmenes 3d (edificios, estructuras verticales...).** Este es el caso que presenta más diferencias respecto a los anteriores. En este caso, es necesario completar tres trayectorias circulares a diferentes alturas, en un único vuelo o en varios vuelos consecutivos. La cámara debe formar un ángulo de  $45^\circ$  en la trayectoria más baja,  $30^\circ$  en la media y  $10^\circ$  en la más elevada. Es necesario tomar entre 40 y 80 capturas en cada una de las órbitas, es decir, cada foto estará separada de la anterior por  $5^\circ - 10^\circ$  grados. En todos los casos, la cámara debe tomar como punto de interés el centro aproximado del objeto. En el caso de objetos muy grandes es necesario modificar estos valores de forma que siga existiendo la misma cantidad de solape entre imágenes. En este caso, más fotos, cada menos grados y si el objeto es muy alto, añadiendo progresivamente más órbitas.

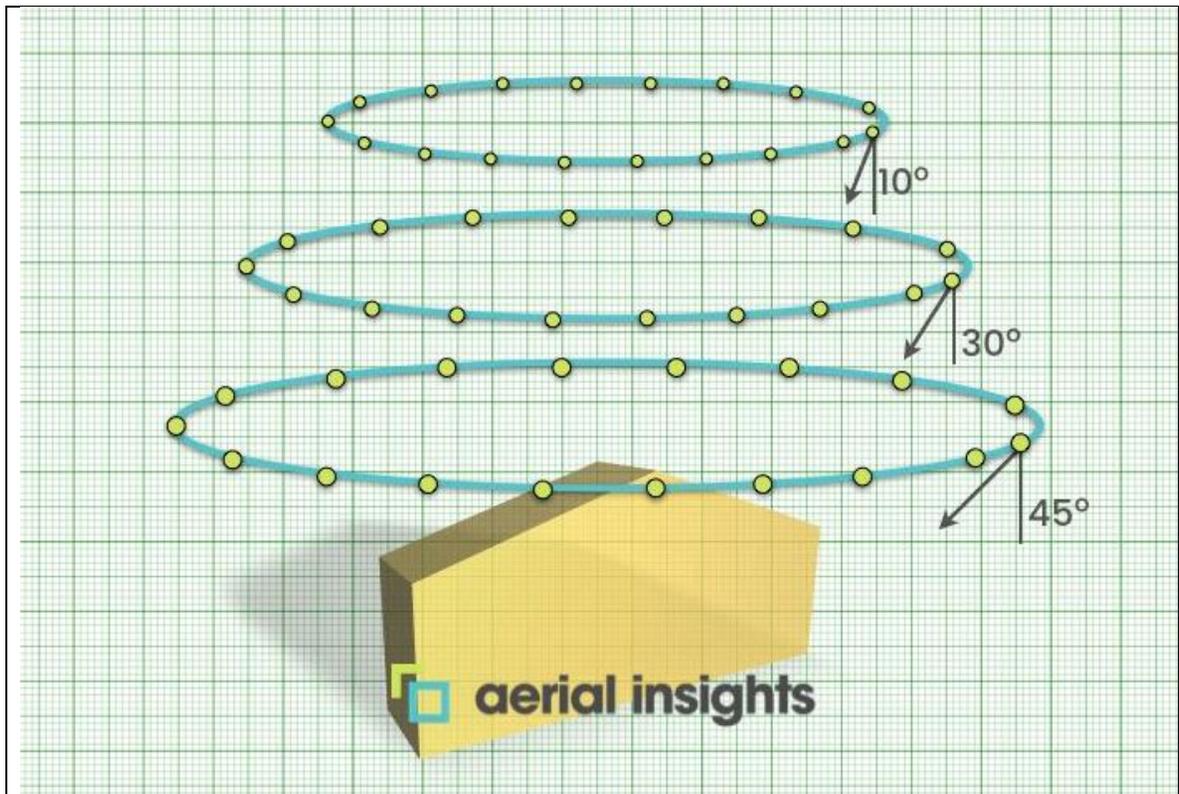


Figura 8. Trayectoria planificación de vuelo para generar volúmenes 3D.

#### 4.1.2 Reglamentación de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia - RPAS en Colombia. No se permitirá operación RPAS en Colombia para (Colombia, 2015):

- Volar sobre área congestionada, edificaciones o directamente sobre público o aglomeraciones de personas.
- Volar de modo que se pueda crear un riesgo para las personas o propiedades en la superficie.
- Aeronaves pilotadas a distancia con un peso máximo de despegue superior a 25 Kg.
- Volar desde un aeródromo o sus proximidades dentro de un radio de 5 Km a la redonda.
- Volar a una altura superior a los 500 pies (152 metros aproximadamente).
- Volar cerca de, o sobre instalaciones militares, policiales o centros carcelarios.
- Volar transportando animales.
- Arrojar objeto alguno estando en vuelo.

#### 4.2 Cámara MULTIESPECTRALES TETRACAM ADC.



Con las imágenes provenientes de la cámara TetraCam ADC, se procedía a realizar la exportación de archivo \*.RAW a \*.TIFF, posteriormente se le aplicó el flujo de trabajo establecido en el software agisoft, para la generación de los mosaicos. (TETRACAM, 2017)

**Figura No. cámara multiespectral Tetracam adc:** Con 90 gramos, ADC Micro amplía la potencia de las imágenes multiespectrales avanzadas a pequeños sistemas de aviones no tripulados. Al hacerlo, la maravilla de imágenes multiespectrales más pequeña de Tetracam hace que esta poderosa tecnología sea accesible solo por medio de satélites, práctica para uso de usuarios agrícolas, industriales y científicos de todo el mundo. (TETRACAM, 2017)

El sistema presenta un almacenamiento estándar de 16 GB, procesamiento paralelo rápido, bajo consumo de energía y configuración y control organizados por menús simples, el sistema captura longitudes de onda de luz visible de más de 520 nm y longitudes de onda cercanas al infrarrojo de hasta 920 nm.

En caja dentro de la parte inferior de la unidad (vea la imagen a la izquierda), el ADC Micro posee una lente de alta calidad de 8.43 mm. La lente enfoca la luz que ingresa a la cámara al sensor de imagen multiespectral del sistema. (TETRACAM, 2017)

**Sensores y filtros:** Tres filtros encima del sensor limitan la radiación que ingresa a las bandas de radiación verde, roja e infrarroja cercana equivalente a las bandas Landsat Thematic Mapper TM2, TM3 y TM4. Estas bandas son la base de las imágenes compuestas estándar de "color falso" que se han asociado con imágenes

multiespectrales. Proporcionan excelentes señales de alerta temprana del estrés de la planta y su uso como indicadores de otras condiciones específicas de la planta y el suelo ha sido documentado por los científicos durante décadas.

El sensor Micro ADC presenta una fidelidad espectral extremadamente alta visible y NIR. El sensor reúne la radiación que pasa a través de sus filtros para formar una imagen digital multiespectral compuesta por 2048 x 1536 píxeles. (TETRACAM, 2017)

### **4.3 SOFTWARE UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES**

Software utilizado para procesamiento de imágenes, son herramientas muy valiosas en el proceso de analizar y compactar toda la información que éstas nos dan, a continuación, nombraremos algunas de ellas.

**4.3.1 Agisoft PhotoScan.** Es una grandiosa herramienta con la que construir mosaicos con las imágenes aéreas tomadas por nuestro dron. Si volvemos a casa con 200 imágenes aéreas y varias horas de grabación en altura no podemos dejar pasar una formidable herramienta como esta y ver el potencial de gestión espacial que tiene para la elaboración de ortomosaicos y Modelos Digitales de Elevación bajo los principios de la fotogrametría aérea y la restitución. (GISS BEERS, 2016)

**4.3.2 ArcGIS.** Es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario. El sistema está disponible en cualquier lugar a través de navegadores Web, dispositivos móviles como smartphones y equipos de escritorio. (ESRI, 2015)

**4.3.3 QGIS.** El software Qgis tiene casi todas las funciones del Arcgis, la diferencia entre estos dos programas es que el Qgis es libre y se puede utilizar sin licenciamiento.

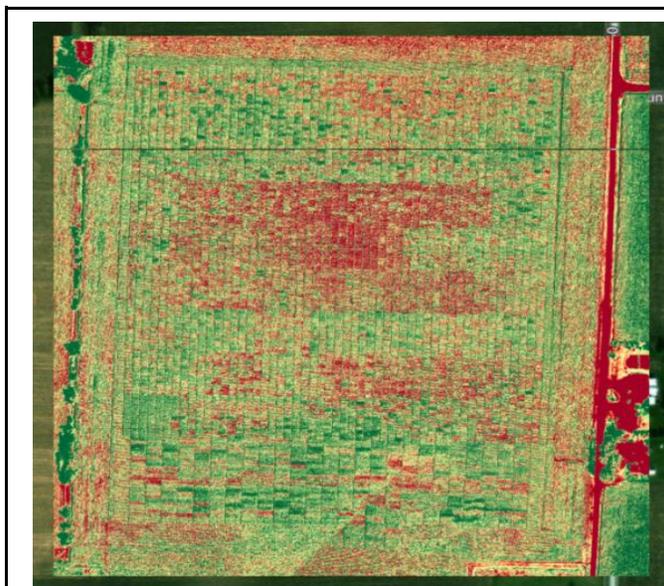
### **4.4 SANIDAD VEGETAL (PLANT HEALTH)**

Plant Health es un conjunto de herramientas específicamente dirigidas a la agricultura. El objetivo principal de estas herramientas es permitirle explorar sus datos agrícolas aún más profundamente. Con esta herramienta, puede ajustar el contraste para resaltar la variabilidad (y, por lo tanto, las áreas problemáticas) dentro de un campo. Una vez que haya identificado los rangos relevantes de NDVI, la herramienta de umbral le permite cuantificar el daño y predecir los rendimientos al mostrar el área dentro de un rango de NDVI.

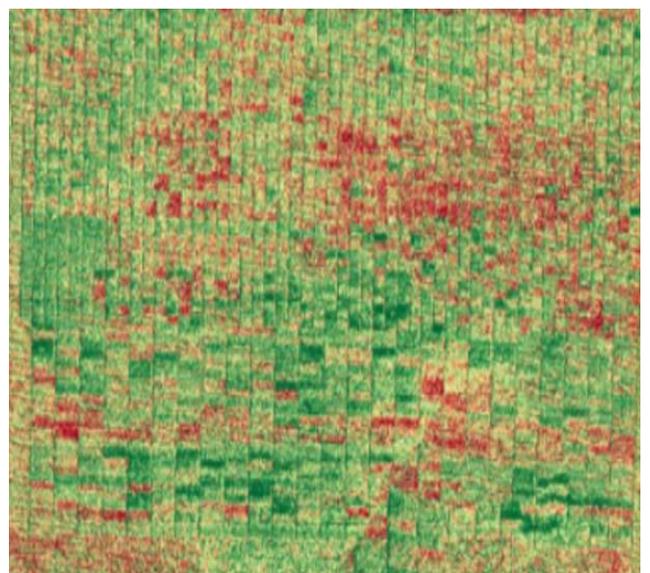
**4.4.1 NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada).** Los mapas de salud vegetal demuestran la salud relativa de la vegetación dentro del mapa comparando el valor de cada banda. Una vegetación más saludable refleja más de ciertos tipos de luz que la vegetación no saludable.

La fórmula tradicional para NDVI compara infrarrojo cercano y luz roja. Es ideal para medir la vegetación sana y verde en una amplia gama de condiciones.

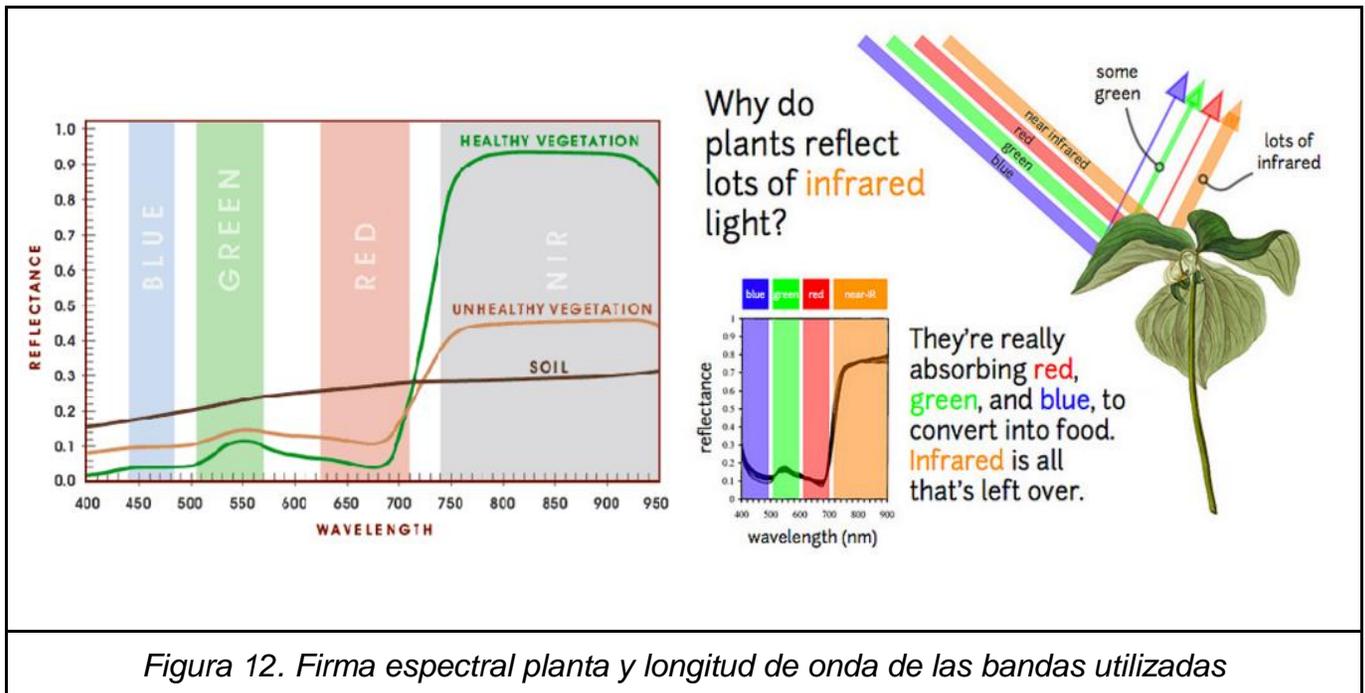
A continuación se muestra un mapa NDVI calculado con la fórmula estándar.



*Figura 10. NDVI Parcela 1*



*Figura 11. NDVI Zoom Parcela 1*



#### 4.5 TELEDETECCIÓN

Las tres características fundamentales de las imágenes que debemos de tener en cuenta a la hora de realizar un trabajo a partir de fotografías aéreas son las siguientes:

- Resolución espacial.
- Resolución espectral.
- Frecuencia de cobertura.

**4.5.1 Resolución Espacial.** La primera medida, resolución espacial, se refiere al tamaño del objeto más pequeño que puede ser distinguido en una imagen producida por un sensor remoto. Si las imágenes remotas van a ser usadas para identificar y tratar problemas de cultivo en el campo, el productor debe considerar como de afinada debe ser una imagen para que le permita discernir qué es lo que está pasando en el lote. ¿Es necesario distinguir una planta de la otra, un surco del otro, un lote del otro? Hengl (2006) determinó que son necesarios al menos 4 píxeles, para detectar el objeto más pequeño. Por tanto, si por ejemplo el objeto más pequeño en un rodal de malas hierbas de 2m<sup>2</sup>, deberíamos utilizar una imagen con una resolución espacial menor de 0.5.

Las imágenes aéreas procedentes de aviones tripulados convencionales pueden llegar a alcanzar resoluciones submétricas (25 cm) que han permitido mapear las infestaciones de diversas malas hierbas en estado fenológico de floración en cultivos de girasol (De Castro et al., 2012; Peña Barragán et al., 2007 y 2010) o el

trigo (López Granados et al., 2006). Sin embargo, las imágenes multispectrales proveniente de satélites de mayor resolución espacial son la de los satélites Geo-Eyes (1.64 m / Pixel) y Quickbird (2.4 m / Pixel).

