



**Aplicación de la metodología multiespectral en
agricultura de precisión para el desarrollo del cultivo de
palma en el municipio de Río de Oro, Cesar en el año
2022.**

Modalidad: Proyecto de Investigación

**Harold Andrés Chacón Herrera
CC 1064841779**

**Lizeth Natalia Lizarazo Ayala
CC 1100504212**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 05/12/2022**



**Aplicación de la metodología multiespectral en
agricultura de precisión para el desarrollo del cultivo de
palma en el municipio de Río de Oro, Cesar en el año
2022.**

Proyecto de Investigación

**Harold Andrés Chacón Herrera
CC 1064841779
Lizeth Natalia Lizarazo Ayala
CC 1100504212**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniería en Topografía**

**DIRECTOR
Emily Nuñez Eguis**

Grupo de investigación – GRIMAT

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
Facultad de ciencias naturales e ingenierías
Ingeniería en Topografía
Bucaramanga, 05/12/2022**

Nota de Aceptación

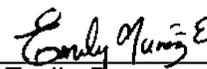
El proyecto de grado cumple con todos los
critérios e indicadores de evaluación

Aprobado según acta #18 del 6/12/2022



M.Sc Carlos Mora Chaves

Firma del Evaluador



M.Sc Emily Dayana Nuñez Eguis

Firma del Director

DEDICATORIA

En primer lugar queremos dedicar el presente trabajo de grado a DIOS quien nos brindó los medios necesarios y nos guio durante todo el proceso de desarrollo del proyecto, en segundo lugar a nuestros padres quienes han estado involucrados en el proceso educativo enseñándonos la perseverancia, constancia y lucha, siendo para cada uno de nosotros un constante apoyo en el desarrollo personal y profesional, a nuestras hermanas, sobrinos y amigos por brindarnos un apoyo incondicional en cada parte de nuestras vidas, a nuestra directora de proyecto Emily Nuñez Eguis por asesorarnos y guiarnos en el proceso de desarrollo del proyecto de grado y por último a nuestra institución las Unidades Tecnológicas de Santander por ser nuestra alma mater.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer principalmente a nuestros padres y hermanas por el apoyo que nos brindaron durante el tiempo que conllevó la culminación de este logro educativo.

A José Ruedas por ser quien nos dio la oportunidad de llevar a cabo nuestra investigación en su predio, y Harold Santana por brindarnos la información de la placa existente en el corregimiento de Morrison.

Finalmente agradecemos a las docentes de la facultad de ciencias naturales e ingenierías de las unidades tecnológicas de Santander y especialmente agradecer el apoyo y guía constante de la Profesora Emily Nuñez Eguis especialista en SIG.

TABLA DE CONTENIDO

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	12
<u>INTRODUCCIÓN</u>	13
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN</u>	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
1.4. ESTADO DEL ARTE.....	20
<u>2. MARCO REFERENCIAL</u>	25
2.1. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADA (NDVI).....	25
2.1.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADA VERDE (GNDVI).....	26
2.1.3. ÍNDICE NORMALIZADO DIFERENCIAL DE HUMEDAD (NDMI).....	28
2.1.4. ÍNDICE DE AGUA DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDWI).....	30
2.1.5. ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE.....	31
2.1.6. SENSORES REMOTOS.....	32
2.1.7. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	34
2.2. MARCO CONCEPTUAL.....	35
<u>3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u>	37
FASE I:.....	37
FASE II:.....	37
FASE III.....	38
<u>4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	39
4.1. FASE I.....	39
4.1.1. REVISION DOCUMENTAL.....	39
4.1.2. RECONOCIMIENTO DEL AREA.....	39
4.1.3. DISEÑO DEL PLAN DE VUELO.....	40
4.2. FASE II.....	44
4.2.1. TRASLADO DE COORDENADAS.....	44

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPRESARIADO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

4.2.2. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL.....	47
4.3. FASE III	49
4.3.1. IMÁGENES LANDSAT	49
4.3.2. ORTOFOTO	51
4.3.3. QGIS	59
4.3.4. ÍNDICES DE VEGETACIÓN	65
4.3.4.1. NDVI	66
4.3.4.2. GNDVI	67
4.3.4.3. NDMI.....	68
4.3.4.4. NDWI	69
5. <u>RESULTADOS</u>.....	<u>70</u>
5.1. SECTORIZACIÓN.....	70
5.1.1. SECTOR 1	71
5.1.2. SECTOR 2	71
5.1.3. SECTOR 3	72
5.2. ÍNDICES DE VEGETACIÓN	72
5.2.1. NDVI.....	73
5.2.1.1. SECTOR 1	74
5.2.1.2. SECTOR 2	74
5.2.1.3. SECTOR 3	75
5.2.2. GNDVI.....	76
5.2.2.1. SECTOR 1	77
5.2.2.2. SECTOR 2	77
5.2.2.3. SECTOR 3	78
5.2.3. NDMI	79
5.2.3.1. SECTOR 1	80
5.2.3.2. SECTOR 2	81
5.2.3.3. SECTOR 3	82
5.2.4. NDWI.....	83
5.2.4.1. SECTOR 1	84
5.2.4.2. SECTOR 2	84
5.2.4.3. SECTOR 3	85
6. <u>CONCLUSIONES</u>.....	<u>86</u>
7. <u>RECOMENDACIONES</u>.....	<u>87</u>
8. <u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>88</u>
<u>REFERENCIAS</u>.....	<u>88</u>
9. <u>ANEXOS</u>.....	<u>90</u>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización general de la zona de estudio.	15
Figura 2. Localización de la zona de estudio.	15
Figura 3. Área de la zona de estudio.	16
Figura 4. Metodología de diseño de la investigación.	38
Figura 5. Delimitación del área de estudio.	39
Figura 6. Líneas de vuelo.	40
Figura 7. Parámetros de vuelo.	41
Figura 8. Parámetros de vuelo.	42
Figura 9. Vuelo de campo.	43
Figura 10. Placa existente.	44
Figura 11. GPS-1.	45
Figura 12. GPS-2.	45
Figura 13. GPS-3.	46
Figura 14. GPS-4.	46
Figura 15. Punto de control 1.	47
Figura 16. Punto de control 2	47
Figura 17. Punto de control 3.	48
Figura 18. Punto de control 4.	48
Figura 19. Imagen Landsat.	49
Figura 20. Imagen Landsat.	49
Figura 21. Imagen Landsat.	50
Figura 22. Selección de imágenes.	51
Figura 23. Creación del proyecto.	52
Figura 24. Cargue de imágenes.	52
Figura 25. Asignación de coordenadas punto de control 1.	53
Figura 26. Identificación punto de control 1.	53
Figura 27. Asignación de coordenadas punto de control 2.	54
Figura 28. Identificación punto de control 2.	54
Figura 29. Asignación de coordenadas punto de control 3.	55
Figura 30. Identificación punto de control 3.	55
Figura 31. Asignación de coordenadas punto de control 4.	56
Figura 32. Identificación punto de control 4.	56
Figura 33. Aerotriangulación.	57
Figura 34. Reconstrucción y modelo 3D	57
Figura 35. Ortofoto.	58
Figura 36. Cargue de bandas.	59
Figura 37. Bandas en Qgis.	60
Figura 38. Scp preprocesamiento.	60
Figura 39. Corrección atmosférica y Pansharpening.	61

Figura 40. Bandas corregidas.	61
Figura 41. Combinación de bandas.	62
Figura 42. Color natural y ortofoto.	62
Figura 43. Creación de Shapefile.	63
Figura 44. Delimitación de área de corte.	63
Figura 45. Proceso para el corte de las imágenes.	64
Figura 46. Proceso para el corte de las imágenes.	64
Figura 47. Corte de la imagen sobre la zona de estudio.	65
Figura 48. Proceso de combinación de banda.	65
Figura 49. Combinación de bandas para el NDVI.	66
Figura 50. NDVI.	66
Figura 51. Combinación de bandas para el GNDVI.	67
Figura 52. GNDVI.	67
Figura 53. Combinación de bandas para el NDMI.	68
Figura 54. NDMI.	68
Figura 55. Combinación de bandas para el NDWI.	69
Figura 56. NDWI.	69
Figura 57. Sectorización.	70
Figura 58. Sector 1.	71
Figura 59. Sector 2.	71
Figura 60. Sector 3.	72
Figura 61. NDVI del área de estudio.	73
Figura 62. NDVI del sector 1.	74
Figura 63. NDVI del sector 2.	75
Figura 64. NDVI del sector 3.	75
Figura 65. GNDVI del área de estudio.	76
Figura 66. GNDVI del sector 1.	77
Figura 67. GNDVI del sector 2.	78
Figura 68. GNDVI del sector 3.	78
Figura 69. NDMI del área de estudio.	79
Figura 70. NDMI del sector 1.	80
Figura 71. NDMI del sector 2.	81
Figura 72. NDMI del sector 3.	82
Figura 73. NDWI del área de estudio.	83
Figura 74. NDWI del sector 1.	84
Figura 75. NDWI del sector 2.	85
Figura 76. NDWI del sector 3.	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formula NDVI.	26
Tabla 2. Interpretación del NDVI.	26
Tabla 3. Formula GNDVI.	27
Tabla 4. Interpretación del GNDVI.	27
Tabla 5. Formula NDMI.	30
Tabla 6. Formula NDWI.	31

RESUMEN EJECUTIVO

La implementación de la metodología multispectral en el uso de la agricultura de precisión se presenta como una ventaja a la hora de tener un control específico sobre el estado vegetativo del cultivo de palma en el municipio de Rio de Oro, Cesar mediante el uso de sensores aerotransportados e imágenes Landsat para determinar los valores de los índices de vegetación estudiados (NDVI, GNDVI, NDMI y NDWI) empezando por la recolección de datos de campo, luego realizar el análisis respectivo y así finalmente obtener un inventario del área de estudio.

El presente trabajo de grado se realizó de modo exploratorio ya que su fundamento principal es la exploración de un área para luego realizar una descripción de la zona de estudio enfocada en la parte cuantitativa y cualitativa de la producción por medio del método analítico empleando diferentes softwares, se planteó un proceso metodológico por fases, la primera fase consistió en la revisión bibliográfica para luego reconocer la zona de estudio y generar el plan de vuelo, la segunda fase consistió en la recolección de datos en campo y por último la tercera fase se basó en el procesamiento y análisis de dichos datos.

Como resultado se obtuvo una sectorización del área donde se dividió en 3 sectores, mostrando en cada uno de ellos la variación de valores de los índices que se obtienen de la combinación de las bandas de las imágenes Landsat y su respectiva interpretación, para finalmente concluir que el área que presenta mejores condiciones en cuanto al cultivo de palma de aceite es el sector 1 ya que cuenta con los mejores valores de los índices de vegetación estudiados

PALABRAS CLAVE. Índice de vegetación, enfermedades de la palma de aceite, sensores remotos, sistema información geográfica, Firmas espectrales.

INTRODUCCIÓN

La tecnología multiespectral se aplica por medio de sensores altamente calificados para generar imágenes de gran calidad, esta tecnología es capaz de captar distintos espectros de luz, generalmente se combina con el uso de RPAS (*Remotely Piloted Aircraft System*) ya que estos dispositivos permiten hacer los vuelos sobre las zonas de trabajo, esta aplicación va tomando fuerza con el paso del tiempo ya que genera facilidades a la hora de realizar trabajos donde se requiera de alta precisión.

Los cultivos de palma de aceite en Colombia presentan un gran crecimiento a nivel nacional, a su vez dicho cultivo es afectado por varias enfermedades que afectan la producción y generan pérdidas tanto para el productor como para la región ya que esto genera que disminuya el ingreso a el sector económico que a mediano y largo plazo se empiezan a notar las consecuencias.

Este trabajo genera un aporte importante a la comunidad que desee desarrollar trabajos con la tecnología multiespectral como base especialmente dirigido a la agricultura de precisión ya que muestra el proceso general de la aplicación en cuanto a un cultivo de palma y como se pueden realizar procesos alternativos en conjunto a las nuevas tecnologías para generar resultados que ayuden a los agricultores con sus cultivos y el rendimiento de estos.

El método empleado en el presente trabajo fue de tipo experimental donde se hizo el proceso de recolección de datos en campo y el respectivo procesamiento de dichos datos en el software utilizado para generar un orto mosaico para luego combinarlo con imágenes satelitales y así desarrollar de manera precisa la clasificación de los índices de vegetación estudiados para generar un inventario de la zona con sus resultados respectivos.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

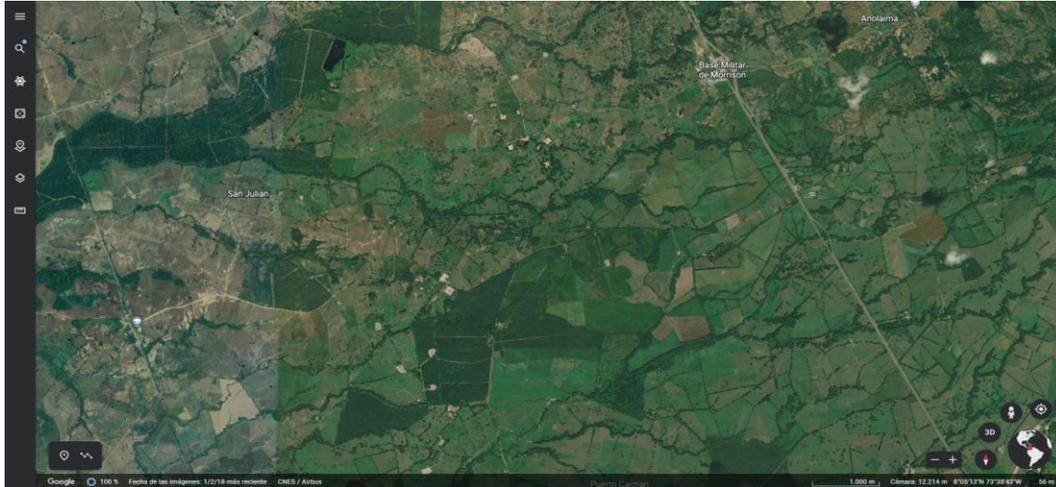
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el cultivo de palma de aceite presenta una distribución en 21 departamentos y 160 municipios, una investigación realizada por (Gallo, Hawkins, Luna, & Torres, 2020) Enfocó su estudio en los departamentos de Cesar, Meta y Santander donde menciona que un 70 % de los empleos directos e indirectos de esta industria se encuentran ubicados en los departamentos mencionados. El Sistema de Información Estadística del Sector Palmero, de Fedepalma, permite constatar que la producción de aceite comenzó los años sesenta y desde ese momento hasta el presente se destacan los municipios de San Martín (Cesar), San Alberto (Cesar), Acacías (Meta), Cumaral (Meta) y Puerto Wilches (Santander), como los mayores productores en el país, todos estos datos son suministrados por (Fedepalma, 2022)

El cultivo de palma es uno de los principales medios de ingresos del Departamento del Cesar, pero se presentan problemas de seguimiento en el transcurso de dicha producción y esto genera daños en la palma que generan consecuencias a corto, mediano y largo plazo presentando pérdidas económicas tanto a los propietarios como al sector productivo.

Debido a la situación presentada, se decide hacer la prueba piloto en el Municipio de Río de Oro, estudiando un área de 6.85 Ha de Cultivo de Palma que se divide en una zona en producción y otra zona en cosecha, se realizará la actividad de recolección de imágenes de muestreo por medio de metodologías espectrales e índices de vegetación, esperando obtener resultados que posibiliten la lectura del cultivo y así diseñar el seguimiento adecuado en este sector y reducir las pérdidas.

Figura 1. Localización general de la zona de estudio.



Fuente (Imagen tomada Google Earth).

Figura 2. Localización de la zona de estudio.



Fuente (Imagen tomada de Google Earth).

Figura 3. Área de la zona de estudio.



Fuente (imagen tomada de Google Earth).

Nace la necesidad de generar un control en el seguimiento de los cultivos que pueda ser efectivo a la hora de desarrollar una producción óptima y reducir las amenazas, logrando que se minimice el riesgo de pérdida en el sector productivo, por ende, el gremio de los asociados a palmas del Cesar se vería beneficiados a la hora de generar la cosecha evitando las consecuencias que pueden afectar tanto a estos como a la población en general.

Surge la duda de **¿qué tipo de afectaciones puede presentar un cultivo de palma, que logren ser identificadas por medio de un muestreo a partir de imágenes? ¿Se puede implementar algún tipo de metodología que logre alcanzar un seguimiento oportuno en la producción para detectar los daños y las enfermedades que pueden surgir en esta?**

1.2. JUSTIFICACIÓN

Los diferentes cultivos que se extienden a lo largo de nuestro territorio pueden llegar a presentar una serie de afecciones de distinto índole, que generan pérdidas en el volumen de producción, que a sus veces generan disminución en la economía de los sectores productivos que son base en el desarrollo de la competitividad económica de Colombia frente a otros países. Ya que, de acuerdo con los datos (Fedepalma, 2022), en el Cesar, 764 palmicultores, y aproximadamente 26 000 empleos directos e indirectos; en el Meta, 244 palmicultores, con 17 634 empleos directos y 26 451 indirectos; en Santander, 714 palmicultores, con 9315 empleos directos y 13,973 empleos indirectos.

Existen diferentes tipos de metodologías desarrolladas a nivel mundial que pueden cuantificar la gran variedad de cultivos existentes, en el Contexto del cultivo de palma, (Sinisterra, 2015) logró plantear una metodología para generar un inventario y hacer seguimiento del cultivo con la utilización de índices de vegetación e índice de área foliar, dicha clasificación se realizó por medio de imágenes WORDWIEW-2. Un estudio realizado por (Sanchez, 2008) sintetiza que las plagas y enfermedades son respuestas de la vegetación a tipos de estrés que pueden ser causa de cambios bioquímicos que afectan los sistemas de pigmentos y el contenido de agua a nivel celular y foliar.

Mediante muestreos se consiguen identificar índices de vegetación de los cultivos de palma, dichos muestreos permiten determinar áreas afectadas por el estrés causado por la deficiencia de fertilizantes, pestes y enfermedades, por lo tanto, se quiere aumentar y mejorar la producción de palma teniendo en cuenta que se deben realizar seguimientos progresivos aplicando técnicas de obtención de datos que por

medio de los índices de vegetación puedan generarse planes estratégicos para que la palma crezca sana.

La aplicación de una prueba piloto por medio de un vuelo con RPAS (Phantom 3 standard) que permite obtener imágenes para determinar los índices de vegetación, analizando los factores que están afectando a la producción establecida.

El proyecto mencionado es relevante para las unidades tecnológicas de Santander, ya que alimenta el grupo de investigación GRIMAT en cuanto a su línea de investigación en Geomática presenta la implementación de nuevas tecnologías para aplicaciones en desarrollos de agricultura de precisión y a su vez genera un impacto en cuanto a la proyección social que vincula a los campesinos palmeros asociados a Fedepalma, generando a su vez un aporte en el desarrollo económico del país.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el estado vegetativo del cultivo de palma por medio de sensores aerotransportados aplicando firmas espectrales e índices de vegetación, basado en los parámetros normativos de una clasificación no supervisada para determinar el vigor, estrés hídrico y masa de agua de dicho cultivo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recolectar información de campo mediante sensores aerotransportados (Phantom 3 standard) de la zona de estudio.
2. Analizar las imágenes obtenidas en la recolección de campo para generar herramientas que permitan la clasificación de las variables de estudio mediante la utilización de las fórmulas de los índices de vegetación.
3. Determinar las zonas que presentan condiciones óptimas para la producción del cultivo de Palma mediante el uso del software Qgis con la finalidad de realizar un inventario de las áreas más afectadas por las enfermedades que puedan llegar a presentar a lo largo de su ciclo productivo.

1.4. ESTADO DEL ARTE

La investigación realizada en Santa Clara, Cuba en el año 2018 consistió principalmente en la utilización de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) en la fotografía multiespectral, para el mapeo de sembrados experimentales de caña de azúcar. Primeramente, se realizaron pruebas experimentales en los softwares Agisoft Photoscan y Pix4D que permiten la generación de ortomosaicos 3D y mapas de índice de vegetación normalizada (NDVI), para realizar una respectiva evaluación de los programas en cuanto a facilidad de uso, tiempo de procesamiento calidad visual del producto, y definición de condiciones de vuelo del VANT que genere un adecuado procesamiento de las imágenes obtenidas con la cámara multiespectral Parrot Sequoia.

“Los resultados muestran que Pix4D es el programa más eficiente para el cálculo de índices de vegetación porque incluye correcciones radiométricas ortomosaicas específicas. Los resultados obtenidos por los expertos agrónomos de ETICA se analizaron mediante la comparación de diferentes grupos de imágenes procesadas, así como la correlación entre las parcelas índice y la diversidad de caña sembrada, la edad, el nivel de energía de la planta y otras variables agrícolas. Los resultados obtenidos mostraron que la respuesta espectral permitió distinguir los campos según la edad y la densidad de población de las parcelas, pero los mapas NDVI no pudieron identificar diferentes variedades sembradas en la misma fecha”. (Kharuf, Hernandez, Ruben, Aday, & Delgado, 2018).

- En la ciudad de Madrid, España se llevó a cabo una investigación hace énfasis en el uso de los UAS / RPAS para llevar a cabo el trabajo de agricultura de precisión teniendo en cuenta la aplicación de los sistemas de información geográfica al usar imágenes; por lo tanto, se hizo un estudio en donde se eligieron diferentes índices de vegetación (NDVI, GNDVI, RVI, GVI, NGRDI, RG), captadas por cámaras multiespectrales donde se pudo analizar la diversidad agronómica con los índices de vegetación anteriormente mencionados para realizar un estudio estadístico donde se logró una mayor correlación con el índice NDVI.

