

Universidad de Cundinamarca
Sede Fusagasugá



Facultad de Ciencias Agropecuarias

**IDENTIFICACIÓN DE FOSAS COMUNES MEDIANTE TELEDETECCIÓN, AERONAVES NO
TRIPULADAS (UAV) E ÍNDICES DE VEGETACIÓN**

Linda Giuliana González Gutiérrez

**Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Tecnología en Cartografía
Fusagasugá
2023**

Universidad de Cundinamarca
Sede Fusagasugá



Facultad de Ciencias Agropecuarias

IDENTIFICACIÓN DE FOSAS COMUNES MEDIANTE TELEDETECCIÓN, AERONAVES NO
TRIPULADAS (UAV) E ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Linda Giuliana González Gutiérrez
COD. 190219117

Proyecto de Grado Presentado como Requisito para Optar el Título de “Tecnólogo en
Cartografía”

Director de proyecto
Luis Alberto Herrera Martínez

Universidad de Cundinamarca
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Tecnología en Cartografía
Fusagasugá
2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

LUIS ALBERTO HERRERA
DIRECTOR DEL PROYECTO

JURADO

JURADO

DEDICATORIA

“La educación es un acto de amor, por tanto, un acto de valor. No puede temer el debate, el análisis de la realidad; no puede huir de la discusión creadora, bajo pena de ser una farsa”

~ Paulo Freire ~

Ya que la vida se encuentra cargada de retos, y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella, me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmersa, sino para lo que concierne a la vida y mi futuro, dedicó todo este proceso personal y académico a mis docentes y familia.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a mi tutor de grado Luis Alberto Herrera Martínez, quien se tomó el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos especialmente del campo y de los temas que corresponden a mi profesión, para llevar a cabo la culminación de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. TITULO	10
2. RESUMEN EJECUTIVO	10
3. INTRODUCCIÓN	10
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
5. JUSTIFICACIÓN	11
6. OBJETIVO	12
6.1. OBJETIVO GENERAL	12
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
7. MARCO REFERENCIAL	12
7.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE TELEDETECCIÓN	12
7.2. INTERACCIONES ENTRE LA RADIACIÓN, LOS OBJETOS Y LA ATMÓSFERA- RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA	13
7.3. ÍNDICES DE VEGETACIÓN	14
7.3.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN NDVI:	14
7.3.2. ÍNDICE DE SR:	15
7.3.3. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE RVI:	15
7.3.4. ÍNDICE DE VERDOR O GI:	15
7.3.5. ÍNDICE DE VEGETACIÓN SAVI:	15
7.3.6. INDICE DE VEGETACION GNDVI:	16
7.3.7. INDICE DE VEGETACION GCI:	16
7.4. AERONAVES NO TRIPULADAS (UAV) PARA CARTOGRAFÍA	17
7.5. DRON (RPAS)	18
7.6. PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE	18
7.7. POSTPROCESO DE LAS IMÁGENES	18
7.8. FOSAS COMUNES EN COLOMBIA	18
7.9. MARCO CONCEPTUAL:	19
8. DISEÑO METODOLÓGICO	20
9. DESARROLLO	21
9.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AGROCLIMATOLÓGICAS	21
9.2. PLANEACION DE VUELO	23

Facultad de Ciencias Agropecuarias

9.3. PUNTOS DE CONTROL.....	26
9.4. VUELOS UAV	29
9.5. POSTPROCESO DE LAS IMAGENES.....	30
9.6 INDICES DE VEGETACIÓN	39
10. RESULTADOS.....	42
10.1. PUNTOS DE CONTROL.....	42
10.2. VUELOS UAV Y POSPROCESO DE LAS IMÁGENES	42
10.3 INDICES DE VEGETACIÓN	45
10.4. IDENTIFICACIÓN DE FOSAS COMUNES	46
11. CONCLUSIONES.....	51

TABLA DE ILUSTRACIONES

Figura 1: Elementos de la teledetección. Fuente: (Díaz González et al., 2014).....	13
Figura 2 Índices de vegetación . Fuente: (https://www.agromatica.es/indices-de-vegetacion/) ...	14
Figura 3 Tipos de índices de vegetación. Fuente: (https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/)	16
Figura 4 UAV para cartografía. Fuente: (https://www.locis.es/drones-y-cartografia-de-precision/)	17
Figura 5 Puntos de control. Fuente: (https://www.mapamedia.com/levantamientos-aereos/).....	18
Figura 6 Fosas comunes en Colombia. Fuente: (Ferrándi, 2009).....	19
Figura 7 Diseño metodológico. Fuente (Autor)	21
Figura 8 Ubicación. Fuente: (Autor)	22
Figura 9 Fosas comunes simuladas	22
Figura 10 DRON PARROT BLUEGRASS FIELDS	23
Figura 11 Características del PARROT BLUEGRASS FIELDS. Fuente: (https://sysmap.net/parrot-bluegrassfields/)	23
Figura 12 Área Experimental y Perímetro	24
Figura 13 Selección del dron que se está usando en la aplicación.....	24
Figura 14 Planeación de la misión de tipo polígono.....	25
Figura 15 Ajuste manual de los vértices para el área del perímetro	25
Figura 16 Parámetro de vuelo Pix4Dcapture	26
Figura 17 Líneas de vuelo Pix4Dcapture	26
Figura 18 Punto de control.....	27
Figura 19 Montaje antena GNSS	27
Figura 20 Visual del software Topcon	28
Figura 21 Visual del pos proceso de los datos navegados en el software Topcon.	28
Figura 22 Visual de los datos pos procesados.....	29
Figura 23 Ejecución de los vuelos	30

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Figura 24	Parámetros de la imagen.....	31
Figura 25	Postproceso estándar.....	32
Figura 26	Ubicación preliminar de cada una de las imágenes digitales sobre la zona de estudio.....	32
Figura 27	Procesamiento inicial.....	33
Figura 28	Altura al piso del modelo.....	33
Figura 29	Puntos de control en terreno.....	34
Figura 30	Ajuste de modelo de acuerdo a los puntos de control.....	35
Figura 31	Corrección cada marca de punto de control.....	36
Figura 32	Nube de puntos.....	37
Figura 33	Modelos Digitales de Elevación para conocer alturas detalladas.....	38
Figura 34	Ortofotomosaico de cada uno de los vuelos.....	38
Figura 35	Herramienta ArcToolbox en ArcGIS.....	39
Figura 36	Índice de vegetación NDVI aplicado en la calculadora raster.....	40
Figura 37	Índice de vegetación GNDVI aplicado en la calculadora raster.....	40
Figura 38	Índice de vegetación GCI aplicado en la calculadora raster.....	41
Figura 39	Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el primer vuelo.....	47
Figura 40	Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el segundo vuelo.....	48
Figura 41	Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el tercer vuelo.....	49
Figura 42	Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el cuarto vuelo.....	50

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1:	NDVI.....	15
Ecuación 2:	SR.....	15
Ecuación 3:	RVI.....	15
Ecuación 4:	GI.....	15
Ecuación 5:	SAVI.....	16
Ecuación 6:	GNDVI.....	16
Ecuación 7:	GCI.....	17

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Productos individuales de cada vuelo.....	31
Tabla 2	Índices para cada vuelo.....	41
Tabla 3	Coordenadas precisas de cada punto de control.....	42
Tabla 4	Productos individuales de cada vuelo.....	42
Tabla 5	Productos obtenidos del postproceso de las imágenes.....	44
Tabla 6	Índices generados.....	45
Tabla 7	Índices generados para cada vuelo.....	46

1. TITULO

IDENTIFICACIÓN DE FOSAS COMUNES MEDIANTE TELEDETECCIÓN, AERONAVES NO TRIPULADAS (UAV) E ÍNDICES DE VEGETACIÓN

2. RESUMEN EJECUTIVO

En el presente documento se encuentra detallada la metodología a usar, para la identificación de fosas comunes usando teledetección, aeronaves no tripuladas, comúnmente llamadas drones e índices de vegetación. En el contexto del conflicto colombiano desde la violencia bipartidista ha existido desapariciones forzadas de personas, cuyas familias nunca supieron del paradero de sus restos, este fenómeno se intensificó con la aparición de las guerrillas liberales y posterior creación de las FARC-EP, los grupos de paramilitares auspiciados en algunos casos por el estado o en conjunto con las fuerzas militares. Las desapariciones forzadas fueron usadas en el marco del conflicto como táctica de guerra, por los diferentes grupos armados, para amedrentar diferentes liderazgos sociales o entrar a una zona de dominio territorial de otro grupo, es decir que se asesinaban y desaparecían a líderes sociales a miembros de comunidades, o finalmente a cualquier persona que estuviera en una zona de conflicto, los restos eran enterrados en fosas comunes, en lugares conocidos solo por sus perpetradores, quienes en su gran mayoría fueron asesinados también en el conflicto, en este sentido existen muchas familias en la actualidad que desconocen el paradero de los restos de sus seres queridos y están a la espera de que los mandos altos de estos grupos, expliquen su paradero.

Para el estado colombiano se convirtió en una tarea fundamental encontrar las personas desaparecidas luego del acuerdo de paz con las FARC-EP, creando la UNIDAD DE BUSQUEDA DE PERSONAS DADAS POR DESAPARECIDAS – UBPD, quien tiene esta responsabilidad, sin embargo, se entiende que esta tarea es titánica por lo cual se debe pensar en métodos y herramientas que ayuden a dicha labor, las aeronaves no tripuladas se convierten en una herramienta y tecnología geográfica que puede ayudar a la identificación de estas fosas comunes, pues la teledetección permite capturar información de la superficie sin estar en contacto con ella, información que tiene coordenadas, es decir que se encuentra en algún lugar. Los sensores pasivos que dependen de la energía solar, puede captar información de la cobertura vegetal y por tanto los cambios en el uso del suelo desde que no se interponga una cobertura más alta, por lo tanto, en este proyecto se plantea el uso de imágenes capturadas con drones multiespectrales para monitorear o detectar fosas comunes que se hicieron de manera controlada con cuerpos de animales en el marco de un proyecto de investigación más grande liderado por la Universidad Antonio Nariño, proyecto que combina diferentes métodos como geo radares y sísmica para darle robustez a la metodología.

3. INTRODUCCIÓN

Colombia ha estado expuesta, desde hace más de dos siglos, a múltiples formas de violencia, que se presentan como mecanismos para remover las diferencias políticas, económicas y sociales (Blair, 2008). El grave fenómeno de la desaparición forzada en Colombia no es ajeno a nuestro país, tanto así que el Instituto Nacional de Medicina Legal (2019) registra 29 270 personas desaparecidas por el conflicto armado, El país enfrenta no solo su extensa historia de horror, sino también la difícil tarea de atender las heridas abiertas provocadas por cincuenta años de guerra y

Facultad de Ciencias Agropecuarias

desaparición forzada las cuales se han estado presentado de manera continua, sistemática y con variada intensidad.

El drama no solamente cobija a los sujetos desaparecidos, sino, y de manera especialmente trágica, a sus familiares y allegados (Busch, S., Mangado, M. E. & Robaina, M. C., Osso, M. & Wurst, 2002). Ellos son quienes se enfrentan a pérdidas no asimiladas psicológicamente y a una de las interrogantes más grande la cual es ¿dónde se encuentra el cuerpo de sus familiares?, y ya se ha avanzado en la identificación de restos de personas de las que no se tuvo conocimiento por años, la cifra sigue siendo muy alta. Es por esto que este proyecto busca generar herramientas que faciliten la detección de fosas comunes en el país, para así aportar al esclarecimiento de la verdad y poder cerrar un ciclo de dolor para los colombianos han sufrido la desaparición de sus seres queridos.

Los vuelos con aeronaves no tripuladas (Dron) permiten capturar información geográfica tipo Ráster, es decir imágenes digitales las cuales, son importantes herramientas de documentación para los derechos humanos, en combinación con otras técnicas permite identificar posibles zonas de fosas comunes, ayudando a documentar violaciones en zonas de conflicto de difícil acceso y mostrando cambios cronológicos en la vegetación ya que se tiene en cuenta que la construcción de fosas en el suelo altera las propiedades físicas de los materiales en la interfaz del suelo.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desaparición forzada en Colombia conlleva a la violación de múltiples Derechos Humanos, ya que en el conflicto, se ha estado marcando como uno de los factores primarios de desapariciones a causa de la violencia generada por grupos armados del país, convirtiéndose así misma en un instrumento de guerra, muchas de estas desapariciones de personas terminan en hallazgo de fosas comunes, como se observa en las confesiones de victimarios y el relato de víctimas que permiten contar la historia de violencia social en Colombia.

Las desapariciones forzadas y el desconocimiento por parte de las víctimas acerca de los restos de sus seres queridos se ha convertido en uno de los muchos factores que alimentan el conflicto, generando sentimientos de frustración e impotencia y permitiendo así que este sentimiento aumente aún más cuando las circunstancias dificultan la reconstrucción de evidencias, así como el desarrollo de las investigaciones de calidad y efectivas.

¿La aplicación de tecnologías geoespaciales puede ayudar a identificar posibles zonas de fosas comunes donde reposan restos de víctimas de desaparición forzada?

5. JUSTIFICACIÓN

Las profundas heridas que deja la desaparición forzada, tanto en los familiares de las víctimas como en la sociedad, requiere implementar el uso de ciencia y tecnología en Colombia como líneas de investigación fundamentales para contribuir a la solución de la violación de derechos humanos, mediante la ubicación de las fosas comunes que se puedan encontrar en el país y en el cual cuyas cifras, resultan enormes, ya que de acuerdo con el informe titulado 'Retos Humanitarios', que presentó recientemente el Comité Internacional de la Cruz Roja (CICR) 168 ciudadanos fueron

Facultad de Ciencias Agropecuarias

víctimas de desaparición forzada, también, afirmando que desde la firma del Acuerdo de Paz una persona desaparece cada dos días en Colombia ya que se reportaron 772 víctimas de desaparición forzada, entre los que se encuentran menores de edad, por otra parte, Medicina Legal señala que aún hay cerca de 200.000 cuerpos de víctimas sin identificar en el país y según la fuente de información el Centro Nacional de Memoria Histórica reporta 60.630 víctimas de desaparición forzada. Lo anterior sin olvidar las demás personas desaparecidas por causas diferentes a la mencionada.

Los vuelos con aeronaves no tripuladas (UAV) permiten capturar información geográfica tipo Ráster, es decir imágenes digitales las cuales, son importantes herramientas de documentación para los derechos humanos, en combinación con otras técnicas permite identificar posibles zonas de fosas comunes, ayudando a documentar violaciones en zonas de conflicto de difícil acceso y mostrando cambios cronológicos en la vegetación ya que se tiene en cuenta que la construcción de fosas en el suelo altera las propiedades físicas de los materiales en la interfaz del suelo-subsuelo.

6. OBJETIVO

6.1. OBJETIVO GENERAL. Identificar fosas comunes en un ambiente controlado mediante teledetección, aeronaves no tripuladas (UAV) e índices de vegetación.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Obtener imágenes multispectrales de la zona de estudio en diferentes meses del año.
2. Realizar el postproceso de las imágenes multispectrales.
3. Generar los índices de vegetación para la identificación de Fosas comunes.

7. MARCO REFERENCIAL

7.1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE TELEDETECCIÓN

La teledetección se define como la capacidad de observación a distancia. Se basa en el registro de la radiación electromagnética emitida, reflejada o difractada por la superficie terrestre. Generalmente se utilizan sensores embarcados en plataformas espaciales o Aero portados (VENTURA, 2001).

La teledetección es la técnica que nos permite obtener información a distancia de objetos sin necesidad de un contacto material, es decir que, aunque no haya un contacto material, existe un tipo de interacción entre los objetos observados sobre la superficie terrestre.

Los sistemas de teledetección más comunes miden variaciones en el campo de la energía electromagnética (EEM) provocadas por los fenómenos, esto teniendo en cuenta que también existen otras fuerzas fundamentales en la naturaleza bien sea la gravitación, la fuerza nuclear fuerte y la fuerza nuclear débil de las cuales cada una está cumpliendo un papel distinto. El electromagnetismo comprende la atracción entre partículas con cargas eléctricas opuestas, incluyendo desde la radiación de onda larga llamada "ondas de radio" hasta la de onda corta conocida como "rayos X" y "Rayos gamma". De acuerdo con esto, podemos decir que cada superficie terrestre está compuesta por moléculas diversas y características diferentes teniendo como resultado características electromagnéticas diferentes a lo cual se le llama percepción

remota o teledetección espacial, esto es una serie de procesos que permiten obtener información sobre las propiedades físicas de los objetos permitiéndonos medir esas diferencias y definir condiciones y de qué material está compuesto.