En el caso de que se requiera mayores resoluciones espaciales para discriminar por ejemplo, las infestaciones de malas hierbas en estado fenológico temprano, es decir cuando presentan entre 2 y 6 pares de hojas, la resolución espacial requerida es mucho mayor (1-6 cm/ pixel) siendo necesario la utilización de UAS para estos objetivos.

De igual manera, la necesidad de una resolución espacial alta también ocurre cuando se trata de cartografiar el estado hídrico de árboles frutales mediante imágenes con rango espectral térmico (8-12  $\mu\text{m}$ ), en los que hay que identificar las coronas puras de un gran número de árboles y separar los pixeles de vegetación de los de suelo desnudo.

Gonzalez-Dugo et al. (2013) revisaron las diferentes plataformas para alcanzar este objetivo y concluyeron que la información térmica junto con una elevada resolución espacial, actualmente solo se consigue mediante la utilización de cámaras instaladas en UAS/RPAS.

**4.5.2 Resolución Espectral.** La resolución espectral, se refiere a la habilidad de los sistemas de percepción de distinguir y diferenciar entre radiación electromagnética de distintas longitudes de onda, siendo básicamente, número y anchura de las bandas espectrales que pueden discriminar el sensor, a mayor resolución espectral, más útil será la información que pueda ser deducida, en cuanto a resoluciones espectrales podemos distinguir entre imágenes:

- Multiespectrales: Que generalmente capturan información entre 3 y 7 bandas de unos 100 nm de anchos,
- Hiperespectrales: Que adquieren información en varias decenas o centenas de bandas estrechas con longitud de ondas inferior a 5 nm de ancho.

**4.5.3 Frecuencia de Cobertura.** En cuanto a la frecuencia de cobertura (a veces llamada resolución temporal), es una medida acerca de cada cuanto tiempo, está disponible un sistema de percepción remota, para recoger información de un punto específico en la tierra. Para la mayoría de los satélites, la frecuencia de cobertura para cualquier sitio particular es igual al ciclo de repetición, o la duración en tiempo que le toma dar la vuelta a la tierra. (Díaz García-Cervigón, Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes, 2015)

## 4.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son sistemas informáticos que están diseñados para mostrar las características físicas y humanas del globo terráqueo contenida en una base de datos con datos cartográficos y alfanuméricos que permite disponer de manera rápida información geográfica para la toma de decisiones. Un sistema de esta naturaleza separa la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando al usuario la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podría obtenerse de otra forma.

Adicionalmente Vila (Vargas, 2008) menciona las principales características de un SIG, las cuales están acorde con la definición presentada anteriormente, se destacan:

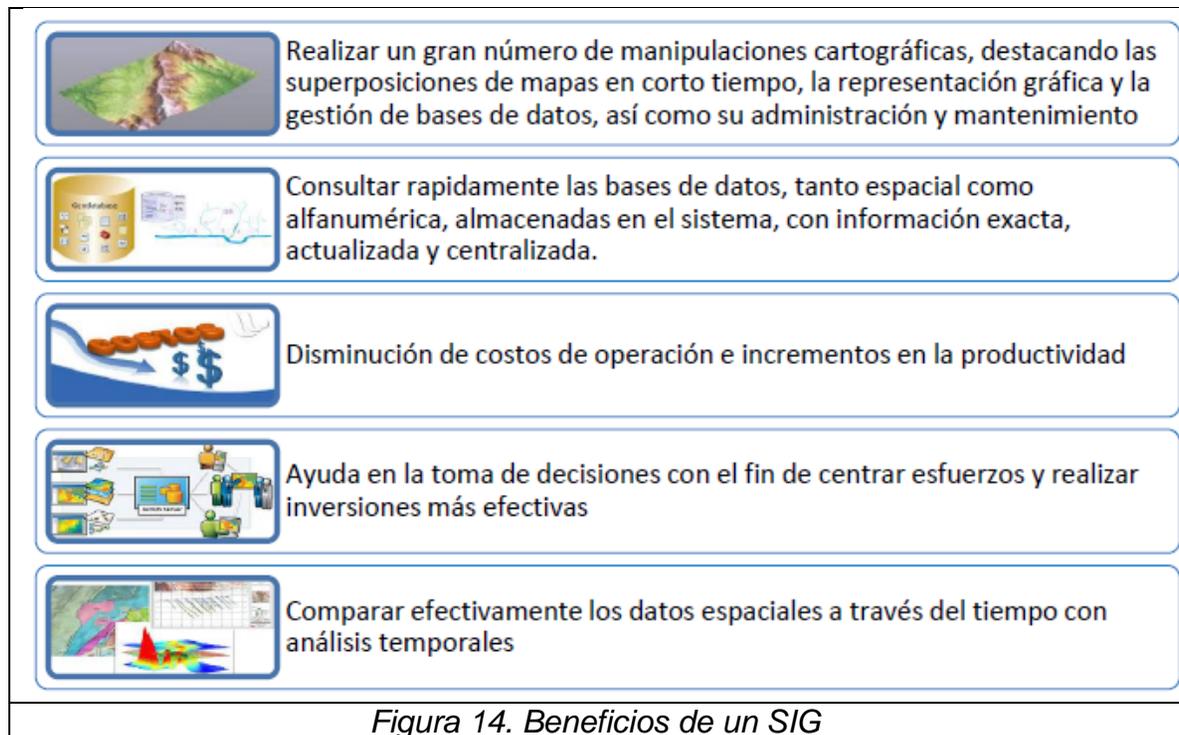
- Sistema de representación referenciado con entidades gráficas (puntos, líneas, símbolos, etc.)
- Dispone de una base de datos adjunta, que permite realizar consultas y simulaciones.
- Dispone de un lenguaje de programación que permite la implementación de nuevas aplicaciones para dar respuesta a nuevas necesidades de los usuarios.
- Dispone de un sistema de importación y exportación de datos gráficos y alfanuméricos.

### 4.6.1 Componentes de un SIG.



*Figura 13. Componentes de un SIG*

#### 4.6.2 Beneficios de un SIG.



**4.6.3 GPS.** Sistema de Posicionamiento Global, más conocido por sus siglas en inglés, GPS (siglas de Global Positioning System), es un sistema que permite determinar en todo el globo terráqueo la posición de un objeto (una persona, un vehículo) con una precisión de hasta centímetros, aunque lo habitual son unos pocos metros de precisión. (wikipedia, 2018)

#### 4.7 ENSILAJE

El ensilaje es la fermentación de los carbohidratos solubles del grano o del forraje por medio de bacterias que producen ácido láctico en condiciones anaeróbicas. El producto final es la conservación del alimento porque la acidificación del medio inhibe el desarrollo de microorganismos. Este proceso sirve para almacenar alimento en tiempos de cosecha y suministrarlo en tiempo de escasez, conservando calidad y palatabilidad a bajo costo, permitiendo aumentar el número de animales por hectárea o la sustitución o complementación de los concentrados. (Ganadero, 2015)

Este tipo de alimento se emplea para manejar ganado en forma intensiva, semi intensiva o estabulada. El ensilaje es una excelente opción para la alimentación en

las ganaderías del país por la gran variedad de granos y forrajes, la intensidad solar y el nivel de lluvias que existen en el trópico. Por las condiciones anteriores se pueden producir varias cosechas en el año, mientras en los países con estaciones solo se cosecha una vez al año. También hay que destacar que en nuestro país más de la mitad del maíz y otros cereales que se utilizan para la elaboración de concentrados animales, sobre todo para ganado bovino, son importados; por lo que es un sistema de alimentación costoso para el ganadero, convirtiéndose así el ensilaje en un modo de alimentación más económica que puede cumplir con los requerimientos nutricionales del animal. Casos como el de ensilaje de maíz en Colombia, se han convertido en una alternativa muy económica para los criaderos de ganado, dándoles a los animales más volumen corporal sin acumulación de grasa y con mayor aumento de peso mensual. El ensilaje es un proceso principalmente empleado en países desarrollados; se estima que 200 millones de toneladas de materia seca son ensiladas en el mundo anualmente, a un costo de la producción entre US \$100-150 por tonelada. Este costo comprende: la tierra y el cultivo (aproximadamente 50%), segado y polietileno (30%), silo (13%) y aditivos (7%). En Europa, los agricultores de países como Holanda, Alemania y Dinamarca almacenan más del 90 por ciento de sus forrajes como ensilaje.



*Figura 15. Maquinas utilizadas en la producción de ensilaje en la Granja Montelindo.*

## 4.8 ANTECEDENTES

### 4.8.1 Antecedentes Locales

**4.8.1.1 Caracterización de niveles de intervención antrópica en ecosistemas páramo utilizando análisis de imágenes multiespectrales:** La vegetación juega un papel importante como indicador del estado de los ecosistemas de humedales. En ese sentido, el sensoramiento remoto brinda la posibilidad de determinar el estado del ecosistema, permitiendo reducir los tiempos de evaluación de humedales. No obstante, el uso de imágenes satelitales en regiones de alta montaña es limitada por el alto grado de nubosidad. Adicionalmente, la resolución espacial no permite una adecuada clasificación del tipo de vegetación, generando dificultades para realizar análisis de terreno con escalas a nivel de detalle. En este trabajo se hace una evaluación de humedales altoandinos empleando imágenes adquiridas desde una aeronave remotamente tripulada. La zona de estudio está ubicada en el sector el Ocho, zona amortiguadora del Parque Nacional Natural Los Nevados, en ecosistema de páramo con una altitud de 3500 m.s.n.m., y con un área de 7,4 ha. La metodología para la realización del presente proyecto se compone de tres pasos: i) El humedal se dividió en cuatro sectores según su nivel de afectación antrópica, y se calculó el índice de Margalef en una parcela aleatoria. ii) Se obtuvieron imágenes aéreas mediante un ART (Campo visible y multiespectrales), para posteriormente calcular el índice verde en todo el humedal y compararlo con el NDVI de sectores de prueba, y finalmente, iii) se realizó una confrontación entre el índice verde con el estado de deterioro ambiental, y con el NDVI. Como resultado se obtuvo una relación entre los valores del índice verde y su correlación con los niveles de intervención del ecosistema. (Aravena2, 2009)

**4.8.1.2 Modelo para cuantificar la variabilidad Físico-Química del suelo por medio de análisis geoespacial:** Se estudió la variabilidad espacial de las siguientes propiedades físicas: resistencia a la penetración, y profundidad; y químicas: Nitrógeno, Potasio, Fósforo, Aluminio, Calcio, Boro, Magnesio, Manganeseo, Zinc, Cobre, Sodio, Hierro, limo, arena y arcilla; con el fin ser analizadas en el ámbito de una agricultura de precisión y darle un mayor rendimiento a los cultivos allí presentes. (Castaño Villada, Grajales Duque, & Echeverri Guzmán, 2016)

### 4.8.2 Antecedentes Nacionales

**4.8.2.1 Análisis geoestadístico para mejorar el aprovechamiento de aguas subterráneas:** Este trabajo realizó, mediante el uso de herramientas geoestadísticas, un diagnóstico del aprovechamiento de las aguas subterráneas. Se encontró que existen caudales aprovechables en la zona de estudio, cuyo intervalo de profundidad está entre los 15 y los 50 m. (Melo, 2005)

**4.8.2.2 Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa:** Este artículo hace énfasis en que la detección de cambios consiste en identificar diferencias en el estado de una característica o fenómeno por observaciones que se hacen en diferentes épocas. Las imágenes de sensores remotos ofrecen una fuente invaluable de datos para detectar y seguir cambios de un determinado fenómeno o variable ambiental en el tiempo y en el espacio. (Melo, Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa, 2002)

**4.8.2.3 Apoyo a la Agricultura de Precisión en Colombia a partir de imágenes adquiridas desde vehículos aéreos no tripulados (UAV):** En el 2006, una investigación del Laboratorio del Sistemas de Información de Shanghái, la Universidad de Shanghái y el Instituto de Investigación del ambiente en regiones áridas y frías de Shanghái discutió la idea de cómo la implementación de sistemas de sensores apoya la adquisición de datos relevantes para la Agricultura de Precisión. El caso de estudio estuvo localizado en el Sur-Este de Shanghái en un área de 27km<sup>2</sup> con cerca de 1363 hectáreas cultivadas, el promedio anual de la temperatura fue 15.5°C, este estudio ubicó un equipo de sensores para recolectar información en imágenes, información en campo, datos sobre el clima (precipitación, radiación y temperatura). De acuerdo a los datos recolectados se contó con un sistema para el apoyo a la toma de decisiones en Agricultura de Precisión (AP), esta disciplina necesita de grandes volúmenes de datos para alimentar las entradas de su sistema de información, dichos datos deben ser tomados en campo a través de sensores (Ma, 2006). En consecuencia, el flujo de datos proveniente de los sensores que ingresa al sistema de información es la mayor fuente para la toma de decisiones, determinando la posible producción así como los fertilizantes y pesticidas que se deben aplicar en el momento adecuado. A causa de la implementación en AP, nuevas tecnologías emergentes de vuelo se han comenzado a establecer como pioneras para la captura de datos de plantaciones, equipos autónomos y con estaciones en tierra como lo son los Vehículos Aéreos no Tripulados (UAV's) llevan a bordo los sensores necesarios para adquirir datos, dichos equipos de vuelo tienen la característica de volar a bajas alturas lo cual permite mejorar la resolución de la captura de los datos de las variables. El estudio concluyó que la adquisición de datos por medio de sensores es una técnica fiable y que la integración de esta con técnicas como GIS (Sistemas de Información Geográfica) y GPS (Sistema de Posicionamiento Global) construyen sistemas robustos que ayudan en la toma de decisiones. (JUNCO, 2014)

### **4.8.3 Antecedentes Internacionales**

**4.8.3.1 Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión:** Este trabajo pretende mostrar la utilidad de los UAS / RPAS, (Sistemas aéreos no

pilotados / sistemas aéreos pilotados remotamente) para realizar trabajos de agricultura de precisión, además de ver la gran utilidad de los sistemas de información geográfica al tratar estas imágenes. Para ello realizaremos un estudio de diferentes índices de vegetación (NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG), a partir de las imágenes aéreas tomadas con cámaras multispectrales montadas sobre UAS/RPAS, analizaremos la variabilidad agronómica según diferentes índices de vegetación y realizaremos un estudio estadístico entre estos índices, viendo cuál de estos índices (GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG) presenta una mayor correlación con el NDVI, haciendo además un análisis de regresión entre estos índices. (Díaz García-Cervigón, <http://eprints.ucm.es>, 2015) (Díaz García-Cervigón, <http://eprints.ucm.e>, 2015)

**4.8.3.2 Case Study. Agriculture Drones Bring Big Value to Potato Growers:** Buying a drone and putting it to work on your farm is a big investment. With as much daily hype as the new commercial drone industry receives, there doesn't seem to be a good resource for actual, tangible data showing how agriculture drones are being put to work by real people on real farms. (DRONEDEPLOY, 2015)

**4.8.3.3 La adquisición de datos para la agricultura de precisión basada en la teledetección:** La agricultura de precisión necesita una gran cantidad de datos cuya disponibilidad es un factor importante para la difusión de la tecnología de AP. Los métodos de adquisición de datos de agricultura de precisión son evolutivos desde el estudio de la verdad hasta el sensor. La detección remota puede proporcionar un método importante y conveniente para los datos de adquisición de la agricultura de precisión. Existen algunos obstáculos en el aspecto de los datos de agricultura de precisión basados en la teledetección, que hacen que la agricultura de precisión no pueda aplicarse ampliamente en la agricultura, por lo que las investigaciones de los datos de adquisición de la agricultura de precisión basada en la teledetección se hicieron más necesarias. Este documento obtiene datos de agricultura de precisión mediante la destilación de índices NPP, NDVI, LAI etc. y hace referencia a la verdad de la tierra, construye modelos de sistemas de apoyo a la toma de decisiones administrativas, que pueden proporcionar cómo, cuándo y dónde usar tecnologías de agricultura de precisión usuario para hacer esquemas de riego, fertilizantes, plaguicidas en aerosol. Hacemos un programa que proporciona funciones de actualización de datos, edición de datos, emisión de datos, soporte de toma de decisiones de gestión, etc. Es una forma de proporcionar datos de agricultura de precisión de manera rápida al usuario final. (IEEE, 2006)

**4.8.3.4 Aplicaciones de teledetección para la agricultura de precisión: un enfoque de comunidad de aprendizaje:** Los agricultores de todo el mundo buscan constantemente formas de maximizar sus ganancias. La detección remota, los sistemas de información geográfica (SIG) y los sistemas de posicionamiento global (GPS) pueden proporcionar las tecnologías necesarias para que los agricultores maximicen los beneficios económicos y ambientales de la agricultura de precisión.

