



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
DETECCIÓN DE LA PLAGA MONILIA EN CULTIVOS DE
CACAO BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
MULTIESPECTRALES EN LA CIUDAD DEL SACHA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR:

ANTHONY JACOB CUMBA ARMIJOS

Riobamba-Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
DETECCIÓN DE LA PLAGA MONILIA EN CULTIVOS DE
CACAO BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES
MULTIESPECTRALES EN LA CIUDAD DEL SACHA.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: ANTHONY JACOB CUMBA ARMIJOS

DIRECTORA: ING. MSc. MAYRA ALEJANDRA PACHECO CUNDURI

Riobamba-Ecuador

2022

©2022, Anthony Jacob Cumba Armijos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, ANTHONY JACOB CUMBA ARMIJOS, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

Riobamba, 21 de abril de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Anthony Jacob Cumba Armijos', enclosed within a blue oval scribble.

Anthony Jacob Cumba Armijos

060395362-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, “ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE LA PLAGA MONILIA EN CULTIVOS DE CACAO BASADO EN PROCESAMIENTO DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES EN LA CIUDAD DEL SACHA”, realizado por el señor **ANTHONY JACOB CUMBA ARMIJOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. MSc. Oswaldo Martínez Guashima
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

**OSWALDO
GEOVANNY
MARTINEZ
GUASHIMA**
Firmado digitalmente por
OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ
GUASHIMA
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=OSWALDO GEOVANNY
MARTINEZ GUASHIMA,
serialNumber=080721063624,
ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION
DE INFORMACION, o=SECURITY
DATA S.A. 2, c=EC

2022-04-21

Ing. MSc. Mayra Pacheco Cunduri
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

**MAYRA
ALEJANDRA
PACHECO
CUNDURI**
Firmado
digitalmente por
MAYRA ALEJANDRA
PACHECO CUNDURI

2022-04-21

Ing. MSc. Franklin Moreno Montenegro
MIEMBRO DE TRIBUNAL

**FRANKLIN
GEOVANNI
MORENO
MONTENEGRO**
Firmado digitalmente porFRANKLIN
GEOVANNI MORENO MONTENEGRO
DN: cn=FRANKLIN GEOVANNI MORENO
MONTENEGRO, c=EC, o=SECURITY DATA
S.A. 1, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE
INFORMACION
Motivo:Soy el autor de este documento
Ubicación:

2022-04-21

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre y a mis hermanos pues gracias a su amor, cariño, apoyo y paciencia incondicional me han ayudado a realizarme personal, académica y profesionalmente, forjando en mí valores y principios para que hoy pueda cumplir con uno de mis objetivos. Gracias por el esfuerzo constante que dedicaron en mí, porque me demuestran que con amor y perseverancia infinita se puede superar cualquier adversidad que se presente en la vida.

Anthony

AGRADECIMIENTO

Gracias a la vida por darme la dicha de disfrutar de la presencia y cariño de mi familia y amigos. Gracias a mis padres Julio y Susana, a mis hermanos Andrea, Paúl y Rafael que me han acompañado a lo largo de toda mi vida, siendo partícipes en cada una de mis etapas académicas, desde niño hasta mi etapa universitaria, su apoyo incondicional en momentos y situaciones complicadas y sobre todo gracias por su infinito amor. Gracias a ti Soledad, por tu amor, cariño, lealtad y por tu entero apoyo en todo momento, por ser consejera y participe en cada una de mis decisiones, por ser esa luz y alegría en mi vida. Gracias a mis amigos, Marlon, Diego, Alex y Kevyn que con su amistad incondicional me han brindado un gran cariño, por todas las risas, llantos, momentos compartidos y una sincera amistad.

Anthony

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Antecedentes	3
1.2 Formulación del problema	4
1.3 Sistematización del problema.....	4
1.4 Delimitación del problema	4
1.4.1 Realidad del tema a nivel mundial	4
1.4.2 Realidad del tema a nivel regional	5
1.4.3 Realidad del tema a nivel nacional.....	6
1.5 Justificación teórica	6
1.6 Justificación aplicativa.....	8
1.7 Objetivos	9
1.7.1 Objetivo general.....	9
1.7.2 Objetivos específicos.....	9

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	10
-------------------------------	----