“El principal potencial para el uso de UAS/RPAS en la agricultura es permitir a los agricultores observar su uso desde el aire y así obtener una perspectiva de sus cultivos, permitiéndoles notar eventos en cualquier operación agrícola. Estos eventos van desde problemas de fertilización hasta ataques de plagas y hongos que no son visibles en la superficie. Esta observación aérea no solo debe ser en el espectro visible que percibe el ojo humano, sino que puede realizarse en las regiones del infrarrojo reflectante y del infrarrojo térmico, con las cámaras multiespectrales las respuestas de los cultivos son más pronunciadas y pueden describir mejor lo que está sucediendo con respecto al cultivo”. (Díaz, 2015).

- Se conoce que la provincia de las Guayas en Ecuador es considerada una de las principales fuentes de producción de pitahaya y generadora de grandes cantidades para la exportación, dicho lo anterior también se sabe que esta producción se está viendo afectada por el cambio climático, el terreno y por

el poco conocimiento que posee los agricultores sobre todo el proceso en general. Generando una afectación tanto en la cantidad de la producción como en los factores económicos. Por ende, el proyecto de estudio busca desarrollar un aplicativo web, que pueda reconocer zonas georreferenciadas y los datos multiespectrales, para poder generar información útil del terreno y la adaptabilidad de este en el proceso de la producción de la fruta.

“Desarrollar una aplicación web, que permita el análisis de las áreas georreferenciadas y de los datos multiespectrales en zonas de cultivo de pitahaya de la provincia del Guayas.” lo mencionado anteriormente es el objetivo principal del proyecto mencionado conforme con (Avila & Avilés, 2021).

- El trabajo de investigación realizado Cali, Colombia indica que el cultivo de palma de aceite proporciona un alto rendimiento llevando una buena administración del campo, pues al momento de hacer los inventarios es de gran importancia llevar un buena verificación debido que esta actividad es la base fundamental para poder desplegar las tareas a realizar que son de gran importancia para poder tener una cosecha productiva, como la aplicación de fertilizantes, revisión de plagas y enfermedades, riego, limpieza y mantenimiento del cultivo, por lo que es de gran importancia llevar en orden el inventario ya que se genera de forma manual, pues se ejecuta el conteo en papel y a lápiz, palma por palma llevando el consecutivo de las líneas, también se implementa el levantamiento de Sistemas de Posicionamiento Global conocido como (GPS). Con este proyecto queremos poner en práctica un método enfocado en el índice de vegetación de diferencia normalizada, ya que todos estos métodos nos ayudan a realizar inventarios y a suplir las

técnicas que actualmente se vienen utilizando, pero ayudándole a los palmicultores a realizar sus actividades diarias de una forma más ágil y efectivas.

“Generar una metodología de clasificación orientada a objetos para imágenes del sensor WorldView-2, que permita realizar el levantamiento de palma de aceite”. Es el objetivo principal para (Sinisterra, 2015).

- En Manizales, Colombia se llevó a cabo un proyecto que habla de la Incorporación de la teledetección para estudio de grandes superficies que se ven afectadas el cambio climático y las afectaciones de los seres humanos principalmente en ecosistemas como paramos y humedales, creando una metodología que permita realizar la caracterización espectral de las coberturas vegetales de los ecosistemas mencionados, por medio de imágenes obtenidas de sensores aerotransportados que sean interoperables con imágenes obtenidas por otro tipo de sensor. Los sensores utilizados en, con las imágenes obtenidas se realizaron procesos de generación de mosaico, corrección geométrica y corrección radiométrica partiendo de firmas espectrales que se capturaron en campo, luego se realizó la respectiva evaluación de índices, para después calcular los índices de vegetación por medio de APC (análisis de componentes principales), que generaron resultados de índices con mayor heterogeneidad, a partir de esta esta información obtenida se realiza proceso de clasificación por Máxima verosimilitud, basado en la matriz de confusión y el índice Kappa.

“Establecer una metodología que permita la caracterización espectral de las coberturas vegetales en ecosistemas de Páramo y Humedal, mediante el

análisis de técnicas de Teledetección aplicadas a imágenes de los sensores aerotransportados UltraCam D, DJI Phantom 3 Pro y Mapir NIR, para la identificación de diferentes coberturas.” (Pelaez, 2017).

- La tesis efectuada en Bogotá, Colombia indico que la utilización de instrumentos de teledetección facilita la clasificación de los cultivos por lo que es más sencillo detectar los problemas fitosanitarios por medio de las firmas espectrales y por el índice de vegetación NDVI, no obstante, los análisis de estas firmas van de la mano de las propiedades físicas de cada planta y características de cada una de ellas. En análisis con el apoyo de sistemas como información geográfica, Arc GIS Y Erdas, QGIS y SCP se ejecuta el cálculo del NDVI y el estudio de firmas espectrales relacionadas con el cultivo de la palma de aceite ubicada en un lote en la zona rural de Aracataca, magdalena, por medio de una fotografía aérea capturada con una herramienta aérea no tripulado, con motivo de tener características de la radiación electromagnética y descubrir el estado vegetal actual de todo el cultivo.

“Aplicación de sensores remotos para analizar el estado vegetativo de los cultivos de palma aceitera utilizando el índice de vegetación normalizado (NDVI) y firmas espectrales de fotografías aéreas”. Es el objetivo principal para (Zuñiga, 2018).

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADA (NDVI).

Con referencia a lo expuesto por (Meneces, 2012) el NDVI determina la relación entre la energía absorbe y emite a las plantas, el índice arroja valores de exaltación del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación que presenta una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo.

El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1, los valores que están por debajo de 0,1 pertenecen a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, por otro lado, los valores que son altos son indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de producción agrícolas.

Como lo mencionan (Zuñiga, 2018) en el análisis de vegetación hay que señalar los valores de 0,1 mostrando la vegetación con dicho índice en estado crítico, mientras los valores de 0,5 se considera densa y de gran vigor, el índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, es usado para evaluar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación, por medio de sensores remotos implantados en una plataforma espacial, que por medio de las bandas del espectro electromagnético emite o refleja la vegetación.

Por ello el índice de NDVI mide, las áreas a través de la reflectancia, de alto vigor (densidad vegetal) que tengan una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a que cuentan con un mayor índice NDVI.

Según (Zuñiga, 2018) el principio básico del NDVI se soporta en las capas esponjosas de las hojas que reflejan demasiada luz en el infrarrojo cercano, en

contraste con la mayoría de los objetos no vegetales. Cuando la planta se deshidrata o estresa, la capa esponjosa colapsa y las hojas reflejan menos luz NIR, pero la misma cantidad en el rango visible.

El índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, se calcula a partir de estas medidas individuales de la siguiente manera: para imágenes Landsat $NDVI = (Band5 - Band4) / (Band5 + Band4)$.

Tabla 1. Formula NDVI.

NDVI	NDVI=	(NIR-RED)
		(NIR+RED)

Fuente (Álvarez, 2019).

Tabla 2. Interpretación del NDVI.

Planta muerta.	De -1 a 0
Planta enferma.	De 0 a 0.33
Planta medianamente sana.	De 0.33 a 0.66
Planta muy sana.	De 0.66 a 1

Fuente (Elaboración propia).

2.1.2. ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADA VERDE (GNDVI).

Según (Michlig, 2022) el Índice GNDVI (Vegetación de Diferencia Normalizada Verde) es un índice del “verdor” de la planta o actividad fotosintética. Es uno de los índices de vegetación más utilizados para determinar la captación de agua y nitrógeno en el dosel del cultivo.

Los valores obtenidos por dicho índice oscilan entre -1 y 1. Valores entre -1 y 0 están asociados a la presencia de agua o suelo desnudo. Este índice se emplea fundamentalmente en la etapa intermedia y final del ciclo del cultivo. El GNDVI es el índice de vegetación verde que utiliza la banda infrarrojo cercano (NIR) y la banda verde (GREEN) del espectro electromagnético.

El GNDVI según lo expuesto por (Álvarez, 2019), es un índice de vegetación que varía la banda del ROJO utilizada en el NDVI “tradicional” en su fórmula por la banda del VERDE, con el fin de especificar las variaciones en los contenidos de clorofila en la vegetación, también ha sido utilizado en trabajos de estimación de producción en palma de aceite con información espectral de imágenes satelitales QuickBird con resultados de precisión confiable entre lo estimado y lo encontrado en campo.

Para imagines Landsat $GNDVI = (Band5 - Band3) / (Band5 + Band3)$.

Tabla 3. Formula GNDVI.

GNDVI	GNDVI=	(NIR-GREEN)
		(NIR+GREEN)

Fuente (Álvarez, 2019).

Tabla 4. Interpretación del GNDVI.

No presenta	De -1 a 0
Bajo	De 0 a 0.33
Medio	De 0.33 a 0.66
Alto	De 0.66 a 1

Fuente (Elaboración propia).

2.1.3. ÍNDICE NORMALIZADO DIFERENCIAL DE HUMEDAD (NDMI).

El Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI), de acuerdo con (EOS Data Analytics, 2022) revela los niveles de humedad en la vegetación utilizando una mezcla de bandas espectrales del infrarrojo cercano (NIR) y del infrarrojo de onda corta (SWIR), lo cual es un gran indicador del estrés hídrico en los cultivos.

Según los estados de sequía excesiva no sólo estresan los cultivos, sino que pueden dañar toda la producción de dichos cultivos, el NDMI puede hallar el estrés hídrico en una fase temprana, antes de que el problema no se logre solucionar.

Además, el índice NDMI se puede utilizar para inspeccionar el riego, especialmente en áreas donde los cultivos necesitan mayor cantidad de agua de la que la naturaleza puede proporcionar, esto contribuye a mejorar el crecimiento de los cultivos de estudio.

Por ende, el índice NDMI se considera una excelente herramienta agrícola para que las condiciones de sequía en las áreas propensas a los incendios se eviten la liberación de gases y productos tóxicos, el NDMI tiene otra utilidad: como la monitorización de los niveles de material combustible, coloquialmente se suele comparar el NDMI con el índice NDWI, ambos se consideran efectivamente como índices diferentes.

El índice NDMI y la versión de Gao del NDWI utilizan la combinación NIR-SWIR para hallar el contenido de humedad en las hojas, el NDWI de McFeeters utiliza la combinación VERDE-NIR para resaltar las masas de agua y controlar su turbiedad; para evitar cualquier confusión, el índice NDMI emplea una combinación de bandas

NIR-infrarrojo de onda corta y debe tratarse como un índice independiente del NDWI, que es el encargado de medir el contenido de las masas de agua.

Para interpretar los valores del índice NDMI Como la mayoría de los índices, el NDMI sólo presenta valores entre -1 y +1. En cuanto al estrés hídrico seriaestipulado por los valores negativos que se acercan a -1, mientras que el +1 puedeindicar anegamiento. Por lo tanto, cada valor intermedio pertenece a una situación diferente ligeramente agronómica.

INTERPRETACIÓN DEL NDMI:

- 1 – -0.8 Suelo desnudo,
- 0.8 – -0.6 Cobertura del dosel casi inexistente,
- 0.6 – -0.4 Cobertura del dosel muy baja,
- 0.4 – -0.2 Cobertura del dosel baja y seca o muy baja y húmeda,
- 0.2 – 0 Cobertura del dosel media-baja y estrés hídrico alto o cobertura del dosel baja y estrés hídrico bajo,
- 0 – 0.2 Cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media-baja del dosel y bajo estrés hídrico,
- 0.2 – 0.4 Cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo,
- 0.4 – 0.6 Cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico,
- 0.6 – 0.8 Cobertura del dosel muy alta, sin estrés hídrico,
- 0.8 – 1 Cobertura total del dosel, sin estrés hídrico/anegamiento.

Combinación de bandas en lansdsat 8 para el índice: $NDMI = \frac{Band05 - Band06}{Band05 + Band06}$.

Tabla 5. Formula NDMI.

NDMI	NDMI=	(NIR-SWIR)
		(NIR+SWIR)

Fuente (EOS Data Analytics, 2022).

2.1.4. ÍNDICE DE AGUA DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDWI).

El índice NDWI según (EOS Data Analytics, 2022) sirve para resaltar el aspecto de las masas de agua en una imagen de satélite. Para ello, se disminuye considerablemente la reflectancia del suelo y la vegetación, lo que tolera que dichas masas de agua se “destaquen” en la imagen.

Dado que el índice NDWI calcula efectivamente el contenido de humedad, se acostumbra colacionar con el índice NDMI, igualmente conocido como NDWI GAO. De hecho, hay una gran divergencia en la forma de calcular y utilizar ambos.

El NDMI utiliza la combinación NIR-SWIR (infrarrojo cercano e infrarrojo de onda corta) para resaltar el semblante de agua en las hojas de las plantas. El NDWI, por su parte, según su fórmula se calcula con la combinación GREEN-NIR (verde visible e infrarrojo cercano), lo que le permite hallar cambios delicados en la cantidad de agua de las masas de agua.

El índice NDWI fue planteado por McFeeters en 1996, hoy en día, su uso fundamental es hallar y controlar los cambios suaves en la cantidad de agua de las masas de agua aprovechando las bandas espectrales NIR (infrarrojo cercano) y GREEN (verde visible), el NDWI es idóneo para realzar las masas de agua en una

imagen de satélite, la desventaja de este índice es que es perceptible a las estructuras construidas, lo que puede exceder a una sobreestimación del tamaño de las masas de agua.

Los valores de las masas de agua son superiores a 0,5, mientras que la vegetación posee valores mucho más pequeños, lo que permite diferenciar más fácilmente la vegetación de los cuerpos de agua y los elementos construidos tienen valores positivos entre cero y 0,2.

Los valores del NDWI corresponden a los siguientes rangos:

- 0,2 – 1 – Superficie del agua.
- 0,0 – 0,2 – Inundación, humedad,
- 0,3 – 0,0 – Sequía moderada, superficies sin agua.
- 1 – -0,3 – Sequía, superficies sin agua.

Para los datos de Landsat 8: $NDWI = (Band\ 3 - Band\ 5) / (Band\ 3 + Band\ 5)$.

Tabla 6. Formula NDWI.

NDWI	NDWI=	(GREEN-NIR)
		(GREEN+NIR)

Fuente (EOS Data Analytics, 2022).

2.1.5. ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE.

La palma de aceite manifiesta una economía numerosa en Colombia, por eso es importante reconocer de manera tecnicada uno de los factores que determinan el desarrollo de la actividad de producción de palma en el país, como es la putrefacción del cogollo.

La producción de Palma de aceite ha venido aumentando de manera significativa en las últimas décadas a nivel mundial y, en el caso de Latinoamérica, Colombia tiene la delantera en el liderazgo con aproximadamente 350.000 hectáreas sembradas y con áreas que cuentan con un gran potencial para el cultivo que supera los 3'000.000 de hectáreas.

Uno de los casos más conocidos de la pudrición de cogollo en Colombia se presentó en la plantación La Arenosa, de Coldesa S.A., en Urabá, en la zona limítrofe entre Colombia y Panamá, en los años de 1960, en la Zona Oriental colombiana, la pudrición de cogollo se mostró con características epidémicas a finales de la década de 1980 y principios de 1990, generando grandes alarmas entre los productores; pero, finalmente, se notó la recuperación indeliberada de algunas palmas.

Situación que dio la posibilidad para motivar las investigaciones de Cenipalma asociados con los factores predisponentes (desbalance de nutrientes, dificultad de drenaje interno y externo de los suelos) y el agotamiento de la hipótesis del origen biótico de la enfermedad. (Zuñiga, 2018).

2.1.6. SENSORES REMOTOS.

De acuerdo con (Parra, 2010) La percepción remota se define como el proceso de obtener información acerca de una área, fenómeno u objeto desde la distancia, esta amplia definición cubre prácticamente todo, desde los ojos hasta los radiotelescopios.

Los sensores remotos se pueden clasificar como pasivos o activos, diferenciándose por la fuente de energía de la cual se adquiere la información, los sensores pasivos

dependen de energía ambiental de una fuente externa, que en la tierra proviene sobre todo del sol, mientras los activos originan su propia energía.

Los de mayor uso son los sensores pasivos, que favorecen medir la magnitud de la radiación electromagnética reflejada e irradiada desde la superficie de la tierra y de la atmósfera y, así mismo, mantener información sobre las condiciones de la superficie.

Existe una considerable información sobre sensores remotos, la cual ha sido ampliamente documentada en revisiones como la de Cracknell en 1998 y Kalluri en 2007.

Los sensores remotos con adecuado uso y con mayores aplicaciones son aquellos que están puestos en satélites que orbitan sobre la tierra, bien sea en órbitas geoestacionarias (en altitudes de 23 000 y 40 000 km) sobre la franja ecuatorial y que viajan a la misma velocidad rotacional de la tierra, lo que nos indica que mantengan un punto fijo determinado de la superficie terrestre, o aquellos que están orbitando alrededor del planeta a altitudes menores (600-900 km) que pasan repetidas veces por varias secciones de la tierra mientras giran, a estos satélites se les nombra tipo polar.

La información que se obtiene por los sensores remotos se puede ejecutar en estudios entomológicos de campo, debido a que ellos suministran información de gran importancia sobre la cobertura de la tierra, los cuales son: cuerpos de agua, temperatura del aire, tipos de vegetación, temperatura de la superficie, etc.

La teoría de (Pavlovsky) refleja la correlación entre hábitat y enfermedades transmitidas por vectores lo datos que se obtuvieron a través de los sensores remotos se pueden usar como fuente de información sobre la distribución espacial de los vectores y de las enfermedades.

2.1.7. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.

Según (Londoño, 1999) la sigla SIG designa en su sentido más amplio, a todos los Sistemas de Información geográfica o Georreferenciada (Geographic Information System -GIS-) pero, con especial referencia a aquellos que son asistidos por computador.

Según Burrough, un SIG "Es un conjunto de herramientas que permite almacenar, recolectar, transformar y extraer datos espaciales del mundo real, para mantener su intención"; por su parte, para el IGAC, "Se trata de la combinación de recursos humanos técnicos que interactúan siguiendo una serie de procedimientos sistemáticos claramente definidos, para producir una gran variedad de información que sirva como soporte de actividades administrativas o de planeación, al momento de tomar decisiones".

Una definición que quizá conjuga las dos anteriores es la que propone la NCGIA, al afirmar que un SIG "Es un sistema de hardware, software y de procedimientos elaborados para facilitar la obtención, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión".

2.2. MARCO CONCEPTUAL

TOPOGRAFÍA: Es el oficio de tomar medidas de extensiones de tierras, recopilando los datos necesarios para poder hacer una representación en un plano con su respectiva escala, describiendo su forma y accidentes (Torres & Vilate, 1968).

LEVANTAMIENTO: Es la base para la toma de datos que permiten ubicar un espacio o lugar en el terreno, definido por puntos principales (deltas) y detalles.

FOTOGRAMETRÍA: La fotogrametría es una herramienta básica que permite medir sobre fotografías las propiedades geométricas de los objetos situados en el terreno, empleando el área interceptada por dos fotografías (traslape) se puede obtener una visión estereoscópica de elemento (Castro & Urrego, 2018).

GEORREFERENCIACIÓN: Posicionamiento de un cuerpo en el espacio de acuerdo con un sistema de coordenadas y datos específicos.

RPAS: Se define por sus siglas en inglés “Remotely Piloted Aircraft System”, se trata de un vehículo volador no tripulado, también llamado Dron. Existen dos tipos de drones, están los de ala fija, similares a los aviones de aerodelismo y los de ala rotativa, que pueden ser de una hélice, cuatro, seis u ocho. (Castro & Urrego, 2018).

CARTOGRAFÍA: Es un procedimiento que interpreta, analiza y representa gráficamente la superficie de un astro (Cuerno, Ramirez, & Otañe, 2015).

ORTOFOTO: Representación fotográfica del terreno en proyección ortogonal. Se obtiene por ortorrectificación de aerofotografías, proceso por cual se corrigen las distorsiones geométricas (Castillo & Escobar, 2017).

FIRMAS ESPECTRALES: Las firmas espectrales o firmas espectrales, muestran el perfil específico de radiancia emitida por diferentes elementos situados en la superficie de la tierra. Cada objeto presenta un nivel de respuesta en función de: % radiación reflejada + % de absorbida + % de transmitida (GeoInnova, 2021).

Sistema de RTK: son dispositivos mucho más avanzados, que además de captar la señal de los satélites GPS, se comunican con otro receptor/emisor situado en un punto fijo (estación base) y hacen cálculos complejos de la señal electromagnética para conseguir precisiones cercanas a 1 cm. (Valermo, 2009).

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de grado fue exploratorio ya que su fundamento principal es la exploración de un área de producción de palma de aceite para obtener datos que luego permitieron realizar una descripción de la zona de estudio enfocada en la parte cuantitativa y cualitativa de la producción por medio del método analítico empleando diferentes softwares.

Se planteó para el desarrollo del trabajo de grado, en la modalidad de proyecto de investigación el siguiente proceso metodológico, con el cual se buscó de forma coherente dar cumplimiento a cada uno de los objetivos formulados, que se describe a continuación a manera de fases:

Fase I:

La primera fase se enfocó principalmente en la revisión de documentación existente obtenida de libros, artículos científicos y sitios web como base de la investigación, con la información obtenida se procedió a reconocer la zona de estudio para luego diseñar el plan de vuelo con los respectivos parámetros iniciales que mejor se adecuaron a dicho terreno de producción.