Sin embargo, la mayoría de los agricultores no tienen las habilidades para utilizar estas tecnologías de manera efectiva. A través de un enfoque de comunidad de aprendizaje dirigido por el Consorcio Aeroespacial del Alto Medio Oeste (UMAC), la información se compartió entre científicos, productores agrícolas y proveedores de datos. Los agricultores y ganaderos recibieron información de valor agregado derivada de AVHRR, MODIS, ETM +, IKONOS, el sistema de cámara DALSA de Digitlnc y la cámara digital ADAR 5500 de Positive Systems, en cuatro temporadas de cultivo. Se hizo hincapié en reducir el tiempo entre la adquisición de datos y la entrega de productos de valor agregado a los agricultores, desarrollando usos prácticos para los datos y proporcionando capacitación básica para que los usuarios finales puedan entender cómo interpretar la información. Los agricultores y ganaderos en las zonas rurales se conectaron a través de un enlace satelital de banda ancha a un centro de distribución central en la Universidad de Dakota del Norte. Los agricultores participaron activamente en la evaluación de la utilidad de los insumos derivados de datos obtenidos por teledetección, a veces incluso realizando experimentos sobre aplicaciones de fertilizantes y fungicidas y evaluando los beneficios económicos. Las aplicaciones resultantes incluyeron la delimitación de la zona de gestión, verificación de la efectividad de las aplicaciones de fertilizantes de tasa variable, verificación de la efectividad de las aplicaciones de fungicidas, cuantificación de la pérdida debida a daños accidentales por pulverización, selección de acres dentro de los campos de remolacha en el programa Pago en especie y monitoreo físico daño debido a insectos, inundaciones, viento y granizo. Varias otras prácticas de manejo en el campo y en la primera temporada también fueron revisadas usando imágenes de alta resolución. (aprendizaje, 2016)

**4.8.3.5 Diseño y realización de un sistema de información de agricultura de precisión basado en 5S:** El resumen de este documento es para discutir el diseño y la realización del sistema de información de agricultura de precisión basado en 5S: Sistemas de Información Geográfica (GIS), Sistema de Posicionamiento Global (GPS), Sensado remoto (RS), Sistema de Soporte de Decisiones Espaciales (SDDS), Sistema Experto (ES). La agricultura de precisión representa la dirección del desarrollo agrícola, también es el punto focal de la investigación agrícola. En este trabajo, se presentan brevemente el concepto de agricultura de precisión y las características de la tecnología 5S. A continuación, se propone una aplicación de la tecnología 5S y la tecnología de bases de datos para el desarrollo de la agricultura de precisión, y un establecimiento de un sistema de información de agricultura de precisión basado en la integración de la tecnología 5S. También se presentan la estructura total, el hardware y el entorno de software, el diseño de la base de datos y el diseño del módulo de función, los métodos de realización de este sistema. (IEEE, 2006)

## **5. METODOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE TRABAJO**

Este proyecto se suscribe en la línea de investigación en Sistemas de Información Geográfica, el tipo de investigación es básica, utilizando métodos y herramientas cualitativas y cuantitativas que se desprenden de las ramas de la Agronomía y Teledetección.

En el análisis del método científico utilizando drones, para obtener y detallar las características propias de las hectáreas cultivadas de maíz para ensilaje, así mismo se realizará la interpretación de las fotografías aéreas tomadas por los drones.

### **5.2 PROCEDIMIENTO**

El objetivo de esta etapa metodológica es ilustrar paso a paso las fases y actividades que se deben seguir para el desarrollo del proyecto.

#### **5.2.1 Fase 1. Recopilación de la información.**

- **Actividad 1.** Se recolectó información importante del cultivo de maíz con el profesor de agronomía de la Universidad de Caldas Freddy Eliseo Hernández Jorge y con el administrador de la granja Montelindo (propiedad de la Universidad de Caldas) Don Jorge en donde nos explican:
  - Los tiempos de cosecha del maíz aproximados para ensilaje.
  - Los fertilizantes usados a la hora de la siembra.
  - Las dimensiones de cada uno de las parcelas sobre las cuales vamos a trabajar.
  - Los tipos de semilla usada en cada una de las parcelas.
  - La forma de riego para estos cultivos.
  - La producción promedio por hectárea que tienen en la granja.
  - Estados fenológicos y fitosanitarios del cultivo.
  - Plan de fumigación.



*Figura 16. Explicación Agrónomo Freddy Eliseo proceso de cultivo de maíz.*



*Figura 17. Explicación proceso ensilaje por parte del administrador de la Granja Montelindo (Don Jorge).*

- **Actividad 2. Vuelo drone.** La información principal que fueron las imágenes se recopiló a través de los drones de las Universidades de Manizales, Católica y con la ayuda de un particular.
- **Vuelo 1:** Este vuelo es realizado el 10 Febrero 2018 con el drone Phantom 3 Standard, su piloto Julián Castaño realiza sobrevuelo de la zona de interés y se procede luego a la toma de las imágenes con un plan de vuelo empírico ya que no se tenía del todo claro cómo se debía realizar, sin embargo las imágenes capturadas nos permiten dimensionar el estado inicial de las parcelas 1 y 2. Durante todo el proceso del vuelo estuvimos acompañados por parte del Agronomo Freddy Eliseo y el administrador de la granja Don Jorge en donde se comparte conocimiento para entender aún más todo el proceso del cultivo de maíz, al finalizar los vuelos se hizo una socialización con todo el equipo en donde se pudo observar el área de estudio y su estado actual, se encontraron unas zonas del cultivo (Parcela 1) en donde hay problemas ya que se observa grandes diferencias con respecto al resto del cultivo.



*Figura 18. Phantom 3 Standard, drone usado en el vuelo 1.*



*Figura 19. Acompañamiento del agrónomo y administrador de la granja durante el vuelo.*



*Figura 20. Explicación Edison de los resultados obtenidos con las imágenes capturas (imágenes aún sin procesar).*



*Figura 21. Socialización con el equipo de trabajo respecto a lo encontrado durante el vuelo 1.*



*Figura 22. Granja Montelindo, imagen capturada por el drone en el vuelo 1.*

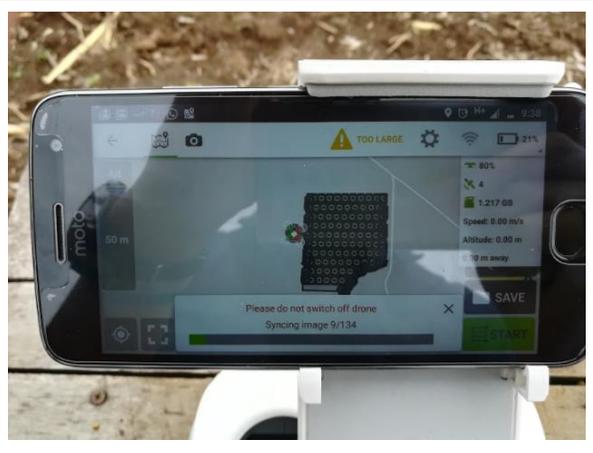


*Figura 23. Imagen capturada por el drone en el vuelo 1.*

- **Vuelo 2:** Este vuelo es realizado el 03 Marzo 2018 con el drone Phantom 4 Advanced perteneciente a la Universidad Católica de Manizales, a este drone tiene adaptada de forma externa una cámara multispectral (Tetracam Micro) la cual permite capturar imágenes en donde se pueda visualizar la banda NIR la cual no está dentro del espectro visible. Se realiza el plan de vuelo con la app de Pix4D la cual descarga un mapa base y sobre éste se planifican las líneas de vuelo que se deben hacer para poder cubrir la zona de interés.



*Figura 24. Phantom 4 Advanced, drone usado en el vuelo 2.*



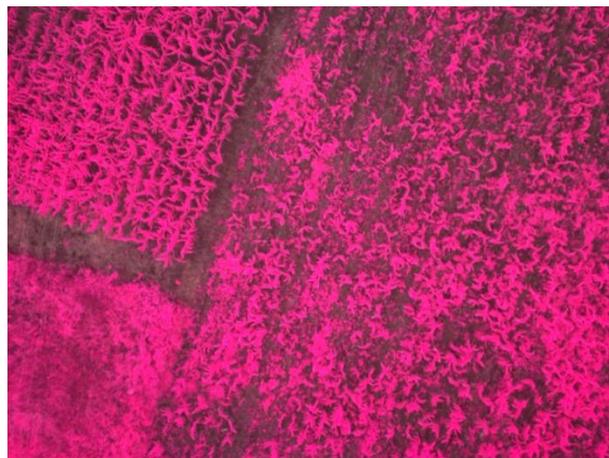
*Figura 25. Plan de vuelo hecho a través de la app de Pix4D.*



*Figura 26. Cámara multispectral Tetracam ADC Micro adaptada al dron.*



*Figura 27. Tapete para calibrar las imágenes tomadas con la cámara multispectral.*



*Figura 28. Imagen capturada por la cámara multispectral adaptada al dron en el vuelo 2.*



*Figura 29. Imagen capturada por el dron en el vuelo 2.*

- **Vuelo 3:** Este vuelo es realizado el 10 Marzo 2018 con los 2 drones que posee la Universidad de Manizales, un Mavic Pro y un Inspire One, ambos drones poseen cámaras de alta resolución lo cual permite tener una mejor resolución del cultivo de maíz. Al igual que en el vuelo 2, para este se realiza un plan de vuelo ayudado con la app DJI GO en el que se descarga un mapa base para determinar la zona a sobrevolar y poder ejecutar la misión.



*Figura 30. Mavic Pro, dron usado en el vuelo 3.*



*Figura 31. Inspire One, dron usado en el vuelo 3.*



*Figura 32. Desarrollo del plan de vuelo sobre el cultivo de maíz.*



*Figura 33. Toma de muestras del campo para su posterior análisis.*



*Figura 34. Imagen capturada por la cámara del Mavic Pro en el vuelo 3.*



*Figura 35. Imagen capturada por la cámara del Inspire One en el vuelo 3.*

ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA CAMARA DE CADA DRONE			
Camara	Resolución	Modelo	Distancia Focal (mm)
Phantom 3 Standard	4000x2250	FC300C	4.0
Phantom 4 Advanced	4864x3648	FC6310	9.0
TetracamADC-Micro	2048x1536	SERIAL:230502	8.4
Inspire One	4864x3648	FC6310	8.8
Mavic Pro	4000x3000	FC220	4.73

*Tabla 1. Especificaciones Técnicas Cámaras Drone*

### 5.2.2 Fase 2. Procesamiento de las imágenes.

- **Actividad 1.** Se descargan las imágenes capturadas por cada uno de los drones implicados en los proyectos para luego ser procesadas en los software correspondientes. Se eliminan las fotos que no tienen la ubicación correcta o que no sirven para crear el ortomosaicos, es decir se hace un filtro de las imágenes para procesar las buenas.
- **Actividad 2.** Se crean los ortomosaicos a través de los diferentes software y aplicaciones habilitados para esto, el proceso en los 3 software usados a nivel general es el mismo, ya que debemos de usar las imágenes tomadas con los drones y cargar al programa para que este pueda empezar a unir las con puntos semejantes, para esto cada imagen tiene sus coordenadas (latitud, longitud y altitud) es por esto que el drone al momento del vuelo requiere estar conectado con un mínimo de satélites que ayuden a que su sistema de GPS funcione de la forma correcta. Los software y app usados en el proyecto fueron:
  - **Agisoft PhotoScan:** es un producto de software independiente que realiza procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales en 3D para su uso en aplicaciones GIS, documentación de patrimonio cultural y producción de efectos visuales, así como para mediciones indirectas de objetos de diversas escalas. La técnica de fotogrametría digital implementada inteligentemente y aplicada con métodos de visión por computadora da como resultado un sistema inteligente de procesamiento automatizado que, por un lado, puede ser administrado por un recién llegado en el campo de la fotogrametría, sin embargo, por otro lado, tiene mucho que ofrecer a un especialista que puede ajustar el flujo de trabajo a numerosas tareas específicas y diferentes tipos de datos. A lo largo de

varios estudios de casos, PhotoScan demuestra que produce resultados precisos y de calidad. A continuación, algunas de las imágenes procesadas con Agisoft y sus respectivos resultados.