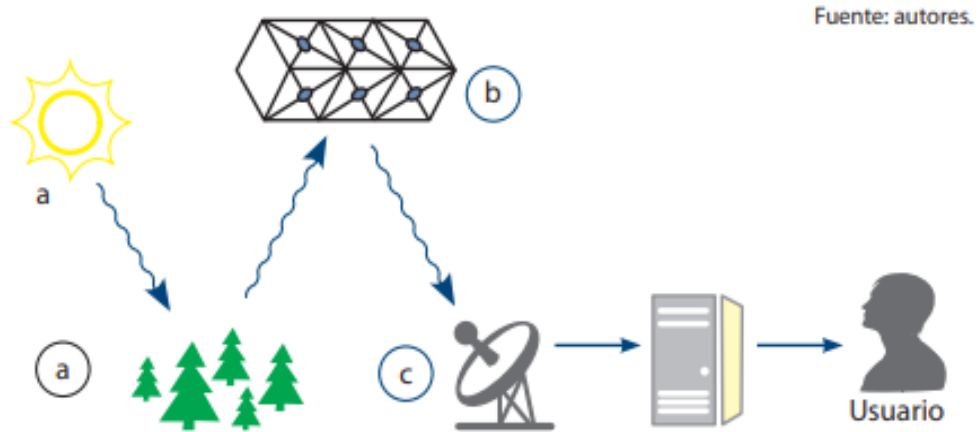


Figura 1: Elementos de la teledetección. Fuente: (Díaz González et al., 2014)

Para facilitar la obtención de información a distancia de objetos sin que exista un contacto material es necesario que, aunque no exista contacto mate, halla algún tipo de interacción entre los objetos observados puede ser que se encuentren situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y también un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.) En este caso la interacción que se produce la teledetección va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor, este flujo se puede presenciar de tres formas diferentes

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

7.2. INTERACCIONES ENTRE LA RADIACIÓN, LOS OBJETOS Y LA ATMÓSFERA-RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Todos los objetos independientemente de la radiación que emitan van a recibir radiación, primordialmente del sol, que, dependiendo de qué tipo de objeto estemos considerando, puede seguir tres caminos:

- Reflejarse: la radiación es reenviada de vuelta al espacio
- Absorberse: la radiación pasa a incrementar la energía del objeto (*Temario_10, CAPÍTULO 10. TELEDETECCIÓN, n.d.*)
- Transmitirse: la radiación se transmite hacia los objetos situados detrás (*Temario_10, CAPÍTULO 10. TELEDETECCIÓN, n.d.*)

En el caso de la radiación electromagnética algunos de los gases que componen la atmósfera absorben radiación los cuales en este caso son:

- Ozono: Absorbe radiación ultravioleta (*Temario_10, CAPÍTULO 10. TELEDETECCIÓN, n.d.*)
- Dióxido de carbono
- Vapor de agua

Y la radiación no absorbida se transmite a la superficie terrestre pero después se encuentra afectada por procesos de dispersión las cuales son denominadas como ventanas atmosféricas.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

- Visible e infrarrojo cercano
- Varias en el infrarrojo medio
- Infrarrojo térmico
- Microondas, por encima de 1cm la atmósfera la cual es prácticamente transparente

7.3. ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Un Índice de Vegetación, puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia en distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal. También, corresponde a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas (Muñoz, 2013).

Este índice es adecuado para estimar la energía durante todo el ciclo del cultivo, basado en cómo las plantas reflejan ciertos rangos del espectro electromagnético permitiendo conocer su estado actual, que luego podrá compararse con otra imagen temporal para observar su evolución en el tiempo.

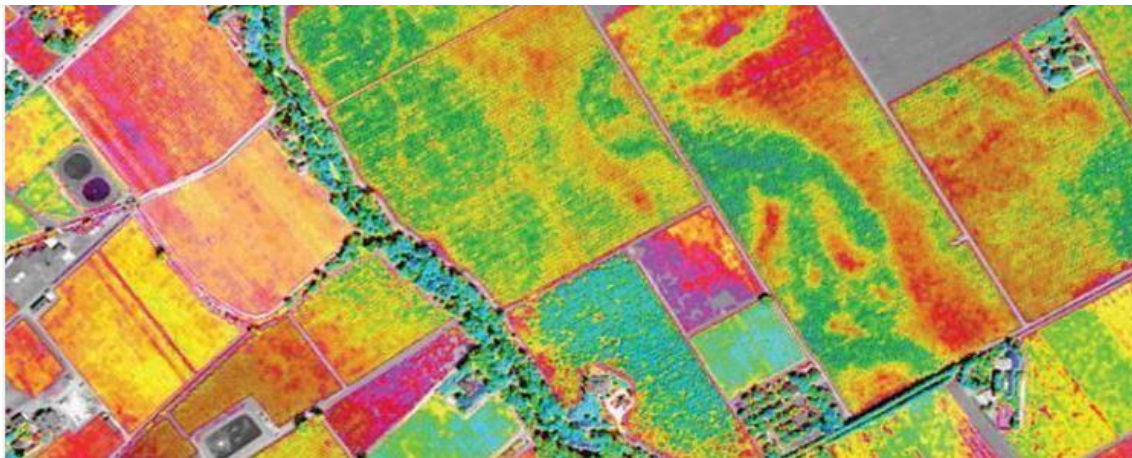


Figura 2 Índices de vegetación . Fuente: (<https://www.agromatica.es/indices-de-vegetacion/>)

7.3.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN NDVI:

El índice NDVI o de Diferencia Normalizada se basa en las diferencias de reflectividad entre el rojo y el infrarrojo próximo (Isla, R. & López-Lozano, 2005). Mide la relación entre la energía absorbida y emitida por las coberturas vegetales, a través de valores de intensidad del verdor de la zona, la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo (Meneses-Tovar, 2011).

Facultad de Ciencias Agropecuarias

El NDVI relaciona la información adquirida en las regiones del Rojo y NIR con el estado y características de las cubiertas vegetales, por medio de la diferencia normalizada de las dos bandas, cuyo rango de variación se encuentra entre -1 y 1.

Este índice arroja valores estimados del verdor del bosque que resultan del análisis de datos obtenidos mediante satélite, representando la salud vegetal por medio del valor reducido del índice debido a la disminución de su verdor, reflejando la degradación de la vegetación del ecosistema (Meneses-Tovar, 2011)

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$$

Ecuación 1: NDVI

7.3.2. ÍNDICE DE SR:

El índice SR o relación simple reduce o elimina la influencia del suelo sobre los valores de reflectancia solar. Se considera como índice estructural que permite estimar valores de índice de área foliar (Bocco, M., Ovando, G., Sayago, S. & Willington, 2013),(Hernández, 2017)

$$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{red}}$$

Ecuación 2: SR

7.3.3. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DE RVI:

El valor del índice RVI o Proporción es inversamente proporcional a la cantidad de vegetación presente en el área(Díaz, 2015),(Hernández, 2017).

$$RVI = \frac{R_{red}}{R_{NIR}}$$

Ecuación 3: RVI

7.3.4. ÍNDICE DE VERDOR O GI:

El índice GI (Greenness Index) indica el cociente entre la reflectividad en la banda del verde y la reflectividad en el infrarrojo cercano, detectando carotenos u otros pigmentos en parches de vegetación. Está relacionado al vigor del cultivo, cantidad de vegetación o biomasa(Navarro R. M., 2009),(Hernández, 2017).

$$GI = \frac{R_{green}}{R_{red}}$$

Ecuación 4: GI

7.3.5. ÍNDICE DE VEGETACIÓN SAVI:

El Índice SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) o ajustado al suelo minimiza el efecto del suelo en la caracterización de la vegetación, especialmente en superficies parcialmente recubiertas. Tiene

en cuenta la cantidad de vegetación que se observa en la imagen (Gonzaga, 2014),(Hernández, 2017)-

$$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red} + L} * (1 + L)$$

Ecuación 5: SAVI

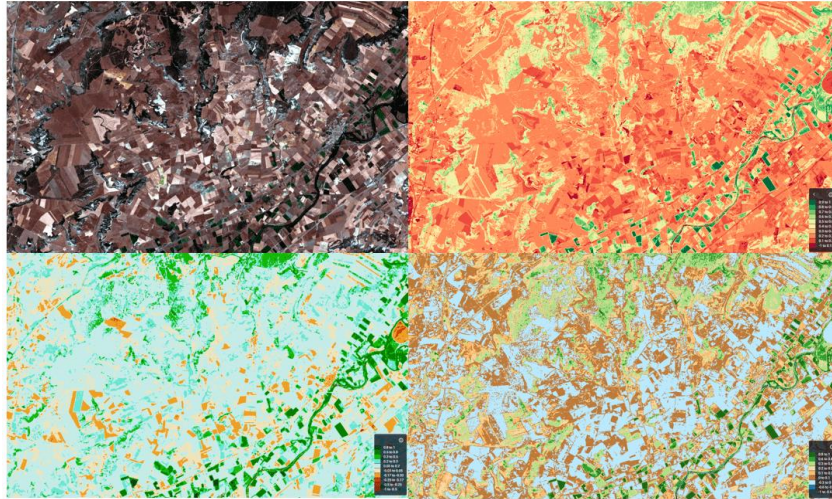


Figura 3 Tipos de índices de vegetación. Fuente: (<https://mappinggis.com/2020/07/los-6-indices-de-vegetacion-para-completar-el-ndvi/>)

7.3.6. INDICE DE VEGETACION GNDVI:

El Índice de Vegetación de la Diferencia Normalizada Verde (GNDVI) es una versión modificada del NDVI para que sea más sensible a la variación del contenido de clorofila en el cultivo. «Los valores más altos de correlación con el contenido de la hoja N y DM se obtuvieron con el índice GNDVI en todos los períodos de adquisición de datos y en ambas fases experimentales. ... GNDVI fue más sensato que NDVI para identificar diferentes tasas de concentración de clorofila, que está altamente correlacionada con el nitrógeno, en dos especies de plantas»(Franzpc, 2019).

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

Ecuación 6 GNDVI

7.3.7. INDICE DE VEGETACION GCI:

En la teledetección, el Índice de Clorofila se utiliza para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas. El contenido de clorofila refleja el estado fisiológico de la vegetación; disminuye en las plantas estresadas y, por lo tanto, puede utilizarse como medida de la salud de las plantas (EOS Data Analytics, 2022)

$$GCI = (NIR) / (Green) - 1$$

Ecuación 7 GCI

7.4. AERONAVES NO TRIPULADAS (UAV) PARA CARTOGRAFÍA.

Los drones permiten capturar los datos correspondientes al relieve y composición del terreno de forma rápida y exhaustiva, permitiendo la cobertura de grandes extensiones en tiempos de trabajo mucho menores que los empleados por los medios convencionales, facilitando además la toma de datos en lugares que por su orografía o sus características serían difícilmente accesibles al operario humano. (Locis SIGtech, 2018).

Un dron es un vehículo aéreo no tripulado (VANT) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), el cual es utilizado para realizar reconocimientos de difícil acceso como quebradas, caños y complejas zonas de orden público, capturando datos correspondientes con precisión y buena resolución en las imágenes.

Al momento de crear la fotointerpretación, en lugar de hacer uso de los vuelos fotogramétricos, se realiza la toma de fotografías con el Dron, para así de la misma forma identificar los objetos de estudio que luego serán analizados, permitiendo obtener un producto en el área específica del vuelo. El proceso cartográfico puede llevarse a cabo por los métodos tradicionales o mediante digitalización y salida final del producto, comúnmente siendo fotografías tomadas por un Dron, las escalas manejadas dependen de la autonomía que maneje el Dron y la resolución de la cámara, normalmente un mapa producido mediante Drones puede tener una escala comercial de 1:100, 250, 500, 1000 como mínimo dependiendo del tamaño del área cartografiada.

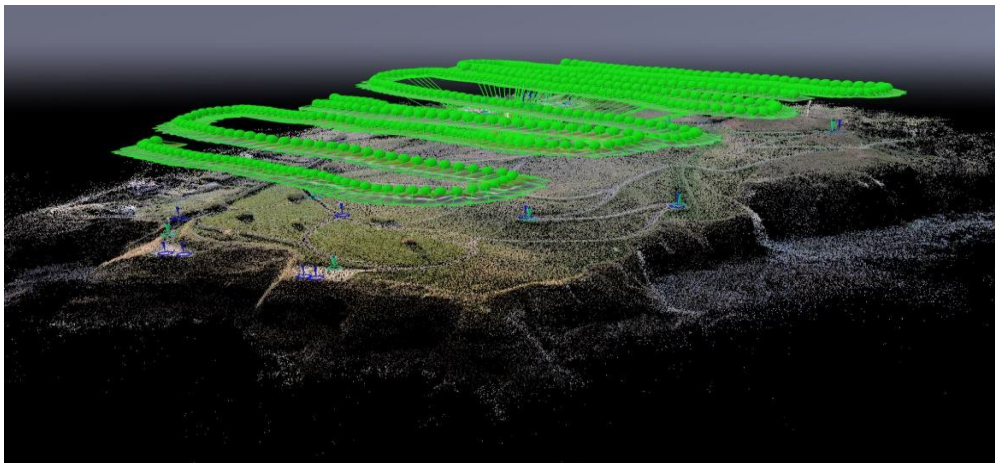


Figura 4 UAV para cartografía. Fuente: (<https://www.locis.es/drones-y-cartografia-de-precision/>)

7.5. DRON (RPAS)

Las siglas RPA (Remotely Piloted Aircraft), que viene a ser traducido como aeronave pilotada remotamente. Con esto se refiere a un subconjunto de vehículos aéreos no tripulados (VANT) o UAV (Unmanned Aerial Vehicle), estos generalmente son conocido como drones, los cuales pueden volar de manera autónoma sin la interacción de alguien. En el caso de los RPA, por el contrario, si están controlados necesariamente por alguien desde una estación remota. Cuando se habla de RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) se refiere al sistema completo necesario para la operación de la aeronave, lo que incluye a la aeronave (RPA). Por lo tanto, se puede concluir que, todos los RPAS son UAS, pero no todos los UAS son RPAS.

7.6. PUNTOS DE CONTROL TERRESTRE

Un punto de control es un sitio físico en tierra del cual es conocida su posición respecto a un sistema de coordenadas, y puede utilizarse como guía. (Cruz Martínez, 2008). Generalmente estos puntos de control se establecen con la finalidad de ofrecer información de gran utilidad en los procesos de georreferenciación y fenómenos de interés de acuerdo a las necesidades o naturaleza específica de cada proyecto.

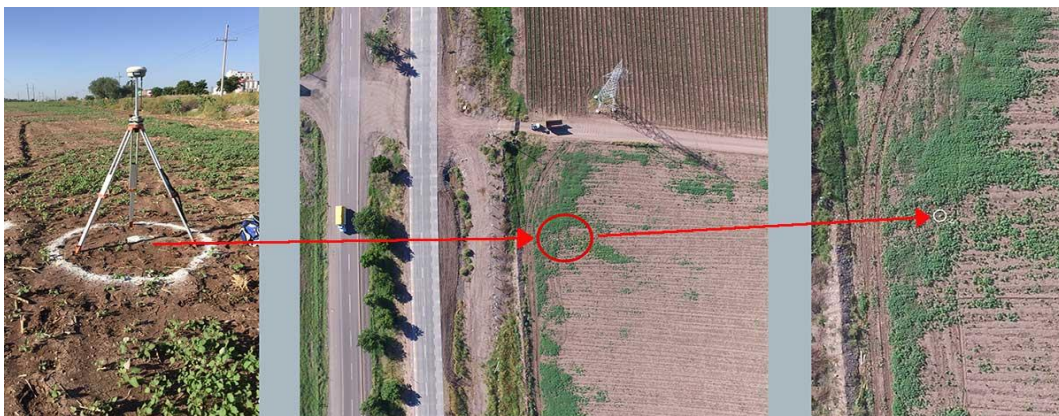


Figura 5 Puntos de control. Fuente: (<https://www.mapamedia.com/levantamientos-aereos/>)

7.7. POSTPROCESO DE LAS IMÁGENES

La captura de imágenes del terreno se realiza simultáneamente en varios rangos del espectro electromagnético llamados bandas, estas son imágenes tomadas por un sensor multiespectral el cual captura la incidencia de luz y las bandas RGB (red, green, blue).

El campo del procesamiento de imágenes digitales se relaciona al procesamiento de imágenes digitales por medio de una computadora digital. Teniendo en cuenta que una imagen digital se compone de un gran número de elementos en el cual cada uno de los cuales tiene una ubicación y un valor particular, estos denominados finalmente como elementos de imagen.

7.8. FOSAS COMUNES EN COLOMBIA

El término fosa común cobró mayor importancia en la medida en la que la problemática comenzó a visibilizarse. En Colombia se entiende por fosa común el espacio dentro de los panteones

Facultad de Ciencias Agropecuarias

municipales y cualquier lugar del país donde son inhumadas las personas no identificadas. Hasta hace unos años, se pensó que en la mayoría de los casos se trataba de personas que fallecían en situación de indigencia o bajo alguna otra circunstancia adversa que imposibilitaba relacionarlos con algún deudo, poco se dudó acerca de los procedimientos de identificación inconclusos y de los malos procedimientos para garantizar su custodia, tan es así, que incluso se percibe a la fosa común como el lugar de destino final, más no como un espacio temporal de resguardo (Roxana, Enríquez Farias, 2021).