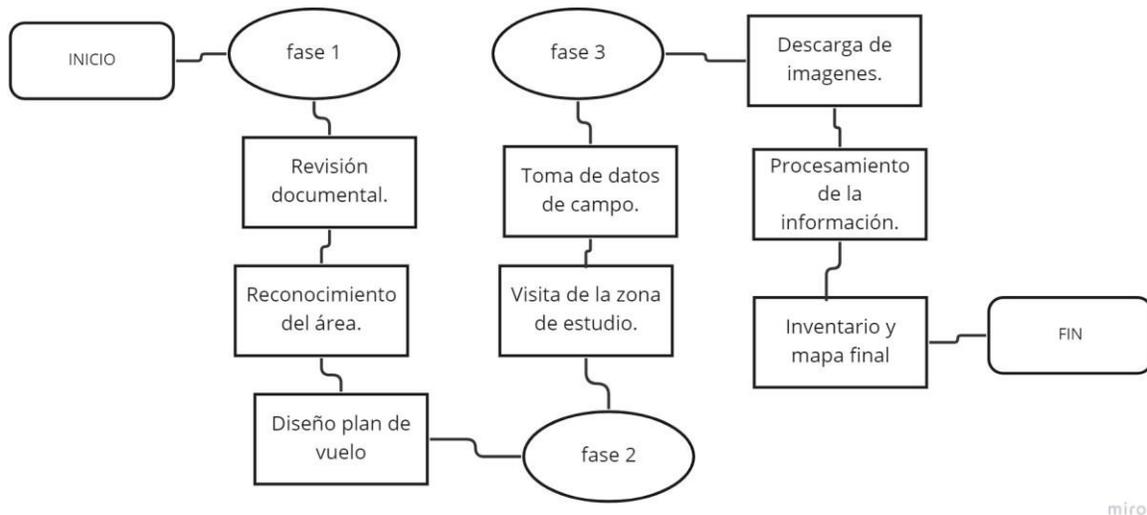
Fase II:

La segunda fase se focalizó en el reconocimiento y la visita al área de estudio, para realizar la recolección de datos en campo mediante el uso de un dron (phantom 3 standard), que se encargó de volar la zona de estudio y así mismo de las tomas aéreas.

Fase III:

La tercera fase consistió en analizar la información obtenida en campo, adicionalmente se descargó una serie de imágenes Landsat 8 por medio de la plataforma Earth Explorer para ser procesadas digitalmente en los diferentes softwares tales como Context Capture y Qgis, donde se obtuvo el mapa de análisis de dicho cultivo.

Figura 4. Metodología de diseño de la investigación.



Fuente (Elaboración propia).

4. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

4.1. FASE I.

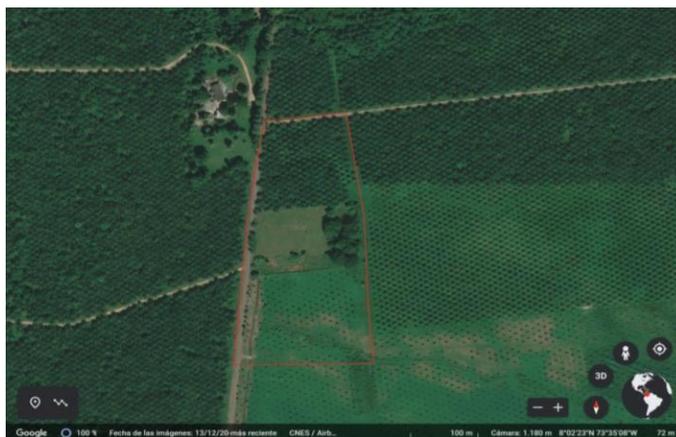
4.1.1. REVISION DOCUMENTAL.

En esta parte se realizó la respectiva búsqueda de documentos existentes con referencia al tema de investigación o que dieran un aporte a dicho tema.

4.1.2. RECONOCIMIENTO DEL AREA.

El presente trabajo de grado se llevó a cabo en un predio (finca caimán) en el corregimiento de Morrison del municipio de Río De Oro, en el departamento del Cesar, este predio se encuentra localizado al sur-oeste a una distancia de 5 km del casco urbano de Morrison ubicado en las coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116) N 1381184.714 W 1054483.505 a una altura de 73.202 m.s.n.m. El área cubierta por la zona de aprendizaje es de 6.85 Ha, la cual cuenta con una orografía bastante suave, siendo un relieve principalmente plano.

Figura 5. Delimitación del área de estudio.



Fuente (tomada de Google Earth).

4.1.3. DISEÑO DEL PLAN DE VUELO.

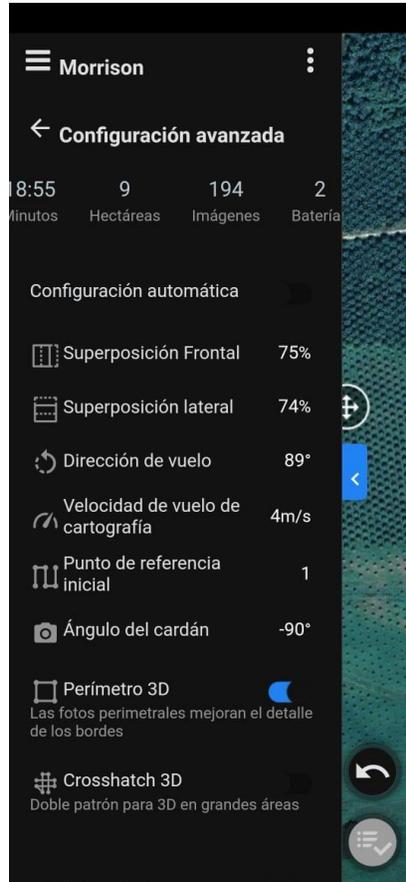
Se diseñó el vuelo, en el cual se definen parámetros como la altura de vuelo, número de imágenes necesarias para cubrir el cultivo y la duración de vuelo, las cuales son importantes para prevenir obstáculos que nos eviten tener problemas durante el tiempo de vuelo, seleccionada la altura de vuelo conveniente para el desarrollo del objetivo, se traza el plan de vuelo con el software del DroneDeploy, y se procedió a ejecutar dicho vuelo.

Figura 6. Líneas de vuelo.



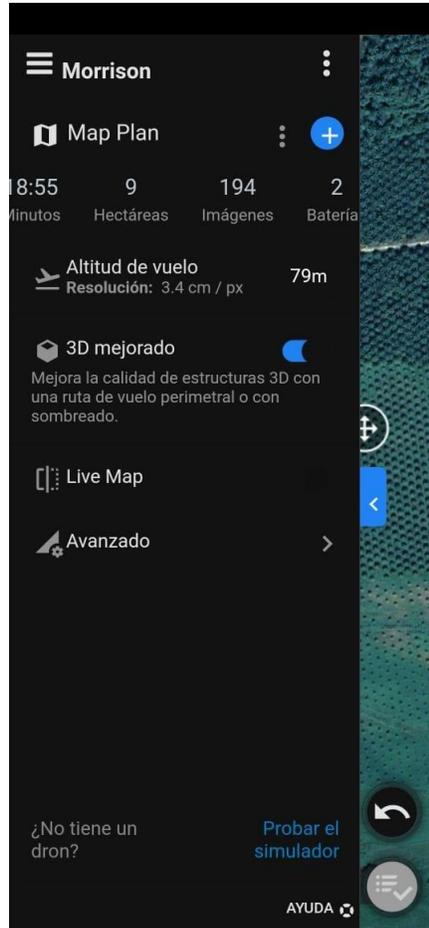
Fuente (Tomada de DroneDeploy).

Figura 7. Parámetros de vuelo.



Fuente (Tomada de DroneDeploy).

Figura 8. Parámetros de vuelo.



Fuente (Tomada de DroneDeploy).

Figura 9. Vuelo de campo.



Fuente (Elaboración propia).

4.2. FASE II.

4.2.1. TRASLADO DE COORDENADAS

Primero se armó el RTK South en el mojón existente ubicado en Morrison Cesar con coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116) N1385497.233 W1057628.009 a una altura de 102.136 m.s.n.m.

Con base a la información se realizó el procedimiento de traslado de coordenadas por medio de la base RTK y el Rover generando cuatro deltas (GPS) que permitieron llegar hasta la zona de estudio.

Figura 10. Placa existente.



Fuente (Elaboración propia).

Figura 11. GPS-1.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1384811.092 W1056298.714 a una altura de 93.84 m.s.n.m.

Figura 12. GPS-2.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1384342.615 W1054987.240 a una altura de 85.812 m.s.n.m.

Figura 11. GPS-1.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1383623.622 W1055222.938 a una altura de 80.072 m.s.n.m.

Figura 14. GPS-4.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1382185.014 W1054642.989 a una altura de 77.422 m.s.n.m.

4.2.2. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL

Teniendo en cuenta los criterios establecidos para generar puntos de control se buscaron los lugares más viables para la materialización de dichos puntos. Al tener los puntos de control materializados procedimos a darle coordenadas a cada uno de ellos con el rtk south.

Figura 15. Punto de control 1.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1381184.714 W1054483.505 a una altura de 73.202 m.s.n.m.

Figura 16. Punto de control 2.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1381114.959 W1054357.5435 a una altura de 73.263 m.s.n.m.

Figura 17. Punto de control 3.



Fuente (Elaboración propia).

Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1380849.193 W1054333.402 a una altura de 73.370m.s.n.m.

Figura 18. Punto de control 4.



Fuente (Elaboración propia).

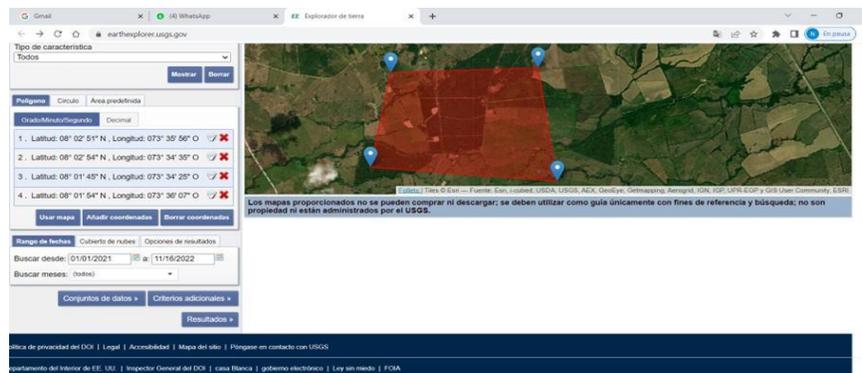
Coordenadas planas MAGNA-SIRGAS Colombia Bogotá zone (EPSC: 3116)
N1380802.778 W1054472.333 a una altura de 73.622 m.s.n.m.

4.3. FASE III.

4.3.1. IMÁGENES LANDSAT

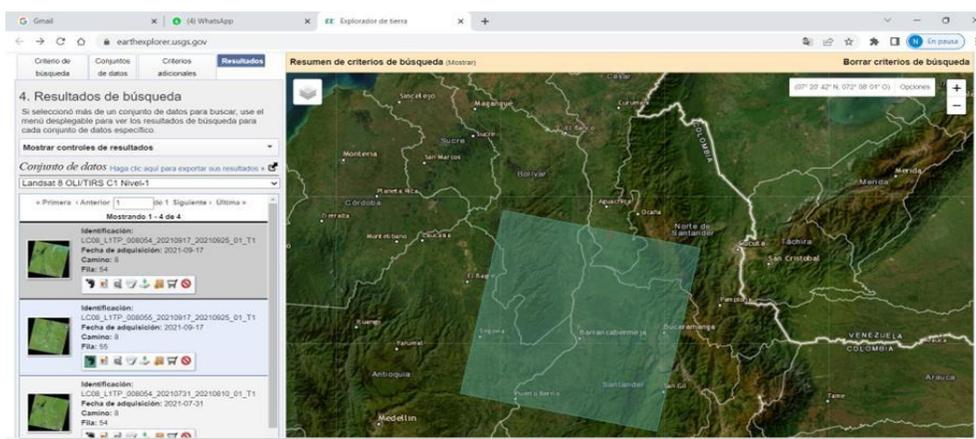
A través de la plataforma Earth Explorer se realizó la respectiva descarga de las imágenes Landsat 8 que contiene a la zona de estudio.

Figura 19. Imagen Landsat.



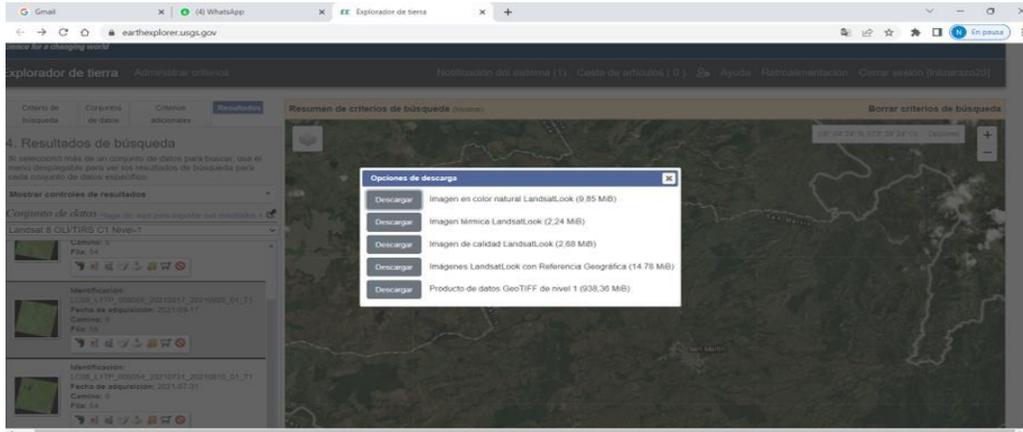
Fuente (Tomada de Earth Explorer).

Figura 20. Imagen Landsat.



Fuente (Tomada de Earth Explorer).

Figura 21. Imagen Landsat.



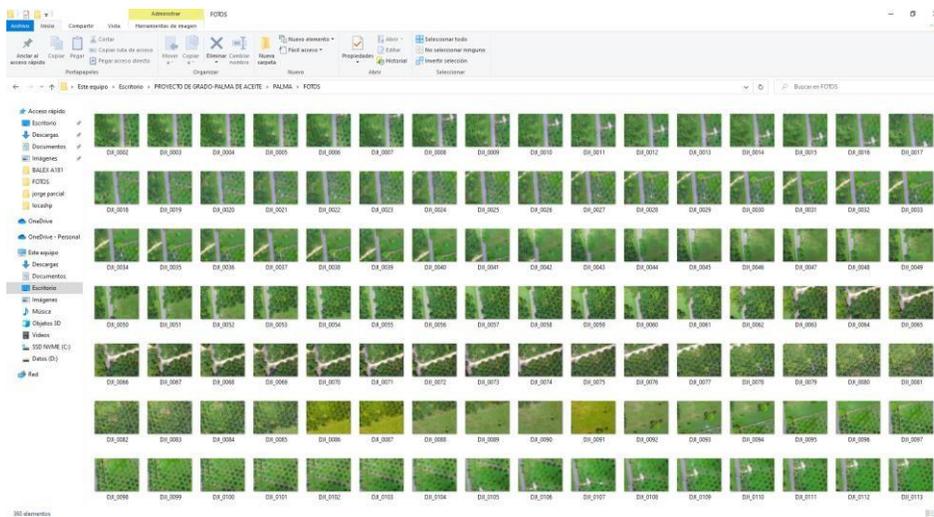
Fuente (Tomada de Earth Explorer).

4.3.2. ORTOFOTO

Utilizando el software Context Capture se generó la ortofoto de la zona de estudio, realizando una serie de pasos, los cuales se describen a continuación:

Primero, se llevó a cabo la descarga y selección de las fotografías tomadas con el dron.

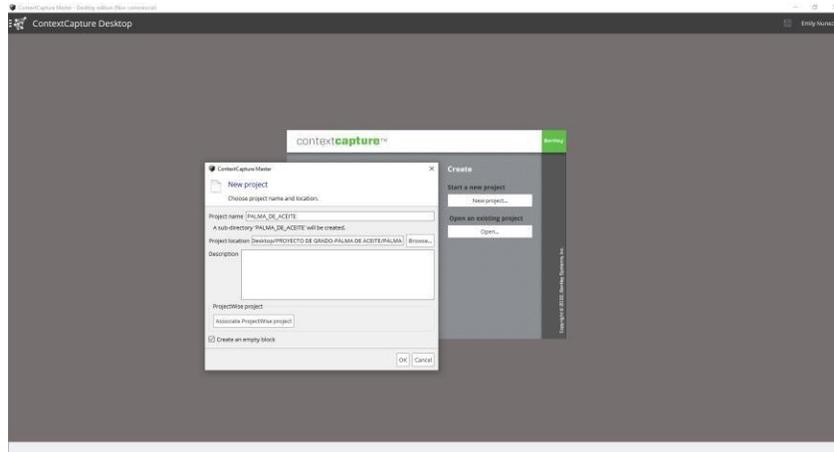
Figura 22. Selección de imágenes.



Fuente (Elaboración propia).

Segundo, se creó el archivo del nuevo proyecto a realizar.

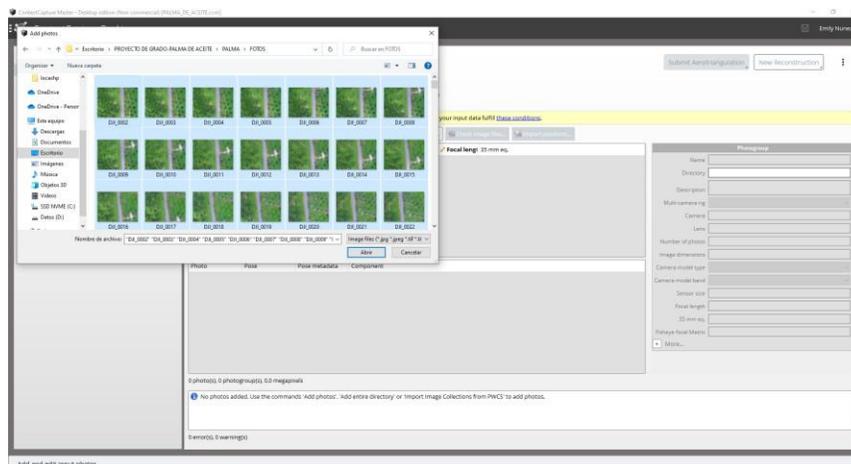
Figura 23. Creación de proyecto.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Tercero, se añaden todas las fotografías que fueron seleccionadas en el primer paso.

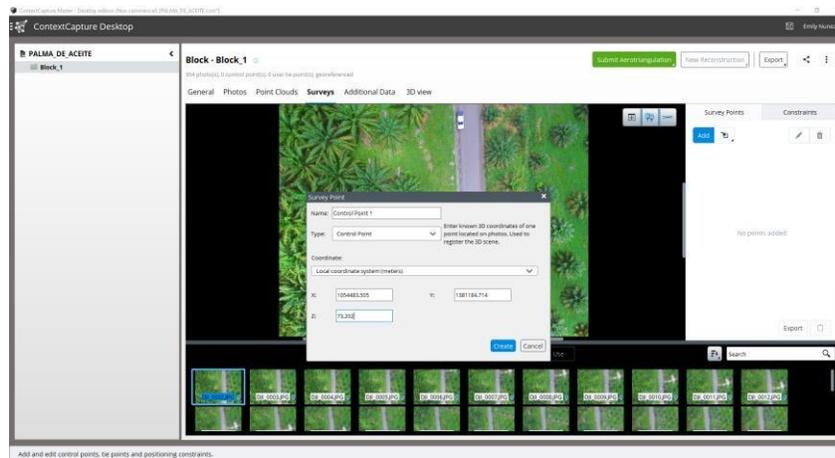
Figura 24. Cargue de imágenes.



Fuente (Tomada de Context Capture).

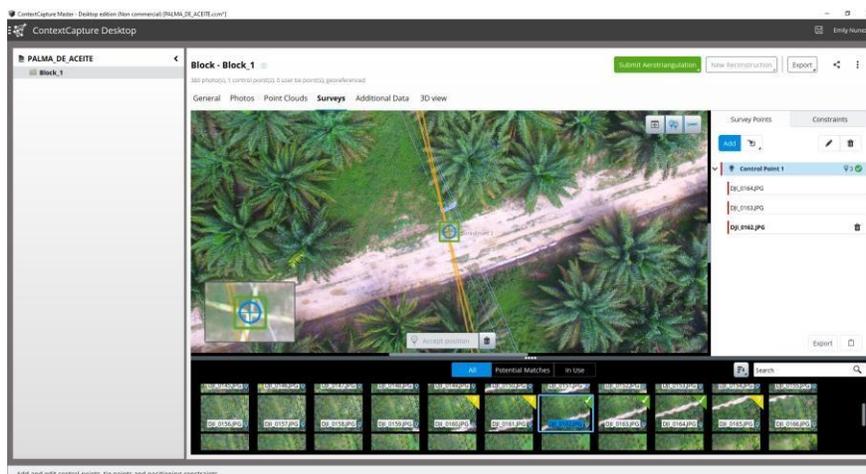
Cuarto, en este paso se añaden los puntos de control establecidos en campos con sus respectivas coordenadas, para luego identificarlos en las fotografías donde aparecen y poder orientar las fotografías con sus coordenadas reales.

Figura 25. Asignación de coordenadas punto control 1.