2.1	Teledetección u observación remota.....	10
2.1.1	<i>Elementos de un sistema de teledetección</i>	11
2.1.2	<i>Fundamentos de la teledetección.....</i>	12
2.1.3	<i>Radiación electromagnética.....</i>	14
2.1.3.1	<i>Firma espectral.....</i>	15
2.1.3.2	<i>Radiancia espectral.....</i>	16
2.1.3.3	<i>Reflectancia espectral</i>	16
2.1.3.4	<i>Respuesta espectral de la vegetación.....</i>	16
2.1.4	<i>Espectroscopía.....</i>	17
2.1.5	<i>Sensores remotos</i>	17
2.1.5.1	<i>Sensores activos</i>	18
2.1.5.2	<i>Sensores pasivos</i>	18
2.1.6	<i>Aplicaciones de la teledetección.....</i>	19
2.1.6.1	<i>Agricultura en la teledetección</i>	19
2.2	Dron o vehículo aéreo no tripulado	20
2.2.1	<i>Tipos de drones.....</i>	21
2.2.1.1	<i>Drones ala fija</i>	21
2.2.1.2	<i>Drones ala rotatoria</i>	21
2.2.1.3	<i>Drones militares.....</i>	22
2.2.1.4	<i>Drones comerciales.....</i>	23
2.3	Procesamiento digital de imágenes	25
2.3.1	<i>Imagen analógica.....</i>	25
2.3.2	<i>Imagen digital.....</i>	25
2.3.3	<i>Formato de imagen</i>	25
2.3.4	<i>Compresión y redundancia</i>	26
2.3.5	<i>Tamaño y resolución de imagen.....</i>	27
2.3.5.1	<i>Resolución espacial.....</i>	27
2.3.5.2	<i>Resolución espectral</i>	27
2.3.5.3	<i>Resolución temporal.....</i>	27

2.3.5.4	<i>Resolución radiométrica</i>	28
2.3.6	<i>Modelos de color</i>	28
2.3.7	<i>Filtros</i>	30
2.4	Imagen espectral	30
2.4.1	<i>Imagen multiespectral</i>	30
2.4.2	<i>Imagen hiperespectral</i>	31
2.4.3	<i>Espectrometría de una imagen</i>	32
2.5	Cámara multibanda o multiespectral	32
2.6	Visión Artificial	33
2.6.1	<i>Segmentación de imagen</i>	34
2.6.2	<i>Índices de vegetación</i>	34
2.6.2.1	<i>Índice de vegetación diferencial normalizado NDVI</i>	35
2.6.2.2	<i>Índice normalizado de borde rojo NDRE</i>	35
2.6.2.3	<i>Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI</i>	36
2.6.3	<i>Umbralización</i>	36
2.7	Software	37
2.7.1	<i>Matlab</i>	37
2.7.2	<i>Agisoft Metashape</i>	37
2.7.3	<i>Quantum Gis</i>	38

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	39
3.1	Proceso de Investigación	39
3.2	Escenario	41
3.2.1	<i>Zona de estudio</i>	41
3.3	Sistema de adquisición de imágenes multiespectrales	43
3.3.1	<i>Componentes del sistema</i>	43
3.3.1.1	<i>Plataforma aérea (dron)</i>	44
3.3.1.2	<i>Cámara Multiespectral</i>	45

3.3.2	<i>Diseño del sistema</i>	47
3.3.3	<i>Adquisición de imágenes multiespectrales</i>	51
3.4	Procesamiento de imágenes multiespectrales	54
3.4.1	<i>Desarrollo del Programa de Procesamiento de Imágenes Multiespectrales</i>	54
3.4.1.1	<i>Calibración geométrica</i>	54
3.4.1.2	<i>Corrección radiométrica</i>	56
3.4.1.3	<i>APP DESIGNER</i>	60
3.4.1.4	<i>Imagen RGB</i>	61
3.4.1.5	<i>Cálculo de los índices de vegetación</i>	62
3.4.1.6	<i>Segmentación</i>	65

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS	66
4.1	Prueba de vuelo	66
4.2	Análisis de resultados	67
4.2.1	<i>Análisis de índices de vegetación</i>	69
4.3	Validación de datos	72
4.3.1	<i>Planteamiento de hipótesis</i>	72
4.3.2	<i>Cálculo de chi-cuadrado</i>	72
4.3.3	<i>Cálculo de los grados de libertad</i>	73
4.3.4	<i>Interpretación del planteamiento de la hipótesis</i>	75
4.4	Presupuesto del trabajo	76
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	79