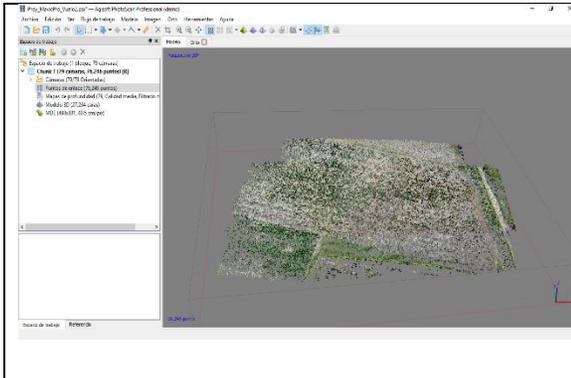


Figura 36. Nube de puntos - Agisoft

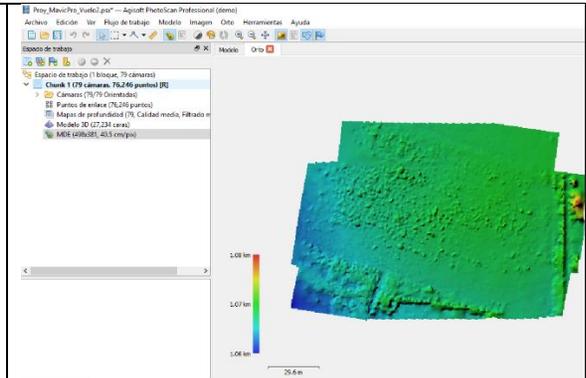


Figura 37. MDE (Modelo Digital de Elevación) - Agisoft

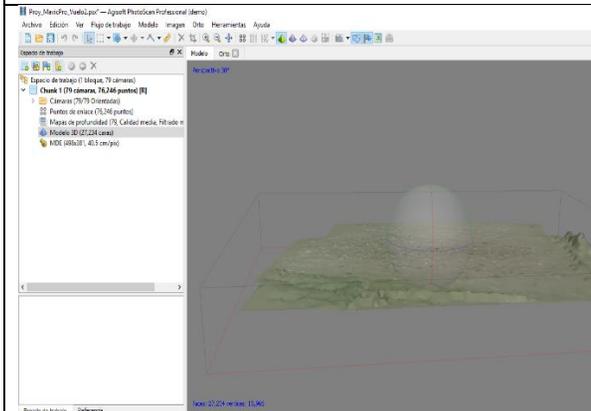


Figura 38. Modelo 3D - Agisoft

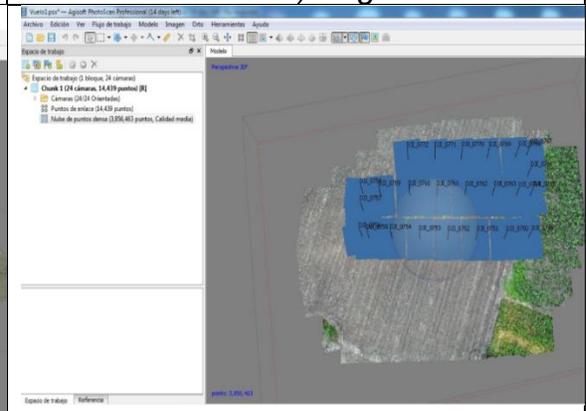


Figura 39. Puntos de enlace - Agisoft

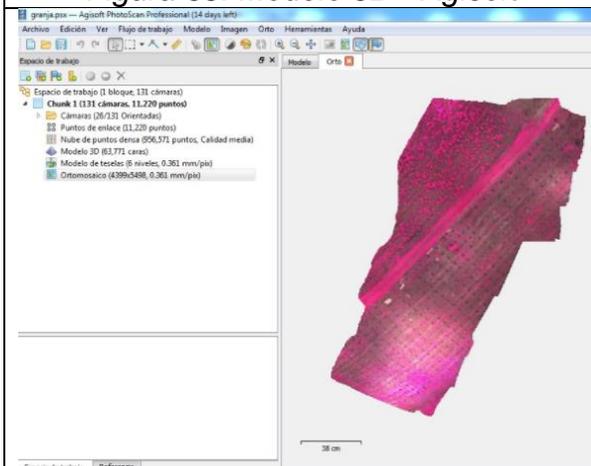


Figura 40. Ejemplo 1 Ortomosaico - Agisoft



Figura 41. Ejemplo 2 Ortomosaico - Agisoft

Nombre del Proyecto hecho con Agisoft	Descripción	Drone Usado	Cámaras (Fotos)	Puntos	Sistema de coordenadas	Camara Orientar Fotos	Puntos de enlace - Crear nube de puntos densa	Nube de puntos densa - Crear Malla	Modelo 3D - Crear Textura	Modelo de teselas - Crear Modelo Teselas	MDE - Crear Modelo Digital Elevaciones	Ortomosaico - Crear Ortomosaico	PC Usado	Observaciones
Vuelo1	Granja Montelindo	InspireOne	24	14439	WGS84 (EPSG:4326)	OK	OK	NO	NO	NO	NO	NO	HP - 3GB RAM	Memoria Llena
granja	Granja Montelindo	TetracamADC-Micro	131	11220	Local Coordinates (m)	OK	OK	OK	OK	NO	OK	OK	HP - 3GB RAM	Solo oriento 26 de las 131 fotos
granja2	Granja Montelindo	TetracamADC-Micro	203	10455	Local Coordinates (m)	OK	OK	NO	NO	NO	NO	NO	HP - 3GB RAM	Solo oriento 33 de las 203 fotos
Proy_MavicPro_Vuelo1	Granja Montelindo	MavicPro	75	64591	WGS84 (EPSG:4326)	OK	OK	NO	OK	NO	NO	OK	HP - 3GB RAM	No permitió realizar todas las mediciones
Proy_MavicPro_Vuelo2	Granja Montelindo	MavicPro	79	76246	WGS84 (EPSG:4326)	OK	OK	OK	NO	NO	OK	NO	HP - 3GB RAM	Memoria Llena

Tabla 2. Status de los proyectos realizados con Agisoft.

- **Pix4D:** es su solución para convertir miles de imágenes aéreas y oblicuas tomadas por UAV o avión, en ortomosaicos 2D georeferenciados, modelos 3D de superficie y nubes de puntos. Con su avanzada técnica de aerotriangulación automática basada únicamente en el contenido de la imagen y sus técnicas de optimización únicas, el software Pix4D permite a cualquier UAV o cámara fotográfica convertirse en una herramienta profesional de medición cartográfica y topográfica.

Pix4D ofrece una precisión 3D centimétrica, cuenta con un flujo de trabajo completamente automático y puede ser utilizado por cualquier persona ya que es muy intuitivo y fácil de manejar. Usted puede evaluar, corregir y mejorar los proyectos directamente en el software utilizando el editor mosaicos y rayCloud. Los resultados obtenidos son fácilmente exportables a cualquier GIS, CAD o software de fotogrametría tradicional.

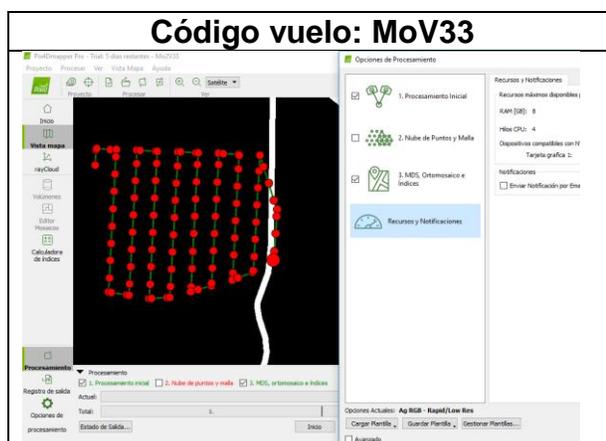


Figura 42. MoV33 - Vista del Mapa y Opciones de Procesamiento

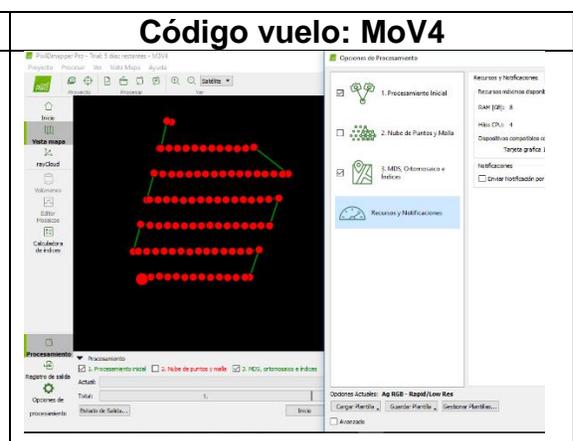


Figura 43. MoV4 - Vista del Mapa y Opciones de Procesamiento

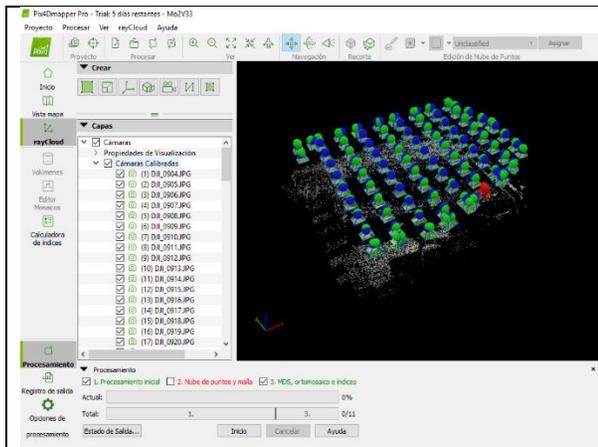


Figura 44. MoV33 - rayCloud

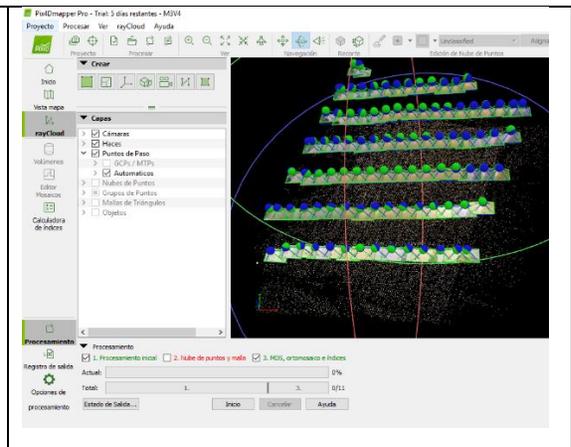


Figura 45. MoV4 - rayCloud

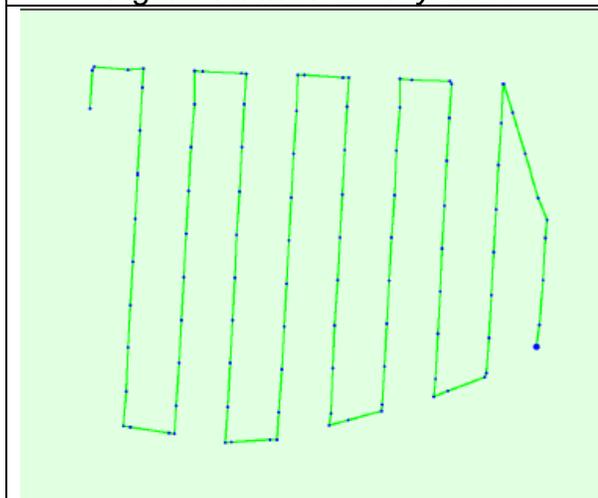


Figura 46. MoV33 - Plan de vuelo para este proyecto.

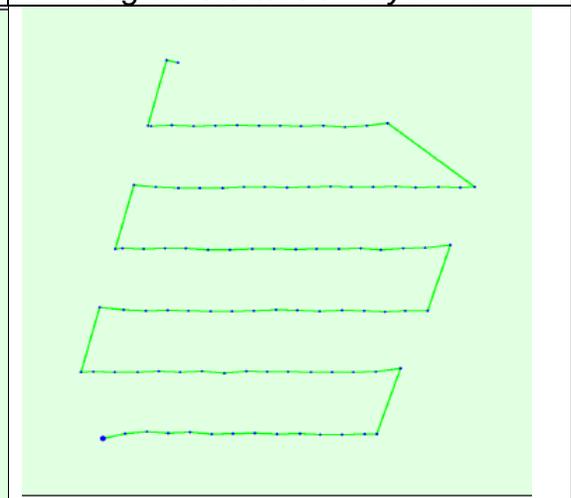


Figura 47. MoV4 - Plan de vuelo para este proyecto.