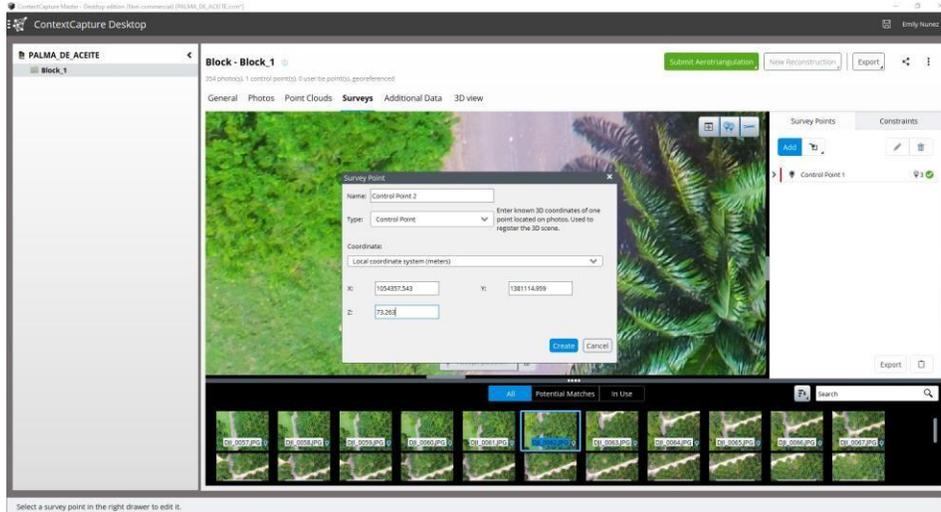
Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 26. Identificación punto control 1.



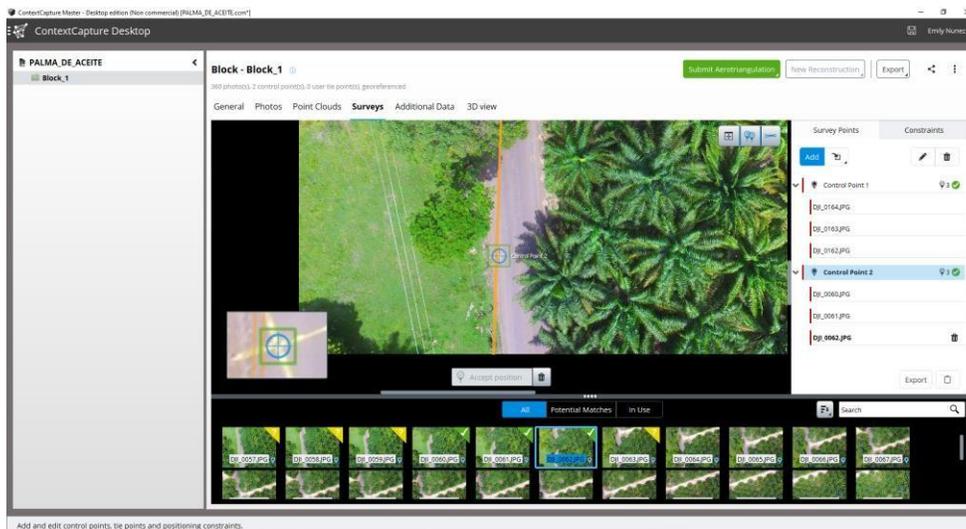
Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 27. Asignación de coordenadas punto control 2.



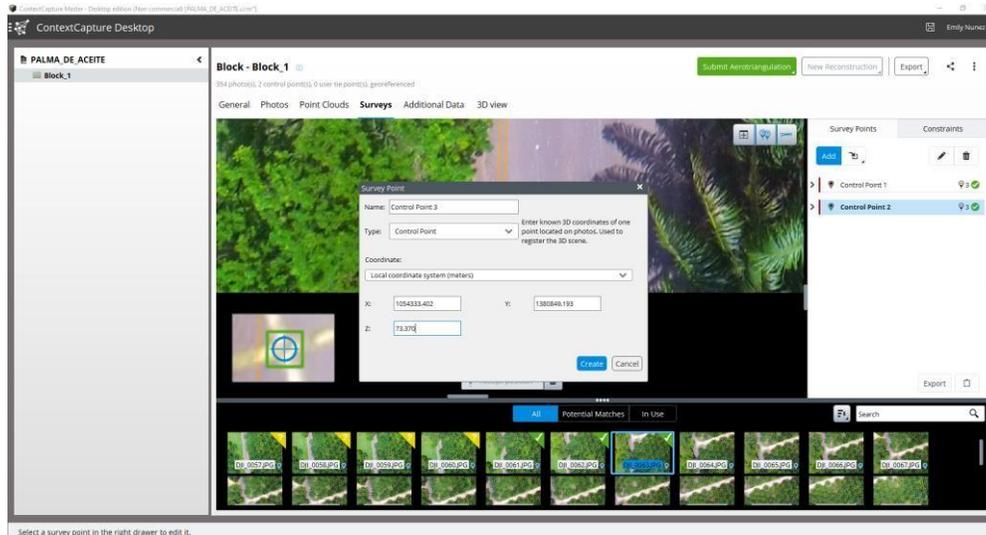
Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 28. Identificación punto control 2.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 29. Asignación de coordenadas punto control 3.



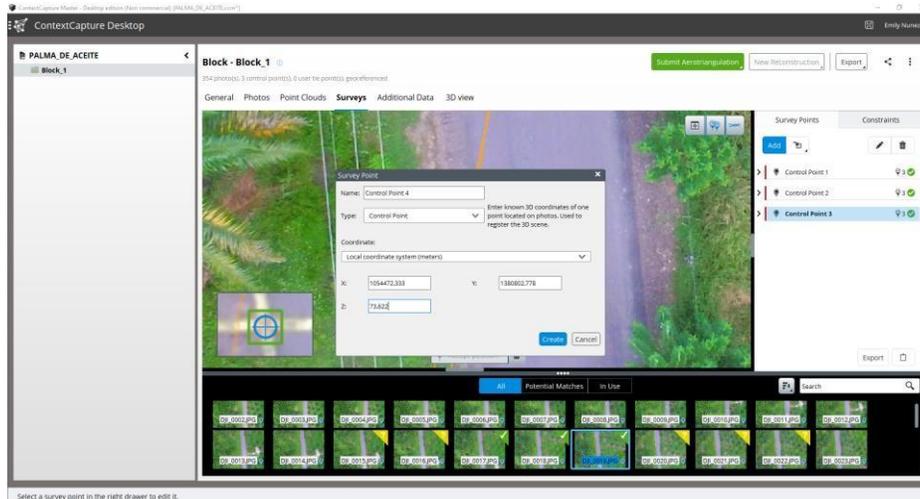
Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 30. Identificación punto control 3.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Figura 31. Asignación de coordenadas punto control 4.



Fuente (Tomada de Context Capture).

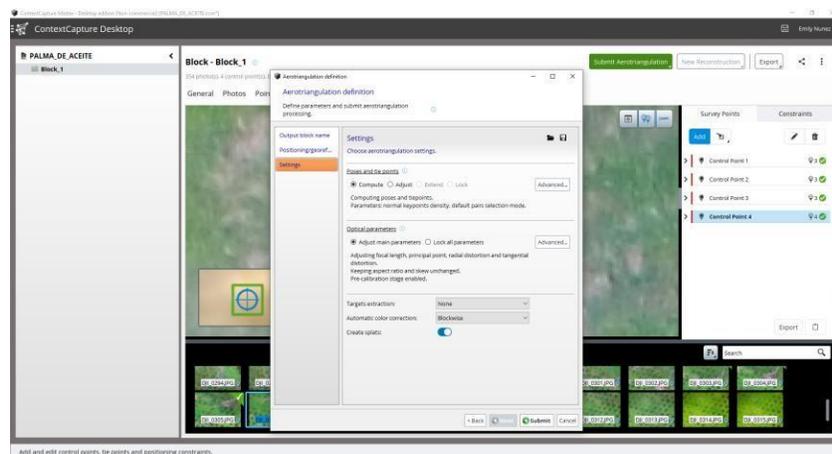
Figura 32. Identificación punto control 4.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Quinto, se procedió a realizar la aerotriangulación.

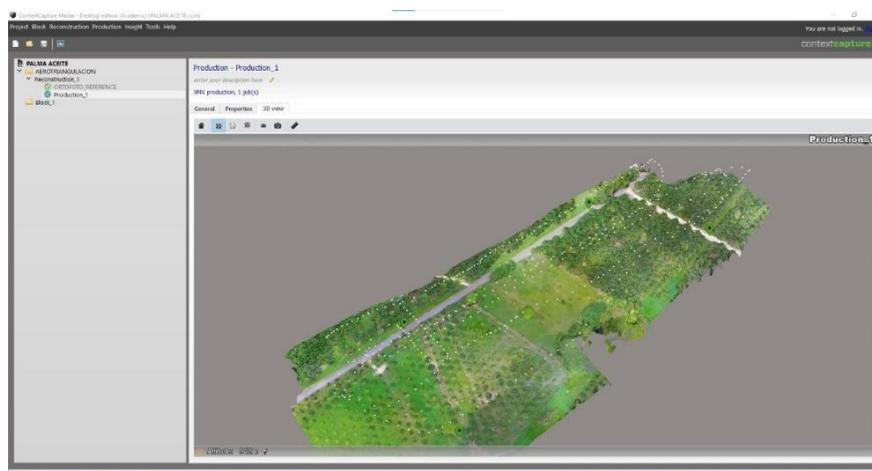
Figura 33. Aerotriangulación.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Sexto, se realizó una reconstrucción consecutivamente se generó el modelo 3D.

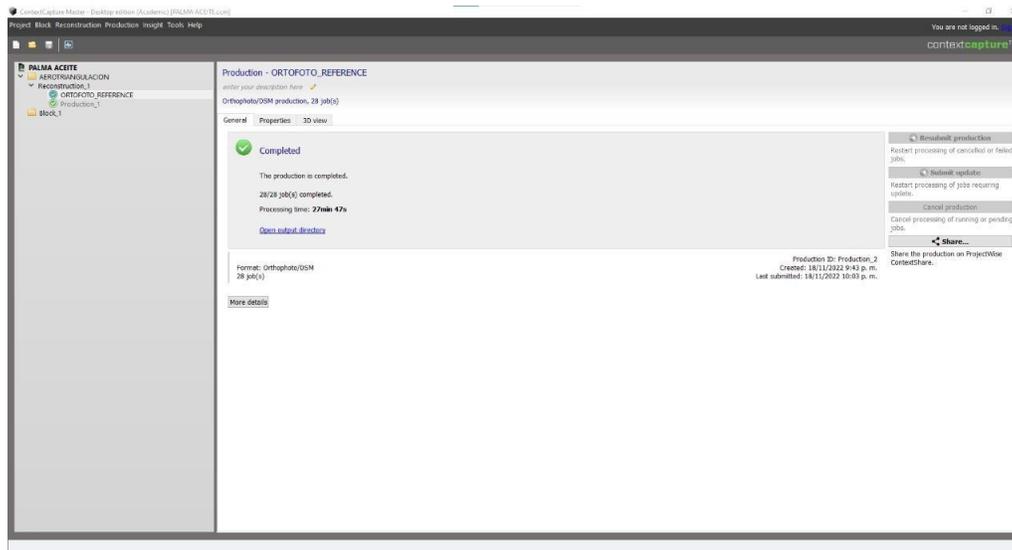
Figura 34. Reconstrucción y modelo 3D.



Fuente (Tomada de Context Capture).

Séptimo, se ejecutó el procedimiento para obtener la respectiva ortofoto referenciada del área de estudio.

Figura 35. Ortofoto.



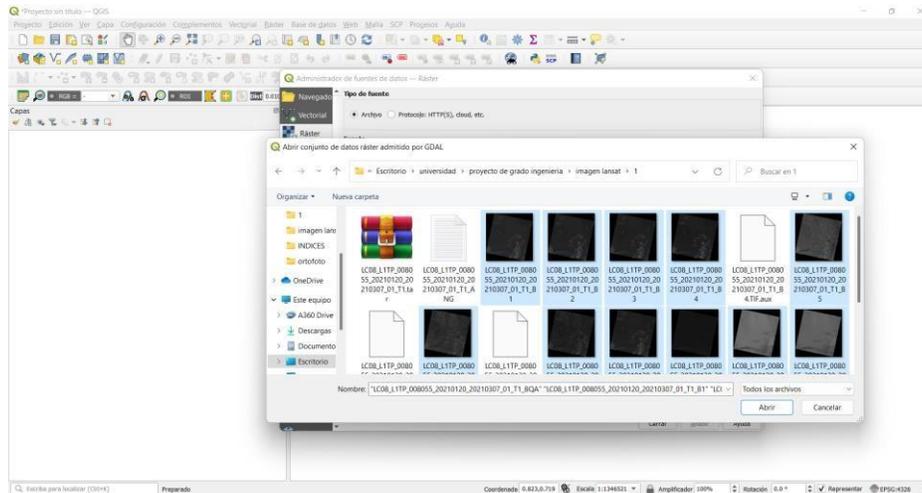
Fuente (Tomada de Context Capture).

4.3.3. QGIS

El software elegido para ejecutar los procesamientos de los datos fue el Qgis, donde se realizaron los respectivos procesos, que se describen a continuación:

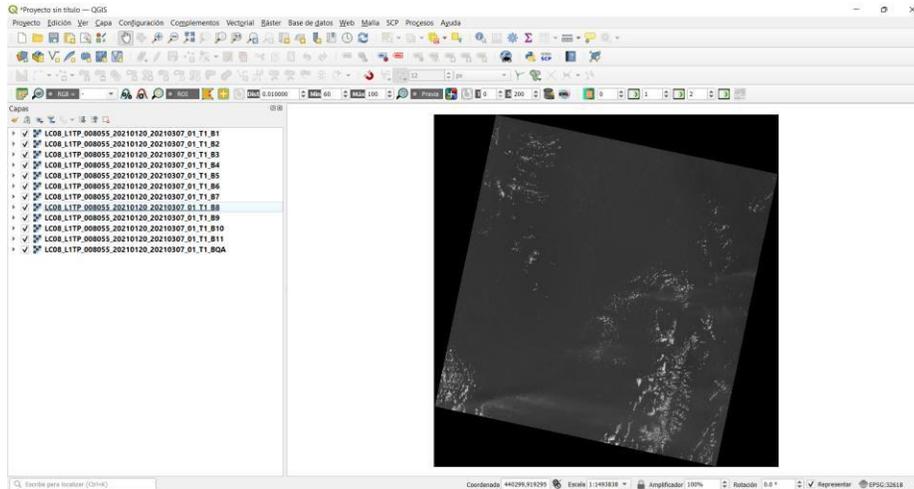
Primero, se cargan en el software las bandas obtenidas en el descargue de la imagen Landsat 8.

Figura 36. Cargue de Bandas.



Fuente (Tomada de Qgis).

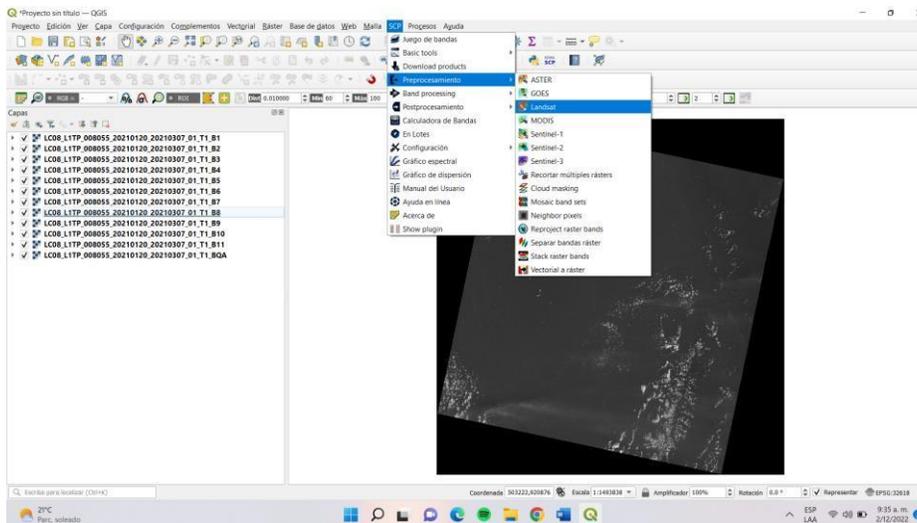
Figura 37. Bandas en Qgis.



Fuente (Tomada de Qgis).

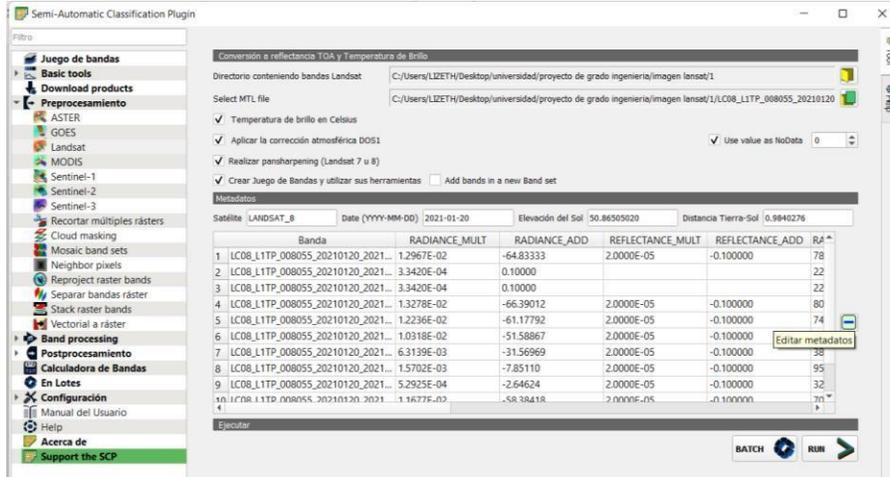
Segundo, el proceso que se llevó a cabo fue la corrección atmosférica y el Pansharpeneo para imágenes Landsat.

Figura 38. SCP, preprocesamiento.



Fuente (Tomada de Qgis).

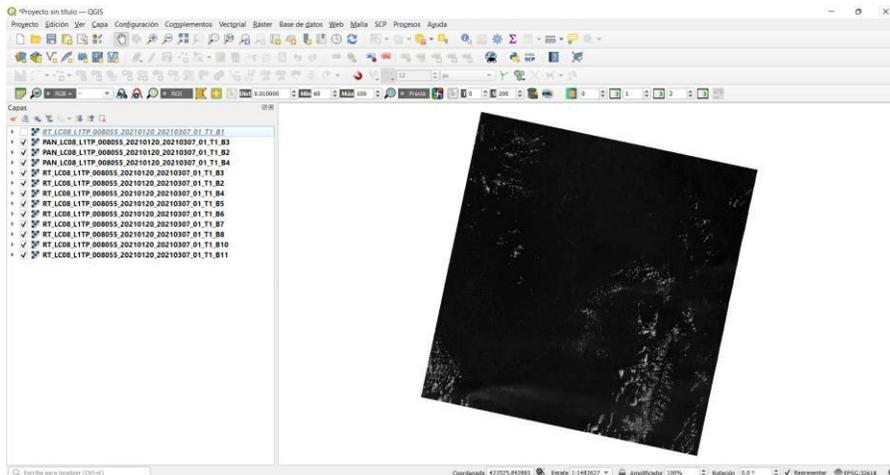
Figura 39. Corrección atmosférica y Pansharpning .



Fuente (Tomada de Qgis).

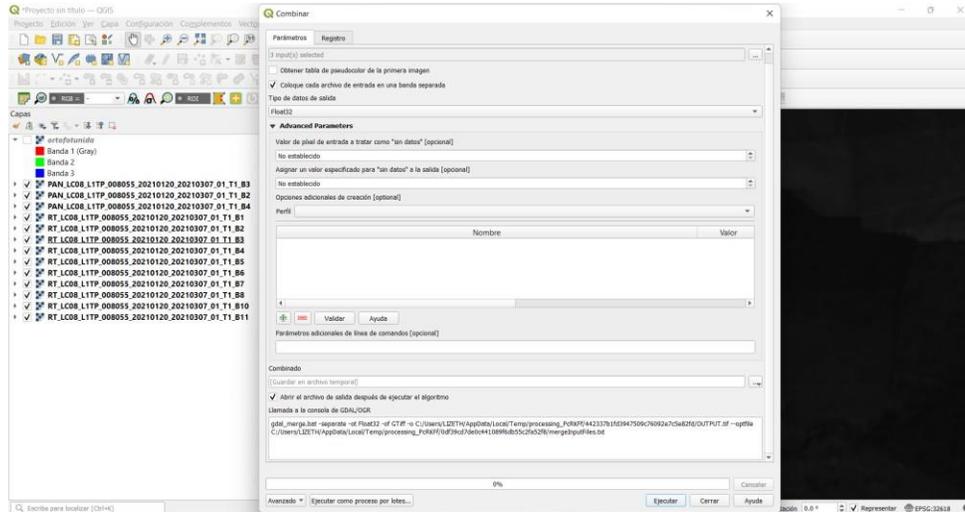
Tercero, a continuación, se llevó a cabo el cargue de las bandas corregidas, se hace la combinación de bandas para obtener el color natural del terreno y se procede a cargar la ortofoto para luego delimitar el área de estudio en las imágenes.

Figura 40. Bandas corregidas.