Figura 6 Fosas comunes en Colombia. Fuente: (Ferrándi, 2009)

7.9. MARCO CONCEPTUAL:

- **Sistemas de Información Geográfica:** Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una integración organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, manejar, analizar, modelar y representar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información. (Villaverde, 2008)
- **Fosas Comunes:** se define fosa como “enterramiento, sepulcro”, o bien, “hoyo en la tierra para enterrar uno o más cadáveres”, mientras que lo “clandestino” se refiere a algo “secreto, oculto, y sobre todo hecho o dicho en secreto por temor a la ley o para eludirla”. Y, por último, “inhumar” significa “enterrar” o “poner algo o alguien debajo de tierra” (Real Academia Española, n.d.)
- **Desaparición Forzada:** se arreste, detenga o traslade contra su voluntad a las personas, o que estas resulten privadas de su libertad de alguna otra forma por agentes gubernamentales de cualquier sector o nivel, por grupos organizados o por particulares que actúan en nombre del Gobierno o con su apoyo directo o indirecto, su autorización o su asentimiento, y que luego se

Facultad de Ciencias Agropecuarias

niegan a revelar la suerte o el paradero de esas personas o a reconocer que están privadas de la libertad, sustrayéndolas así a la protección de la ley. (Declaración Sobre La Protección de Todas Las Personas Contra Las Desapariciones Forzadas, 1993)

- Georreferenciación: La georreferenciación es el uso de coordenadas de mapa para asignar una ubicación espacial a entidades cartográficas. Todos los elementos de una capa de mapa tienen una ubicación geográfica y una extensión específicas que permiten situarlos en la superficie de la Tierra o cerca de ella. La capacidad de localizar de manera precisa las entidades geográficas es fundamental tanto en la representación cartográfica como en SIG. (ArcGIS, n.d.)
- Teledetección: La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor, genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra (Instituto Geográfico Nacional, n.d.)
- Cartografía: Disciplina que estudia los diferentes métodos, sistemas, operaciones científicas y técnicas que permiten representar en un plano la superficie terrestre y los fenómenos o hechos que se desarrollan sobre ella. El producto de la representación recibe el nombre de cartografía, mapa o carta. (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2016)

8. DISEÑO METODOLÓGICO

La metodología propuesta para este proyecto nos muestra el paso a paso que se lleva a cabo para el desarrollo del proyecto analizando los procedimientos usados que facilite la detección de fosas comunes como primer procedimiento se hace una revisión bibliográfica de los estándares aplicados en otros países que han sufrido de desaparición forzada como África y Medio Oriente lo cual nos permite apreciar los buenos resultados y adaptar esos parámetros en las condiciones de nuestro territorio.

Teniendo en cuenta la Metodología del proyecto anterior, se realiza la recolección de información en el ambiente controlado ubicado en UAN en Usme en Bogotá, mediante cinco fases se lleva a cabo 1). Identificación de la zona de estudio y la planeación del vuelo, para así generar un paso 2) el cual es realizar una georreferenciación unos puntos de control y un determinado número de vuelos, posterior a esto continuamos con un paso numero 3) realizar un postproceso de las imágenes en (verde, rojo, red Edge e infrarrojo cercano) permitiéndonos obtener un 4) índices de vegetación para alcanzar finalmente un 5) análisis e identificación de fosas comunes.

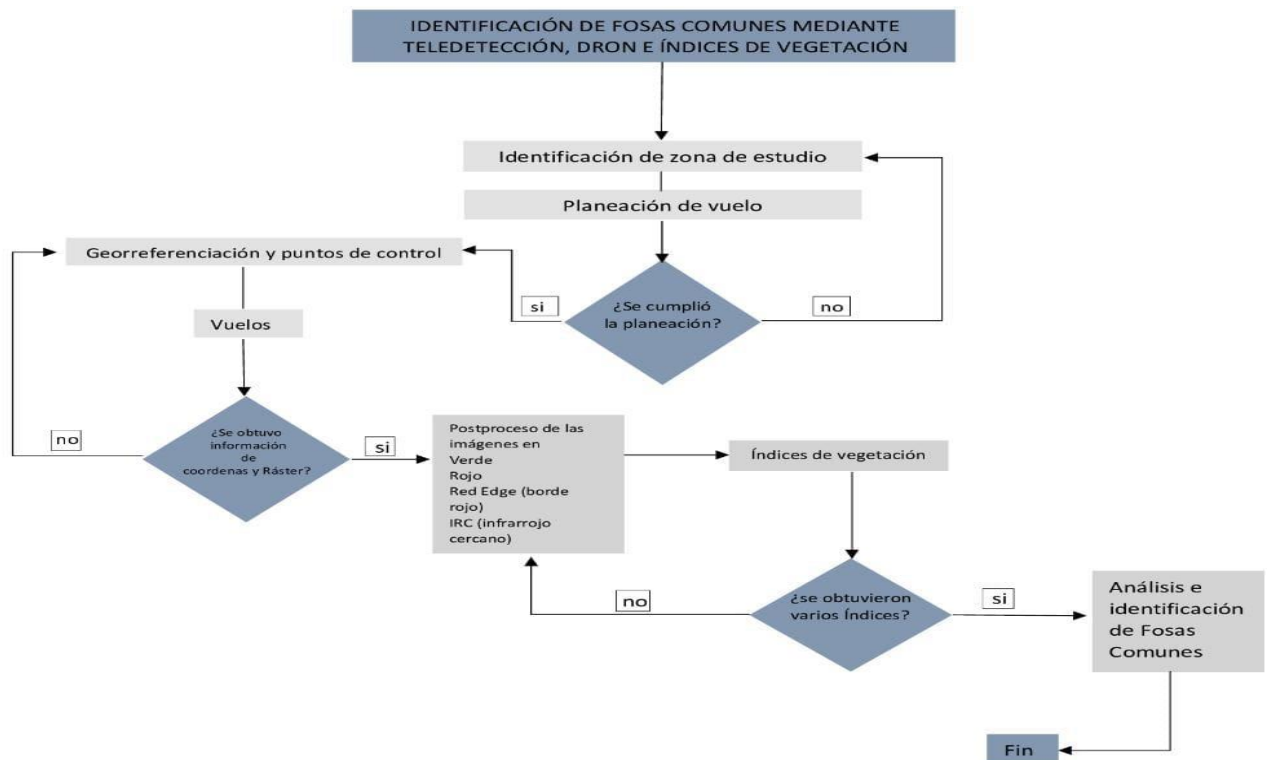


Figura 7 Diseño metodológico. Fuente (Autor)

9. DESARROLLO

9.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS AGROCLIMATOLÓGICAS

Es de recordar que el presente proyecto de grado está adscrito a la investigación “*Application of geophysical methods and identification of environmental variables for searching graves corresponding to burials related to facts of human rights violations (Aplicación de métodos geofísicos y variables ambientales para la búsqueda de fosas relacionadas con la violación de los derechos humanos)*” realizada por la Universidad Antonio Nariño y la Universidad de Cundinamarca, por parte de la UDEC específicamente por el programa de tecnología en cartografía, su grupo de investigación GEOCARTOGRAFIA y su semillero LATITUD.

En ese sentido las fosas comunes fueron realizadas de forma controlada y experimental por los investigadores de la Universidad Antonio Nariño con cuerpos de animales en la sede del Colegio de la Universidad Antonio Nariño, Kilometro 15 # 16-71 Sur, Vía Usme cuyas coordenadas son, longitud: 74° 7'39.64"O, Latitud: 4°28'54.91"N y a altitud de unos 2.630 msnm, Usme es la localidad número cinco del Distrito Capital de Bogotá, Capital de Colombia la cual se encuentra ubicada al suroriente de la ciudad limitando. La localidad de Usme es el número 5 de la capital. Limita al norte con las localidades de San Cristóbal, Rafael Uribe y Tunjuelito; al sur con la localidad de Sumapaz; al oriente con los municipios de Ubaque y Chipaque y al occidente con la localidad de Ciudad Bolívar y el municipio de Pasca. Está localidad tiene una extensión de 21.506 hectáreas (ha), de estas 2.120 ha corresponden a suelo urbano, 902 ha se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.483 ha constituyen suelo rural. Usme ocupa el segundo lugar

entre las localidades con mayor superficie dentro del Distrito Capital, para la localidad de Usme, la población es de 748.012 h.



Figura 8 Ubicación. Fuente: (Autor)

Al reconocer el terreno donde se ejecuta el diseño experimental, se revisaron los elementos de dicho territorio tanto físicos como ambientales, esto con el fin de planear los vuelos fotogramétricos que se realizaron para el monitoreo del diseño, evaluando la zona apta para la realización de los vuelos con el dron. El área específica de estudio cuenta con aproximadamente dos mil ciento treinta y siete metros cuadrados (2.137 m²), la cual será el área del vuelo, sin embargo el área experimental es un rectángulo de tan solo 45 m², lugar donde se encuentran las fosas comunes simuladas, como se observa en la Figura 9.



Figura 9 Fosas comunes simuladas

9.2. PLANEACION DE VUELO

Para este proyecto se usó un UAV (Unmanned Aerial Vehicle) o en español VANT (vehículo aéreo no tripulado) PARROT BLUEGRASS FIELDS, como se observa en la Figura 10 el cual soporta una cámara RGB y sensores en las longitudes de onda del verde, rojo, Borde rojo e infrarrojo cercano.



Figura 10 DRON PARROT BLUEGRASS FIELDS

Este vehículo aéreo no tripulado, PARROT BLUEGRASS FIELDS, presenta características técnicas, principales como un peso de 1850 gm. Duración de batería de 25 minutos, sistema de posicionamiento como GPS y GLONASS y como ya se mencionó anteriormente sensores en las longitudes de onda del verde, rojo, Borde rojo (red Edge) e infrarrojo cercano (NIR). Como se observa en la Figura 11

<p>GENERALIDADES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Peso: 1850 g • Tamaño: 355 mm x 407 mm x 140 mm 	<p>WIFI Y TRANSMISIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alcance: Hasta 2 Km con el Parrot Skycontroller 2, en una zona sin interferencias ni obstáculos • Wifi tipo AC, 2 antenas doble banda (2,4 y 5 GHz) 	<p>BATERÍA ALTA CAPACIDAD:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Duración de la batería: 25 min • Batería de polímero de litio de 6700 mAh
<p>SENSORES:</p> <ul style="list-style-type: none"> • GPS + GLONASS integrados • Sistema de navegación inercial (INS) • Altimetro • Ultrasonidos • Cámara vertical de flujo óptico 	<p>4 BANDAS SEPARADAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verde: 550 nm +/- 40 nm • Rojo: 660 nm +/- 40 nm • Red Edge: 735 nm +/- 10 nm • Infrarrojo cercano (NIR): 790 nm +/- 40 nm 	<p>CÁMARA RVA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resolución: 16 MP, 4608x3456 pixeles • HFOV: 63,9° • VFOV: 50.1° • DFOV: 73.5°

Figura 11 Características del PARROT BLUEGRASS FIELDS. Fuente: (<https://sysmap.net/parrot-bluegrassfields/>)

Como ya se mencionó anteriormente el área experimental es un rectángulo de tan solo 45 m², color fucsia en la Figura 12, sin embargo, el área de perímetro y por tanto área de vuelo es de aproximadamente 2.137 m², color amarillo en la Figura 12. Sobre el área del perímetro se realizó la planeación del vuelo con la aeronave no tripulada.



Figura 12 Área Experimental y Perímetro

Mediante la aplicación gratuita de planificación **Pix4Dcapture** para smartphone se define el recorrido que realizara la aeronave, en el área del perímetro, de 2.137 m². En primera medida se debe seleccionar en la aplicación el dron que se está usando, para este caso el PARROT BLUEGRASS, luego planear una nueva misión de tipo polígono y manualmente se ajustan los vértices para que cubran el área de trabajo del perímetro ya mencionado y se define un 80% de traslape entre las imágenes a ser capturadas, una altura de 50 metros para evitar el peligro de chocar con los árboles presentes y una velocidad media del aparato. Tomándole al dron en promedio dos minutos el recorrido total, ver Figura 13, Figura 14, Figura 15, Figura 16 y Figura 17.

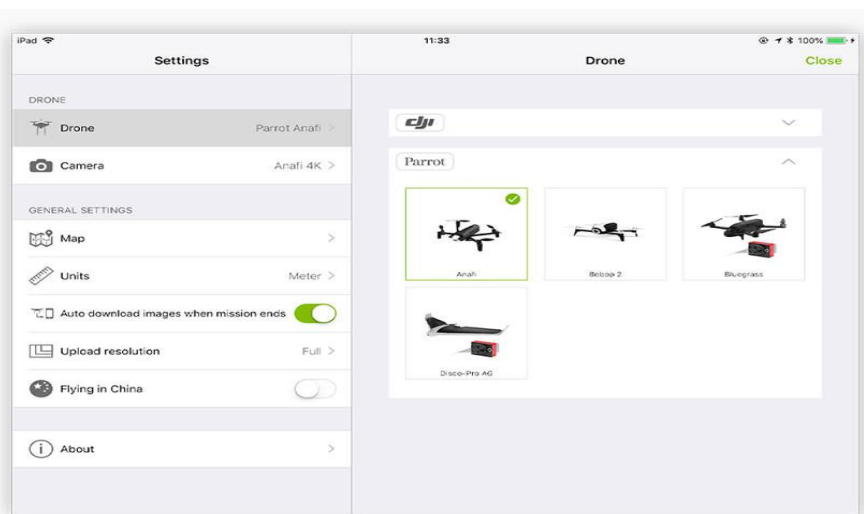


Figura 13 Selección del dron que se está usando en la aplicación

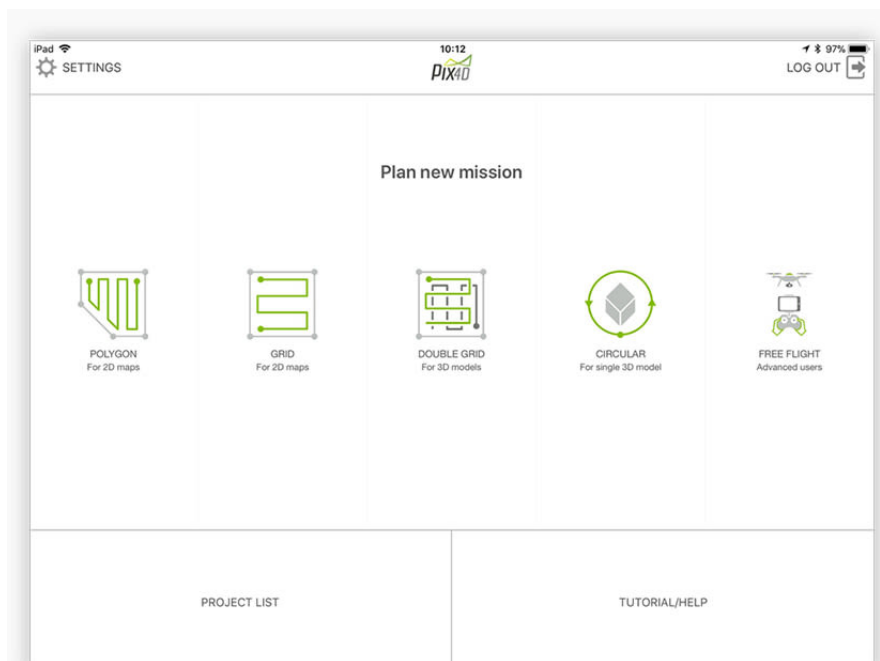


Figura 14 Planeación de la misión de tipo polígono

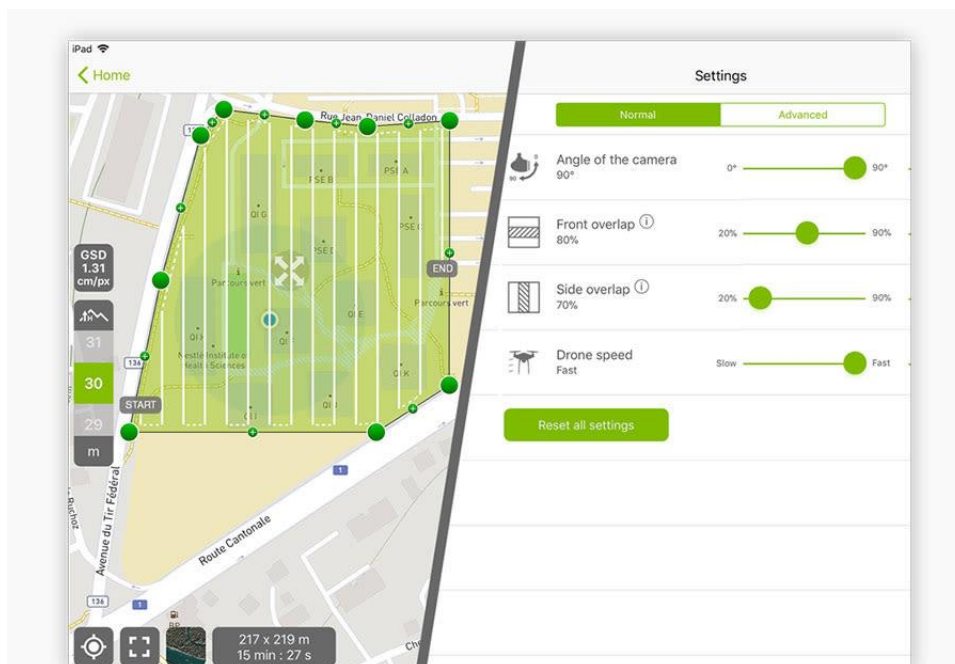


Figura 15 Ajuste manual de los vértices para el área del perímetro

Information			
Drone	Date	Time	Type
Bluegrass	26/06/2020	10:18:50 a. m.	Grid
Location	Dimensions	Overlap	Camera Angle
4,481954°, -74,127637°	42 m x 50 m	80% (72%)	90°
Altitude	Images	Path	Flight time
50 m	12	179 m	1min:34s

Figura 16 Parámetro de vuelo Pix4Dcapture



Figura 17 Líneas de vuelo Pix4Dcapture

9.3. PUNTOS DE CONTROL

Los puntos de control o GCP por sus siglas en inglés son marcaciones físicas que se debe ubicar en el área de vuelo para ser identificadas las imágenes capturadas por los sensores contenidos en una aeronave no tripulada, estas marcaciones para este proyecto se realizaron de forma ajedrezada en material fomi de 1 metro cuadrado, como se muestra en la Figura 18, Para el área de perímetro se usaron 4 puntos de control con el objeto de corregir la posición de las imágenes que fueron capturadas por el dron, cada uno de estos puntos debe tener coordenadas precisas.