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Especificaciones técnicas de los drones más populares para teledetección.....	24
Tabla 2-2:	Tipos de formatos utilizados en imágenes digitales.	26
Tabla 3-2:	Características y aplicaciones de los modelos de color.	29
Tabla 4-2:	Especificaciones técnicas de las cámaras multiespectrales más utilizadas en agricultura de precisión.	33
Tabla 1-3:	Ponderación a la valoración de criterio de selección.....	44
Tabla 2-3:	Calificación de modelos para la plataforma aérea (dron).	44
Tabla 3-3:	Calificación de los modelos de cámaras multiespectrales.	46
Tabla 1-4:	Distribución de valores Chi-Cuadrado crítico.	73
Tabla 2-4:	Presupuesto del trabajo de grado	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Funcionamiento del sistema.....	8
Figura 1-2:	Técnicas de un sistema de teledetección.....	10
Figura 2-2:	Componentes de un sistema de teledetección.....	11
Figura 3-2:	Funcionamiento de un sistema de teledetección.....	12
Figura 4-2:	Movimiento de una onda electromagnética.....	13
Figura 5-2:	El espectro electromagnético.....	14
Figura 6-2:	Firmas espectrales de algunas especies vegetales en la superficie.....	17
Figura 7-2:	Sensor activo de un satélite.....	18
Figura 8-2:	Sensor pasivo de un satélite.....	18
Figura 9-2:	Dron de ala fija.....	21
Figura 10-2:	Dron de ala rotatoria.....	22
Figura 11-2:	Dron militar.....	22
Figura 12-2:	Dron comercial.....	23
Figura 13-2:	Resolución de imágenes en teledetección.....	28
Figura 14-2:	Imagen multiespectral (5 bandas) e índices cuantitativos derivados.....	31
Figura 15-2:	Imagen hiperespectral.....	31
Figura 1-3:	Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.....	40
Figura 2-3:	Ortomosaico de la primera parcela de cacao, Joya de los Sachas.....	42
Figura 3-3:	Ortomosaico de la segunda parcela de cacao, Joya de los Sachas.....	43
Figura 4-3:	Dron Dji Phantom 4.....	45
Figura 5-3:	Cámara Multiespectral Micasense RedEdge-MX.....	46
Figura 6-3:	Diagrama de los componentes del dron.....	47
Figura 7-3:	Conexión de los elementos del sensor multiespectral.....	48
Figura 8-3:	Placa impresa para la Cámara Multiespectral Micasense RedEdge-MX.....	49
Figura 9-3:	Acople impreso para la Cámara Multiespectral.....	49
Figura 10-3:	Soporte para la batería de la Cámara Multiespectral.....	50
Figura 11-3:	Sistema de adquisición de imágenes.....	50
Figura 12-3:	Menú principal de la cámara Micasense RedEdge-Mx.....	51

Figura 13-3:	Configuraciones de la cámara Micasense RedEdge-Mx.....	52
Figura 14-3:	Calibración de los valores de reflectancia.....	52
Figura 15-3:	Progreso de la misión en las parcelas de cacao con la aplicación DroneDeploy.	53
Figura 16-3:	Sobrevuelo del dron Dji Phantom 4.....	54
Figura 17-3:	Detección de puntos para cada banda espectral en “Registration Estimator”	55
Figura 18-3:	Corrección de puntos de la imagen espectral.....	56
Figura 19-3:	Imagen espectral de borde rojo y binarizada del panel de calibración.....	59
Figura 20-3:	Detección y construcción de imagen binaria del panel de calibración	59
Figura 21-3:	Panel principal de la interfaz desarrollada mediante APP DESIGNER Matlab .	60
Figura 22-3:	Bandas espectrales red, green y blue	61
Figura 23-3:	Imagen multiespectral RGB.....	62
Figura 24-3:	Bandas espectrales red, infrarrojo y borde rojo	63
Figura 25-3:	Índice de vegetación NDVI	63
Figura 26-3:	Índice de vegetación NDRE.....	64
Figura 27-3:	Índice de vegetación SAVI	64
Figura 28-3:	Escala de valoración de salud vegetal por NDVI.....	65
Figura 1-4:	Despegue del dron Dji Phantom 4	66
Figura 2-4:	Sobrevuelo en la parcela de cacao	67
Figura 3-4:	Análisis NDVI de muestra enferma de cacao	67
Figura 4-4:	Análisis NDVI de muestra sana de cacao	68
Figura 5-4:	Segmentación de la mazorca de cacao enferma por NDVI.....	68
Figura 6-4:	Segmentación de la mazorca de cacao sana por NDVI.....	69
Figura 7-4:	Análisis de índices de vegetación parcela de cacao	70
Figura 8-4:	Segmentación del índice de vegetación NDVI en parcela de cacao	71
Figura 9-4:	Resultados del cacao in situ	71
Figura 10-4:	Área de aceptación y rechazo.....	75

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2:	Velocidad de la Luz.....	13
Ecuación 2-2:	Cantidad de energía transportada por un fotón.....	13
Ecuación 3-2:	Caracterización de la firma espectral en función de sus componentes.....	15
Ecuación 4-2:	Redundancia de datos.....	26
Ecuación 5-2:	Relaciones de RGB normalizado.....	29
Ecuación 6-2:	Índice de vegetación diferencial normalizado.....	35
Ecuación 7-2:	Índice normalizado de borde rojo.....	35
Ecuación 8-2:	Índice de vegetación ajustado al suelo.....	36
Ecuación 9-2:	Condiciones para umbralización.....	36
Ecuación 1-3:	Conversión de píxeles a radiancia.....	56
Ecuación 2-3:	Normalización de píxeles.....	57
Ecuación 3-3:	Radio de la viñeta.....	57
Ecuación 4-3:	Factor de corrección de calibración.....	57
Ecuación 5-3:	Intensidad corregida.....	57
Ecuación 6-3:	Calibración de reflectancia.....	58
Ecuación 1-4:	Cálculo de chi-cuadrado.....	72
Ecuación 2-4:	Cálculo de grados de libertad.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** Código de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer
- ANEXO B:** Extracción de Metadatos en Programa Exiftool
- ANEXO C:** Metadatos de la Imagen del Panel de Calibración
- ANEXO D:** Muestra de valores mínimos y máximos NDVI en MATLAB y QGIS
- ANEXO E:** Muestra de valores mínimos y máximos NDRE en MATLAB y QGIS
- ANEXO F:** Muestra de valores mínimos y máximos SAVI en MATLAB y QGIS
- ANEXO G:** Cálculo Chi-Cuadrado
- ANEXO H:** Monilia en Mazorca de Cacao
- ANEXO I:** Monilia en hojas y brotes florales del Cacao
- ANEXO J:** Control de mazorcas de cacao
- ANEXO K:** Brote de cacao en árbol sano
- ANEXO L:** Manual de Funcionamiento