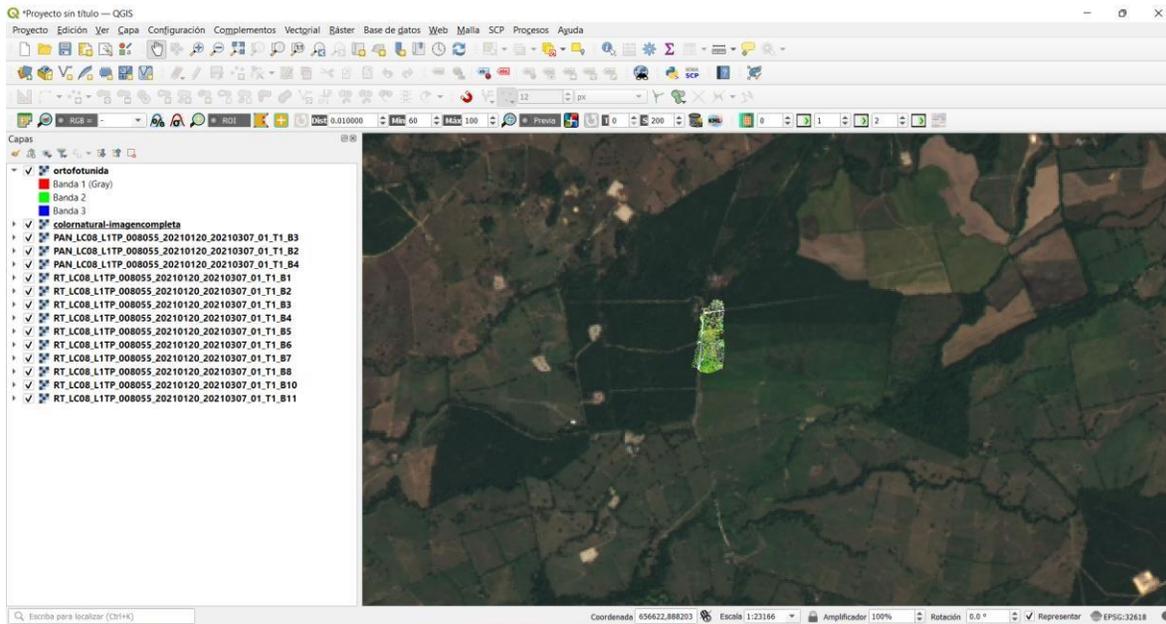
Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 41. Combinación de bandas.



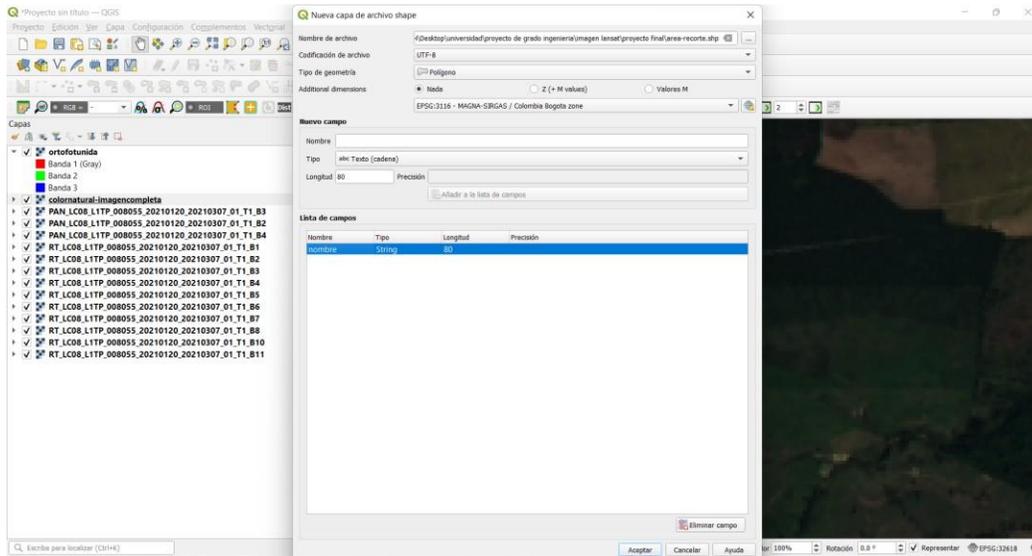
Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 42. Color natural y ortofoto.



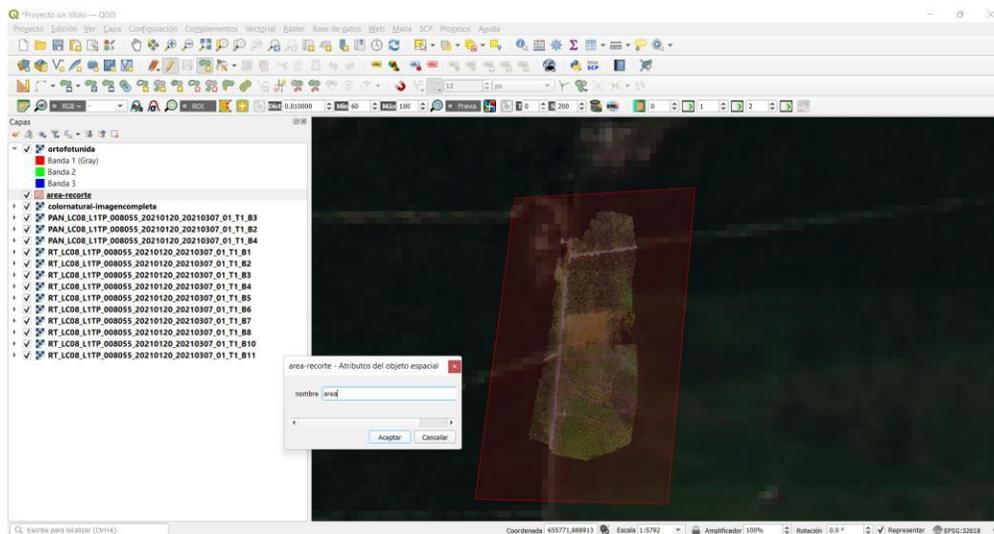
Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 43. Creación de Shapefile.



Fuente (Tomada de Qgis).

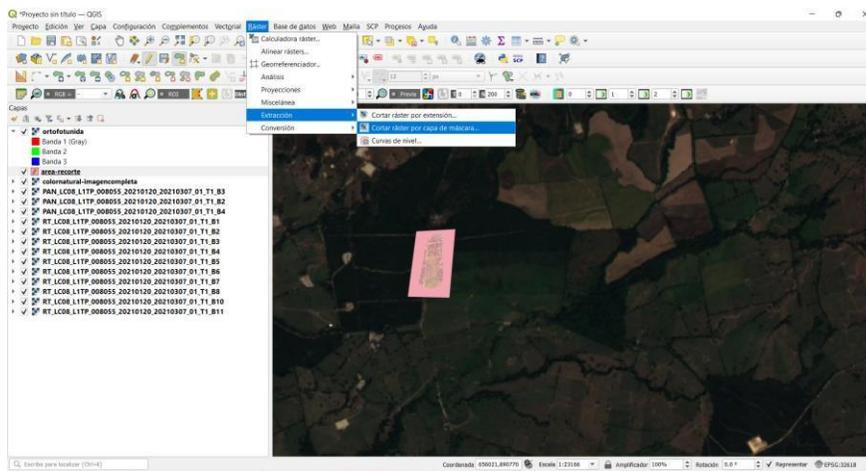
Figura 44. Delimitación de área de corte.



Fuente (Tomada de Qgis).

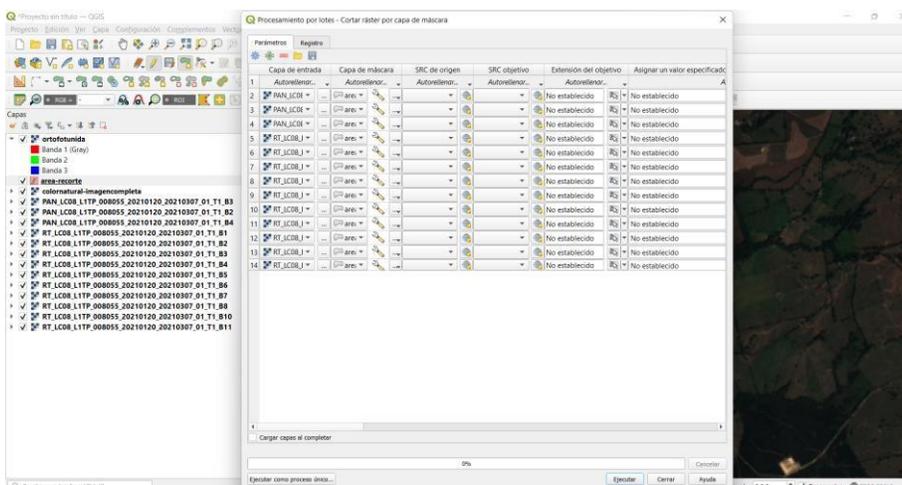
Cuarto, continuando con los procesos, se efectuó un corte sobre la zona de estudio para finalmente a aplicar los juegos de bandas según correspondía a cada índice.

Figura 45. Proceso para el corte de las imágenes.



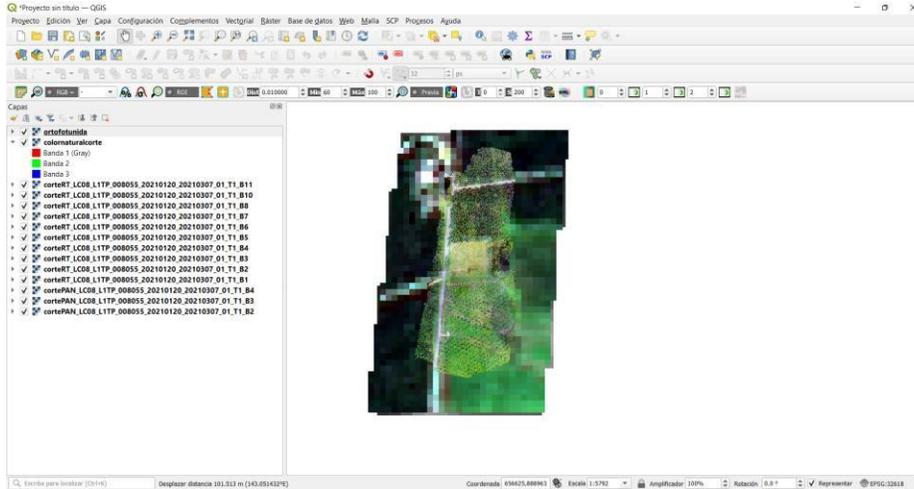
Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 46. Proceso para el corte de las imágenes.



Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 47. Corte de la imagen sobre la zona de estudio.

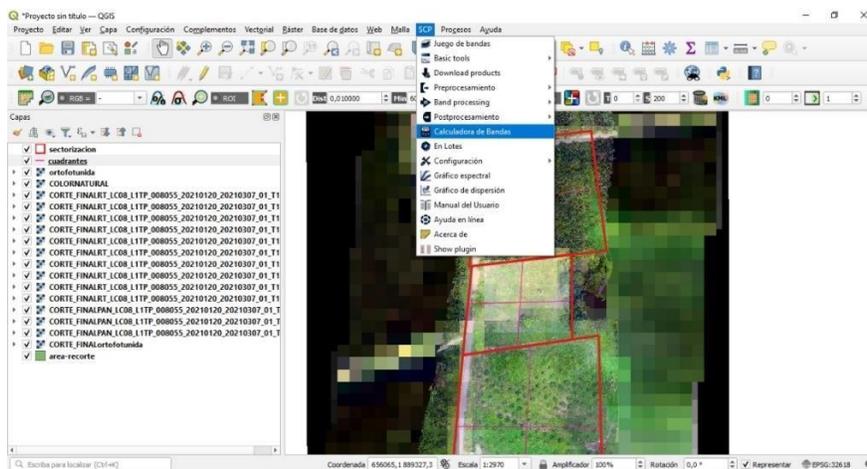


Fuente (Tomada de Qgis).

4.3.4. ÍNDICES DE VEGETACIÓN

Se ejecutaron las respectivas combinaciones de banda para obtener cada uno de los índices a trabajar sobre la zona de estudio.

Figura 48. Proceso de combinación de bandas.

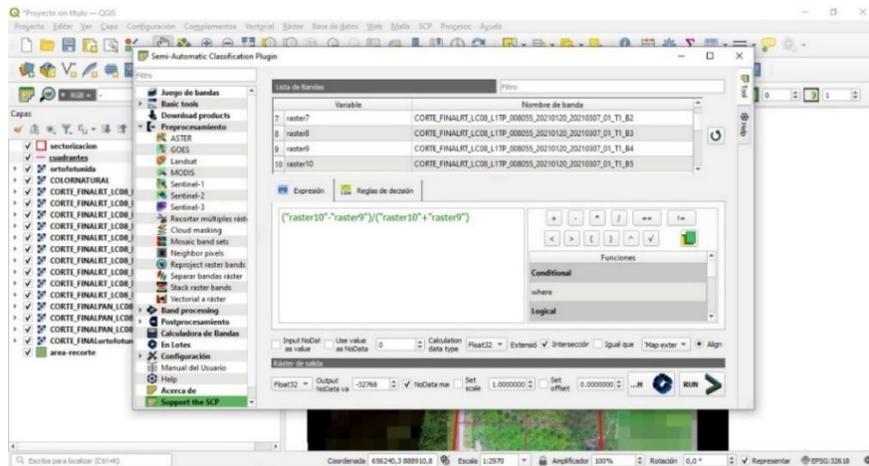


Fuente (Tomada de Qgis).

4.3.4.1. NDVI

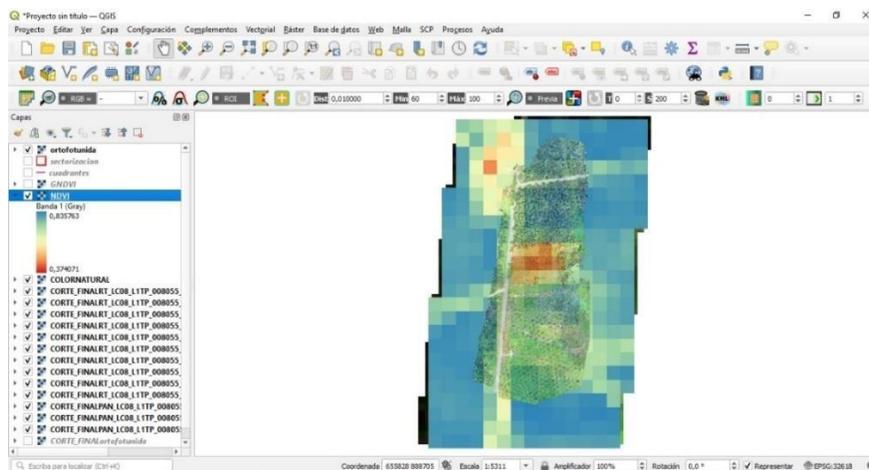
Se realiza la combinación de bandas en imágenes Landsat correspondiente a la fórmula: (Banda 5-Banda 4) / (Banda 5+Banda 4).

Figura 49. Combinación de bandas para el NDVI.



Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 50. NDVI.

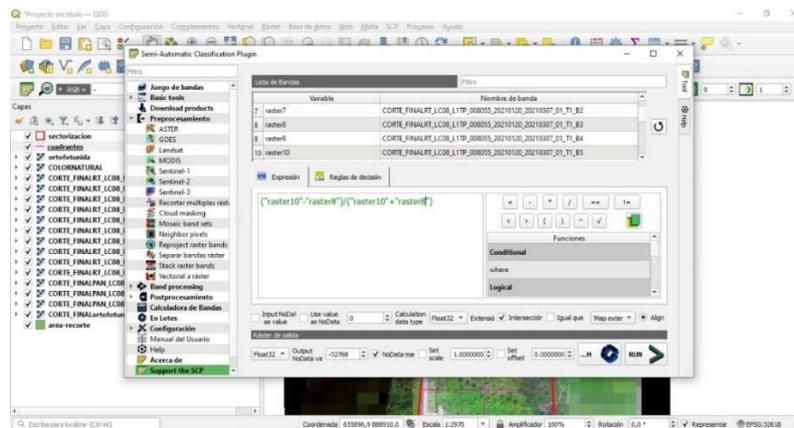


Fuente (Tomada de Qgis).

4.3.4.2. GNDVI

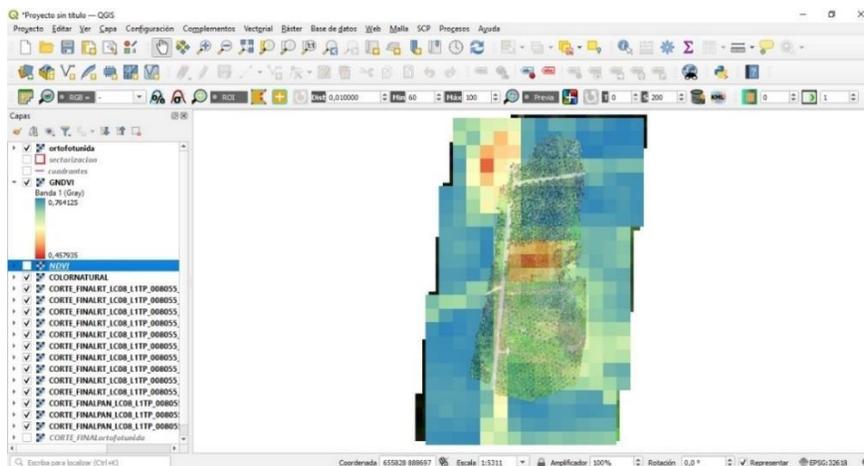
Se efectuó la combinación de bandas en imágenes Landsat correspondiente a la fórmula: (Banda 5-Banda 3) / (Banda 5+Banda 3).

Figura 51. Combinación de bandas para el GNDVI.



Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 52. GNDVI.

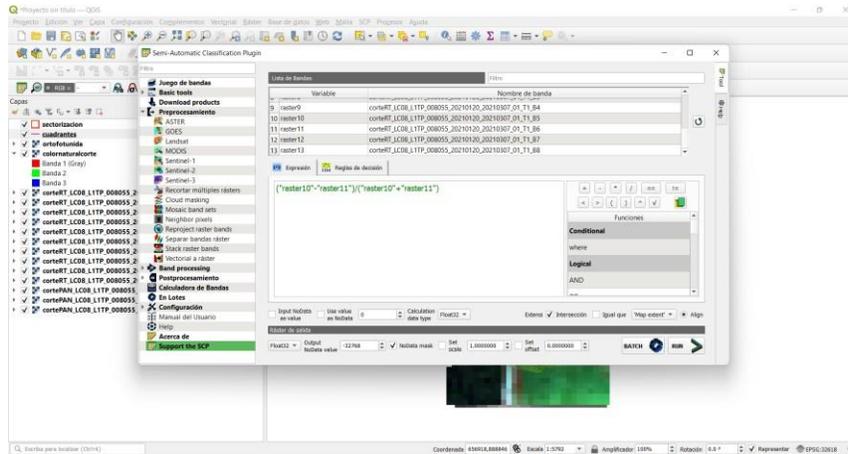


Fuente (Tomada de Qgis).

4.3.4.3. NDMI

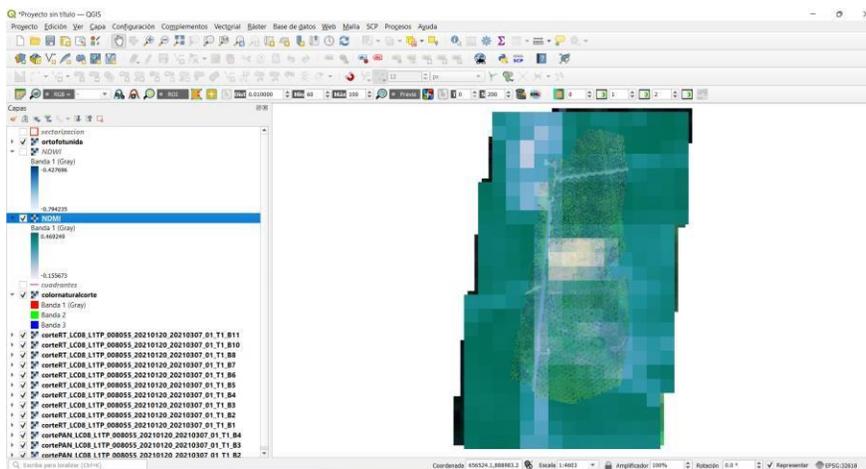
Se llevo a cabo la combinación de bandas en imágenes Landsat correspondiente a la fórmula: (Banda 5-Banda 6) / (Banda 5+Banda 6).

Figura 53. Combinación de bandas para el NDMI.



Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 54. NDMI.

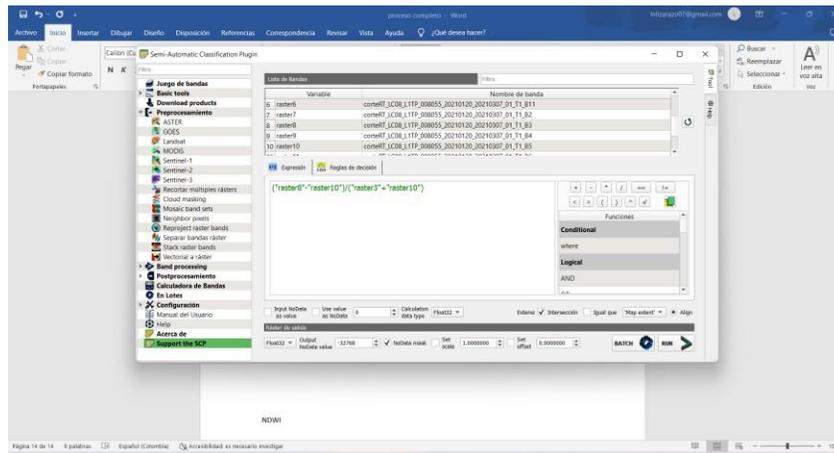


Fuente (Tomada de Qgis).