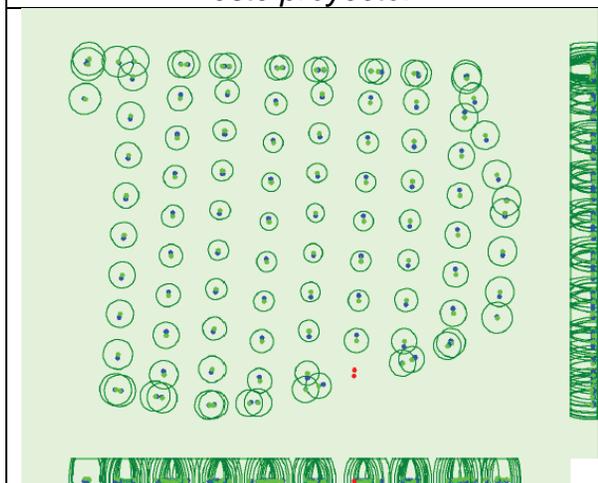


Figura 48. MoV33 - Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

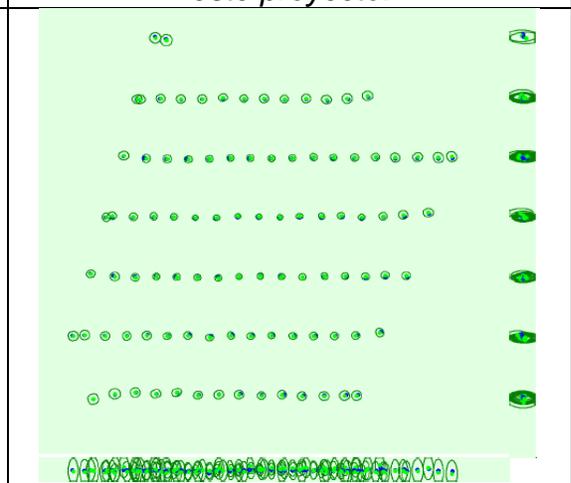


Figura 49. MoV4 - Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

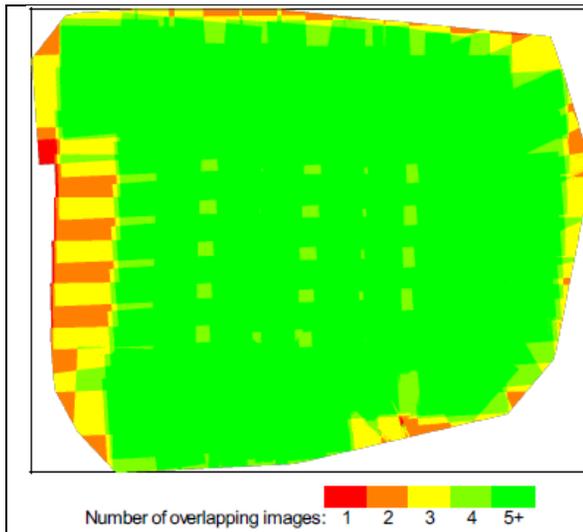


Figura 50. MoV33 - Overlap

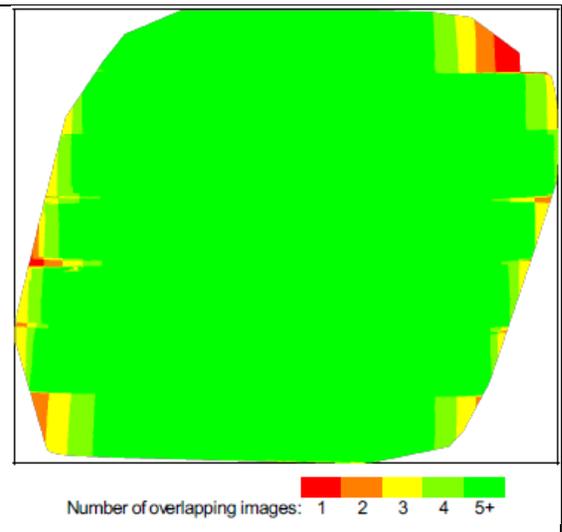


Figura 51. MoV4 - Overlap

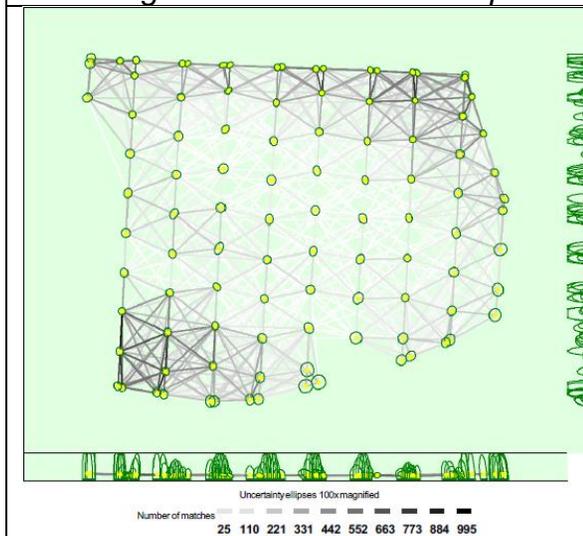


Figura 52. MoV33 - 2D Keypoint Matches

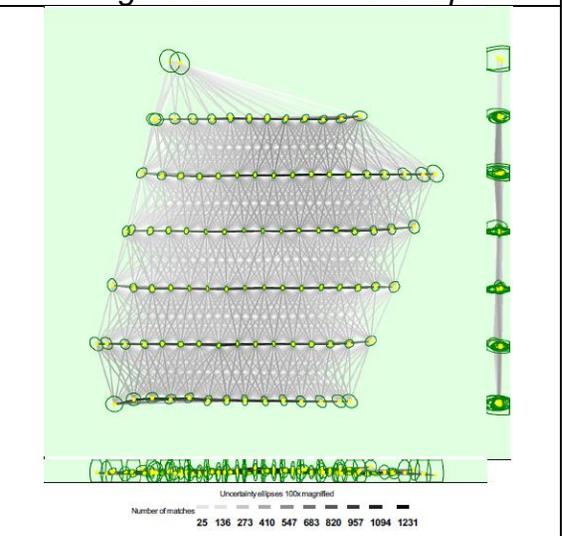
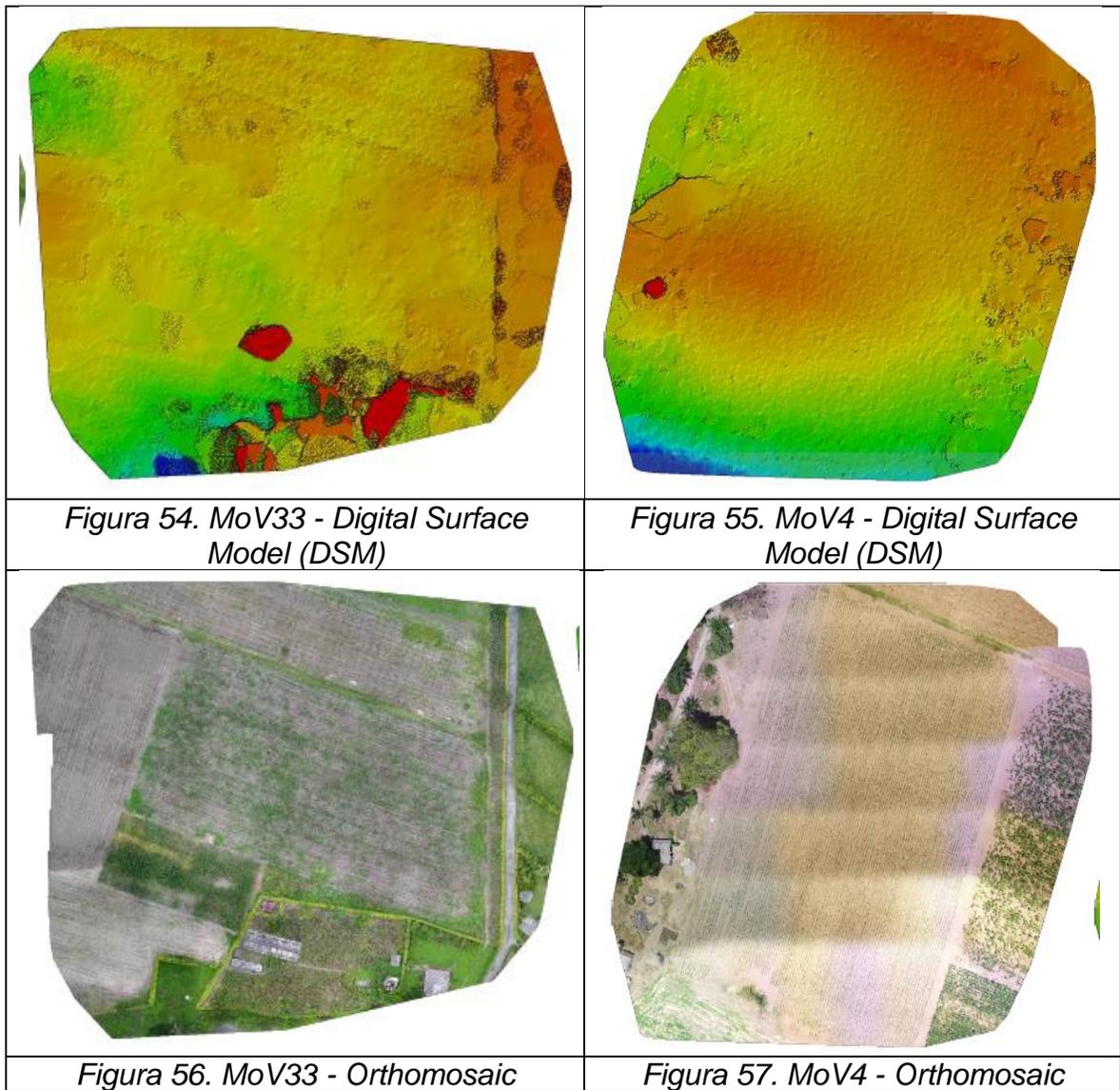


Figura 53. MoV4 - 2D Keypoint Matches



- **DroneDeploy:** es actualmente la solución más rápida y sencilla para crear mapas aéreos y modelos 3d. En resumen: se dedican a dos cosas, por un lado puedes realizar la planificación del vuelo con su aplicación y, por otro, su software procesa las imágenes obtenidas creando el mapa o modelo que desees. Al unir estas dos tareas, se ahorra mucho tiempo de procedimientos y procesado. Su software y procesamiento es en sus servidores, por lo que solo tienes que subir las imágenes conseguidas y en breve tendrás los resultados. La compañía se ha asociado con los principales fabricantes de drones, como DJI , para ofrecer su software a los usuarios en una variedad de industrias, incluyendo la agricultura, minería, construcción y muchas otras áreas.

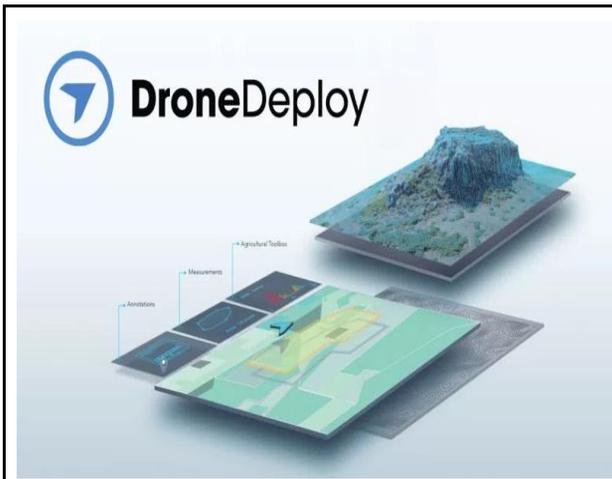


Figura 58. App DroneDeploy

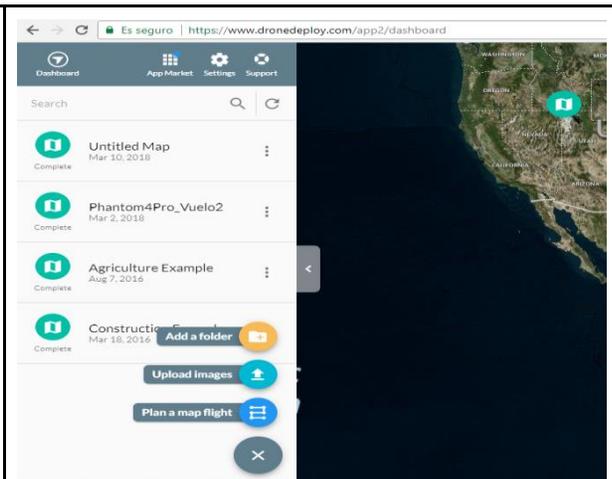


Figura 59. Cargue de imágenes.

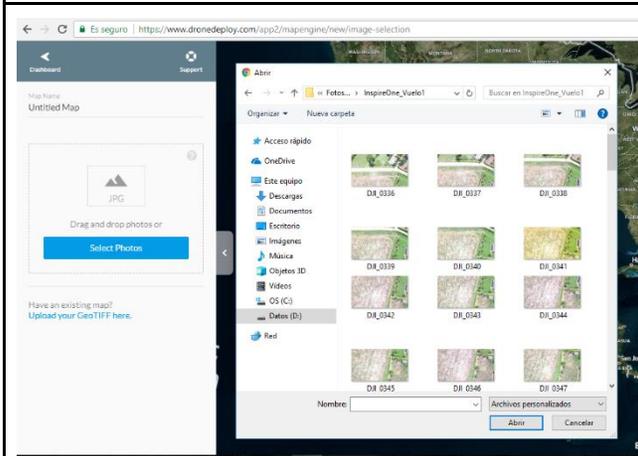


Figura 60. Selección de imágenes a procesar.

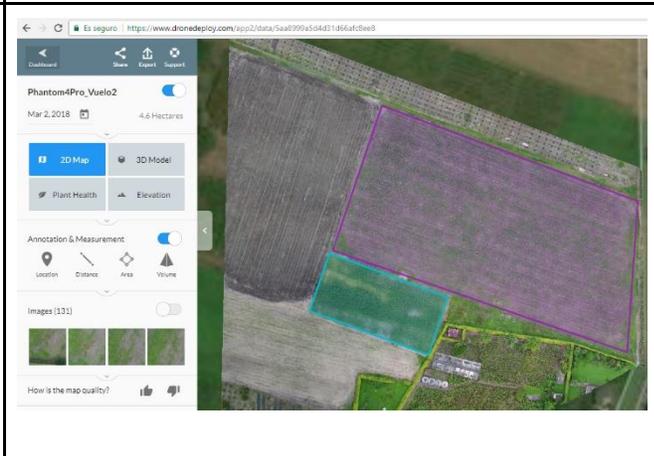
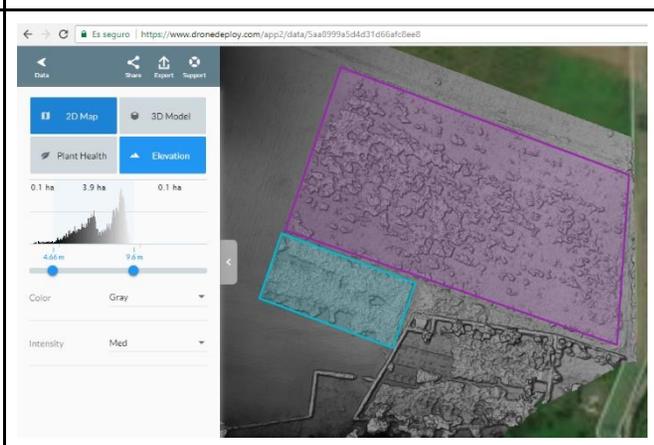
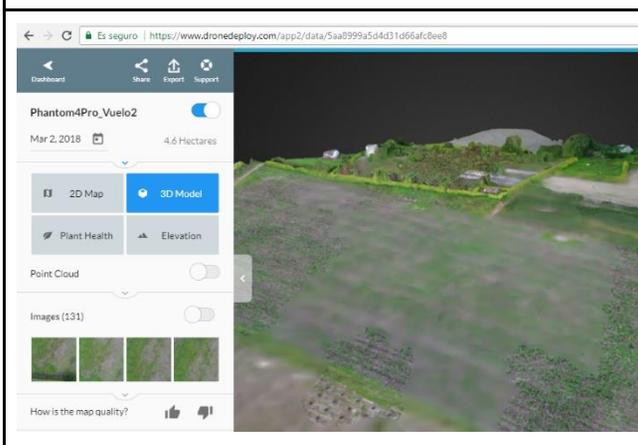
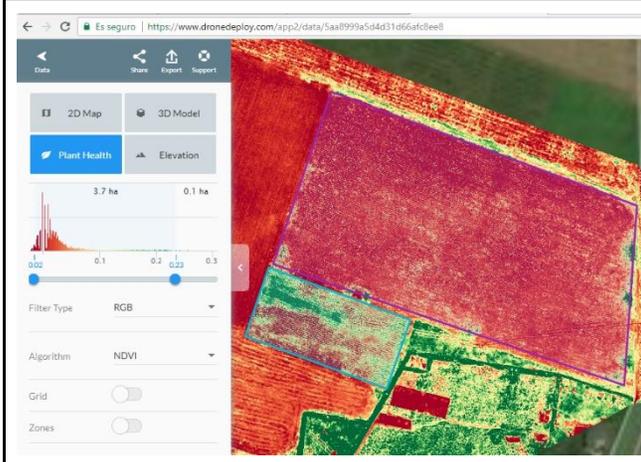


Figura 61. Mapa 2D



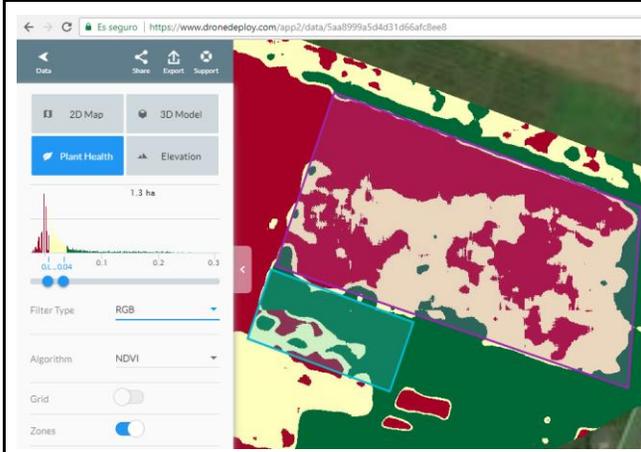
**Figura 62. Modelo 3D**



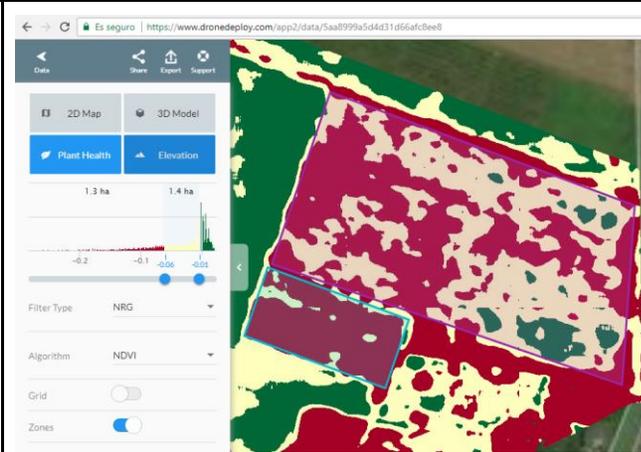
**Figura 63. Modelo de Elevación**



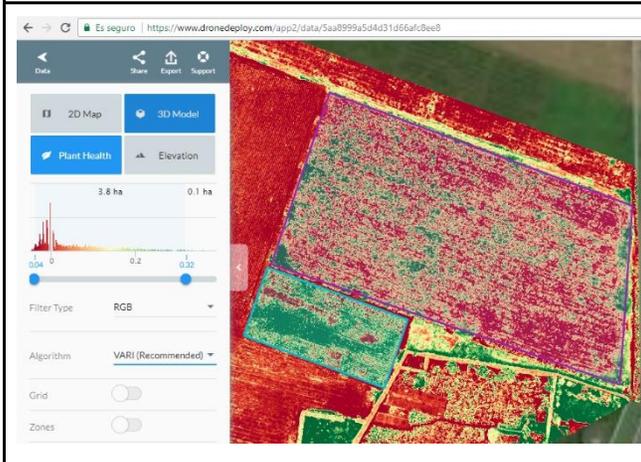
**Figura 64. Sanidad Vegetal – RGB - NDVI**



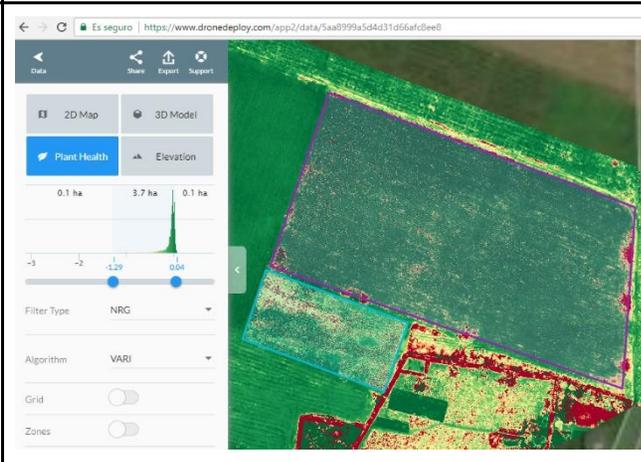
**Figura 65. Sanidad Vegetal – NRG - NDVI**