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- VANT:** Vehículo Aéreo No Tripulado.
- UAV:** Unmanned Aerial Vehicle.
- RPAS:** Remotely Piloted Aircraft System
- NDVI:** Normalized Difference Vegetation Index.
- NDRE:** Normalized Difference Red Edge.
- SAVI:** Soil Adjusted Vegetation Index.
- NIR:** Near Infrared.
- SWIR:** Short Wave Infrared.
- MWIR:** Mid Wave Infrared.
- LWIR:** Long Wave Infrared.
- RAE:** Región Amazónica Ecuatoriana.
- CSIR:** Council for Scientific and Industrial Research.
- CSIC:** Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- FAA:** Administración Federal de Aviación en Estados Unidos.
- ICCO:** International Cocoa Organization.
- INIAP:** Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador.
- COPROBICH:** Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo.
- UPA:** Unidad Productora Asociativas.
- PPP:** Píxeles por Pulgada.
- JPEG:** Joint Photographic Experts Group.
- TIFF:** Tagged Image File Format.
- RGB:** Red Green Blue.
- YUV:** Intensity Hue Value.
- HSV:** Hue Saturation Value.
- PAL:** Phase Alternation Line.
- NTSC:** National Television System Committee.
- APP:** Aplicación.
- SURF:** Speeded Up Robust Features.
- SIG:** Sistemas de Información Geográfica.
- FOV:** Field Of View.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación fue el análisis e implementación de un sistema de detección para la plaga monilia, en los cultivos de cacao de la ciudad del Sacha, basado en el procesamiento de imágenes multiespectrales. El punto de partida en la ejecución de este proyecto, fue la problemática examinada en torno al tema de estudio, se recopiló la suficiente información y documentación para el análisis de los factores y parámetros requeridos en el tratamiento de información, por lo que fue preciso desarrollarlo en dos etapas. La primera consistió en la adquisición de imágenes de las plantaciones de cacao, por medio de la Cámara Micasense RedEdge-MX, la cual se encontraba acoplada a un dron Dji modelo Phantom 4, esta plataforma área no tripulada sirvió para realizar el sobrevuelo respectivo en dichas parcelas de cacao a una altura de 25 metros, con el propósito de recopilar datos e información. La segunda etapa se orientó en el tratamiento de las imágenes multiespectrales, mediante la aplicación COCOA PLANTATION ANALYZER, se tomaron cada una de las muestras y se aplicaron procesos de corrección, calibración, filtrado y segmentación, para posteriormente calcular los índices de vegetación NDVI, NDRE y SAVI y obtener como resultado, imágenes representativas en escala de colores, de fácil comprensión, que indican el estado de salud de los cultivos anteriormente mencionados. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba estadística chi-cuadrado de Pearson, con el fin de validar los datos obtenidos con el programa QGIS, arrojando resultados homogéneos entre ellos. Se concluye que la detección de la plaga monilia puede ser detectada mediante los índices de vegetación, siendo directriz para la valoración del estado de salud de los cultivos in situ y se recomienda continuar el estudio de otras enfermedades y plagas que afectan al cacao en futuros proyectos de investigación.

Palabras Clave: <TELEDETECCIÓN>, <IMÁGENES MULTIESPECTRALES>, <PROCESAMIENTO DE IMÁGENES>, <ÍNDICES DE VEGETACIÓN>, <SEGMENTACIÓN>, <CÁMARA MULTIESPECTRAL>, <DRON>, <CACAO (*Theobroma cacao*)>, <MONILIA (*Moniliophthora roreri*)>.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0596-DBRA-UPT-2022