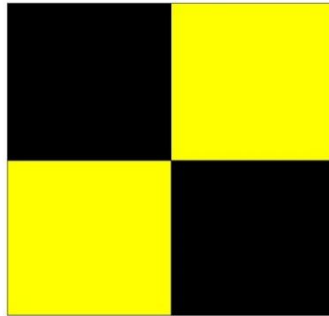


Figura 18 Punto de control

Para la georreferenciación de los cuatro puntos de control se hizo uso de una antena GNSS marca Híper SR, con la cual se posiciono cerca de 98 minutos, según los requerimientos técnicos de un levantamiento para Colombia GNSS esto con el fin de conseguir la precisión para el análisis de la información de sensores remotos.



Figura 19 Montaje antena GNSS

Al obtener los datos se descargan mediante el software Topcon Receiver Utility, (TRU), para ser procesados en el software Topcon Tools v.8.2.3, en este software se descargan los archivos Rinex 2 de las estaciones GPS permanentes del IGAC, para ajustar los datos navegados de la estación BOGA ubicada a 10 kilómetros aproximadamente para así observar los datos pos procesados y ajustados ingresando las coordenadas a los diferentes modelos fotogramétricos que se hayan generado. No obstante, se puede observar una exactitud en planimetría de cerca de 14 milímetros.



Figura 20 Visual del software Topcon

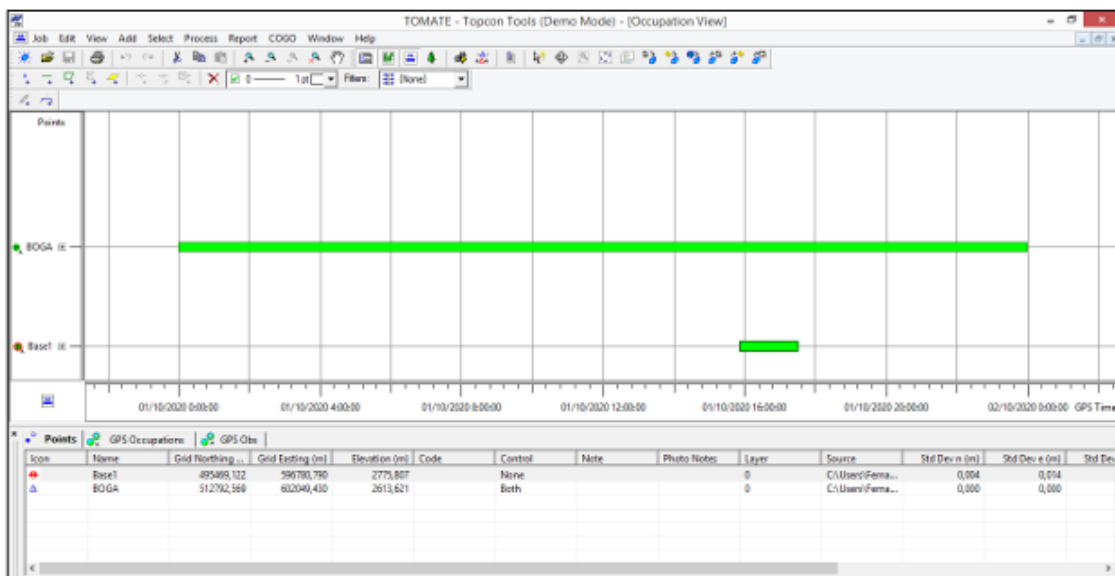


Figura 21 Visual del pos proceso de los datos navegados en el software Topcon.

Project Summary

Project name: TOMATE.itp
 Surveyor:
 Comment:
 Linear unit: Meters
 Projection: UTMNorth-Zone_18 : 78W to 72W
 Geoid:

Adjustment Summary

Control Tie Analysis: success
 Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint
 Confidence level: 95 %
 Number of adjusted points: 2
 Number of plane control points: 1
 Number of used GPS vectors: 1
 A posteriori plane or 3D UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)
 Number of height control points: 1
 A posteriori height UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Used GPS Observations

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BOGA-Base1	-17323,447	-5268,640	162,186	0,014	0,009

GPS Observation Residuals

Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BOGA-Base1	-17323,447	-5268,640	162,186	0,014	0,009

Control Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
BOGA	512792,589	602049,430	2613,621	

Adjusted Points

Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
Base1	495469,122	596780,790	2775,607	

Figura 22 Visual de los datos pos procesados.

9.4. VUELOS UAV

Luego de la respectiva planeación de los vuelos descrita anteriormente, la misma aplicación **Pix4Dcapture** cumple la función de enlazar el Smartphone, la aeronave y el control de la aeronave. en ese sentido, esta aplicación permite ejecutar la misión de vuelo a la aeronave, con los parámetros elegidos, es decir que el dron de forma automática despegar toma la altura indicada y realiza la toma de imágenes u fotografías en el polígono u área indicada y en el tiempo estimado. Para este proyecto se realizaron cuatro vuelos, en cuatro momentos diferentes al entierro experimental que simulaban las fosas comunes.

Primer Vuelo: Se realizaría el primer vuelo fotogramétrico para modelar el territorio antes de la intervención y construcción de las fosas simuladas, generando el cargue de las líneas de vuelo para la parcela señalada de aproximadamente de 2.137 m², con una altura de treinta metros (30 m), esto, con el fin de obtener a partir de teledetección por drones, las diferentes características del suelo del territorio o zona de estudio, usando los cuatro sensores de longitudes de onda: longitud de onda de borde rojo, y longitud de onda del infrarrojo cercano; haciendo uso especialmente el borde rojo y el Infrarrojo cercano, ya que estos interactúan muy bien con la biomasa, lo cual permite realizar mapas de cobertura del suelo y estado fotosintético de las plantas obteniendo como resultado el procesamiento digital de las imágenes y así poder realizar una comparación del estado fenológico de las plantas en ese ambiente controlado.

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Segundo, tercer y cuarto vuelo: Los siguientes vuelos se llevan a cabo en la misma área de perímetro con la diferencia que las fosas simuladas, es decir el entierro de los cuerpos ya se realizó, por tanto, los vuelos son posteriores, cada vez más alejados en el tiempo con el objetivo de observar el comportamiento de la vegetación después de la intervención antrópica.



Figura 23 Ejecución de los vuelos

9.5. POSTPROCESO DE LAS IMAGENES

A partir de los vuelos descritos en la sección anterior, los sensores o cámaras que tiene el PARROT BLUEGRASS, permiten la captura de imágenes digitales en bandas separadas del verde, del rojo, del borde rojo (Red Edge) y del infrarrojo cercano (NIR), además de una cámara que captura una sola imagen en color verdadero con la combinación Rojo, Verde y Azul (RGB). Es decir que, para cada toma, los sensores capturan cinco productos asociados a la misma área de fotografía, por lo tanto, el postproceso de las imágenes debe realizarse cinco veces para cada producto individualmente. Como se observa en la Tabla 1, por ejemplo, para el primer vuelo en el mes de febrero se obtuvieron en total 120 imágenes digitales, de estas 24 pertenecen al espectro del verde, 24 pertenecen al espectro del rojo, 24 pertenecen al espectro del borde rojo, 24 pertenecen al espectro del NIR y 24 pertenecen al espectro del visible RGB, así sucesivamente para los demás vuelos.

En este sentido, el postproceso de las imágenes debe hacerse cinco veces para cada una de las bandas, una vez para las imágenes que pertenecen a la longitud de onda del verde, la segunda vez para las que pertenecen al rojo, la tercera vez para las que pertenecen al borde rojo, la cuarta vez para las que pertenecen al NIR y la quinta vez para las que pertenecen al visible RGB. Esto con el principal objetivo de generar una ortofoto que este corregida con los puntos de control descritos en secciones anteriores, por lo tanto, a continuación, se describirá el flujo de trabajo realizado para una banda de un vuelo y la obtención final del ortofotomosaico que es la corrección y unión de todas las 24 imágenes que pertenecen al mismo espectro, para luego con este producto lograr realizar los índices de vegetación.

VUELO	FECHA	# IMÁGENES	Verde	Rojo	Red E.	NIR	RGB
VUELO_1	FEBRERO_2020	120	24	24	24	24	24
VUELO_2	JUNIO_2020	75	15	15	15	15	15
VUELO_3	OCTUBRE_2020	120	24	24	24	24	24
VUELO_4	NOV_2020	120	24	24	24	24	24

Tabla 1 Productos individuales de cada vuelo

El software usado para el postproceso fotogramétrico de las imágenes fue el Pix4Dmapper, el cual es un software licenciado, la universidad de Cundinamarca cuenta con esta licencia, que fue usada en los procedimientos. A continuación, se explicará someramente para un vuelo y una banda del espectro cual es el procedimiento para realizar el ortomosaico, para los demás vuelos y demás imágenes se realiza de la misma manera. Por ejemplo, para el segundo vuelo realizado en el mes de junio, los sensores capturaron 75 imágenes digitales, es decir que para cada banda espectral se capturaron 15 imágenes digitales, tomando como referencia la banda del rojo, a este le correspondieron 15 imágenes digitales, estas imágenes se agregan al proyecto del programa, automáticamente el programa detecta ciertos parámetros de las imágenes como; el sistema de coordenadas, las coordenadas, altura elipsoidal, entre otros, ver Figura 24.

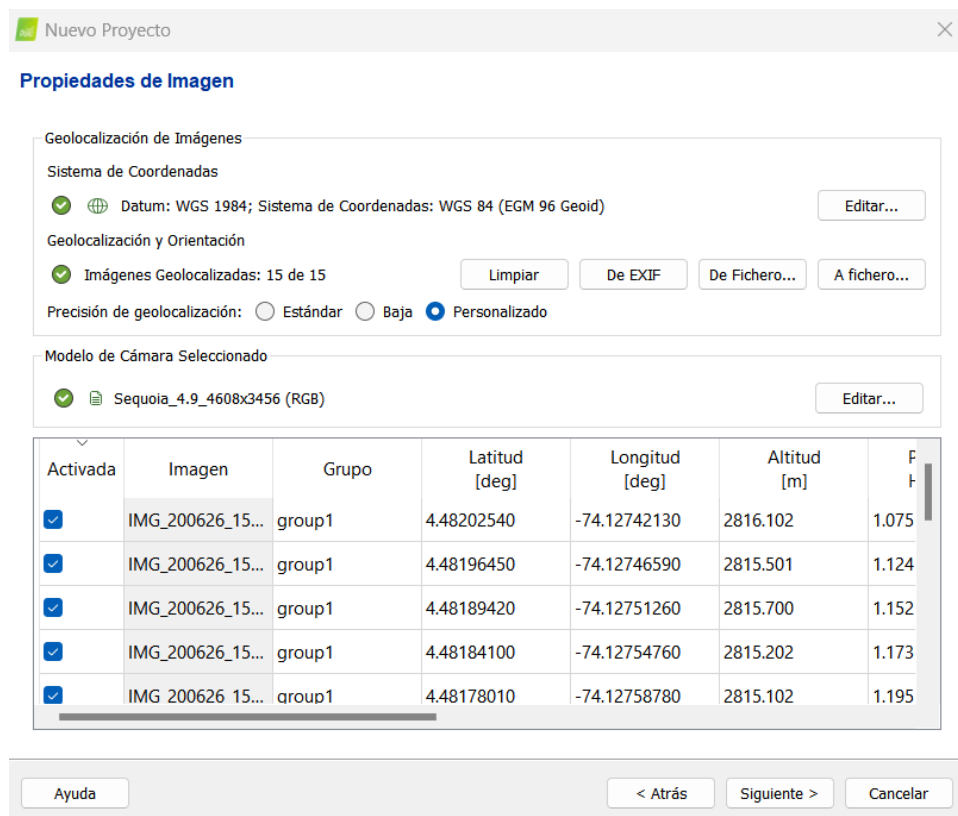


Figura 24 Parámetros de la imagen

Para este caso se seleccionó la opción de postproceso estándar, son la mejor opción para este tipo de proyectos ya que mantienen una buena calidad en la corrección del modelo y además el tiempo que tarda es de buen rendimiento, ver Figura 25.

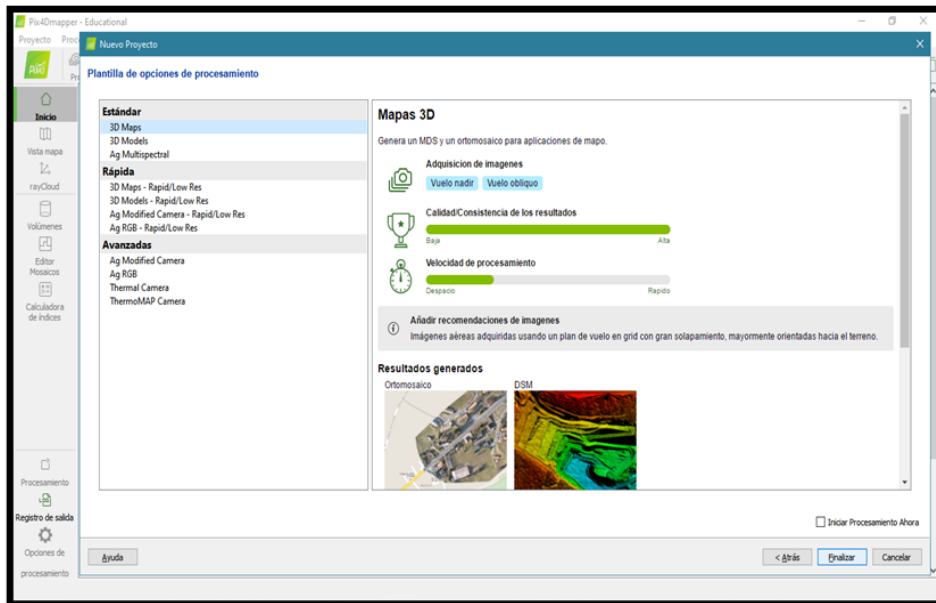


Figura 25 Postproceso estándar

Automáticamente el programa ubica preliminarmente cada una de las imágenes digitales sobre una imagen precargada del programa, observando que las coordenadas están en la zona de estudio del colegio de la Universidad Antonio Nariño, como se muestra en la Figura 26.

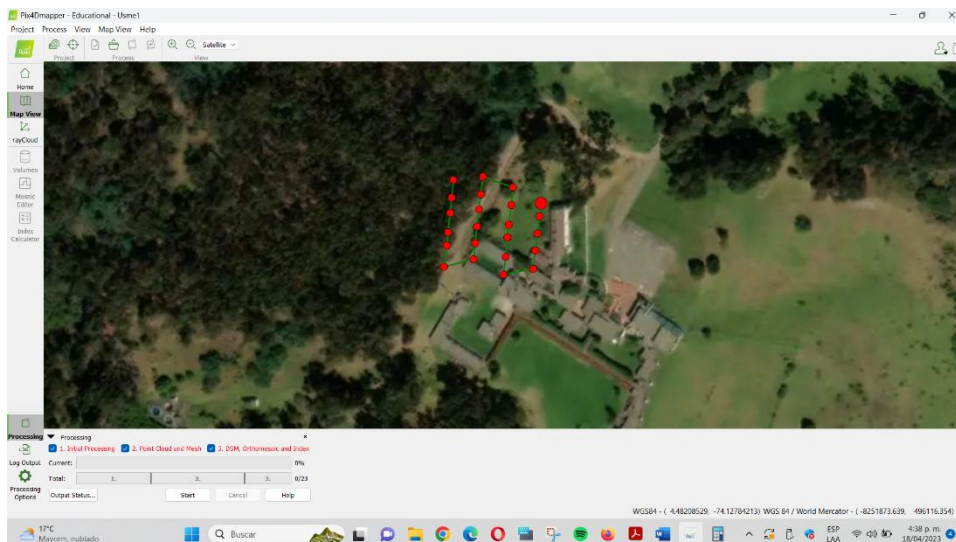


Figura 26 Ubicación preliminar de cada una de las imágenes digitales sobre la zona de estudio

Luego en las opciones de procesamiento del programa, la opción estándar se ajusta con el paso 1- Procesamiento Inicial, en la cual se reconstruye el modelo de imágenes y como fueron capturadas por primera vez, con los datos internos de la cámara, calculando una malla de puntos preliminar que indican la altura al piso del modelo. Como se muestra en la Figura 28.