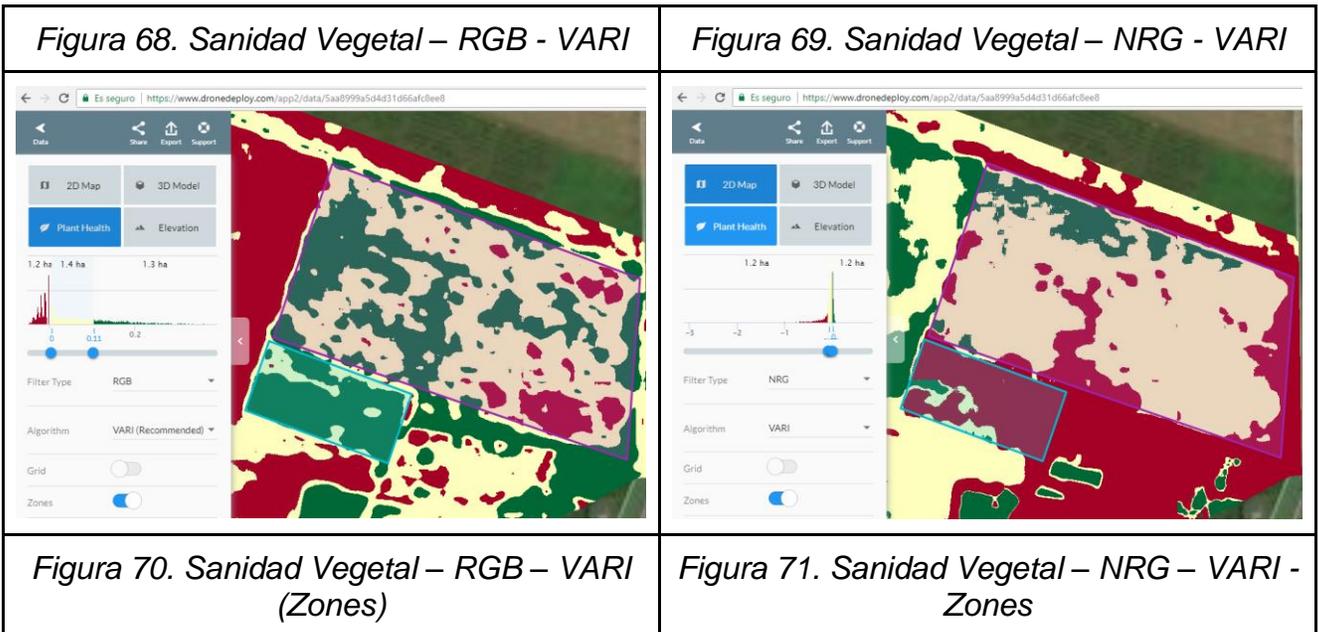


**Figura 66. Sanidad Vegetal – RGB – NDVI (Zones)**



**Figura 67. Sanidad Vegetal – NRG – NDVI - Zones**



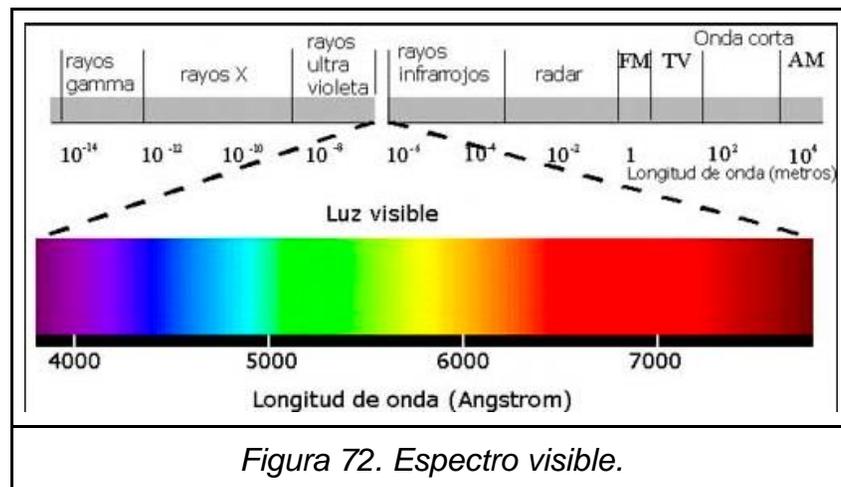


MOMENTOS	Total Vuelos	Vuelos	Misiones	Altitud (1027 m)	Altura (m)	SW Plan Vuelo	Ortomosaico	Software	Nombre Archivo	Detalles
MOMENTO 1	Julian Castaño - Particular (Phantom 3 Standard)	1	M1	1.084	57	DJI GO	NO SIRVE	Agisoft	Mo1V1	No hubo traslape en las imágenes
		2	M2	1.123	96	DJI GO	NO SIRVE	Agisoft	Mo1V2	No hubo traslape en las imágenes
MOMENTO 2	Oscar - U Católica (Phantom 4 Advanced)	1 - 1Espectral	M3	1.056	29	PIX4D	NO	Pix4D	M2V1Esp	Se intentó hacerlo con las imágenes multispectrales pero no funcionó.
		2 - 2Espectral	M4	1.069	42	PIX4D	SI	DroneDeploy - Pix4D	prueba1	Tambien tenemos el Mapa de Elevación + Mapa NDVI.    3D Maps - Rapid/Low Res
		3 - 3Espectral	M5	1.076	49	PIX4D	SI	Pix4D	Mo2V33	Ag RGB - Rapid/Low Res
		4 - 4Espectral	M6	1.078	51	PIX4D	SI	Pix4D	Mo2V4	3D Maps -> Es el .tiff más pesado (433 MB)
MOMENTO 3	Jhonathan - U Manizales (Mavic Pro)	1	M7	1.126	99	DJI GO 4	SI	Agisoft - Pix4D	M3V1	El de Agisoft OK    Pero el de Pix4D no salió.
		2	M8	1.114	87	DJI GO 4				
	Jhonathan - U Manizales (Inspire One)	1 o 3	M9	1.096	69	DJI GO 4	SI	Pix4D	M3V3	3D Maps - Rapid/Low Res
		2 o 4	M10	1.090	63	DJI GO 4	SI	Pix4D	M3V4	Ag RGB - Rapid/Low Res

**Tabla 3. Control de vuelos y Ortomosaicos creados.**

**5.2.3 Fase 3. Análisis de la información.** El análisis de la información se ha hecho a través de los software Qgis, ArcGIS y la app DroneDeploy los cuales han permitido encontrar detalles que son de gran utilidad para el agricultor y le sirve para la toma de decisiones.

- **Actividad 1.** Las imágenes panorámicas tomadas a través de los drones están dentro del espectro visible, con estas imágenes podemos identificar las bandas del espectro electromagnético como lo muestra la figura:



**Figura 72. Espectro visible:** Se denomina espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible; un típico ojo humano responderá a longitudes de onda desde 400 a 700 nm aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda. (Hernandez, 2015)

Utilizando estas imágenes podemos aplicar un índice de vegetación llamado NDVI (índice de vegetación Normalizado), este índice es calculado a partir de los valores de reflectancia de distintos valores de ondas que son particularmente sensible a la vegetación, utilizando este índice tiene como fundamento el particular rendimiento radiométrico de la banda, en principio se utilizaron las bandas RGB, reemplazando en la fórmula original del NDVI el NIR por el ROJO y el ROJO por el VERDE.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{ROJO} - \text{VERDE}}{\text{ROJO} + \text{VERDE}}$$

El NDVI fue aplicado a través de un álgebra de mapas que se encuentra en las herramientas de Arcgis, obteniendo como resultado una imagen que nos indica una buena cubierta vegetal en buen estado de salud, tiene una firma espectral particular, el rango obtenido en los valores es entre -1 y 1, siendo el -1 o cercanos a este el indicador de aguanieve o escasez de vegetación y 1 o cercanos a este la presencia de vegetación sana. El NDVI nos da un indicativo claro de las zonas que requieren atención.

- **Actividad 2.** En el cálculo del índice VARI (Resistencia Atmosférica en Invisible). Este índice está diseñado para resaltar la vegetación en la parte visible del espectro de luz. También mitiga las diferencias en la iluminación y los efectos atmosféricos.

Resultando ideal para la mayoría de las imágenes tomadas con drones. este índice se calcula con la siguiente fórmula.

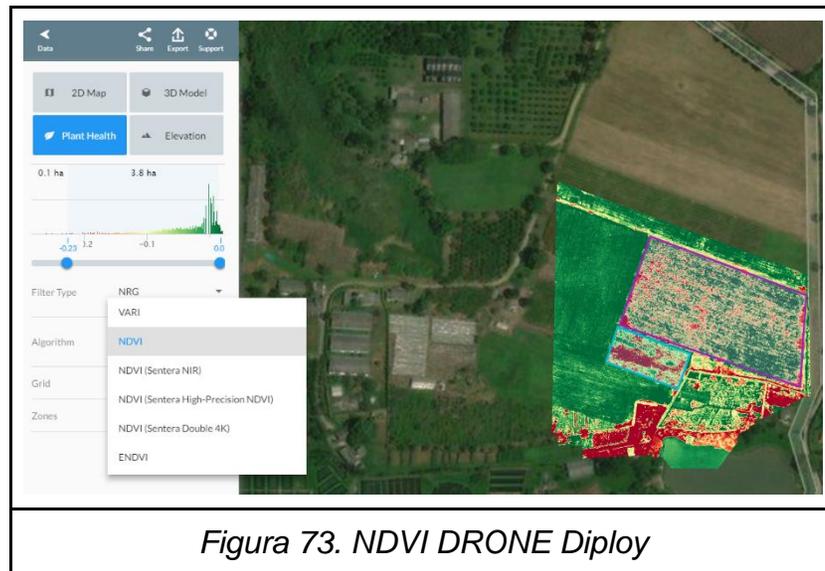
Desarrollaron un índice de cobertura vegetal utilizando el espacio de datos verde y rojo. Ese índice era similar en forma al índice de vegetación perpendicular de Richardson y Weigand (1977), aunque Pickup et al. (1993) usaron solo bandas en el rango visible del espectro El índice se calculó identificando la línea del suelo y determinando la distancia perpendicular de cada píxel desde esa línea. La distancia fue entonces escalada utilizando distancias calculadas para puntos (o píxeles) que contienen 100% de cobertura vegetal. Kim et al. (1994) utilizaron la radiometría de alta resolución espectral para las estimaciones de teledetección de radiación fotosintéticamente activa absorbida en doseles de vegetación en el

presencia de material de fondo no fotosintetizado como el suelo y la hojarasca. Ellos desarrollaron el índice de absorción de clorofila que utilizó tres espectrales bandas a 550 nm, 670 nm y 700 nm. Para estimar VF, Gitelson et al. (2002) sugirieron usando índices visibles atmosféricamente resistentes en las formas

$$\text{VARI} = \frac{\text{GREEN} - \text{RED}}{\text{GREEN} + \text{RED} - \text{BLUE}}$$

De la misma forma que el anterior índice, éste se calcula a través de un álgebra de mapas, cuya herramienta se encuentra en los diferentes software como Arcgis o Qgis.

- **Actividad 3.** Con la app DroneDeploy quisimos utilizar una herramienta diferente del mercado, este software está en línea y es de fácil manejo, para obtener los diferentes índices de vegetación solo basta con cargar las imágenes de interés y al momento de estar cargadas totalmente solo basta con hacer un clic en el índice deseado como lo muestra la imagen:

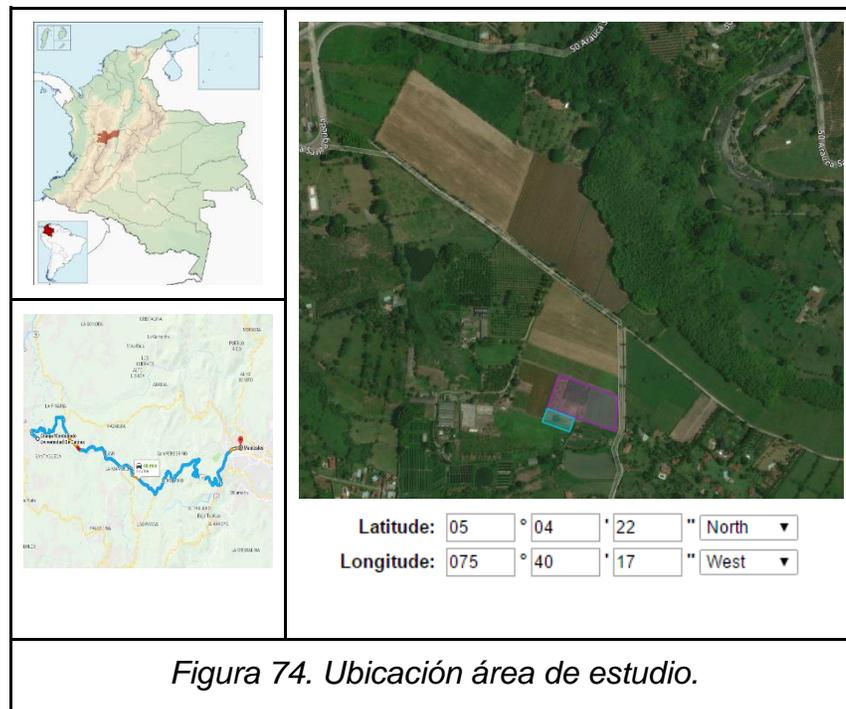


## 6. RESULTADOS

### 6.1 DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

#### 6.1.1 Ubicación del estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en la Granja Montelindo que corresponde al municipio de Palestina Caldas.



Ubicación: a 38 kilómetros desde Manizales, vereda Santaguada, municipio de Palestina.

Condiciones climáticas:

Altura sobre el nivel del mar: 1.010 metros

Temperatura media: 22.8 grados centígrados

Precipitación promedio anual: 2.200 m.m.

Humedad relativa: 76%

Extensión: 64 hectáreas

Topografía y suelos: plana, totalmente mecanizable, suelos y franco de origen volcánico.

Programas agrícolas:

Brevo: investigación y producción comercial

Frutales: investigación y producción en limón tahity, mandarina oneco, maracuyá, naranja tangelo, naranja valencia, papaya, zapotes

Guadua: docencia y explotación comercial

Maíz y soya: investigación y producción comercial

Maquinaria agrícola: venta de servicios en la zona de influencia. Investigación en labranza cero

Plátano: investigación

Promisorios: cultivos y plantas ornamentales. Propagación In Vitro

Rotaciones IX Semestre: investigación en ajonjolí, algodón, frijol, maíz, maní y sorgo.

Programas pecuarios

Avicultura: investigación y producción de huevos

Ganado de carne: ceba de ganado cebú, programa silvopastoril con pasto estrella, leucaena

Piscicultura: investigación, venta de alevinos, pescado gordo, bocachico, cachama dorada.

## **6.1.2 Índices de vegetación**

**6.1.2.1 Construcción del ortomosaico.** Las imágenes obtenidas a través de drones, mediante diferentes tipos de cámaras RGB (Rojo, Green, Blue) y Multiespectrales (NIR, Rojo, Green), obtenemos un mapa de referencia, el cual es elaborado con la ayuda de un software llamado Agisoft y finalmente tenemos el ortomosaico que va hacer nuestro mapa de referencia para aplicar los diferentes índices de vegetación.

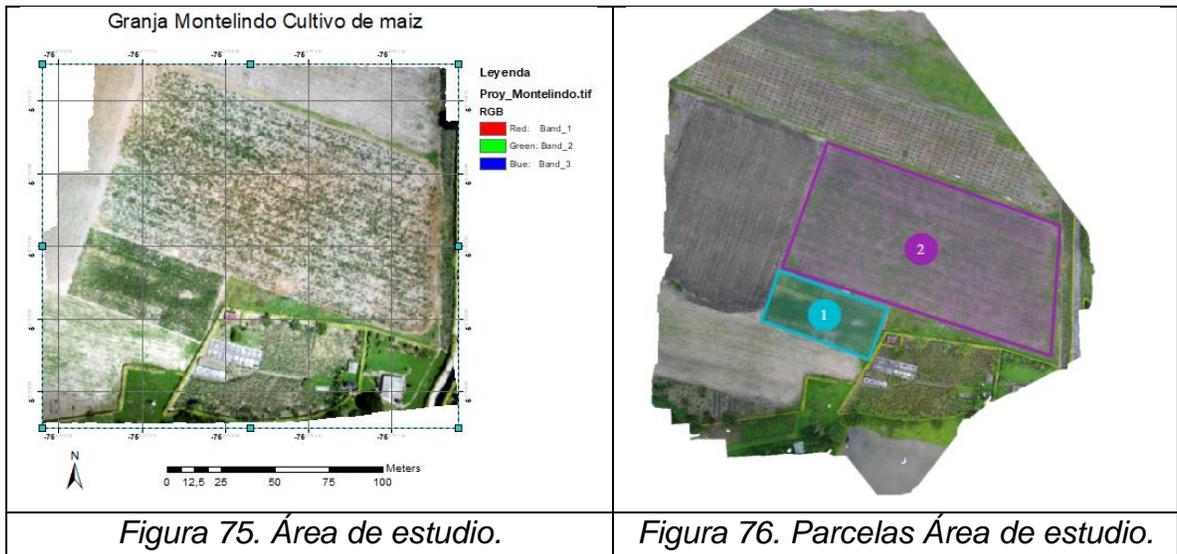


Figura 75. Área de estudio.