2022-04-05

SUMMARY

The objective of this degree work was the analysis and implementation of a system of detection for the monilia plague, in cocoa crops in Sacha, based on the multispectral image processing. Enough information was collected and, documentation for the analysis of the factors and parameters required in the treatment of information, so it was necessary to develop it in two stages. The first consisted of acquisition of images of cocoa plantations, through the Micasense Camera RedEdge-MX, which was coupled to a Dji Phantom 4 model drone, this platform unmanned area served to carry out the respective overflight on the cocoa plots at a height of 25 meters, with the purpose of collecting data and information. The second stage was directed in the treatment of multispectral images using the COCOA application PLANTATION ANALYZER, where each of the samples were taken and were applied correction, calibration, filtering processes and segmentation, in order to calculate the indices of vegetation NDVI, NDRE and SAVI to obtain as a result representative image in scale of colors, of easy understanding, that indicate the state of health of the crops previously mentioned. For the statistical analysis, the Pearson chi-square statistical test was used, in order to validate the data obtained with the QGIS program, yielding homogeneous results among them. It is concluded that the detection of the monilia plague can be detected through the vegetation indices, being a guideline for the assessment of the health status of crops in the place. It is recommended to continue the study of other diseases and pests that affect cocoa in future research projects.

Keywords: <DETECTION SYSTEM>, <MULTISPECTRAL IMAGES>, <IMAGE PROCESSING>, <VEGETATION INDEXES>, <SEGMENTATION>, <CAMERA MULTISPECTRAL>, <DRON>, <COCOA (*Theobroma cacao*)>, <MONILIA (*Moniliophthora roreri*)>.



Firmado electrónicamente por:
WILSON GONZALO
ROJAS YUMISACA

NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCIÓN

La teledetección como herramienta en el desarrollo de la agricultura de precisión es una técnica fundamental, ya que brinda la posibilidad de hacer un seguimiento continuo del estado vegetativo de los cultivos y de los factores que influyen en su desarrollo, además de estimar, predecir el comportamiento, evolución y producción final. Gracias al estado avanzado de desarrollo en el que se encuentra la teledetección, es posible obtener periódicamente la mayor cantidad de información posible en tiempo real de variables como; temperatura del aire, humedad del suelo, evapotranspiración de los cultivos o el estado sanitario de las plantas. (Villa, 2000)

La agricultura de precisión como metodología, permite la integración de datos e información, como el uso de herramientas tecnológicas que gestionen de manera óptima y eficiente todos los recursos, productos e insumos a aplicar dentro de los sembríos, incrementando la producción y reduciendo el impacto ambiental en la naturaleza. En la actualidad la agricultura de precisión se sustenta en la adquisición de imágenes provenientes de satélites, vehículos aéreos tripulados y no tripulados para obtener información precisa respecto a los cultivos. (Parody y Zapata, 2018)

En tema de cobertura vegetal, el estudio de las firmas espectrales es primordial, las diferencias entre una vegetación sana, estresada o infectada son notables y su análisis cuantitativo es posible determinar mediante diversas técnicas, siendo la más utilizada, el cálculo de índices de vegetación. La aplicación e implementación de nuevas tecnologías en el sector agrícola como alternativas para el manejo, monitoreo y control de los cultivos durante las etapas de su desarrollo, tienen como objetivo mejorar su producción, abaratar costos, prevenir plagas y enfermedades. El uso y aplicación de los VANTs (Vehículos aéreos no tripulados), estuvieron encaminados a obtener imágenes multispectrales de cultivos, mediante el acoplamiento de cámaras RGB, para el posterior procesamiento de la información recolectada e identificar características de la vegetación. (Berrío, Mosquera y Alzate, 2015)

Las cámaras RGB tienen como objetivo capturar bandas espectrales tanto visibles como invisibles, de la combinación de estas bandas se pueden calcular los diferentes índices de vegetación, evidenciando los niveles individuales de clorofila en las plantas y compararlas en el tiempo. Dentro de esta sección del espectro, el bajo contenido de clorofila usualmente es un indicador temprano de signos de estrés, por medio del análisis de estas bandas espectrales los agricultores y productores pueden identificar la enfermedad con eficacia y actuar rápidamente para detener la propagación.

El presente trabajo de grado, busca brindar herramientas tecnológicas de información para la optimización del proceso productivo y preventivo de la plaga monilia en plantaciones de cacao, a través de la teledetección con un dron e implementación de un sistema de detección en dichos cultivos, basado en el procesamiento de imágenes multiespectrales, análisis de los índices NDVI, NDRE y SAVI, desarrollado en el App Designer de Matlab, para posterior valoración del estado de salud de los cultivos in situ y comparación de resultados. Además, se pretende ser el punto de partida para futuros proyectos de investigación y vinculación ampliando su horizonte, así como en el análisis de otras enfermedades y plagas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el Ecuador, el desarrollo del sector agrícola enfrenta una gran cantidad de retos, muchos de estos provocados por cambios climáticos; altas temperaturas, excesivas lluvias, periodos prolongados de sequías, etc., y otros por la intervención del hombre; como lo son las malas prácticas en los sembríos, monitoreo en los cultivos, usos excesivos de pesticidas y fungicidas, tratamientos con y sin aplicación del manejo integrado de plagas, lo que dificulta el crecimiento de los sistemas de producción agrícola y reducen su capacidad productiva.