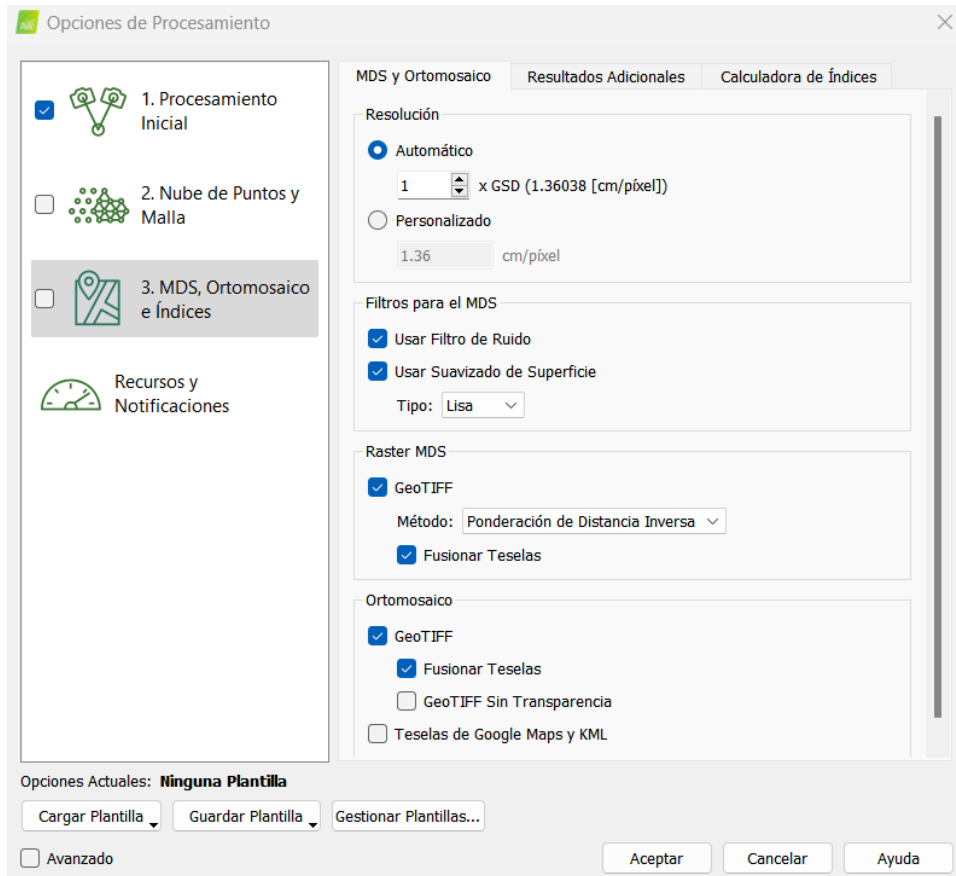


Figura 27 Procesamiento inicial

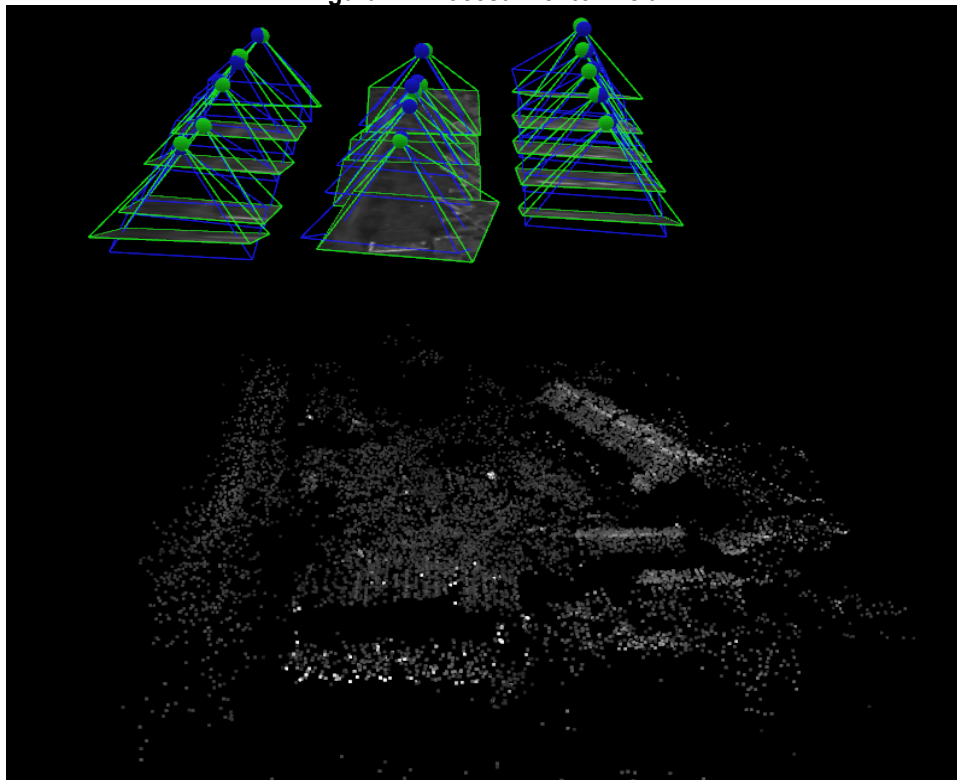


Figura 28 Altura al piso del modelo

A partir de este momento se deben usar las coordenadas geográficas corregidas con precisión del milímetro obtenidas en la toma de puntos de control y su respectivo postproceso, descrito en secciones anteriores, estas coordenadas deberán guardarse en un archivo plano de texto para subirlas al programa. Para la corrección de los vuelos se tomaron 3 puntos de control identificables en terreno y se cargaron al programa, ver Figura 29.

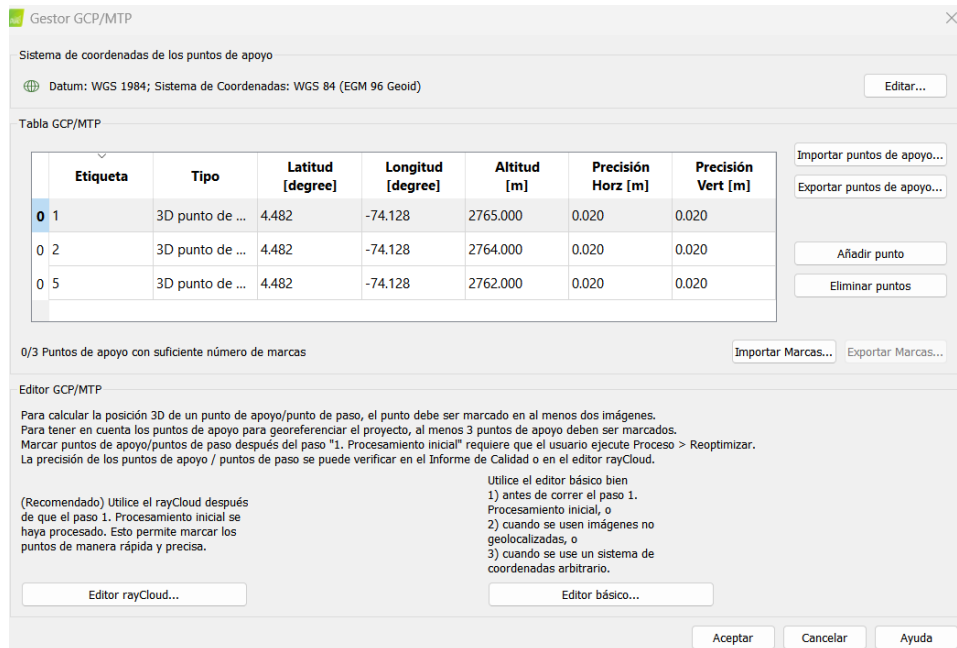


Figura 29 Puntos de control en terreno

Es entonces cuando se corrige el modelo o conjunto de imágenes a los puntos de control, que se toman como verdaderos con sus coordenadas corregidas en latitud, longitud y altura. Para esto se corrige cada marca de punto de control o GCP por sus siglas en inglés, a las marcas identificadas en cada imagen digital, este proceso se realiza manualmente, como se muestra en la Figura 31. En términos prácticos, en el software se arrastra la marca azul que representa el punto de control a la marca identificada en la foto, para este caso una x, cada vez que se ajusta cada imagen el mismo software va identificando la marca en las demás imágenes, este proceso debe realizarse para cada uno de puntos de control. Hay que resaltar nuevamente que lo que se está haciendo es ajustar todo el modelo de las imágenes a los puntos de control.

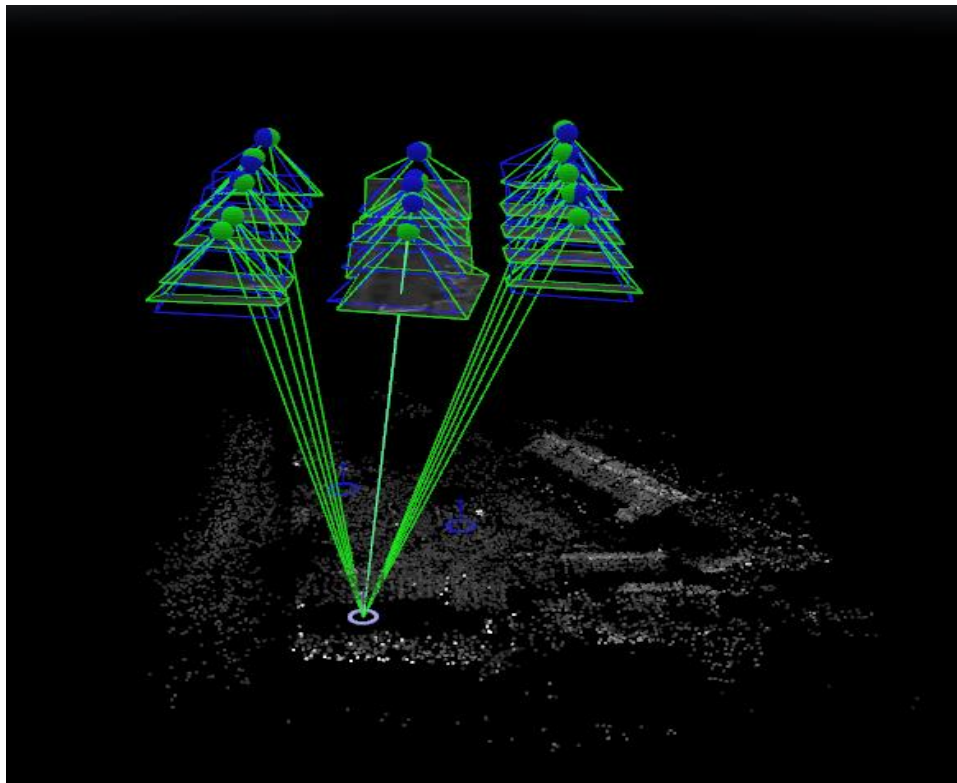
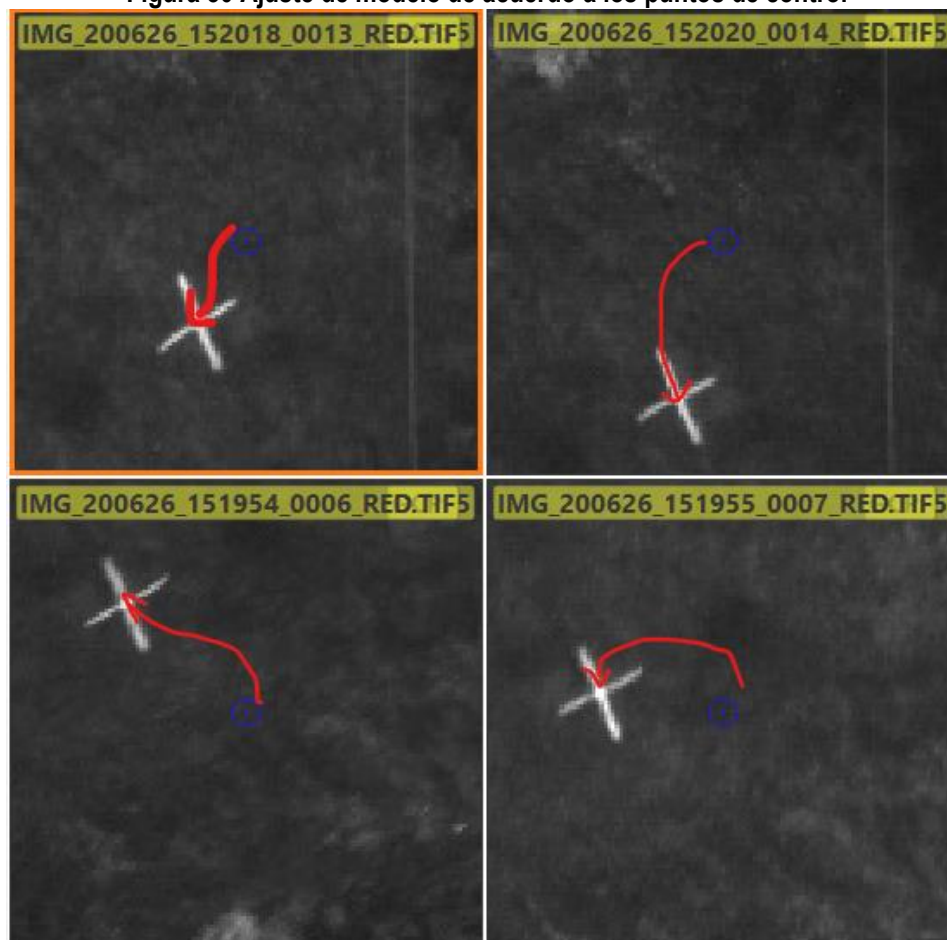


Figura 30 Ajuste de modelo de acuerdo a los puntos de control



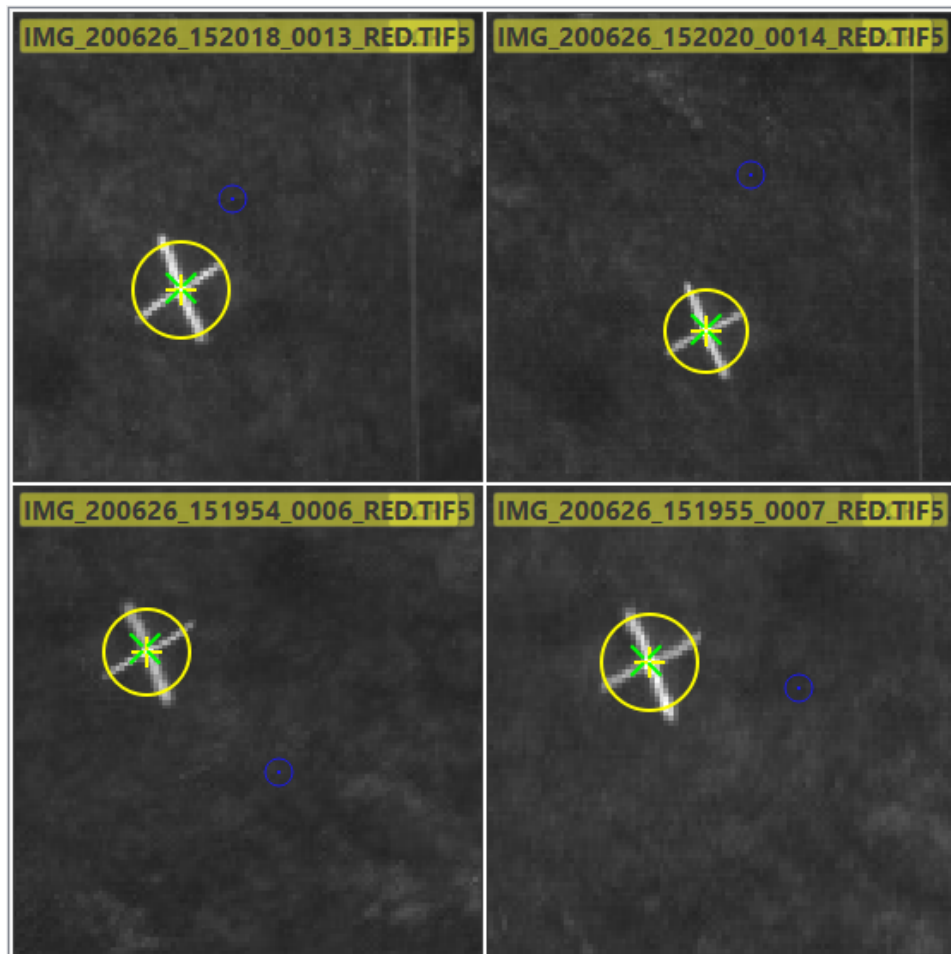


Figura 31 Corrección cada marca de punto de control

Finalmente, una vez ajustado y re optimizado el modelo a los puntos de control capturados en terreno se puede realizar el paso 2- Nube de puntos, que densifica la nube de puntos preliminar y le da una mejor escala al mosaico y también crea una malla en tres dimensiones para el estudio de estructuras aplicable a otro tipo de proyectos como los de superficie, o la creación de Modelos Digitales de Elevación para conocer alturas detalladas, que para el presente proyecto no es relevante, ver Figura 33. El resultado más importante de este proceso es el paso 3- MDS, Ortomosaico, en donde se genera el Ortofotomosaico de cada uno de los vuelos y espectros de banda captadas por los sensores, como se observa en la Figura 34. En el capítulo de resultados se indicará con más detalle la totalidad de ortomosaico obtenidos y además estos fueron usados para las operaciones algebraicas que permitieron la generación de los índices de vegetación que permitieron la identificación de las fosas en la zona de estudio.