Figura 76. Parcelas Área de estudio.

Anotación	Área
Parcela 1	2139.50 m <sup>2</sup>
Parcela 2	12082.74 m <sup>2</sup>

Tabla 4. Área de las Parcelas donde se realizó el estudio.

**6.1.2.2 Índice de Vegetación NDVI multispectral.** Al cargar las imágenes multispectrales en el ArcMap 10.1 las bandas aparecen RGB, por eso se hace necesario aplicar el procedimiento de separación de bandas y una vez individualizadas podemos aplicar las fórmulas requeridas.

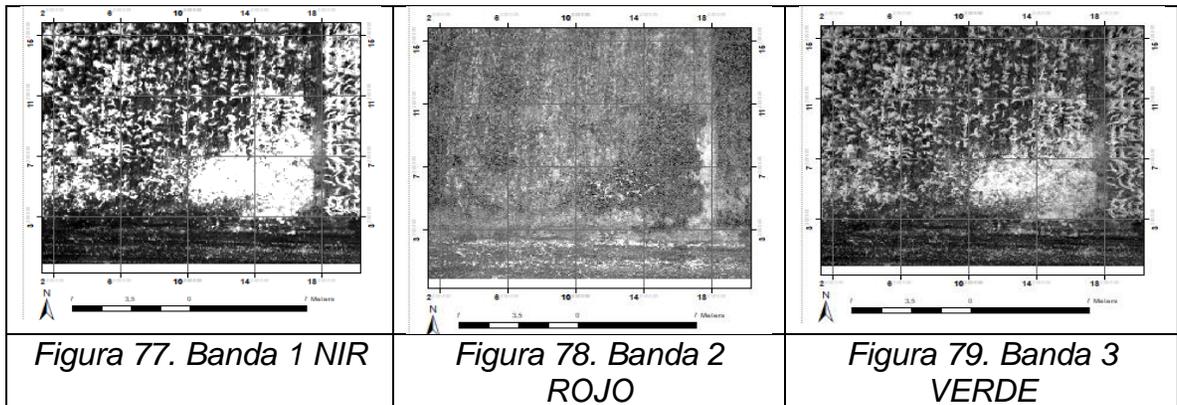


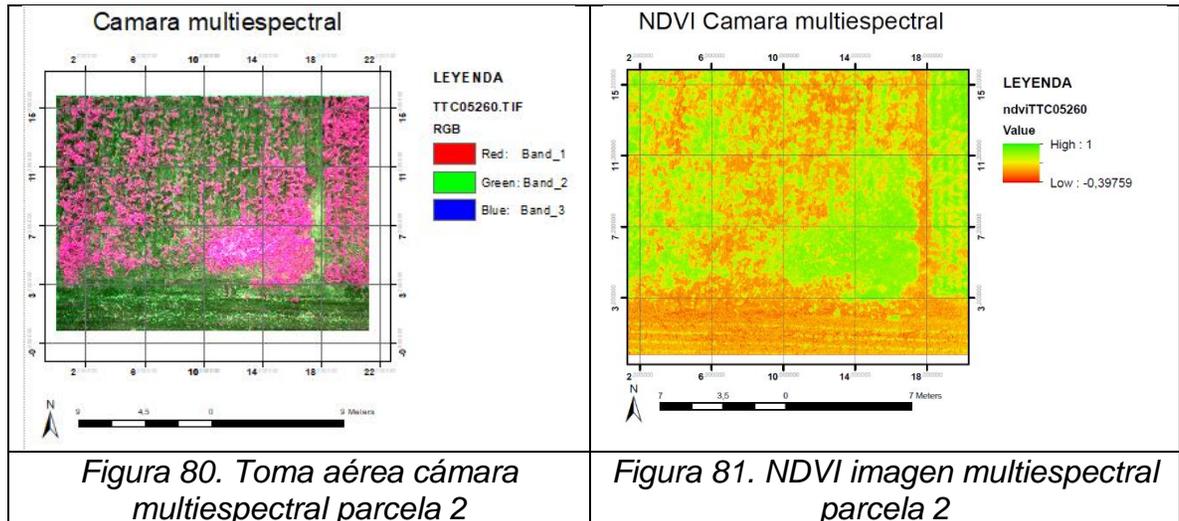
Figura 77. Banda 1 NIR

Figura 78. Banda 2  
ROJO

Figura 79. Banda 3  
VERDE

Este índice es obtenido mediante la aplicación de la fórmula  $NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$  para las imágenes multispectrales.

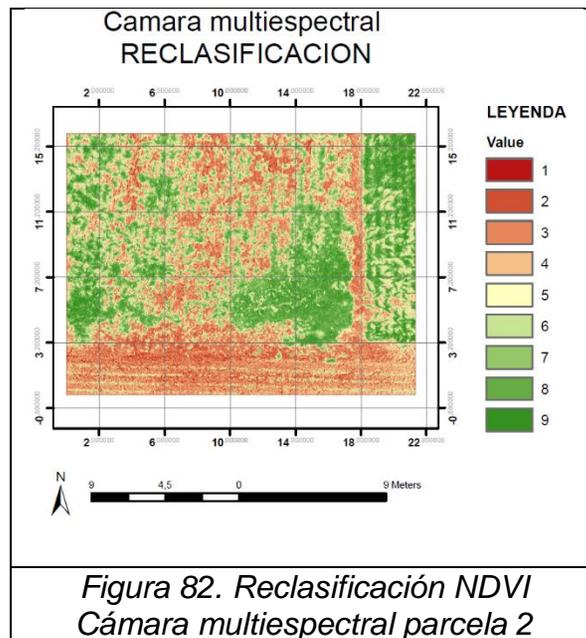
$$NDVI = \frac{NIR - ROJO}{NIR + ROJO}$$



Para aplicar este índice a la imagen se utilizó la herramienta Raster Calculator de ArcMap 10.1.

Podemos observar que al aplicar el NDVI en la imagen multiespectral se resaltan los colores verdes, indicativo de una vegetación sana cuyos valores se aproximan a 1, los valores cercanos a cero (0) y -1 indican presencia de terreno y en algunos casos vegetación con algún tipo de estrés.

Posteriormente se realizó una reclasificación de los valores obtenidos en el NDVI con el propósito de tener una mejor visualización de este proceso y para este paso se utilizó la herramienta Spatial Analyst Tools - Reclassify de ArcMap 10.1.



**6.1.2.3 Índice de Vegetación NDVI RG.** Para aplicar este índice a la imagen se utilizó la herramienta Raster Calculator de ArcMap 10.1.

En este índice se aplicó la misma fórmula que el anterior, con la diferencia que reemplazamos las bandas en la fórmula original dado que en esta imagen no contamos con la banda NIR.  $NDVI = (RED - GREEN) / (RED + GREEN)$ . Este índice fue aplicado a diferentes vuelos, que se realizaron entre el 10 febrero, 3 marzo y 10 marzo de 2018 se realizaron con diferencia de 15 días aproximadamente.

$$NDVI = \frac{ROJO - VERDE}{ROJO + VERDE}$$

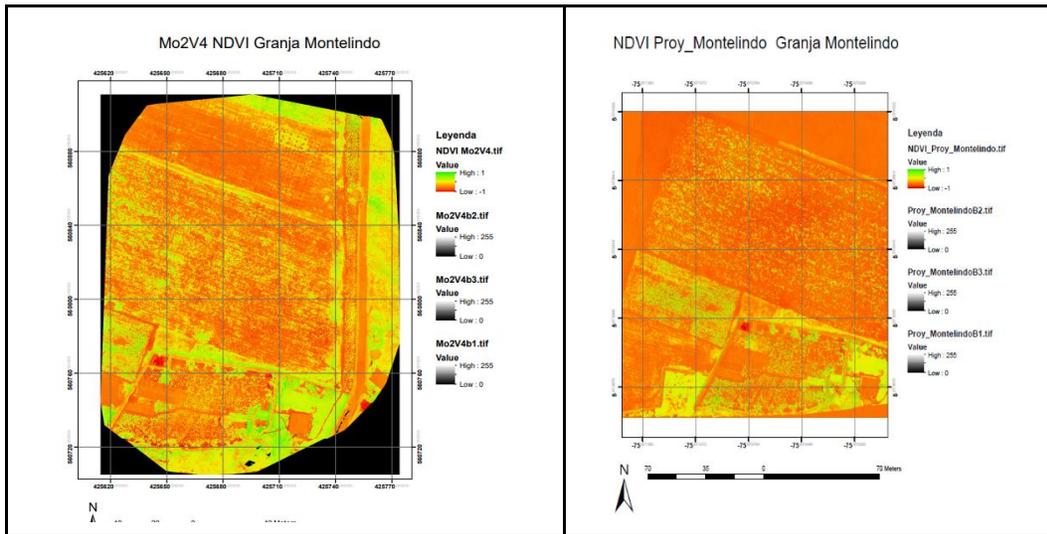


Figura 83. NDVI Phantom 4

Figura 84. NDVI Phantom 3

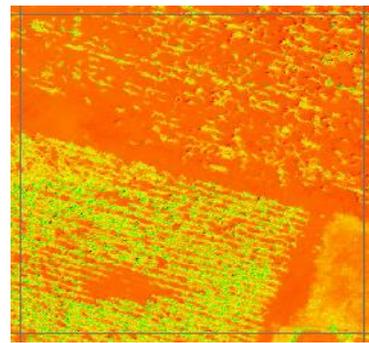
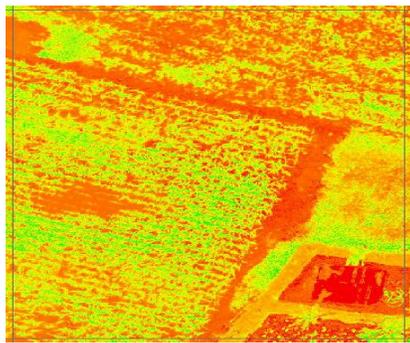
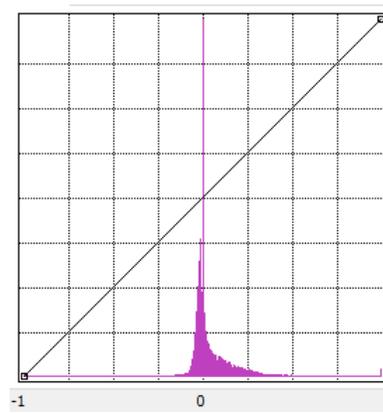
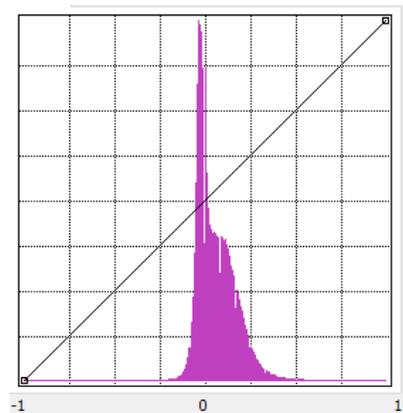


Figura 85. Zoom NDVI Phantom 4

Figura 86. Zoom NDVI Phantom 3



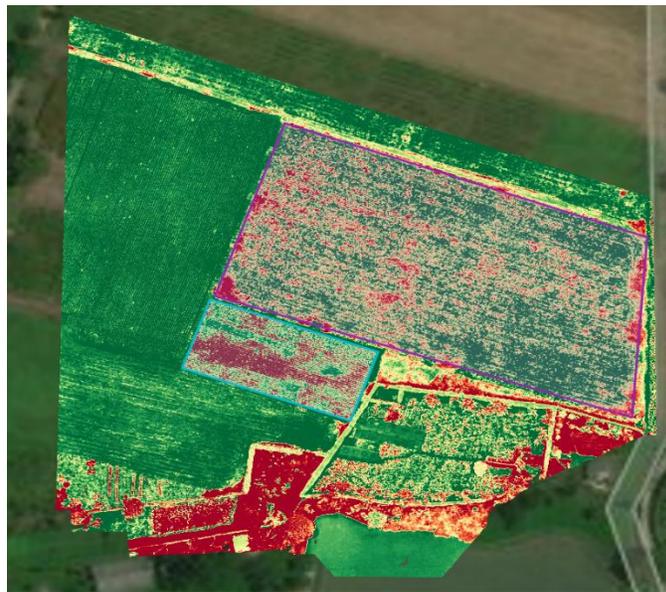
*Figura 87. Histograma NDVI  
Phantom 4*

*Figura 88. Histograma NDVI  
Phantom 3*

Mediante la aplicación de este índice podemos observar en la imagen una evolución significativa en el estado fenológico de la planta de maíz, los pixeles de color verde nos muestran mayor cantidad en la imagen de la izquierda, siendo este la tomada más recientemente, esto lo podemos confirmar visualmente con el histograma ver Figura 83.

**6.1.2.4 Índice de Vegetación NDVI – DroneDeploy.** Para el índice de vegetación Normalizada NDVI en el software DroneDeploy las cámaras compatibles con DroneDeploy capturan tres bandas de luz. Los mapas de salud vegetal demuestran la salud relativa de la vegetación dentro del mapa comparando el valor de cada banda.

Una vegetación más saludable refleja más de ciertos tipos de luz que la vegetación no saludable. Su mapa de DroneDeploy Plant Health crea una escala para resaltar las diferencias dentro de su área de interés.



*Figura 89. NDVI DroneDeploy*

Podemos observar como el software DroneDeploy resalta de color rojo las zonas con mayor presencia vegetal en la zona de estudio y podemos concluir que marca unas zonas con valores mayores en la zona norte que es totalmente

contraria a lo que indica el NDVI RG. Además este índice NDVI DroneDeploy, muestra una distribución bastante homogénea de la vigorosidad.

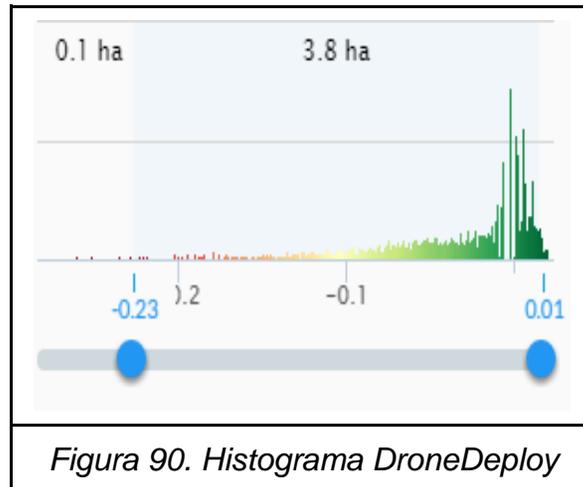


Figura 90. Histograma DroneDeploy

El software DroneDeploy no enseña una visual muy interesante del histograma, allí podemos observar cómo se comporta el NDVI de forma gráfica.

**6.1.2.5 Índice de Vegetación VARI RG.** Este índice es funcional para detectar la mayor facilidad la vegetación vigorosa usando solo el espectro de la luz visible, es decir, solo necesitamos las bandas RED, GREEN y BLUE, con este índice se modera la falta de iluminación, es ideal para las imágenes capturadas con los drones.