4.3.4.4. NDWI

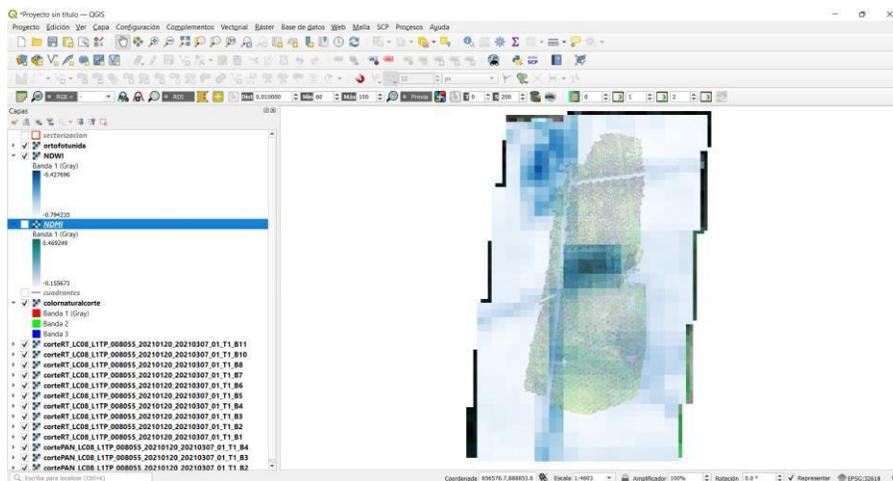
Se llevo a cabo la combinación de bandas en imágenes Landsat correspondiente a la fórmula: (Banda 3-Banda 5) / (Banda 3+Banda 5).

Figura 55. Combinación de bandas para el NDWI.



Fuente (Tomada de Qgis).

Figura 56. NDWI.



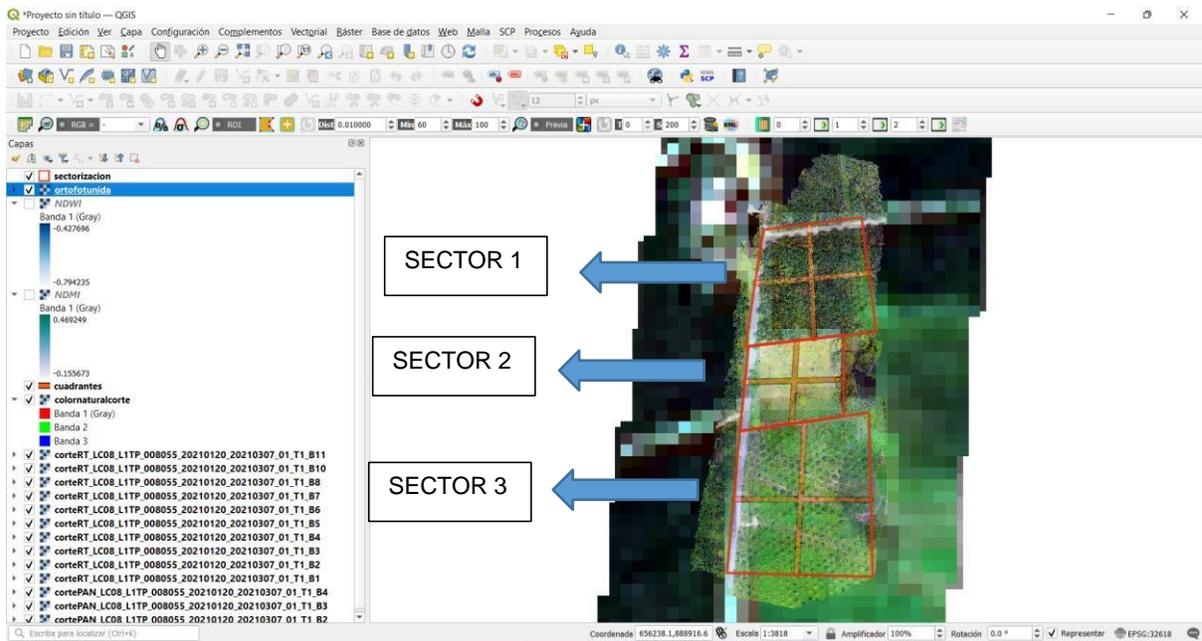
Fuente (Tomada de Qgis).

5. RESULTADOS

5.1. SECTORIZACIÓN

Para lograr obtener un inventario con la información detalla de los índices se procedió a realizar una sectorización del área de estudio, donde se establecieron 3 sectores a su vez divididos en cuadrantes: el primer sector se encuentra ubicado en la parte norte con palma en producción; el sector 2 es la parte media del área de estudio con terreno libre de cultivo; y el tercer sector está ubicado en la parte sur con palma en crecimiento.

Figura 57. Sectorización.

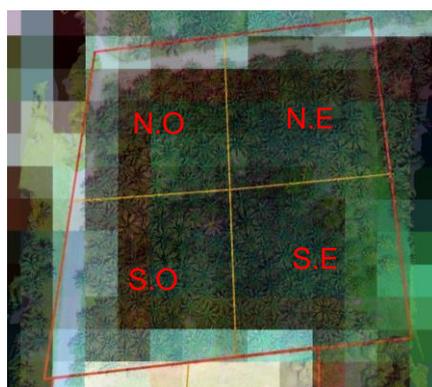


Fuente (Tomada de Qgis).

5.1.1. SECTOR 1

Este sector está conformado por las plantas de palma que se encuentran en producción, así mismo para generar un análisis detallado el sector se dividió en cuadrantes: Nor- Este (N.E), Sur- Este (S.E), Sur-Oeste (S.O) y Nor-Oeste (N.O).

Figura 58. Sector 1.

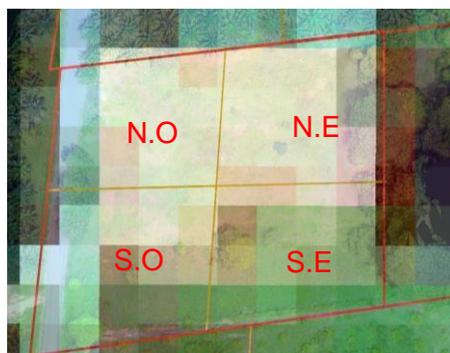


Fuente (Tomada de Qgis).

5.1.2. SECTOR 2

Este sector está conformado por el suelo libre cultivo, así mismo para generar un análisis detallado el sector se dividió en cuadrantes: Nor- Este (N.E), Sur- Este (S.E), Sur-Oeste (S.O) y Nor-Oeste (N.O).

Figura 59. Sector 2.



Fuente (Tomada de Qgis).

5.1.3. SECTOR 3

Este sector está conformado por las plantas de palma en crecimiento, así mismo para generar un análisis detallado el sector se dividió en cuadrantes: Nor- Este (N.E), Sur- Este (S.E), Sur-Oeste (S.O) y Nor-Oeste (N.O).

Figura 60. Sector 3.



Fuente (Tomada de Qgis).

5.2. ÍNDICES DE VEGETACIÓN

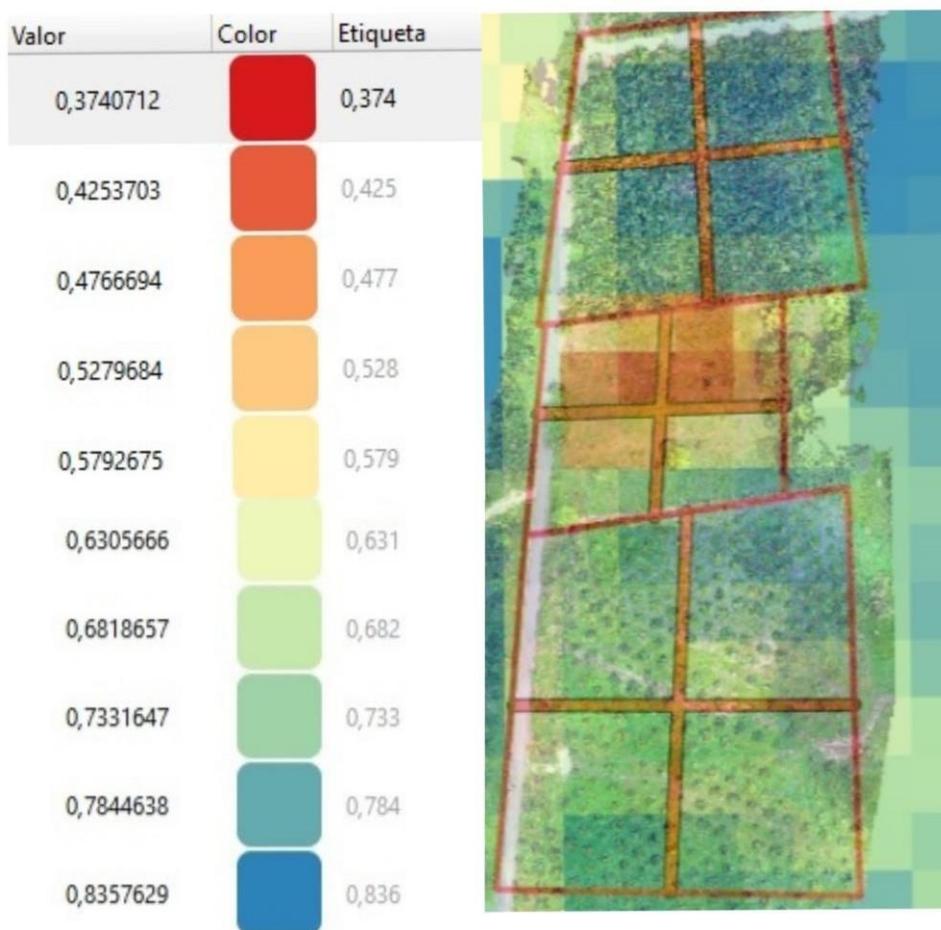
Los índices de vegetación aplicados fueron: el NDVI que es el encargado de estudiar el vigor de la planta, el GNDVI que es el encargado de estudiar el vigor de la planta, pero teniendo en cuenta más precisión en la banda Green, el NDMI es el encargado de detectar los niveles de humedad de la vegetación y el NDWI se encarga de detectar niveles de masas de agua en la superficie.

A continuación, se presenta el análisis de cada uno de los índices de vegetación generados para los sectores planteados en la zona de estudio.

5.2.1. NDVI

En el área de estudio se pudo identificar que el valor mínimo del índice NDVI presentado es de 0,374 y el mayor es de 0,836, dado a interpretar, el estado vegetativo de toda la zona de estudio se encuentra entre plantas medianamente sanas, plantas muy sanas y zona de déficit de plantas, este índice permite detectar el estado de salud o vigor vegetativo del cultivo.

Figura 61. NDVI del área de estudio.

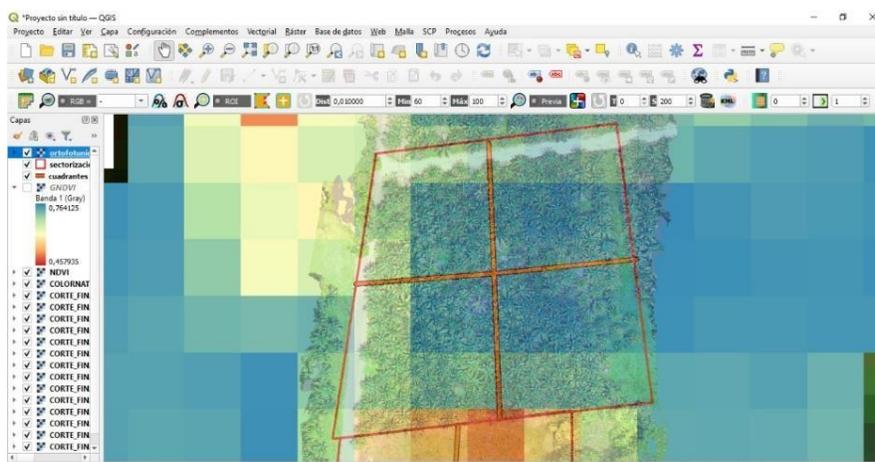


Fuente (Tomada de Qgis y elaboración propia).

5.2.1.1. SECTOR 1

En el sector 1 se analizó que en el cuadrante N.E y S.E el cultivo presenta un índice de vegetación diferencial normalizada con valores de (0,733 - 0,836) esto significa que existen plantas muy sanas, en el cuadrante S.O se obtuvieron los siguientes valores (0,682- 0,784) con esto se pudo decir que existen plantas muy sanas, y el cuadrante N.E presento valores de (0,631 – 0,836) por ende se soporta que existen plantas medianamente sanas y muy sanas.

Figura 62. NDVI del sector 1.

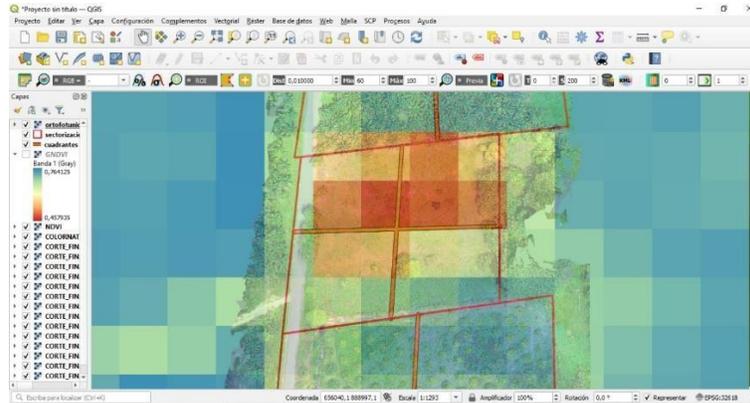


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.1.2. SECTOR 2

En el sector 2 se analizó que en todos los cuadrantes el cultivo presenta un índice de vegetación normalizada de planta medianamente sana con los siguientes valores en cada cuadrante N.E (0,374 – 0,528) S.E (0,579-0,631) S.O (0,477-0,631) N.O (0,374 – 0,528), cabe resaltar que estos valores se dan por la presencia de pasto ya que este sector no cuenta con el cultivo de estudio.

Figura 63. NDVI del sector 2.

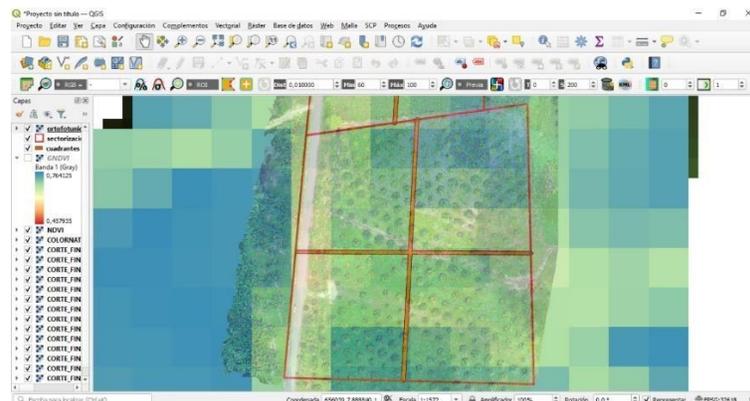


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.1.3. SECTOR 3

En el sector 3 se analizó que en los cuadrante N.E y S.E el cultivo presenta un índice de vegetación diferencial normalizada con valores (0,682 - 0,836) y (0,682-0,784) lo que significa que existen plantas muy sanas, en los cuadrante S.O y N.O se obtuvieron los siguientes valores (0,631-0,836) y (0,631-0,784) se puede decir que existen plantas medianamente sanas y plantas muy sanas.

Figura 64. NDVI del sector 3.

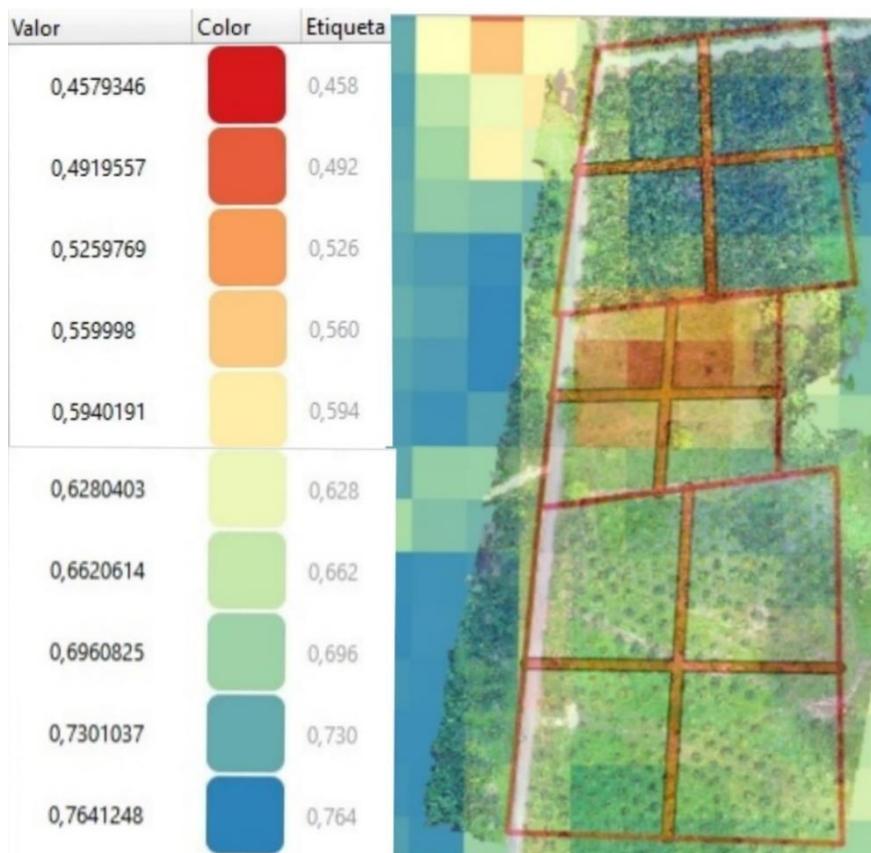


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.2. GNDVI

Con el análisis del índice GNDVI en el área de estudio se identificó que el valor mínimo que se presenta es de 0,458 y el valor máximo es de 0,764, a partir de estos valores se pudo interpretar que se cuenta con áreas donde el cultivo tiene alto y medio contenido de clorofila de las plantas. Este índice permite detectar una versión mejorada del índice NDVI para que sea más sensible a la variación del contenido de clorofila de dicho cultivo.

Figura 65. GNDVI del área de estudio.

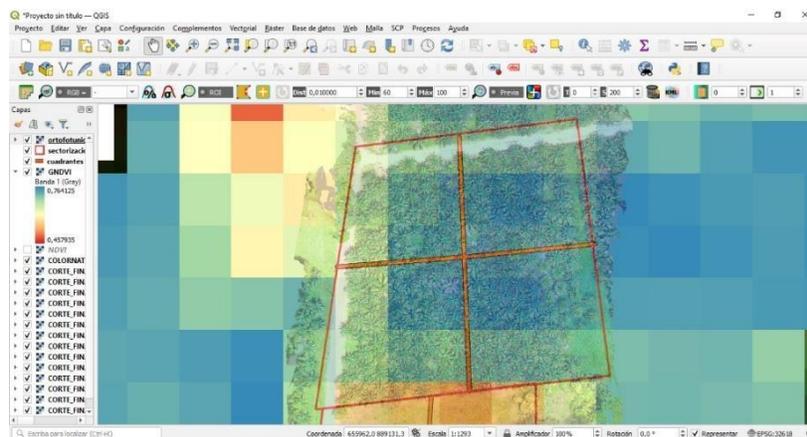


Fuente (Tomada de Qgis y elaboración propia).

5.2.2.1. SECTOR 1

En el sector 1 se logró identificar que en los cuadrantes N.E y S.E se presentaron valores (0,696-0,764) y el cuadrante S.O (0,662-0,764) a partir de estos valores se pudo interpretar que se cuenta en estas áreas con alto contenido de clorofila; en el cuadrante N.O se presentaron valores (0,628-0,730) a partir de estos valores se pudo interpretar que se cuenta en esta área con alto y medio contenido de clorofila.

Figura 66. GNDVI del sector 1.

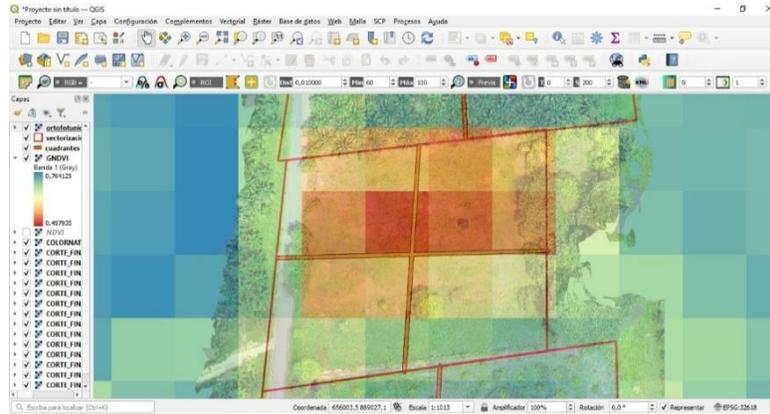


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.2.2. SECTOR 2

En el sector 2 se identificó que en el cuadrante N.E y N.O se presentaron valores (0,492-0,560) y (0,458-0,560) y se pudo interpretar que se cuenta con medio contenido de clorofila; En los cuadrantes S.E y S.O se presentaron valores (0,594-0,696) y (0,526-0,662) a partir de estos valores se pudo interpretar que en esta área se cuenta con medio y alto contenido de clorofila, es importante resaltar que estos valores se dan por la presencia de pasto y arboles ya que este sector no cuenta con el dicho cultivo de estudio.