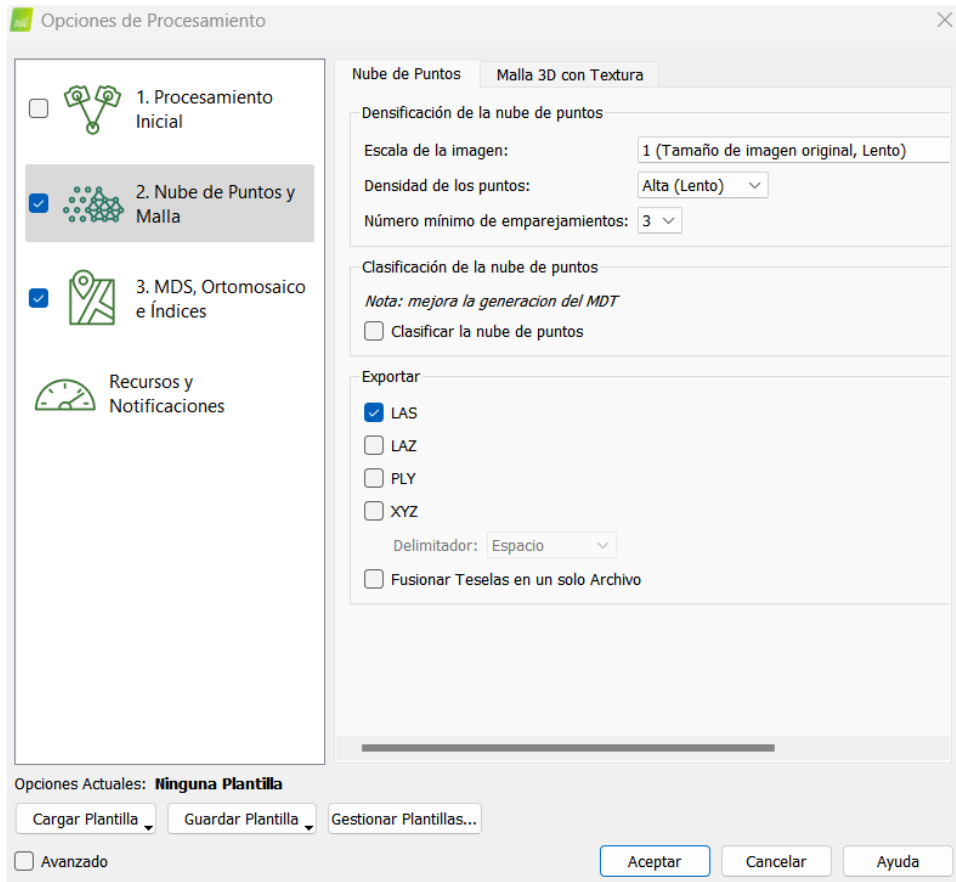
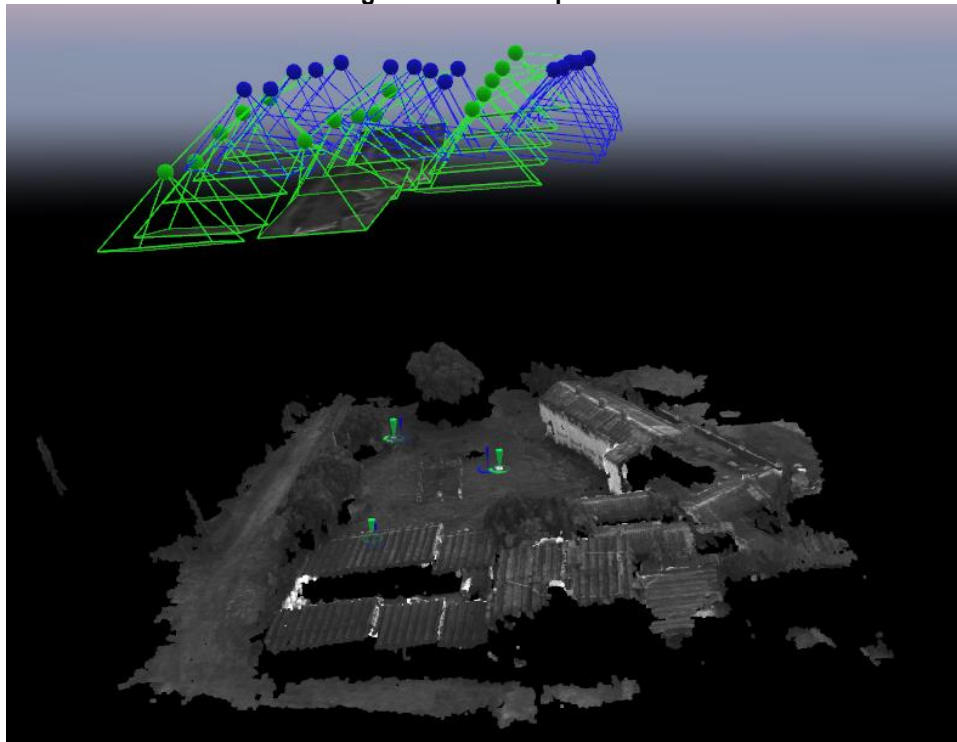


Figura 32 Nube de puntos



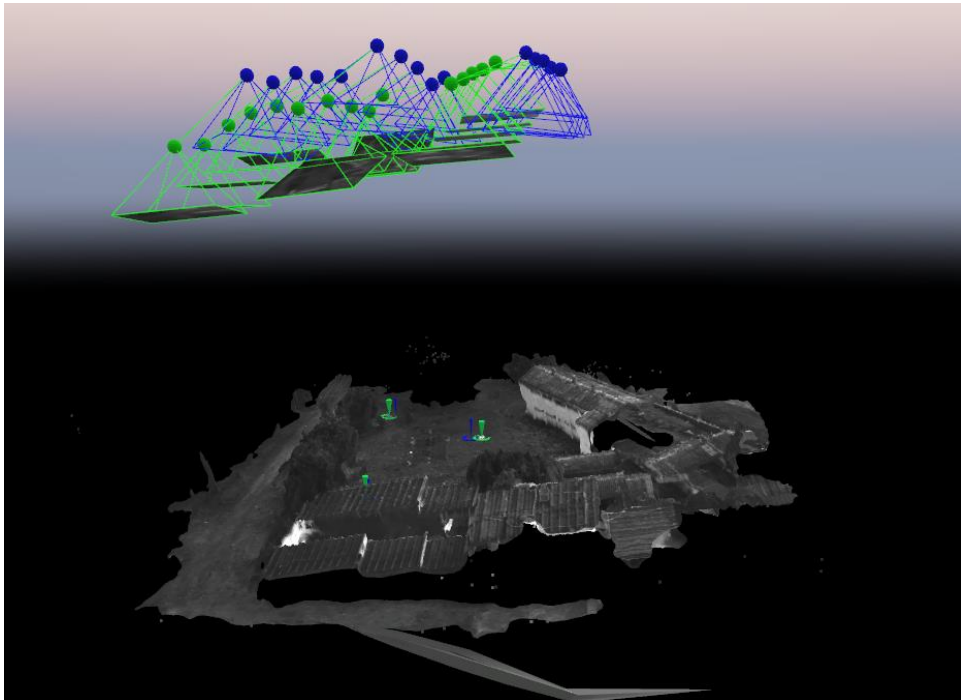


Figura 33 Modelos Digitales de Elevación para conocer alturas detalladas



Figura 34 Ortofotomosaico de cada uno de los vuelos

9.6 INDICES DE VEGETACIÓN

A partir de la sección anterior, se expone que los productos generados de los cuatro vuelos fotogramétrico con aeronave no tripulada o Dron de marca "Parrot Bluegrass" fueron, los ortomosaicos de longitud de onda del visible (RGB), longitud de onda de borde rojo (Red Edge), longitud de onda roja (red), longitud de onda del verde (Green) y longitud de onda del infrarrojo cercano (NIR); con los anteriores insumos fotogramétricos, se realizó el procesamiento digital de las imágenes, aplicando los conceptos de índices espectrales fotosintéticos, los cuales nos arrojan información de la actividad fotosintética o dinámica temporal de la biomasa.

Los índices utilizados para esta investigación fueron NDVI, GNDVI y GCI, los cuales fueron anteriormente explicados en la sección (7.3. ÍNDICES DE VEGETACIÓN), proceso algebraico que se realizó para la construcción de cada uno de estos índices.

Para el índice NDVI se hizo uso de la siguiente fórmula, vista en la Ecuación 1: NDVI la cual se aplica en la calculadora raster como se muestra en la Figura 36, herramienta que se encuentra en ArcToolbox en ArcGIS, la opción Spatial Analyst Tools y finalmente Map Algebra para encontrar la calculadora raster, es importante resaltar que se usaron los orto mosaicos de la longitud de onda de infrarrojo cercano (NIR) y longitud de onda roja (red).

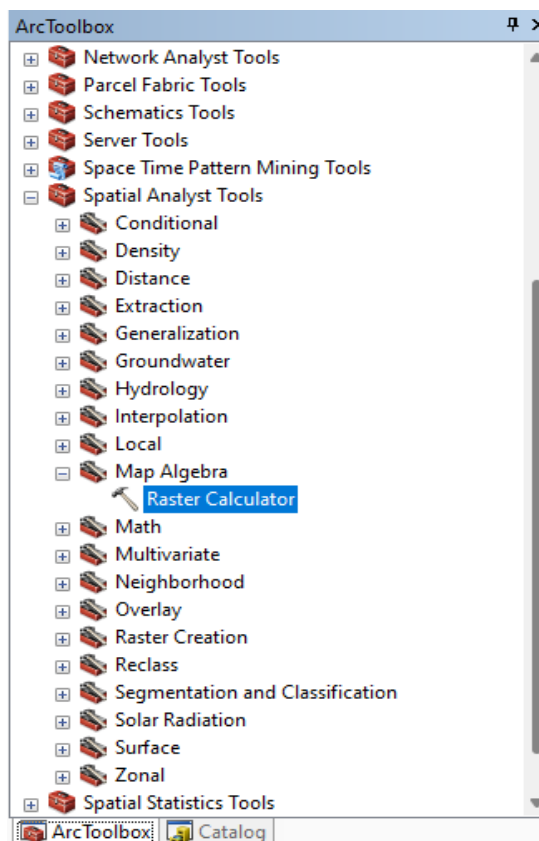


Figura 35 Herramienta ArcToolbox en ArcGIS

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$$

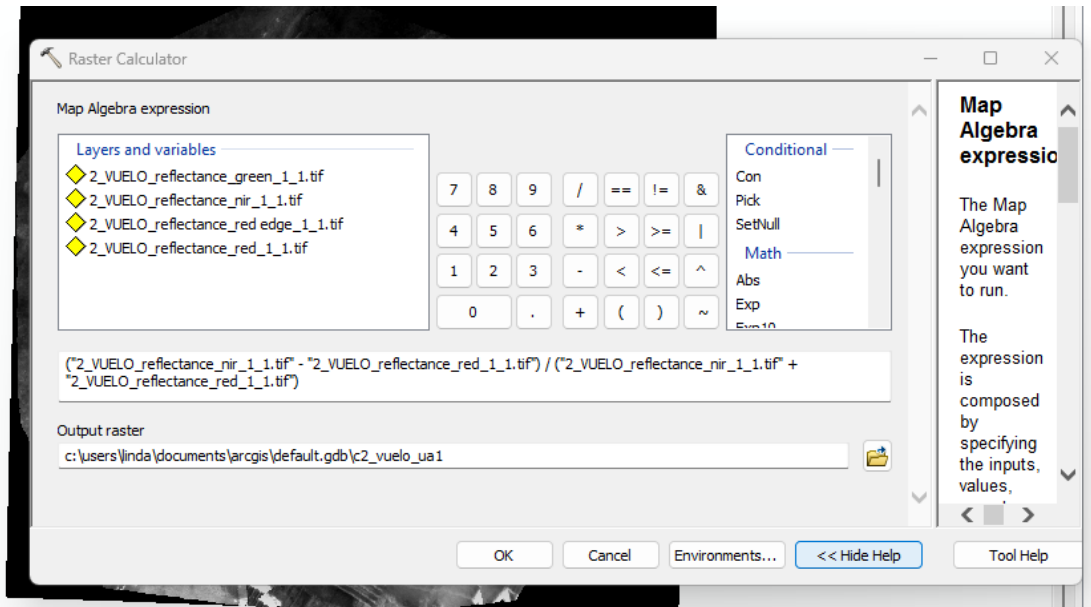


Figura 36 Índice de vegetación NDVI aplicado en la calculadora raster

Para el índice GNDVI se lleva cabo en la calculadora raster con la siguiente fórmula vista en **Ecuación 6 GNDVI**, es importante resaltar que se usaron los orto mosaicos de la longitud de onda infrarrojo cercano (NIR) y la longitud de onda verde (GREEN) como se observa en la Figura 37.

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

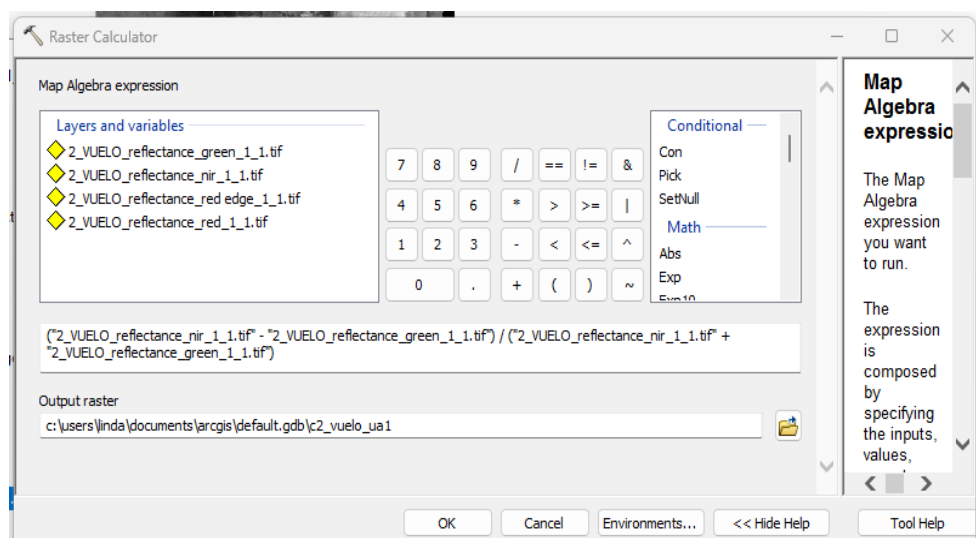


Figura 37 Índice de vegetación GNDVI aplicado en la calculadora raster

Al momento de generar el índice GCI se realiza el mismo procedimiento con la herramienta calculado raster haciendo uso de la **Ecuación 7 GCI**, es importante resaltar que se usaron los orto mosaicos de la longitud de onda infrarrojo cercano (NIR) y longitud de onda verde (GREEN) como se observa en la Figura 38.

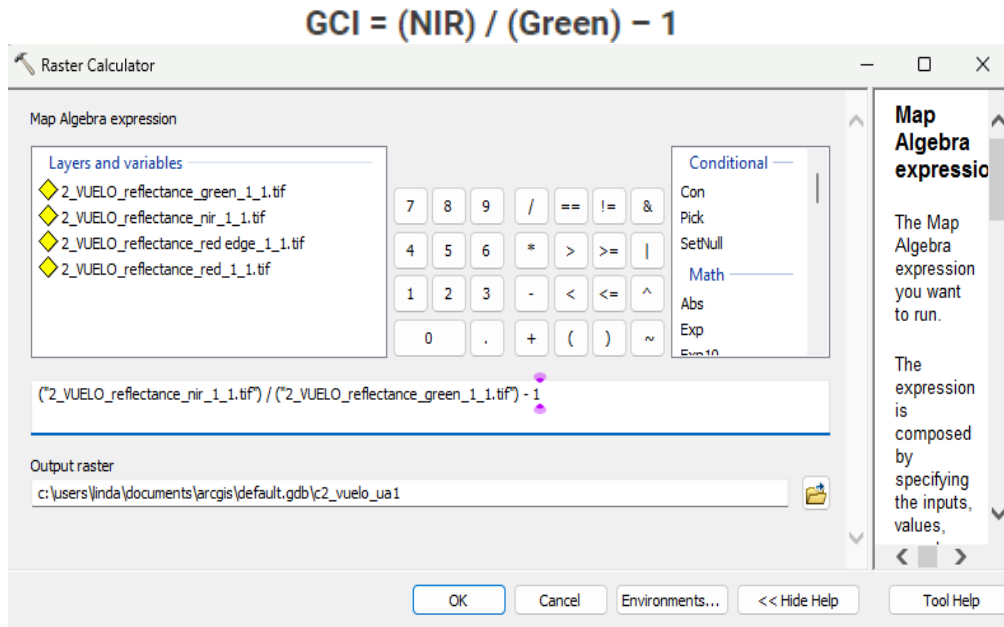


Figura 38 Índice de vegetación GCI aplicado en la calculadora raster

Con lo anteriormente mencionado se demostrará en la siguiente tabla el total de índices generados para cada vuelo

VUELO	NDVI	GNDVI	GCI	TOTAL
VUELO_1	1	1	1	3
VUELO_2	1	1	1	3
VUELO_3	1	1	1	3
VUELO_4	1	1	1	3

Tabla 2 Índices para cada vuelo

Este proceso se realizó con las longitudes de onda obtenidas de los cuatro vuelos generando índices NDVI, GNDVI y GCI, estos escogidos ya que están altamente asociados con el contenido de vegetación y la variación del contenido de clorofila que refleja el estado fisiológico de la vegetación. Los resultados específicos de las imágenes raster para índices de vegetación se observarán en la siguiente sección.

10. RESULTADOS

10.1. PUNTOS DE CONTROL

Ya obtenida la georreferenciación de los cuatro puntos de control tomados con las antena GNSS marca Híper SR, se realizó el pos proceso con los datos RINEX mencionado anteriormente en la sección 9.3. PUNTOS DE CONTROL se obtuvieron los siguientes puntos (5) con coordenadas precisas.

PUNTO	X	Y	ALTURA	OBSERVACIONES
1	-74,12757	4,48198	2765	PUNTO CARTULINA
2	-74,12762	4,48214	2764	PUNTO CINTA
3	-74,12763	4,48202	2763	ESQUINA ENTIERRO
4	-74,12766	4,48196	2764	ESQUINA ENTIERRO2
5	-74,12773	4,4819	2762	PUNTO CINTA2

Tabla 3 Coordenadas precisas de cada punto de control

10.2. VUELOS UAV Y POSPROCESO DE LAS IMÁGENES

Como resultado de los vuelos UAV se obtuvieron imágenes tipo raster las cuales se describen en la Tabla 4. Estas nos permiten obtener un producto individual para cada vuelo, por ejemplo, para el vuelo número 3 realizado en el mes de octubre se obtuvieron 120 imágenes tipo raster, las cuales están compuestas por 24 imágenes pertenecientes a la longitud de onda del verde (Green), 24 a la longitud de onda del rojo (Red), 24 a la longitud de onda del borde rojo (Red Edge), 24 a la longitud de onda del infrarrojo cercano (NIR) y finalmente 24 a la longitud de onda visible (RGB), así sucesivamente se obtienen los productos individuales para cada vuelo.