Para aplicar este índice a la imagen se utilizó la herramienta Raster Calculator de ArcMap 10.1. Utilizamos las siguiente fórmula:  $VARI = (GREEN - RED)/(GREEN + RED - BLUE)$ .

$$VARI = \frac{GREEN - RED}{GREEN + RED - BLUE}$$

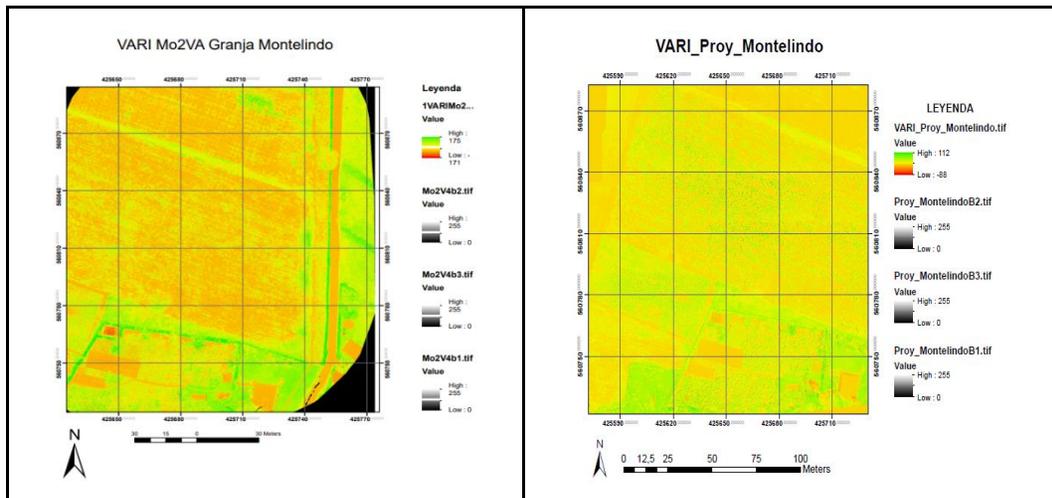


Figura 91. VARI Phantom 4

Figura 92. VARI Phantom 3

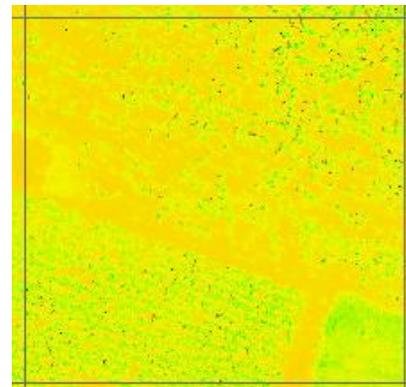
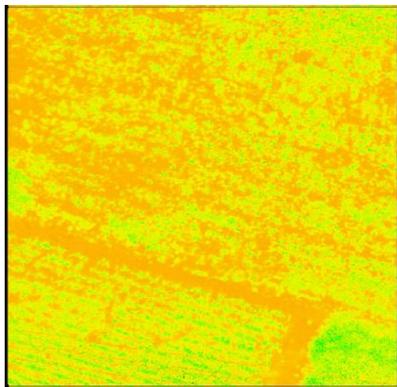


Figura 93. Zoom VARI Phantom 4

Figura 94. Zoom VARI Phantom 3

En la imagen se observa como la vegetación vigorosa es resaltada en color verde, mostrándonos con claridad y que sectores del terreno están cubiertas por las plantas de maíz y los demás sectores que carecen de la misma.

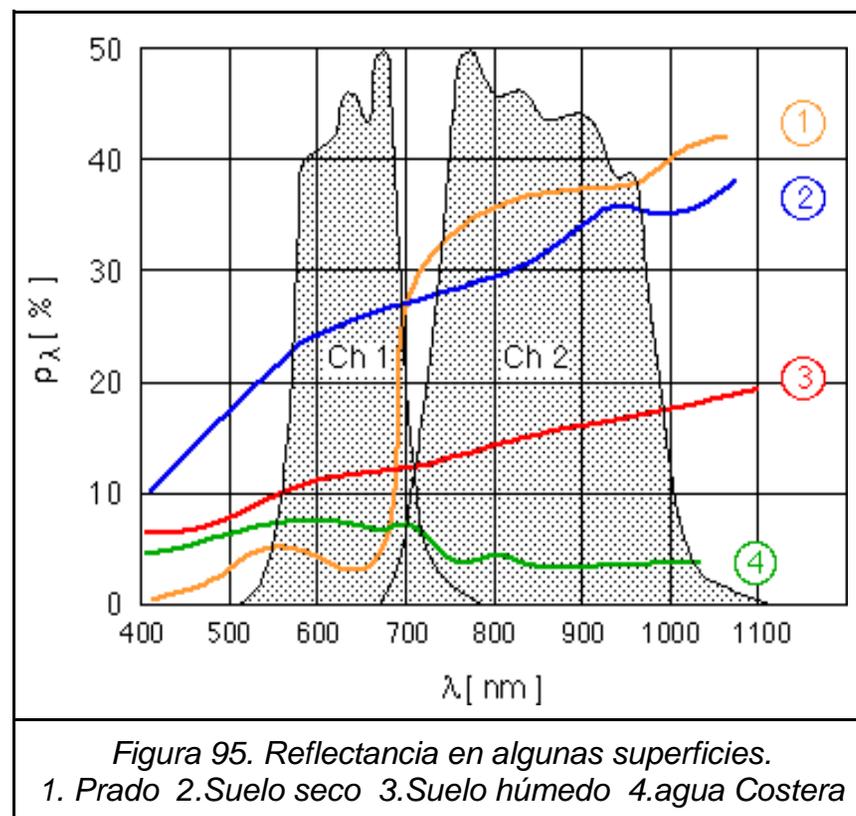
Podemos concluir entonces que una vez calculado los diferentes índices los valores de cada zona varía un muy poco porcentaje para el RG, pero con la imagen multiespectral obtenemos valores más precisos y significativos.

## 6.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos son a partir de dos índices de vegetación NDVI, VARI y desarrollados en tres escenarios distintos, imágenes multiespectral, imágenes RG y con la aplicación DroneDeploy, estos tres últimos se analizaron para igual número de vuelos.

Cada escenario fue analizado individualmente con la rigurosidad que las herramientas empleadas no lo permitieron, consideramos que los resultados fueron coherentes y muy de acuerdo con los objetivos inicialmente trazados; la captura de imagen con cámaras multispectrales y RGB llevaron a feliz término, se analizaron los diferentes índices de vegetación llegando a la conclusión que aunque se pueden observar variaciones significativas en el cultivo no es concluyente la determinación de algún problema fenológico del cultivo, pues para llegar a esta etapa es necesario contar un equipo interdisciplinario más amplio.

Consideramos que las mejores imágenes para este tipo de análisis son las multispectrales, dado que tiene en sus bandas el infrarrojo cercano que es la región de longitud de onda más corta del espectro infrarrojo, está situada entre la luz visible y el infrarrojo medio y la plantas presenta una baja reflectancia entre las longitudes de onda cercanas a los 680 nm, la NIR está entre 800 nm y 2.500 nm aproximadamente y su reflectancia es mayor.



## 7. CONCLUSIONES

En las conclusiones estaremos dando algunos puntos importantes que hemos obtenido en el desarrollo de esta investigación, está pretendiendo dar respuesta a los objetivos inicialmente planteados

- Cuando el cultivo está recién sembrado no es mucho lo que podamos hacer ya que las imágenes que toma el dron muestran mayormente suelo.
- La tecnología de los drones con cámaras multiespectrales avanza a pasos agigantados y se pueden aprovechar en el aumento de la productividad de los cultivos, reduciendo tiempos y costos considerables.
- Las baterías de los drones son de muy poca vida lo cual condiciona para que se haga un correcto plan de vuelo que cumpla a satisfacción con el requerimiento.
- Para las Universidades involucradas en este proyecto (U. Manizales, U. de Caldas y U. Católica) lo más importante es la parte académica en la cual se pueda hacer transferencia de información, esto ayudará a todas las partes para acrecentar sus conocimientos en el área, es por esto que los vuelos con los drones de la U. Católica y U. Manizales no tuvieron costo alguno.
- En la ciudad de Manizales no hay empresas ni grupos de personas dedicadas a esta actividad de la agricultura de precisión.
- Para la toma de imágenes multiespectrales y construcción de ortomosaicos no encontramos personal en la Manizales, el conocimiento está por explotar en nuestra región.
- El nicho de mercado para la Agricultura de Precisión en nuestra región está empezando, por ende, es una gran oportunidad para desarrollarse profesionalmente en este campo.
- Los índices de vegetación que se realizaron en esta investigación tienen mucha semejanza, excepto con las cámaras multiespectrales.
- Está claro que, para obtener datos de vigorosidad vegetativa, debemos trabajar con la NIR, no aportando excesiva información el trabajar solo con la banda roja o verde. Además, las combinaciones de la banda del rojo y la del verde entre sí no aportan ningún tipo de información que nos sirva para determinar el estado vegetativo de los cultivos.

## **8. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que el punto final del vuelo sea el más cercano posible al piloto para que en caso de alguna emergencia pueda alcanzar el dron e o por lo menos ver donde cae.
- Se recomienda cuando se hace un trabajo en campo en tener dos baterías para el dron e y adicional a eso, después de hacer la toma de las imágenes revisarlas ya que en ocasiones pueden no haber salido, entonces toca hacer un nuevo vuelo.
- Se recomienda que sea una sola persona que vuele el dron e ya que estos dispositivos tienen pólizas y seguros a la hora de salir con ellos; y estos solo serán efectivos siempre y cuando el piloto certificado haya sido quien maneja ba en ese momento el dron e.
- Asegurar que las imágenes que tome la cámara externa (en nuestro caso la multispectral) que tenga adaptada al dron e queden georreferenciadas ya que de no quedar así, se hace muy difícil su procesamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

- aerial-insights*. (s.f.). Obtenido de <http://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>
- aprendizaje, A. d. (Noviembre de 2016). *www.researchgate.net*. Obtenido de [www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/248481010\\_Remote\\_sensing\\_applications\\_for\\_precision\\_agriculture\\_A\\_learning\\_community\\_approach](http://www.researchgate.net/publication/248481010_Remote_sensing_applications_for_precision_agriculture_A_learning_community_approach)
- Aravena2, P. S. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de geografía Norte Grande*, 43. Obtenido de [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022009000200005&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022009000200005&script=sci_arttext)
- Castaña Villada, J. A., Grajales Duque, J. D., & Echeverri Guzmán, C. R. (2016). *ridum.umanizales.edu.co*. Obtenido de [ridum.umanizales.edu.co: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/3022](http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/handle/6789/3022)
- Colombia, A. C. (27 de Julio de 2015). *Aerocivil*. Obtenido de Aerocivil: <http://www.aerocivil.gov.co/servicios-a-la-navegacion/sistema-%20de-aeronaves-pilotadas-a-distancia-rpas-drones/reglamentacion>
- Díaz García-Cervigón, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Madrid.
- Díaz García-Cervigón, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Madrid.
- Díaz García-Cervigón, J. J. (JULIO de 2015). *http://eprints.ucm.es*. Obtenido de [http://eprints.ucm.es: http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- Díaz García-Cervigón, J. J. (julio de 2015). *http://eprints.ucm.es*. Obtenido de [http://eprints.ucm.es: http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM\\_Juan\\_Diaz\\_Cervignon.pdf](http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf)
- DJI. (2016). *www.dji.com*. Obtenido de [www.dji.com: https://www.dji.com/phantom-4-pro](http://www.dji.com)
- DRONEDEPLOY. (16 de Junio de 2015). *https://blog.dronedeploy.com*. Obtenido de [https://blog.dronedeploy.com: https://blog.dronedeploy.com/case-study-ce39c9f44e48](https://blog.dronedeploy.com/case-study-ce39c9f44e48)
- drones.com. (30 de 09 de 2016). *drones.com*. Obtenido de [drones.com: https://www.dronesbaratoscaseros.com/dji-mavic-pro-ficha-tecnica-completa-espanol/724/](https://www.dronesbaratoscaseros.com/dji-mavic-pro-ficha-tecnica-completa-espanol/724/)
- ESRI. (2015). *resources.arcgis.com*. Obtenido de [resources.arcgis.com: http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm](http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm)
- EXSIS. (s.f.). *EXSIS Agricultura de Precisión*. Obtenido de <http://agriculturadeprecision.co/agricultura-de-precision/>
- Ganadero, C. (24 de Marzo de 2015). *Contexto Ganadero*. Obtenido de [www.contextoganadero.com: http://www.contextoganadero.com/blog/todo-lo-que-debe-](http://www.contextoganadero.com/blog/todo-lo-que-debe-)

saber-del-ensilaje-para-ganado-bovino

- GISS BEERS. (02 de 10 de 2016). *gisandbeers.com*. Obtenido de *gisandbeers.com*:  
<http://www.gisandbeers.com/agisoft-photoscan-ortomosaicos-para-drones/>
- Hernandez, E. (2015). <http://blogs.fad.unam.mx/>. Obtenido de <http://blogs.fad.unam.mx/>:  
[http://blogs.fad.unam.mx/asignatura/elva\\_hernandez/wp-content/uploads/2013/08/teoria-de-los-colores-luz-y-tipos-de-luz-e.pdf](http://blogs.fad.unam.mx/asignatura/elva_hernandez/wp-content/uploads/2013/08/teoria-de-los-colores-luz-y-tipos-de-luz-e.pdf)
- hydroenv. (03 de 03 de 2016). *hydroenv.com.mx*. Obtenido de *hydroenv.com.mx*:  
[www.hydroenv.com.mx](http://www.hydroenv.com.mx)
- IEEE. (31 de Julio de 2006). *IEEE XPLORE*. Obtenido de IEEE XPLORE:  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/4241375/>
- JAVIER. (05 de 08 de 2015). *todophantom.com*. Obtenido de *todophantom.cin*:  
<https://www.todophantom.com/nuevo-dji-phantom-3-standard-toda-la-informacion/>
- José, D. G.-C. (2015). *Estudios de índices de Vegetación a partir de imágenes*. Obtenido de Madrid
- JUNCO, J. C. (2014). <http://pegasus.javeriana.edu.co>. Obtenido de <http://pegasus.javeriana.edu.co>:  
[http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1430IS05/documentos/Memoria\\_Trabajo\\_de\\_Grado\\_CIS1430IS05.pdf](http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1430IS05/documentos/Memoria_Trabajo_de_Grado_CIS1430IS05.pdf)
- Melo, O. R. (2002). Consideraciones y métodos para la detección de cambios empleando imágenes de satélite en el municipio de Paipa. *Colombia Forestal*, 41-62.
- Melo, O. R. (12 de 2005). *hipotesis.uniandes.edu.co*. Obtenido de *hipotesis.uniandes.edu.co*:  
<http://hipotesis.uniandes.edu.co/hipotesis/images/stories/ed06pdf/Analisis%20geostatistico.pdf>
- Rejado, C. C. (07 de Abil de 2016). *HEMAV*. Obtenido de <https://hemav.com>:  
<https://hemav.com/el-origen-y-la-historia-de-los-drones/>
- TETRACAM. (01 de 01 de 2017). *tetracam.com*. Obtenido de *tetracam.com*:  
[http://www.tetracam.com/Products-ADC\\_Micro.htm](http://www.tetracam.com/Products-ADC_Micro.htm)
- Vargas, J. V. (2008). “Los Sistemas de Información Geográfica. En J. V. Vargas, *Los Sistemas de Información Geográfica* (págs. 357-376). Girona, España.
- wikipedia. (01 de 03 de 2018). *es.wikipedia.org*. Obtenido de *es.wikipedia.org*:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)
- XATADA. (11 de 2014). *xataka.com*. Obtenido de *xataka.com*: <https://www.xataka.com/drones/dji-inspire-1-un-drone-donde-la-camara-4k-es-la-protagonista>