Figura 67. GNDVI del sector 2.

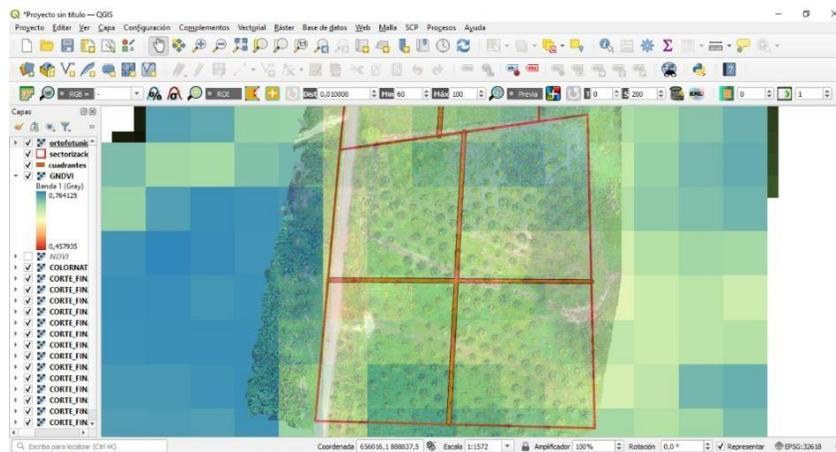


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.2.3. SECTOR 3

En el sector 3 se analizó que en los cuadrantes N.E, S.E y N.O se identificaron valores (0,662-0,730), (0,662-0,696) y (0,628-0,696) a partir de estos valores se pudo interpretar que en esta área cuenta con alto contenido de clorofila; En el cuadrante S.O se presentaron valores (0,594-0,730) debido a estos valores se pudo interpretar que en esta área cuenta con medio y alto contenido de clorofila.

Figura 68. GNDVI del sector 3.

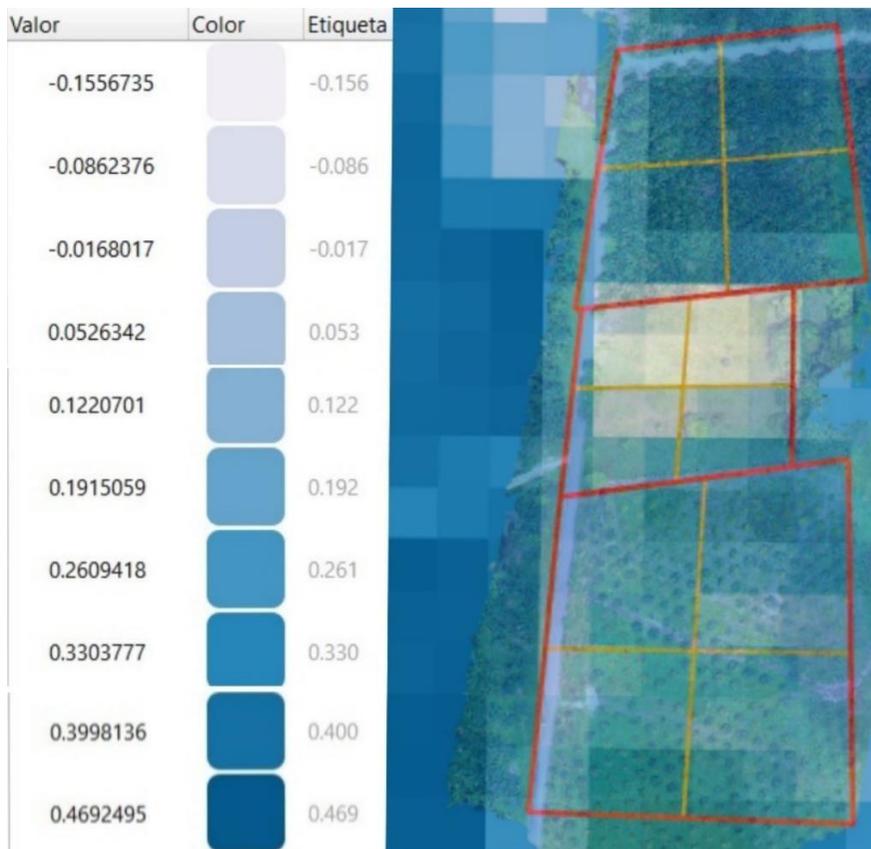


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.3. NDMI.

El índice NDMI en el área de estudio presento una variación entre el mínimo valor de -0.155 y el máximo valor de 0.469, a partir de esto se pudo concluir que se cuenta con áreas donde el cultivo esta sin estrés hídrico y con cobertura de dosel alta pero también presenta un sector donde el suelo se encuentra desnudo. Este índice permite detectar el estrés hídrico en una etapa temprana para poder generar una supervisión de riego donde el cultivo más lo necesite detectando la humedad en las hojas, es una herramienta agrícola de calidad y trabaja con una combinación de bandas de NIR e infrarrojas.

Figura 69. NDMI del área de estudio.

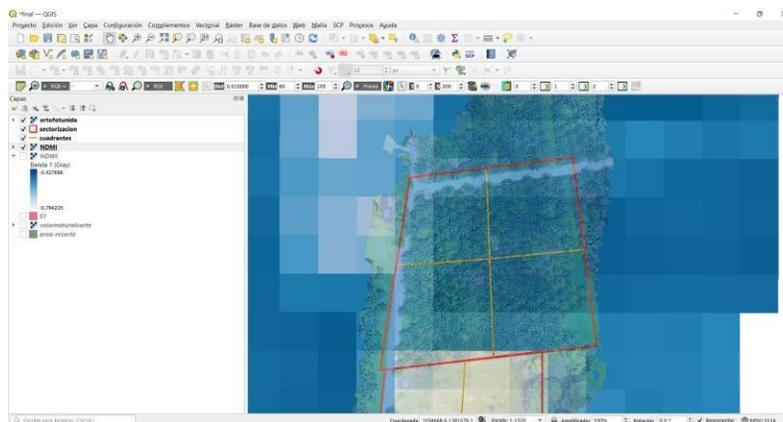


Fuente (Tomada de Qgis y elaboración propia).

5.2.3.1. SECTOR 1

El análisis del sector 1 dio como resultado que los cuadrantes N.E y S.E presentaron valores entre 0.330 y 0.469 a partir de estos se pudo deducir que dicha área cuenta con palmas con cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo, y palmas con cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico; el cuadrante S.O presento una variación del índice entre -0.017 y 0.469 donde se puede inferir que esta área cuenta con palmas con cobertura del dosel media-baja y estrés hídrico alto o cobertura del dosel baja y estrés hídrico bajo en la parte que limita con el sector 2 por ende es la parte que debe tenerse en cuenta para realizar una supervisión de riego, el restante de esta área cuenta con palmas con cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo, palmas con cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo y palamas con cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico; el cuadrante N.O presento valores ente 0.261 y 0.469 y esto quiere decir que las palmas en esta área cuentan con cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo y con cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico.

Figura 70. NDMI del sector 1.

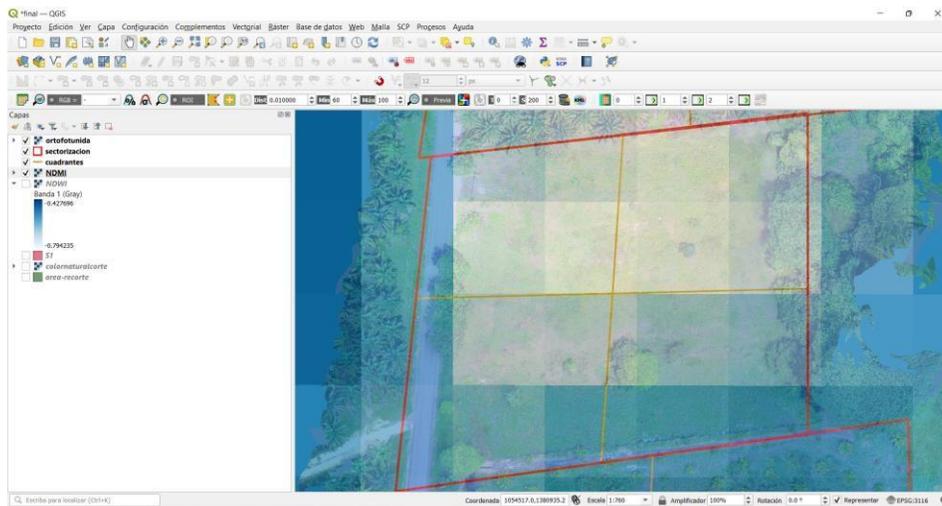


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.3.2. SECTOR 2

Teniendo en cuenta que este sector es el que no cuenta con cultivo por ende en su gran mayoría es suelo desnudo el análisis del sector 2 dio como resultado que los cuadrantes S.E y S.O presentaron valores entre -0.017 y 0.330, a partir de estos se pudo deducir que dicha área cuenta cobertura de dosel media y baja estrés hídrico alto o cobertura de dosel baja Estrés hídrico bajo y cobertura de dosel media Estrés hídrico alto o cobertura de dosel media y baja, estrés hídrico bajo; los cuadrantes N.E y N.O presentaron una variación del índice entre -0.156 y 0.122 donde se puede inferir que esta área presenta suelo desnudo, cobertura del dosel casi inexistente, Cobertura de dosel baja y seca o muy baja y húmeda, cobertura de dosel media baja y estrés hídrico alto o cobertura de dosel baja y estrés hídrico bajo y cobertura de dosel media y estrés hídrico alto o cobertura de dosel media baja y estrés hídrico bajo.

Figura 71. NDMI del sector 2.

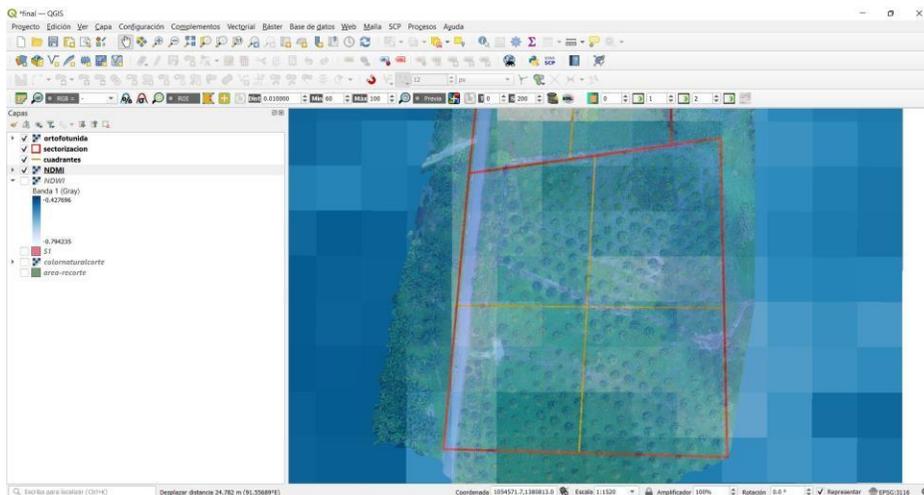


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.3.3. SECTOR 3

El análisis del sector 3 arrojó como resultado que los cuadrantes S.E y S.O presentaron valores entre 0.122 y 0.400, a partir de estos se pudo deducir que dicha área cuenta con palmas con cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media-baja del dosel y bajo estrés hídrico y cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo; el cuadrante N.E presento una variación del índice entre 0.192 y 0.469 donde se infirió que esta área cuenta con palmas con cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media-baja del dosel y bajo estrés hídrico, cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo y cobertura del dosel alta, sin estrés hídrico; el cuadrante N.O presenta variación de valores entre 0.122 y 0.400 arrojando como resultado del análisis que dicho cuadrante cuenta con palmas con cobertura media del dosel y alto estrés hídrico o cobertura media-baja del dosel y bajo estrés hídrico y cobertura del dosel media-alta y estrés hídrico alto o cobertura media y estrés hídrico bajo, con esto se pudo concluir que este sector es el que en cuanto a humedad se encuentra en mejores condiciones.

Figura 72. NDMI del sector 3.

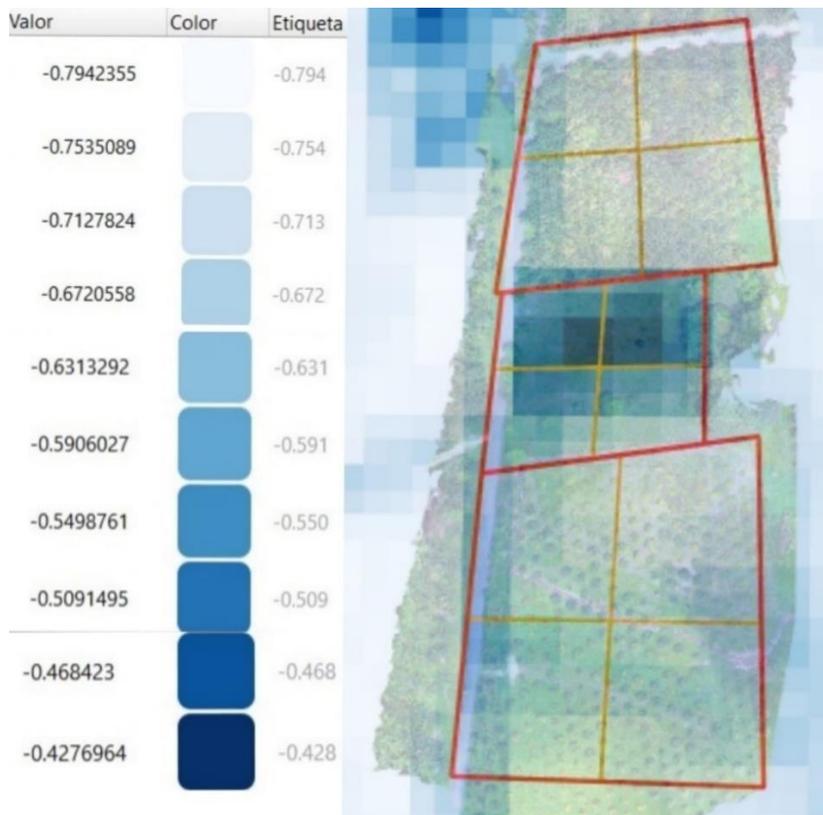


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.4. NDWI.

El índice NDWI en el área de estudio mostro una variación entre el valor mínimo de -0.794 y el valor máximo de -0.427, con estos datos se puede concluir que esta área al ser para producción de grandes extensiones de palma no necesita de masas de agua en la superficie con mayor relevancia, pero se aplicó este índice ya que la zona antes de destinarse a la producción de palma de aceite era una zona arrocerapor ende se quería conocer si aun presentaba masas de agua en alguno de los sectores, los valores del NDWI indicaron que la superficie presenta sequía, sequiamoderada y superficies sin agua, en toda su extensión estos valores oscilan entre -1 y 1.

Figura 73. NDWI del área de estudio.

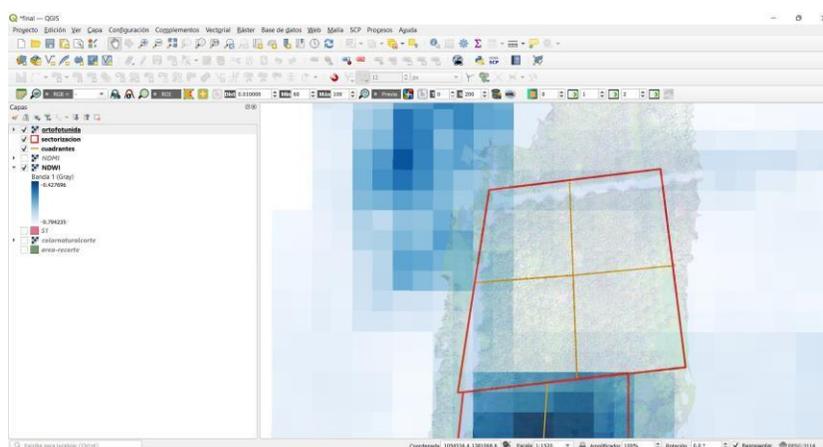


Fuente (Tomada de Qgis y elaboración propia).

5.2.4.1. SECTOR 1

La interpretación de los datos del sector 1 dio como resultado que los cuatro cuadrantes que componen este sector tienen valores entre -0.794 y -0.631, lo cual permite concluir que esta área presenta sequía o superficies sin agua, cabe recalcar que esta zona ya cuenta con un cultivo de palma en producción.

Figura 74. NDWI del sector 1.

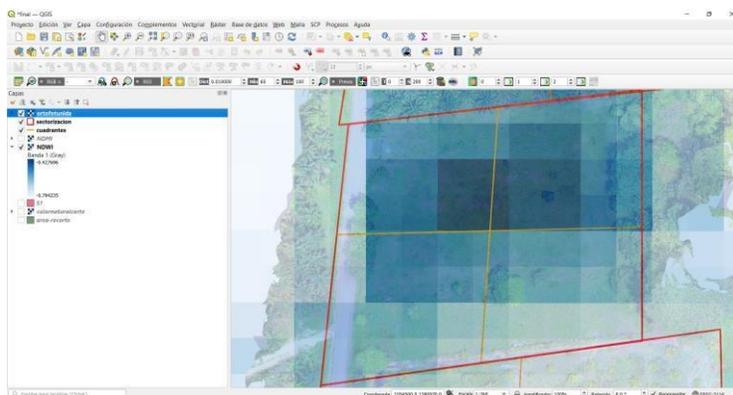


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.4.2. SECTOR 2

El análisis del sector 2 dio como resultado que los cuadrantes N.E y N.O cuentan con valores entre -0.591 y -0.428 siendo este el área que cuenta con un leve cambio en cuanto a las condiciones de masas de agua en la superficie, en cuanto a interpretación de los valores indicio que presenta sequía y superficies sin agua, pero la diferencia en cuanto a color en las imágenes se presentan ya que este sector es el que se encuentra sin cultivo, por esto la zona puede tener rastro de masas de agua más notables ya que no está totalmente drenada; los cuadrantes S.E y S.O presentan valores entre -0.754 y -0.509 esto implica que esta área presenta las mismas condiciones de sequía y superficies sin agua que la gran parte de la extensión de la zona de estudio.

Figura 75. NDWI del sector 2.

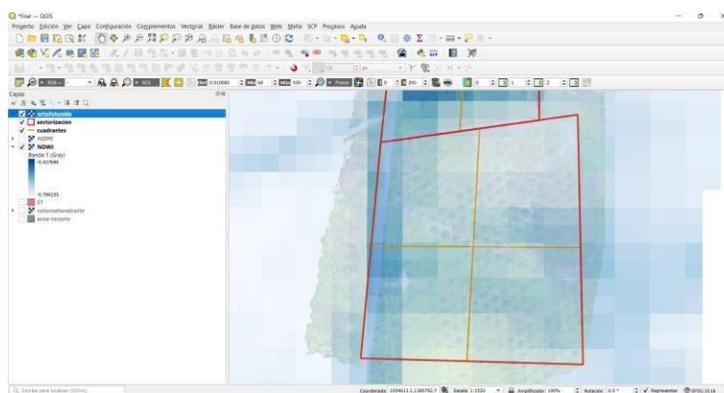


Fuente (Tomada de Qgis).

5.2.4.3. SECTOR 3

La interpretación de los datos del sector 3 dio como resultado que los cuatro cuadrantes que componen este sector presentan valores entre -0.794 y -0.591, a partir de esto se pudo concluir que dicha área presenta sequía o superficies sin agua, cabe recalcar que esta zona ya cuenta con un cultivo de palma en crecimiento.

Figura 76. NDWI del sector 3.



Fuente (Tomada de Qgis).

6. CONCLUSIONES

Luego de estudiar y reconocer el área de estudio se concluyó que el sensor a utilizar planteado inicialmente en el anteproyecto no era el adecuado para la realización del proyecto, por ende, se tomó la decisión de utilizar otro equipo, se presentaron problemas a la hora de realizar el vuelo de manera automatizada debido al software, pero se logró ejecutar de manera manual sin ningún tipo de problema.

Se pudo concluir que el uso de las fotografías aéreas tomadas en campo para construir la ortofoto es de gran utilidad en cuanto al uso combinado con las imágenes Landsat y los distintos procesos aplicados en el software Qgis para ubicar y diferenciar el cultivo de manera precisa en los sectores de estudio establecidos, mediante la combinación de bandas y la generación de escalas de valores.

Se concluyó que el área que presenta mejores condiciones en cuanto al cultivo de palma de aceite es el sector 1 ya que cuenta con los mejores valores de los índices de vegetación estudiados, presentando la gran mayoría de palmas con alta vigorosidad, sin estrés hídrico, con cobertura de dosel alta y con una superficie seca o sin agua, en cuanto al sector 2 los valores de los índices de vegetación no son favorables dado que en esta zona no presenta el cultivo de palma de aceite, además se pudo notar la similitud entre los índices NDVI y el GNDVI pero así mismo se notan las diferencias que cada uno de estos puede aportar al estado vegetativo de la zona, los resultados obtenidos coinciden con lo hallado en campo.