VUELO	FECHA	# IMAGENES	Verde	Rojo	Red E.	NIR	RGB
VUELO_1	FEBRERO_2020	120	24	24	24	24	24
VUELO_2	JUNIO_2020	75	15	15	15	15	15
VUELO_3	OCTUBRE_2020	120	24	24	24	24	24
VUELO_4	NOV_2020	120	24	24	24	24	24

Tabla 4 Productos individuales de cada vuelo

En este sentido a partir de los productos individuales de cada vuelo se obtiene como resultado del postproceso de las imágenes un mosaico para cada longitud de onda, longitud de onda del visible (RGB), longitud de onda de borde rojo (Red Edge), longitud de onda roja (red), longitud de onda del verde (Green) y longitud de onda del infrarrojo cercano (NIR) las cuales se describen en las siguientes tablas.

VUELO	FECHA	Verde	Rojo	Red E.	NIR	RGB	TOTAL
VUELO_1	FEBRERO_2020	1	1	1	1	1	5
VUELO_2	JUNIO_2020	1	1	1	1	1	5
VUELO_3	OCTUBRE_2020	1	1	1	1	1	5
VUELO_4	NOV_2020	1	1	1	1	1	5

A continuación, en la Tabla 5, se mostrarán los resultados obtenidos para el vuelo número 2, el cual contiene los mosaicos pertenecientes a cada longitud de onda anteriormente mencionada.

VUELO	LONGITUD DE ONDA	MOSAICO
VUELO # 2	Verde (Green)	
	Rojo (Red)	



<p>Borde Rojo (Red Edge)</p>	
<p>NIR</p>	
<p>RGB</p>	

Tabla 5 Productos obtenidos del postproceso de las imágenes

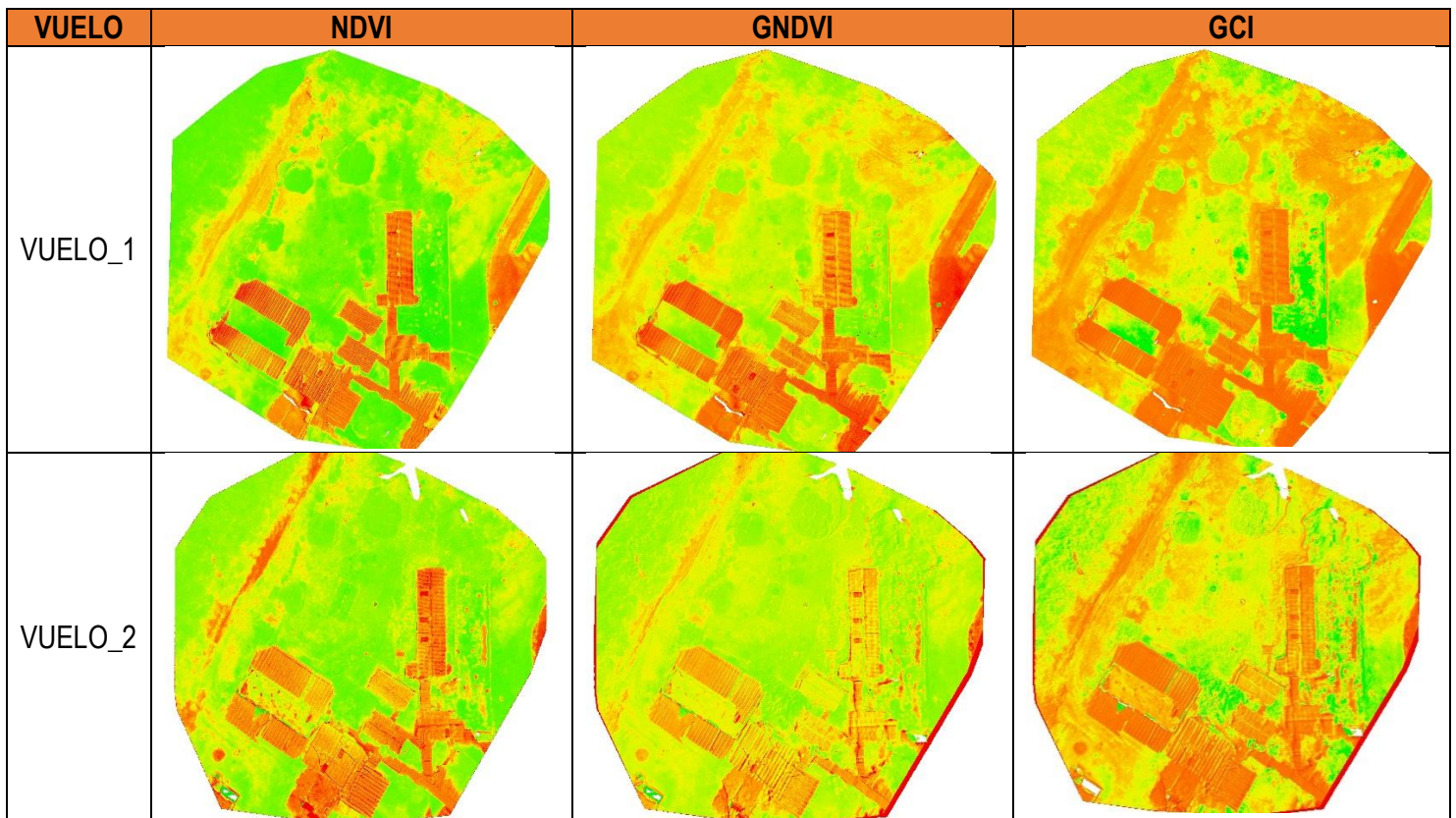
10.3 INDICES DE VEGETACIÓN

Como resultado del proceso algebraico que se realizó para la construcción de cada uno de los índices realizados con las longitudes de onda obtenidas de los vuelos generados, se adquirió como producto tres índices de vegetación para cada vuelo por ejemplo para el vuelo numero dos se obtuvo un índice NDVI, GNDVI y GCI generando un total de tres índices para cada vuelo como se observa en la Tabla 6, estos índices fueron escogidos ya que estos esta relacionados con el contenido de la vegetación y la variación del contenido de clorofila la cual refleja el estado fisiológico de la vegetación como se mencionó anteriormente en la sección 9.6 INDICES DE VEGETACIÓN.

VUELO	NDVI	GNDVI	GCI	TOTAL
VUELO_1	1	1	1	3
VUELO_2	1	1	1	3
VUELO_3	1	1	1	3
VUELO_4	1	1	1	3

Tabla 6 Índices generados

A continuación, se mostrarán los índices NDVI, GNDVI y GCI obtenidos para cada vuelo.



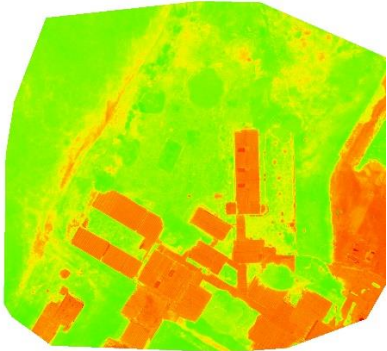
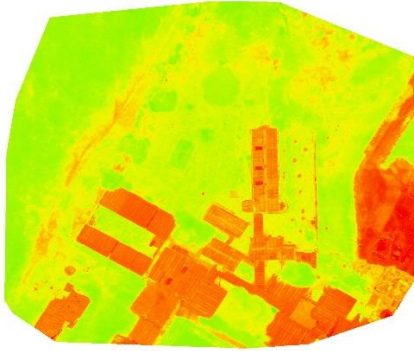
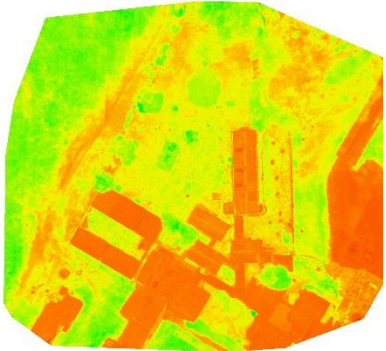
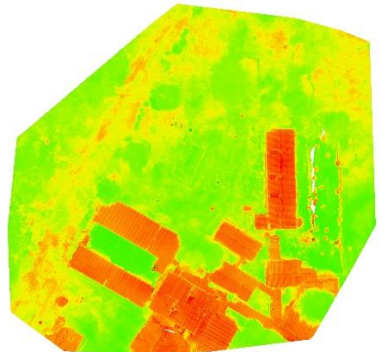
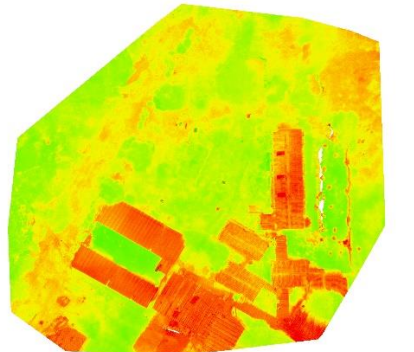
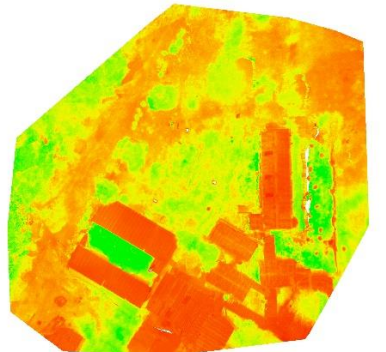
VUELO_3			
VUELO_4			

Tabla 7 Índices generados para cada vuelo

10.4. IDENTIFICACIÓN DE FOSAS COMUNES

Como bien se mencionó en las secciones anteriores, a partir de la generación de ortofotomosaicos y luego la respectiva generación de los índices de vegetación, se procede a analizar la posible identificación de fosas comunes en la zona experimental, por lo tanto, el Vuelo 1 en febrero de 2020 se realizó antes del entierro experimental, por lo cual como se evidencia en la Figura 39 se demarca la zona experimental y se comparan los tres índices generados; el NDVI, EL GNDVI y el GCI, sin embargo al no haber entierro no se evidencia algún cambio.

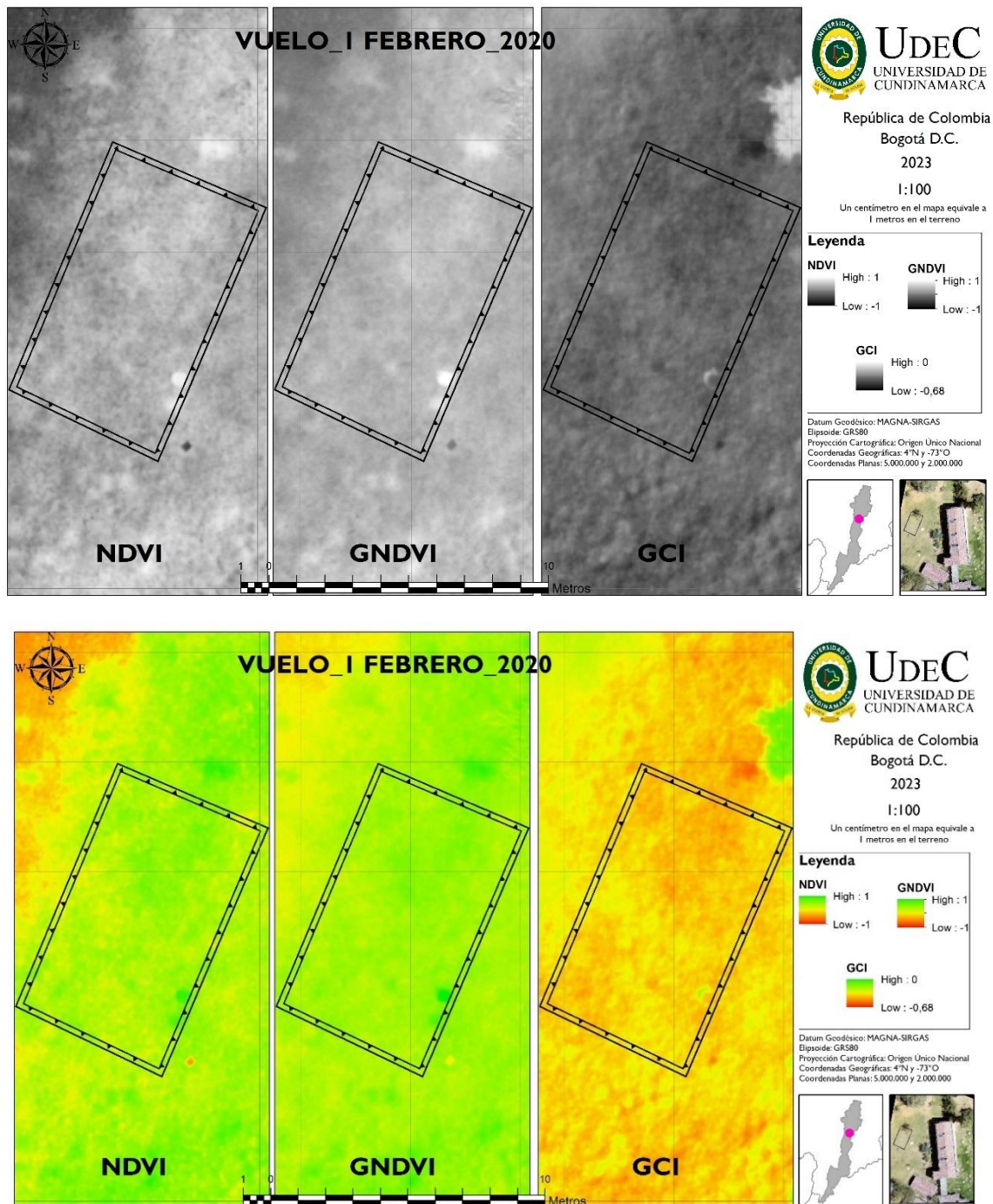


Figura 39 Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el primer vuelo.

El entierro experimental por parte del proyecto de investigación madre, se realizó en el mes de mayo, por lo cual el segundo vuelo se realizó en junio de 2020, como se muestra en la Figura 40, se demarca la zona experimental y se comparan los tres índices generados; el NDVI, EL GNDVI y el GCI, los cuales muestran la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. Por lo tanto, se evidencia una alteración en la zona experimental debido a una intervención antrópica asociada a las fosas experimentales y a la disposición que fue determinado por los investigadores, es decir que se observan claramente los cuadros de fosas comunes. Especialmente para el índice GCI, se puede determinar la respuesta espectral del suelo en donde se hizo el entierro, asociado a valores bajos del índice y algunos valores altos relacionados con la materia orgánica de los restos de los animales que actúan como fertilizante de la vegetación, sin dejar de vista que este índice se usa para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas.

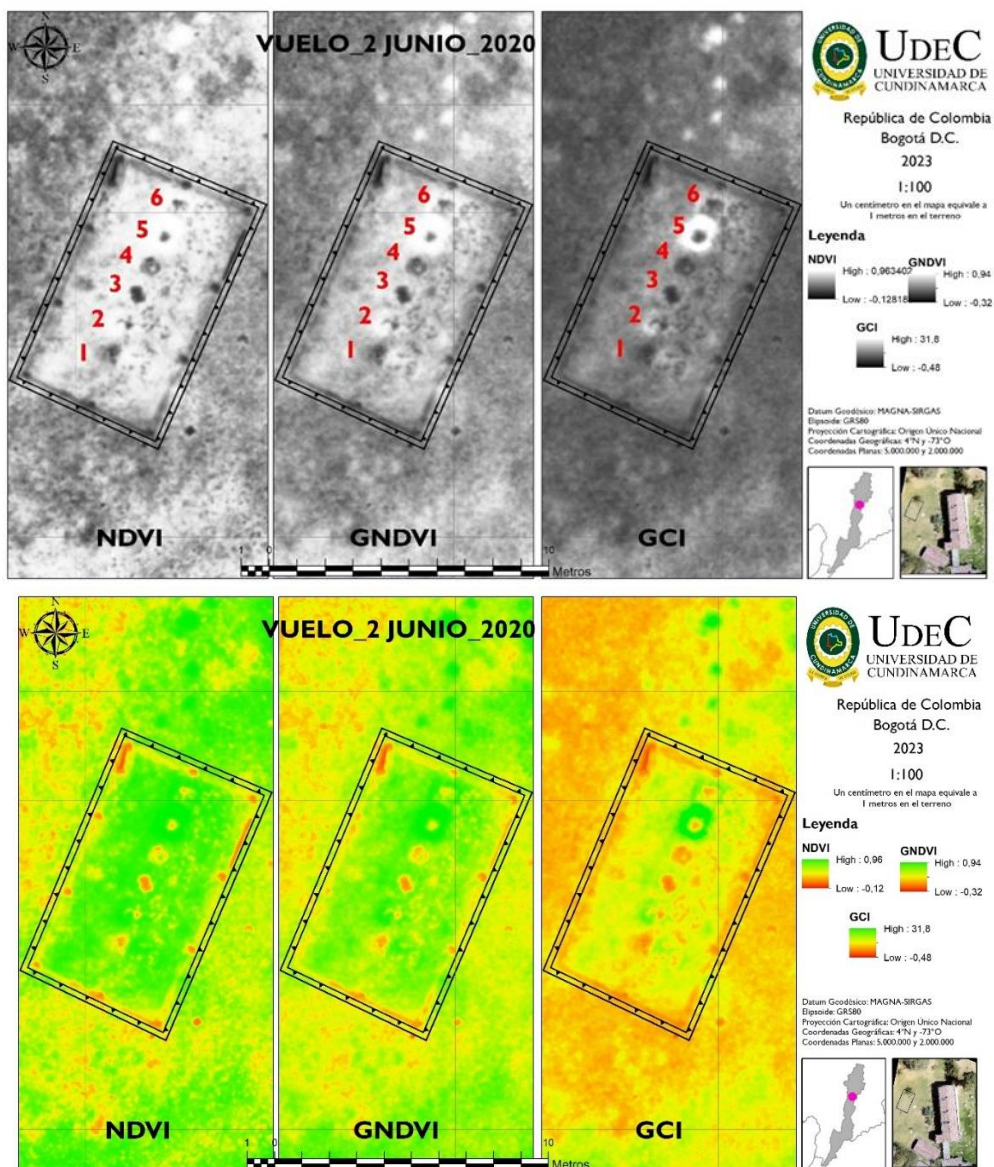


Figura 40 Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el segundo vuelo.