En el mercado internacional, la exportación mundial de cacao producido en el Ecuador representa apenas el 4%, sin embargo, se vende el 62% de cacao fino o de aroma, convirtiéndolo en un producto emblema del país (García, Quevedo y Socorro, 2019). Además, el cacao es uno de los principales generadores de empleo para los ecuatorianos, se estima que alrededor de 600.000 personas contribuyen directamente a la actividad cacaotera (Quingaísa, E. y Riveros, 2007). Como se mencionó anteriormente, existe una problemática dentro del manejo y cuidado de los sembríos; afectaciones de plagas y enfermedades.

La monilia es una de las enfermedades más importantes que ataca al cacao, causada por el hongo (*Moniliophthora roreri*), provoca pérdidas en la producción de hasta el 80% de los frutos de cacao. La presencia de este hongo en dichas plantaciones obedece a una serie de condiciones ambientales, jugando un papel fundamental en la propagación de esta enfermedad. El ciclo comienza cuando la humedad ambiental es baja, generando millones de esporas, posteriormente en épocas de lluvia, donde las condiciones de humedad y temperatura son favorables, estas conidioesporas son diseminadas por el viento, estas se depositan en la superficie de las hojas y de los frutos infectando al árbol de cacao. (Correa Alvarez, Castro Martínez y Coy, 2014)

Buscando el desarrollo tecnológico en actividades de agricultura de precisión, la teledetección es una técnica eficiente para obtener información sobre áreas verdes, monitoreo del estado fenológico de la vegetación, tierra agrícola y recursos hídricos sin tener contacto directo con éstos (Karaburun, 2010). En la actualidad, los sensores remotos, brindan la facilidad de obtener imágenes con altas resoluciones espaciales casi inmediata al ser utilizados sobre plataformas aéreas no tripuladas (UAVs o vehículos aéreos no tripulados).

Estas aeronaves no tripuladas pueden volar de manera autónoma y ser equipados con cámaras multispectrales con las que se pueden registrar, además de los canales del espectro visible, otros canales de gran utilidad en el estudio de las cubiertas vegetales, como es el infrarrojo cercano (NIR). (Mahajan y Bundel, 2016)

Con estos antecedentes, es prioritario generar estas alternativas tecnológicas que permitan mitigar los efectos negativos que ocasiona esta enfermedad dentro de dichos sembríos. En la mayor parte del territorio de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), la actividad agrícola es prominente y el cultivo de cacao es una de las actividades de mayor importancia, ya que brindan dinamismo a la economía de la zona. En la ciudad del Sacha no se ha desarrollado un sistema de detección de la plaga monilia en cultivos de cacao.

1.2 Formulación del problema

¿Es factible detectar la plaga monilia en los cultivos de cacao a través del procesamiento de imágenes espectrales?

1.3 Sistematización del problema

¿Existe material bibliográfico especializado en procesamiento de imágenes espectrales, aplicados a la agricultura de precisión del cacao?

¿Es posible la creación de algoritmos que permitan procesar imágenes basados en características espectrales que determinen el estado de salud de un cultivo?

¿Es posible implementar desde cero un sistema sustentable que permita la detección de plagas en cultivos?

¿Las imágenes procesadas identifican realmente el estado de salud de la plantación de cacao?

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Realidad del tema a nivel mundial

Mundialmente existe una creciente necesidad de aumentar la productividad en los cultivos, reducir el uso de agroquímicos o productos fitosanitarios, aminorando el impacto ambiental ocasionado e impedir la propagación de enfermedades y plagas, suscitando un interés global por desarrollar nuevos instrumentos tecnológicos y técnicas para la detección temprana de enfermedades.

El grupo operativo AgroForeSat ofrece un innovador sistema de detección temprana de plagas y enfermedades en el mercado, generando una plataforma de servicios colaborativa, capaz de recopilar información de afecciones que hayan sido monitoreadas mediante teledetección, de los satélites Sentinel 2 y Landsat TM para posterior procesamiento, análisis y obtención de resultados en los sistemas de almacenamiento en la nube. (Madera Sostenible, 2018)

En los avances investigativos referentes a técnicas de teledetección, el Instituto de Agricultura Sostenible perteneciente al CSIC en España, ha sido líder en el desarrollo de nuevos métodos aplicados a la detección temprana de enfermedades, mediante imágenes hiperespectrales y térmicas de alta resolución, consiguiendo resultados relevantes en la identificación de las infecciones causadas por Verticilosis y *Xylella fastidiosa* en olivar, el Mildiu de la adormidera y la Mancha ocre del almendro en etapas tempranas. (Calderón Madrid et al., 2018)

Siguiendo el mismo campo de investigación, se tiene la tesis doctoral denominada “Técnicas de visión artificial para la segmentación y detección de líneas de cultivo en imágenes agrícolas”, cuya base se sustenta en el proyecto RHEA, perteneciente al VII Programa Marco de la Unión Europea, cuyo principal objetivo es optimizar los recursos en agricultura mediante una flota de robots usando visión artificial como sistema de percepción, para la detección de hierba mala en las líneas de cultivo y rodales de los maizales, en condiciones ambientales de luminosidad poco favorables, adversas y continuamente variante. (Montalvo Martínez, 2015)