7. RECOMENDACIONES

Con el desarrollo del presente trabajo de proyecto de grado se pueden plantear las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que según la zona a estudiar se busquen las áreas que tengan mejor visibilidad para situar los puntos de control y que a su vez estos sean marcados, de forma tal que sean visibles en las fotografías aéreas.
- Se recomienda que el área de la zona de estudio para futuros trabajos que deseen implementar esta metodología, sea de más de 100 hectáreas para que las imágenes Landsat se vean con mejor presentación.
- Se recomienda trabajar con imágenes Landsat que tengan nubosidad menor al 20%, ya que es probable que estas nubes puedan interferir con la resolución de la imagen.
- Se recomienda que en la toma de fotografías aéreas el traslapo entre ellas sea mayor al 75%.
- Se recomienda trabajar con una estimación de áreas según la cantidad de hectáreas que se trabajen para obtener equivalentes en área y combinarlos con la productividad que tiene la palma de aceite.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Referencias

- AgriDiCo. (06 de julio de 2020). *AgriDiCo*. Obtenido de <https://www.agridico.com/l/ndvi-ondre/>
- Álvarez, N. (2019). *Método para la identificación temprana de la Pudrición del Cogollo en palma de aceite a partir de sensores remotos no tripulados*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia .
- Avila, M., & Avilés, J. (2021). *DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN WEB PARA EL MONITOREO DE ÁREAS GEORREFERENCIALES Y EL LEVANTAMIENTO DE DATOS MULTIESPECTRALES EN ZONAS DE ESTUDIO DE CULTIVOS DE PITAHAYA*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de guayaquil.
- Castillo, C., & Escobar, J. (2017). *Actualización cartográfica del casco urbano de San Alfonso - Huila utilizando tecnología RPAS*. Huila. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5379>
- Castro, A. F., & Urrego, J. E. (2018). *Evaluación de la precisión de resultados obtenidos con el procesamiento de información generada con RPAS*. Bogota.
- Cuerno, C., Ramirez, J., & Otañe, M. (2015). La Suma de Todos Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil. *Comunidad de Madrid*. Obtenido de www.madrid.org
- Diaz, J. J. (2015). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Madrid, España.
- EOS Data Analytics, I. (2022). *EOS Data Analytics, Inc.* Obtenido de <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/>
- Fedepalma. (2022). *Fedepalma*. Obtenido de <https://web.fedepalma.org/>
- Gallo, O., Hawkins, D., Luna, J., & Torres, M. (2020). Producción de aceite de palma en Colombia: ¿trabajo decente y saludable? *Revista Ciencias de la Salud*.
- Geoinnova. (26 de octubre de 2021). *Geoinnova*. Obtenido de <https://geoinnova.org/blog-territorio/firmas-espectrales/>
- Kharuf, S., Hernadez, L., Ruben, O., Aday, O., & Delgado, I. (2018). *Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados*. Cuba: RIELAC.
- Londoño, R. (1999). Los sistemas de información georeferenciada - SIG. *Revista de la Universidad de La Salle*. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1637&Context=ruls>
- Meneces, C. (2012). *El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque*. México.
- Michlig, A. (Noviembre de 2022). *Centro de Ayuda Auravant*. Obtenido de <https://help.auravant.com/es/articulos/3636624-que-es-el-indice-gndvi>
- Parra, G. (2010). *Sistemas de información geográfica y sensores remotos. Aplicaciones en enfermedades transmitidas por vectores*. Medellín. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-87052010000200007

- Pelaez, O. E. (2017). *ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ESPECTRAL DE LAS COBERTURAS VEGETALES DE LOS ECOSISTEMAS DE PÁRAMOS Y HUMEDALES A PARTIR DE LOS SENSORES AEROTRANSPORTADOS ULTRACAM D, DJI PHANTON 3 PRO Y MAPIR NIR. CASOS DE ESTUDIO HUMEDAL “EL OCHO”, VILLAMARÍA – CALDAS*. Manizales, Colombia: UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES.
- Sanchez, E. (2008). *Teledeteccion Ambiental*. Barcelona.
- Sinisterra, K. (2015). *METODOLOGÍA BASADA EN PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS PARA EL LEVANTAMIENTO DE PALMA DE ACEITE A PARTIR DE IMÁGENES WORLDVIEW-2*. Cali: Universidad del valle.
- Torres, A., & Vilate, E. (1968). *Topografía*. Bogota.
- Valermo, C. (2009). *Avarices en las tecnologías GPS, las redes RTK*. Madrid. Obtenido de https://oa.upm.es/5367/2/INVE_MEM_2009_71318.pdf
- Zuñiga, J. M. (2018). *APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA ANALISIS DEL ESTADO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE POR MEDIO DEL ÍNDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) Y FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE FOTOGRAFÍAS AÉREAS*. Bogota D.C: Universidad Militar Nueva Granada.

9. ANEXOS

A Informe software Context Capture.

QUALITY REPORT 

Contents

- [Project Summary](#)
- [Camera Calibration](#)
- [Photo Positions](#)
- [Photo Matching](#)
- [Surveys](#)
- [Control Points](#)

For more information, please see our online manual: <https://www.acute3d.com/QualityReportManual/en/v2.0/index.html>

Project Summary

Project:	PALMA ACEITE
Number of photos:	357
Ground coverage:	161516 square meters
Average ground resolution:	21.405 mm/pixel
Scale:	1 : 64
Camera model(s):	DJI FC300C
Processing date:	18/11/2022 12:14 p. m.
Processing time:	10min 53s

Quality Overview

Dataset:	357 of 357 photos calibrated (100%)
Keypoints:	Median of 36161 keypoints per image
Tie points:	60285 points, with a median of 519 points per photo.
Reprojection error (RMS):	0.75 pixels
Positioning / scaling:	Georeferenced using control points

Camera Calibration

DJI FC300C 3.61 mm 4000x3000

Name:	DJI FC300C
Model type:	Perspective

B Informe software Context Capture.

Image dimensions: 4000x3000 pixels

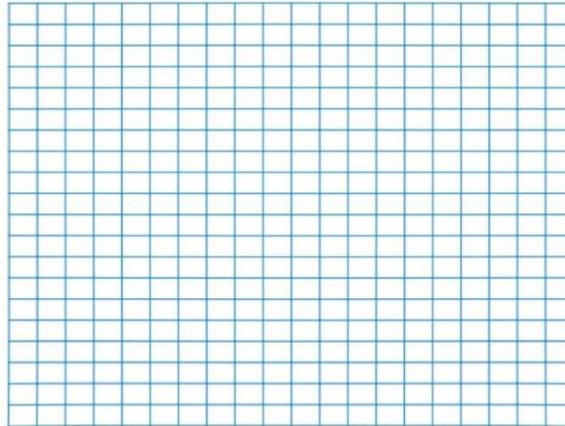
Sensor size: 6.16 mm

Number of photos: 357

Calibration Results

	Focal Length [mm]	Focal Length Equivalent 35 mm [mm]	Principa Point X [pixels]	Principa Point Y [pixels]	K1	K2	K3	P1	P2
Previous Values	3.61	21.10							
Optimized Values	3.86	22.58	2024.15	1083.21	-0.0158	0.0143	0	0	0
Difference Previous / Optimized	0.25	1.49							

Distortion Grid

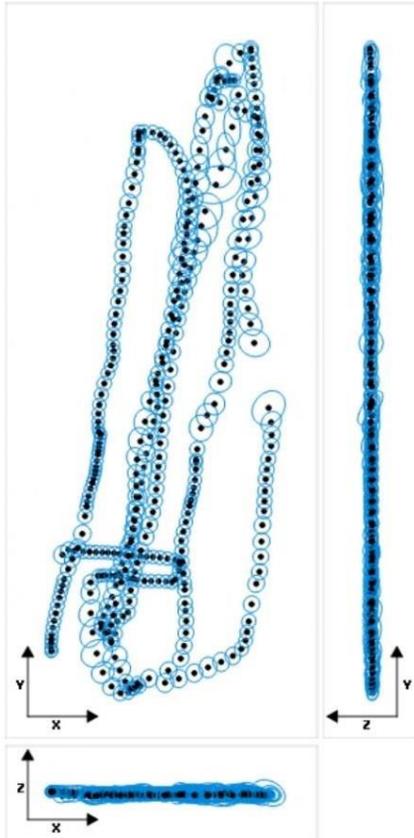


Camera Lens Distortion: Gray lines represent the zero distortion grid, and blue lines represent the real camera values.

Photo Positions

Photo Position Uncertainties

C Informe software Context Capture.



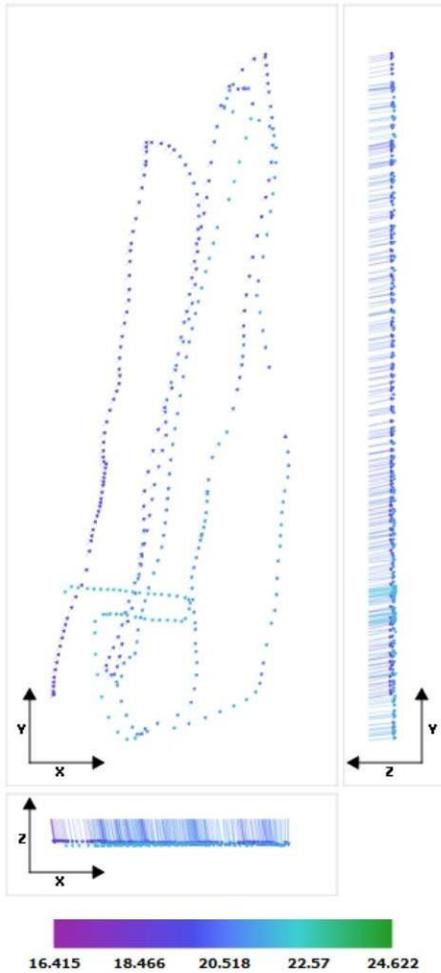
Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) of computed photo positions (black dots). Blue ellipses indicate the position uncertainty; scaled for readability. The minimum and maximum values, as well as the average value, can be found in the table below.

Position Uncertainties			
	X [meters]	Y [meters]	Z [meters]
Minimum	0.0023	0.0025	0.0009
Mean	0.007	0.0079	0.0033
Maximum	0.0442	0.0334	0.0181

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

Distance to Input Positions

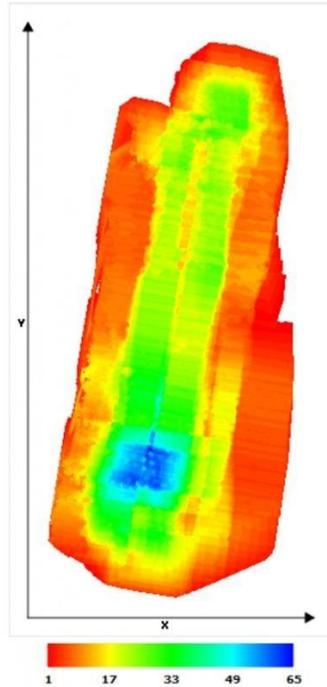
C Informe software Context Capture.



Position Distance to Metadata: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane), with arrows indicating the offset between the metadata positions and the computed photo positions; all arrows start from the metadata positions and point toward the computed positions. Gray points • indicate uncalibrated photos that have metadata. Pink points • indicate calibrated photos that have no metadata. The values are in meters, with a minimum distance of 18.5801 meters and a maximum of 22.5059 meters. The median position distance equals 20.5182 meters.

Scene Coverage

E Informe software Context Capture.



Number of photos seeing the scene: Top view (XY plane) display of the scene, with colors indicating the **number of photos** that potentially see each area.

Photo Matching

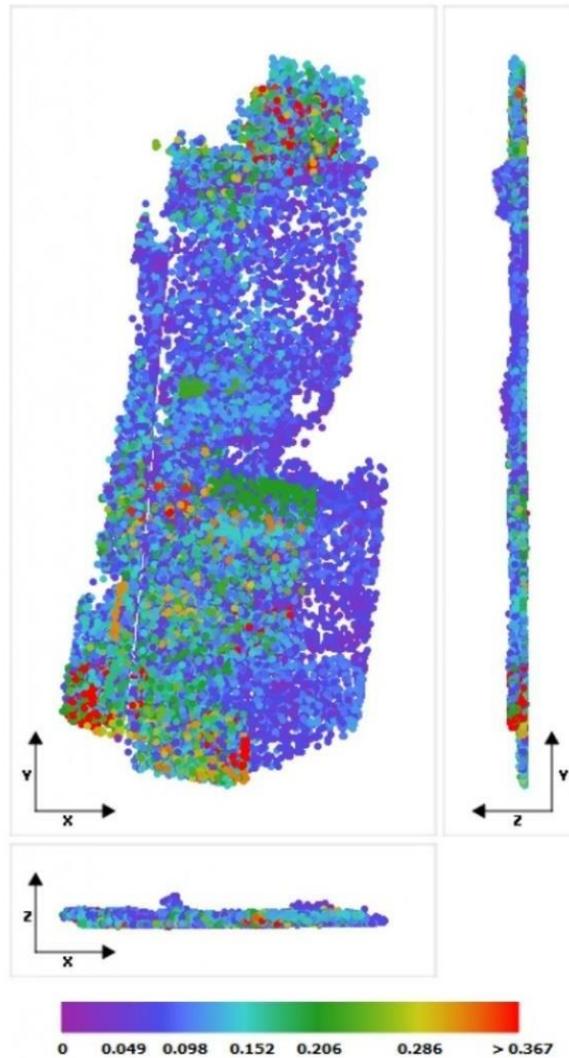
Quality Measures on Tie Points

Generated Tie Points					
Number of Points	Median Number of Photos per Point	Median Number of Points per Photo	Median Reprojection Error [pixels]	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]
60285	3	519	0.55	0.75	0.0149

For more information on individual photos, please refer to the [Photos Report](#).

[Tie Point Position Uncertainties](#)

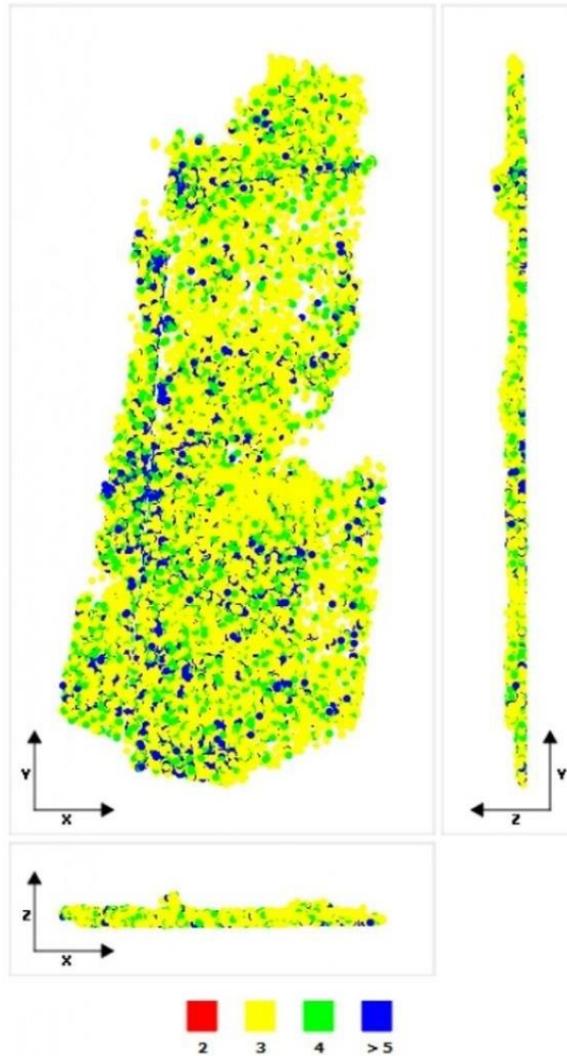
F Informe software Context Capture.



Position Uncertainties: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing uncertainty in the individual point position. The values are in meters, with a minimum uncertainty of 0.0066 meters and a maximum of 0.7431 meters. The median position uncertainty equals 0.0982 meters.

Number of Photos Observing the Tie Points

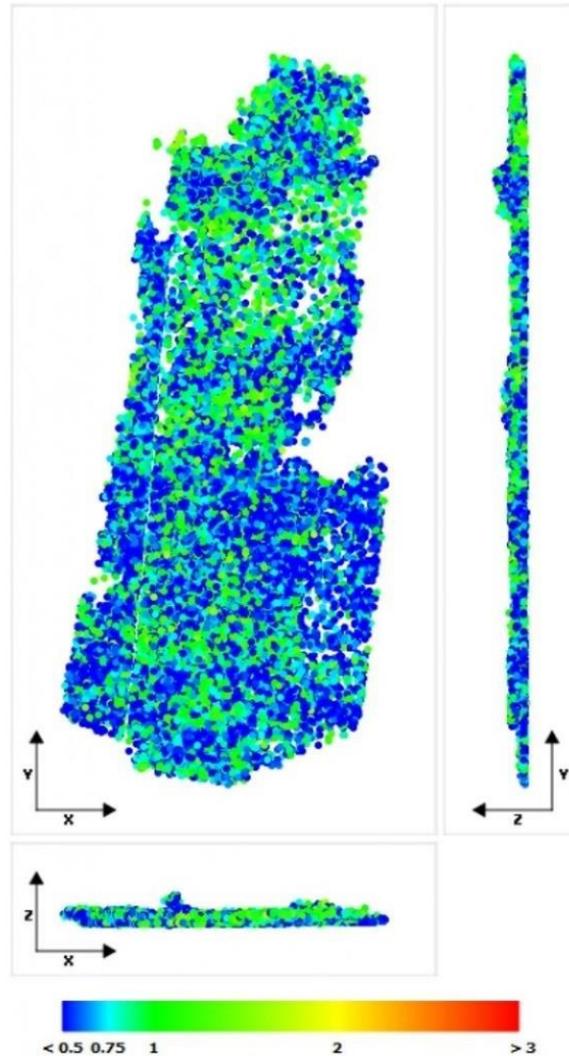
G Informe software Context Capture.



Number of Observations per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the number of photos that have been used to define each point. The minimum number of photos per tie point is **3** and the maximum is **41**. The average number of photos observing a tie point is **4**.

Reprojection Error

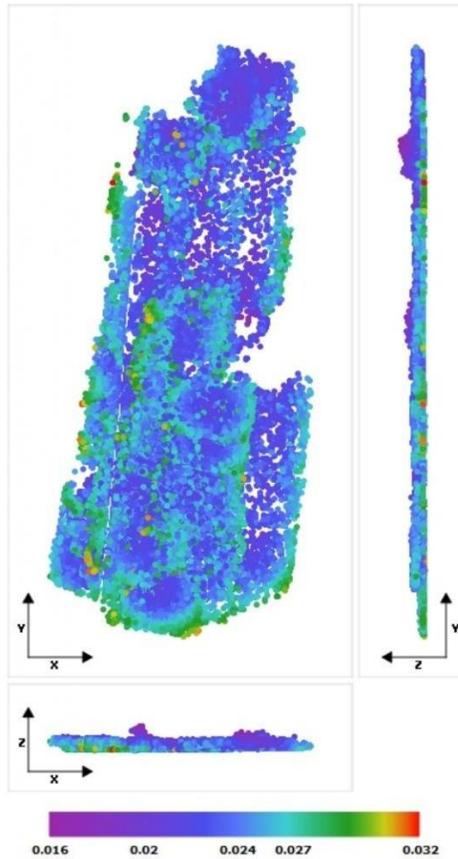
H Informe software Context Capture.



Reprojection Errors per Tie Point: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing the reprojection error in pixels. The minimum reprojection error is **0.01 pixels** and the maximum is **1.84 pixels**. The average reprojection error is **0.68 pixels**.

Tie Point Resolution

I Informe software Context Capture.



Resolution: Top view (XY plane), side view (ZY plane) and front view (XZ plane) displays of all tie points, with colors representing resolution in the individual point position. The values are in meters/pixel, with a minimum resolution of 0.0159 meters/pixel and a maximum of 0.0322 meters/pixel. The median resolution equals 0.0242 meters/pixel.

Surveys

Number of control points: 4. No control point is used as check point.

Number of user tie points: 0

Number of positioning constraints: 0

Control Points

Control Points Errors									

J Informe software Context Capture.

Name	Category	Accuracy [meters]	Number of Calibrated Photos	RMS of Reprojection Error [pixels]	RMS of Distances to Rays [meters]	3D Error [meters]	Horizontal Error [meters]	Vertical Error [meters]	
Control Point 1	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	3 (3 marked photos)	0.35	0.0075	0.003	X: 0.0003; Y: 0.0014	0.0026	✓
Control Point 2	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	3 (3 marked photos)	0.4	0.0088	0.003	X: -0.0003; Y: -0.0009	-0.0029	✓
Control Point 3	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	3 (3 marked photos)	0.27	0.0059	0.001	X: 0.0007; Y: -0.0007	-0.0004	✓
Control Point 4	3D	Horizontal: 0.01; Vertical: 0.01	3 (3 marked photos)	0.29	0.006	0.0009	X: 0.0006; Y: 0.0005	0.0004	✓
Global RMS				0.33	0.0071	0.0022	X: 0.0005; Y: 0.0009	0.002	
Median				0.35	0.0075	0.003	X: 0.0006; Y: 0.0005	0.0004	

No data are available

Horizontal and vertical errors are given according to each control point respective spatial reference system