El tercer vuelo se realizó cinco meses después del entierro, como se muestra en la Figura 41 en donde se evidencia que el avance natural de los procesos vegetales hace que para los índices NDVI y GNDVI sean poco identificable a través de la vegetación las fosas experimentales realizadas meses atrás, sin embargo, para el GCI aún se logra una identificación probablemente debido a que el material orgánico hizo aumentar la vegetación y por tanto sus niveles de clorofila.

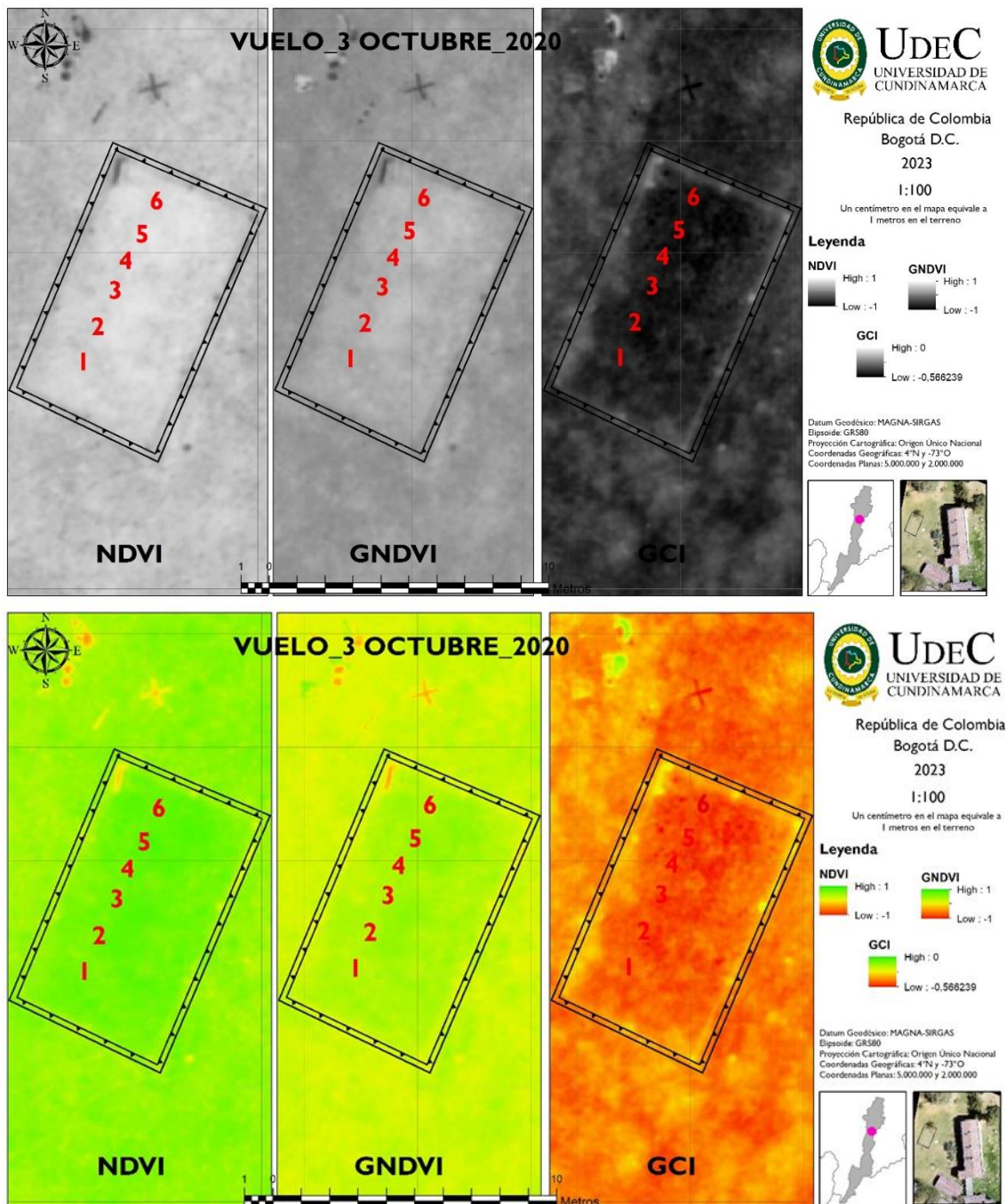


Figura 41 Comparación de índices NDVI, GNDVI y GCI para el tercer vuelo.

El cuarto vuelo se realizó seis meses después del entierro experimental, como se muestra en la Figura 42, en donde se evidencia que el avance natural de los procesos vegetales y la respuesta espectral de las plantas hace que para los índices NDVI y GNDVI sean más identificables que el mes anterior, esto puede ser explicado a procesos climáticos y un mejor estado respecto a salud de los pastizales, sin embargo, para el GCI se logra una identificación más evidente probablemente debido a que el material orgánico hizo aumentar la vegetación y por tanto sus niveles de clorofila.

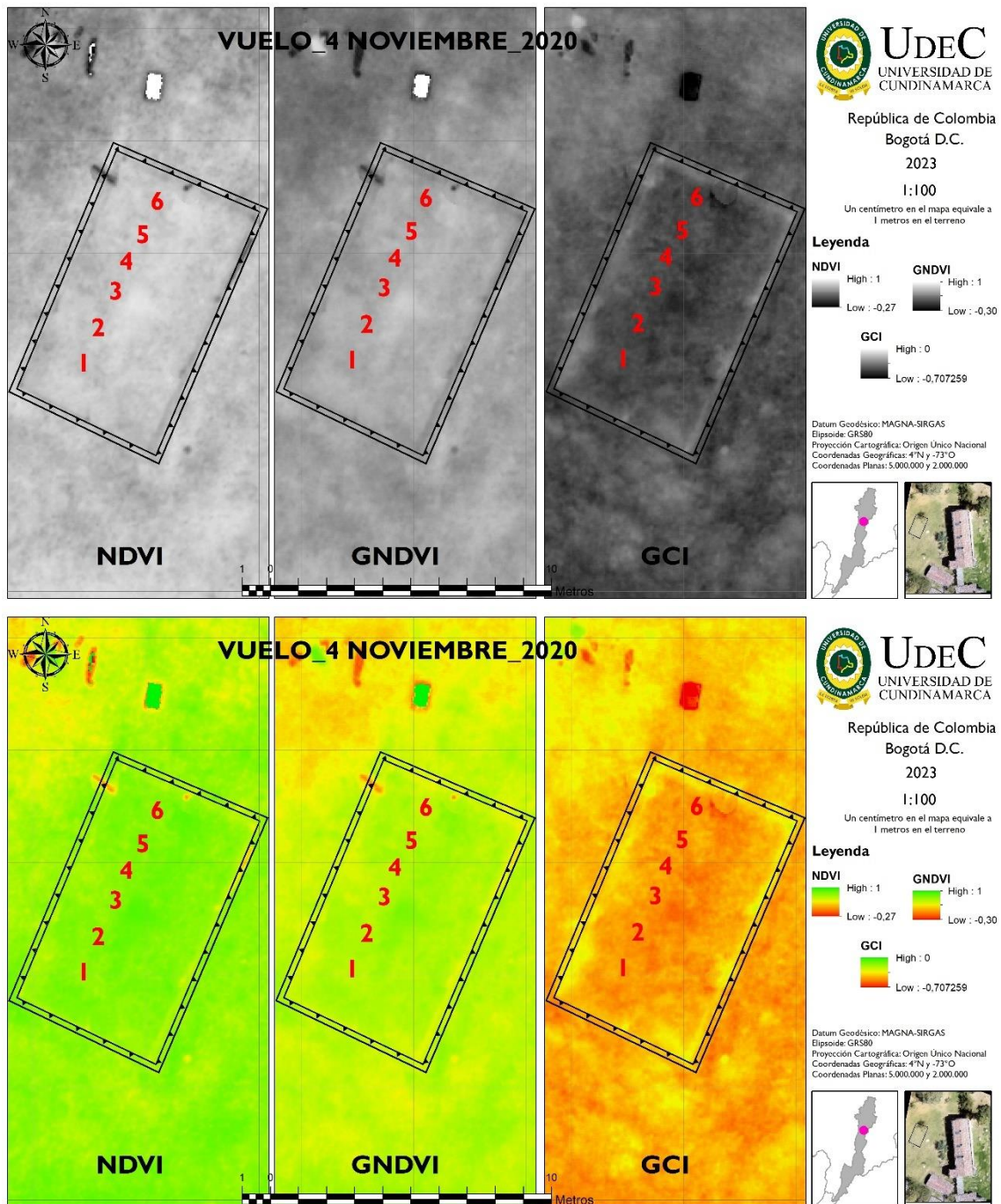


Figura 42 Comparación de Índices NDVI, GNDVI y GCI para el cuarto vuelo.

11. CONCLUSIONES

- ❖ Al momento de realizar monitoreo de cualquier tipo de fenómeno sobre la superficie con Aeronaves no tripuladas se deben geolocalizar y obtener coordenadas de mínimo 3 puntos de control que sean identificables en los vuelos, estas coordenadas deben ser capturadas con métodos e instrumentos GNSS y realizar su respectivo postproceso para obtener correcciones en los tres de los ortomosaicos, para el caso del presente proyecto se identificaron cinco puntos de control.
- ❖ Para el presente proyecto se capturaron para el *VUELO_1* 120 imágenes, para el *VUELO_2* 75 imágenes, para el *VUELO_3* 120 imágenes y para el *VUELO_4* 120 imágenes, estas fueron posprocesadas con el software Pix4DI creando los mosaicos respectivos corregidos en los ejes coordenados.
- ❖ Se obtuvo como resultado para los cada uno de los cuatro vuelos, cuatro mosaicos a ser usados en la generación de índices, estos fueron para el espectro del verde, del rojo, del Red Edge y del NIR.
- ❖ Se generaron tres índices de vegetación para cada uno de los vuelos usando los índices de vegetación NDVI, GNDVI y GCI. Estos fueron generados un mes antes del entierro experimental, un mes después del entierro, cinco meses después del entierro y seis meses después del entierro.
- ❖ Los índices de vegetación derivados del *VUELO_2* se realizaron un mes después del entierro experimental que semejava fosas comunes, obteniendo como resultado la identificación con el NDVI, GNDVI y GCI clara de las 6 fosas que se diseñaron previamente en la zona experimental. Especialmente para el índice GCI, se puede determinar la respuesta espectral del suelo en donde se hizo el entierro, asociado a valores bajos del índice y algunos valores altos relacionados con la materia orgánica de los restos de los animales que actúan como fertilizante de la vegetación.
- ❖ Los índices de vegetación derivados del *VUELO_3* se realizaron cinco meses después del entierro, donde se evidencia que para los índices NDVI y GNDVI son poco identificables las fosas experimentales a través, sin embargo, para el GCI aún se logra una identificación probablemente debido a que el material orgánico hizo aumentar la vegetación y por tanto sus niveles de clorofila.
- ❖ Los índices de vegetación derivados del *VUELO_4* se realizaron seis meses después del entierro, se evidencia para los índices NDVI y GNDVI sean un poco más identificables que el mes anterior, esto puede ser explicado a procesos climáticos y un mejor estado respecto a salud de los pastizales, sin embargo, para el GCI se logra una identificación más evidente probablemente debido a que el material orgánico hizo aumentar la vegetación y por tanto sus niveles de clorofila.
- ❖ El índice GCI se puede considerar como el más apto para identificar fosas comunes ya que ayuda a determinar valores bajos del índice asociados a la respuesta espectral del suelo en donde se hizo el entierro y algunos valores altos relacionados con la materia orgánica de los restos de los animales que actúan como fertilizante de la vegetación, sin dejar de vista que este índice se usa para estimar el contenido de clorofila en las hojas de diversas especies de plantas.
- ❖ Por medio de la teledetección aplicada en aeronaves no tripuladas es posible identificar fosas en un contexto experimental, sin embargo, esta identificación es muy evidente al

mes después de ocurrido el hecho y sin una cobertura vegetal alta, por lo cual relacionado con la realidad del contexto colombiano de hechos victimizantes de décadas atrás de restos humanos, esta técnica debe ser combinada con técnicas de exploración del suelo con radar y testimonios en el marco de declaraciones de paz.

12. BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS. (n.d.). *Georreferenciación y sistemas de coordenadas*.
<https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000r000000.htm>
- Blair, Q. (2008). *De memorias y de guerras: La Sierra, Villa Liliam y el 8 de marzo en Medellín*. Medellín: Municipio de Medellín.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000160&pid=S1692-715X201500020003000009&lng=en
- Bocco, M., Ovando, G., Sayago, S. & Willington, E. (2013). *Simple models to estimate soybean and corn percent ground cover with vegetation indices from modis*. *Revista de Teledetección*.
- Busch, S., Mangado, M. E. & Robaina, M. C., Osso, M. & Wurst, C. (2002). *Configuración identitaria en jóvenes tras la desaparición forzada de un familia, Secuelas de la desaparición forzada en familias ayacuchanas*. En R. K. Burstein, M. Storn & M. C. Raffo (eds.) *Desplegando alas, abriendo caminos: sobre las huellas de la viole*.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-715X2015000200030
- Cruz Martinez, M. F. (2008). *Caracterización de puntos de control en teledetección: Aplicación de la corrección geométrica automática de imágenes*.
- Díaz González, F. A., Quintero Torres, S. V., Triana Correa, J. S., & Hernández Morón, D. C. (2014). *APROXIMACIÓN A LOS SISTEMAS DE PERCEPCIÓN REMOTA EN SATÉLITES PEQUEÑOS*. Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Ingeniería.
<https://repository.usergioarboleda.edu.co/bitstream/handle/11232/545/Aproximacion>
- Díaz, J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*.
- EOS Data Analytics. (2022). *Vegetation Indices To Drive Digital Agri Solutions*.
<https://eos.com/blog/vegetation-indices/>
- Ferrándi, F. (2009). *Fosas comunes, paisajes del terror*.
<file:///C:/Users/LINDA/Desktop/ANTEPROYECTO DE GRADO/70-Texto del artículo-71-1-10-20090608.pdf>
- Franzpc. (2019). *Lista de índices espectrales en Sentinel 2 y Landsat*. <https://acolita.com/lista-de-indices-espectrales-en-sentinel-2-y-landsat/>
- Gonzaga. (2014). *Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la zona centro de la Provincia de Loja, Ecuador*.
- Hernández, D. H. B. (2017). *APLICACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA EVALUAR PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL PARQUE FORESTAL EMBALSE DEL NEUSA*.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2016). *Especificaciones técnicas Cartografía Básica Digital*.
https://www.igac.gov.co/sites/igac.gov.co/files/documento_especificaciones_tecnicas_cartografia_basicas.pdf
- Instituto Geográfico Nacional. (n.d.). *Teledetección*. 2. <http://www.ign.es/web/ign/portal>
- Isla, R. & López-Lozano, R. (2005). *Comparación de distintos índices de vegetación para detectar deficiencias de nitrógeno en maíz*. *Revista de Teledetección*.
- Locis SIGtech. (2018). *Drones y cartografía de precisión*. <https://www.locis.es/drones-y-cartografia-de-precision/#:~:text=Los drones permiten capturar los, en lugares que por su>
- Meneses-Tovar, C. (2011). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de*

Facultad de Ciencias Agropecuarias

- la degradación del bosque.* <https://www.fao.org/3/i2560s/i2560s07.pdf>
- Muñoz, A. P. (2013). *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación.*
[https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26389/Tema Índices de vegetación%2C Pedro Muñoz A.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Un Índice de Vegetación%2C puede,Gilabert et al%2C 1997\).](https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Un%20%C3%89ndice%20de%20Vegetaci%C3%B3n%20puede,Gilabert%20et%20al%20(1997).)
- Navarro R. M., H. R. (2009). *Cartografía de variables eco fisiológicas en repoblaciones de pino a partir de datos hiperespectrales.*
- Declaración sobre la protección de todas las personas contra las desapariciones forzadas, 4 (1993). <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N93/091/21/IMG/N9309121.pdf?OpenElement>
- Real Academia Española. (n.d.). *No Title.* <https://dle.rae.es/fosa>
- Roxana, Enríquez Farias, M. H. M. M. (2021). *Apuntes para analizar la situación de las fosas comunes.* [https://www.identificacionhumana.mx/apuntes-para-analizar-la-situacion-de-las-fosas-comunes-en-mexico/temario_10,CAPÍTULO 10. TELEDETECCIÓN. \(n.d.\).](https://www.identificacionhumana.mx/apuntes-para-analizar-la-situacion-de-las-fosas-comunes-en-mexico/temario_10,CAPÍTULO%2010.%20TELEDETECCIÓN.%20(n.d.))
- VENTURA, F. (2001). *FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CONTROL DE LAS EXTRACCIONES MEDIANTE TELEDETECCIÓN.*
- Villaverde. (2008). *Sistemas de Información Geográfica (SIG): Técnicas básicas para estudios de biodiversidad.* <https://www.gbif.es/wp-content/uploads/2020/06/textosig.pdf>