1.4.2 Realidad del tema a nivel regional

Dentro del continente americano, diferentes estudios son enfocados en la obtención de diversos métodos para la detección de plagas y enfermedades en plantaciones. En el Instituto Tecnológico Superior de Misantla en México, se desarrolló una investigación respecto a la detección de cultivos, plagas y enfermedades en la producción de café, en base al análisis de imágenes multiespectrales. Se determinaron diferentes zonas de estudio en cultivos de café en las ciudades de Misantla y Coatepec, la obtención de imágenes multiespectrales del satélite Landsat 8 puso en evidencia la presencia de plagas y enfermedades en la producción de café de estas plantaciones. En el marco de desarrollo se involucran; el preprocesamiento de imágenes, interpretación digital, implementación de componentes principales, muestreo en campo, validación y evaluación de resultados. (Sánchez Méndez y Arguijo Hernández, 2018)

La Corporación universitaria Comfacauca – Unicomfacauca de Popayán en Colombia, con su artículo de investigación científica acerca del procesamiento de imágenes multiespectrales mediante el uso de drones, realizó la evaluación del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) en plantaciones de café variedad Castillo, tiene como finalidad incrementar la rentabilidad del producto gracias a los procesos diferenciados, aplicados en cada uno de los cultivos y los valores agregados en la cosecha. El estudio corresponde al uso de drones para capturar imágenes multiespectrales del terreno y así determinar de forma prematura el estado nutricional de las plantas. El algoritmo del sistema de información, permitió el correcto procesamiento de imágenes a través del cálculo del índice de vegetación diferencial normalizada, consiguiendo resultados consolidados entre los métodos de valoración. (Bonnaire Rivera, Montoya Bonilla y Obando Vidal, 2021)

1.4.3 Realidad del tema a nivel nacional

En nuestro país, el desarrollo científico, investigativo y técnico en tema de agricultura de precisión mediante el procesamiento de imágenes o teledetección, es muy limitado. Entre los trabajos de investigación que destacan, se encuentran; el diseño e implementación de un sistema de visión artificial, por medio de una aeronave pilotada remotamente con el propósito de analizar datos NDVI en cultivos de brócoli. (Bautista et al., 2019)

La investigación de técnicas de visión artificial y su uso para valorar el estado de los cultivos de quinua, en base a la teledetección y procesamiento de imágenes espectrales, trabajo en conjunto con la Corporación de Productores y Comercializadores Orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH), provincia de Chimborazo. (Chávez Revelo, 2021)

En los estudios realizados anteriormente, no existe una línea clara de investigación en el desarrollo de sistemas de detección de plagas para cultivos de cacao.

1.5 Justificación teórica

El Ecuador a nivel mundial es conocido por la exportación de cacao que realiza internacionalmente, su cultivo ejerce un papel importante en la economía, siendo una fuente esencial de divisas para el país. La actividad cacaotera en el país involucra una producción del grano en 23 de las 24 provincias, teniendo cultivos “solos” o “asociados” a otras especies. Anualmente la producción de cacao tiene una tendencia al alza, registrando incrementos significativos de 200 mil toneladas en 2010. Las unidades productivas asociativas (UPAs) son elementos destacables dentro de la producción de cacao a nivel nacional, las unidades productivas

pequeñas tienen un dominio de 20 hectáreas aproximadamente, mientras que las unidades medianas poseen hasta 50 hectáreas, el 88% de (UPAs) y el 73,4% de áreas cultivadas se ubican en estas categorías. En la región amazónica, las provincias de Orellana y Sucumbíos registran incrementos de 20.000 hectáreas de superficie sembrada de cacao durante los últimos años, constituyéndose esta zona, en una de las principales productores y proveedores de cacao Nacional Fino o de Aroma para su exportación a otros países. (CEPAL, 2015)

Dentro de las unidades productoras de cacao se muestra un bajo rendimiento debido principalmente a un inadecuado manejo del cultivo, partiendo desde la selección del material para la siembra, cuidados del sembrío, técnicas y prácticas de cosecha, teniendo un impacto negativo en el rendimiento de dichos cultivos, particularmente con la incidencia de enfermedades. En las huertas de cacao, la presencia de dos hongos patógenos *Moniliophthora perniciosa* (escoba de bruja) y *Moniliophthora roreri* (moniliasis) son los encargados de la destrucción de gran parte de la producción, mientras que el uso excesivo de fungicidas y pesticidas generan gran resistencia y dependencia de agrotóxicos, que comprometen la salud década uno de los cultivos, subsistencia de los productores y perjudican el ambiente. (Pérez, 2018)

La alta incidencia de la moniliasis en el cacao provoca pérdidas del 50% en las cosechas, siendo causante del empobrecimiento de muchos agricultores y productores cacaoteros a lo largo de Sudamérica (Cerezo Valenzuela, 2010). Considerando todos estos aspectos, se tiene como finalidad obtener procedimientos adecuados para la detección y manejo de esta plaga dentro de los cultivos de cacao, es necesario realizar los respectivos estudios sobre dichos cultivos, con el apoyo de la técnica de teledetección de imágenes multiespectrales y a través de un vehículo aéreo no tripulado (RPAS/UAV), herramienta versátil para la adquisición de imágenes, con una mejor caracterización de lo que ocurre en el cultivo, permite visualizar el comportamiento de la vegetación en bandas multiespectrales, identificando las áreas afectadas de una manera precisa.

1.6 Justificación aplicativa

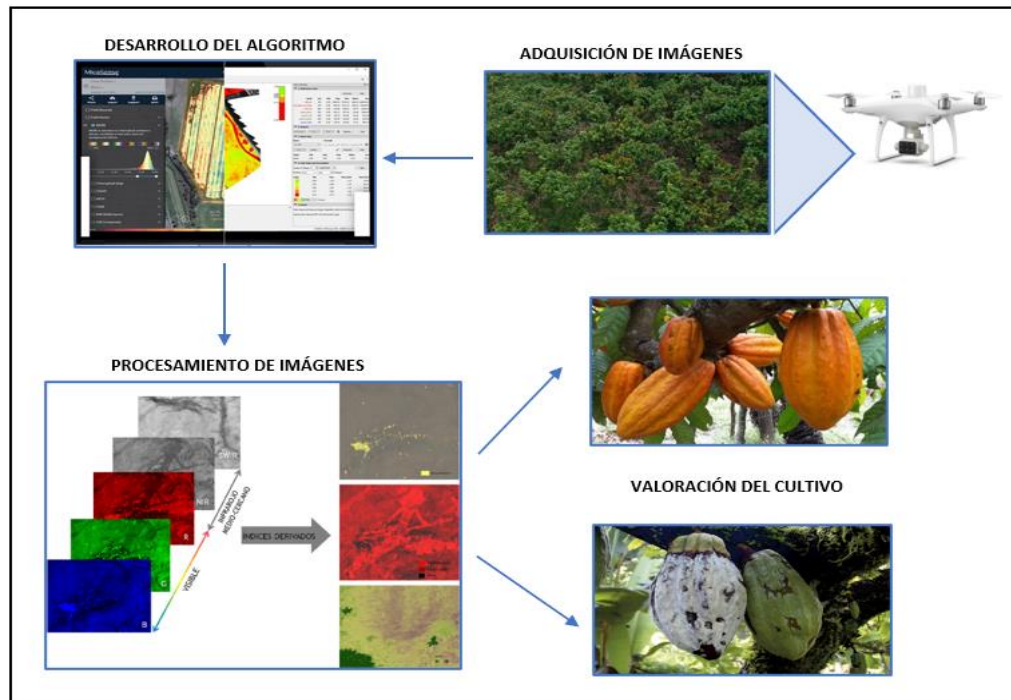


Figura 1-1. Funcionamiento del sistema

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

Para la ejecución de este proyecto, es necesario partir del estudio de los parámetros que intervienen dentro del procesamiento de imágenes multiespectrales, para el cálculo de los índices de vegetación dentro de la zona de estudio. La adquisición de imágenes multiespectrales es esencial, para lo cual se diseñará un sistema de monitoreo con la cámara Micasense RedEdge-MX, cuyas aplicaciones se orientan principalmente a la agricultura de precisión, estudios ambientales y forestales, siendo acoplada al Dron modelo Phantom 4, mismo que se utilizará para realizar el sobrevuelo dentro de las zonas de cultivo de cacao de la ciudad del Sacha, propiedad del INIAP, en el cual se captura imágenes hasta en cinco bandas espectrales discretas rojo, verde, azul, borde rojo e infrarrojo cercano a diferentes alturas.

Una vez adquiridas las imágenes y con ayuda de software, se realizarán las diferentes configuraciones y calibraciones geométricas de los archivos obtenidos, disponiendo de estos para su posterior procesamiento y análisis mediante algoritmos que facilitarán el cálculo de los índices de vegetación, con el fin de conocer el estado de salud de los cultivos de cacao. Por último, se busca evaluar los resultados obtenidos con la teledetección en campo, con el fin de detectar la plaga monilia que afecta a estas plantaciones y ayudar a los agricultores en sus planificaciones de producción y cultivo.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

- Analizar e implementar un sistema de detección de la plaga monilia en cultivos de cacao basado en procesamiento de imágenes multiespectrales en la ciudad del Sacha.

1.7.2 Objetivos específicos

- Analizar el estado del arte de los parámetros y algoritmos usados en teledetección, aplicados en cultivos de precisión en cacao.
- Desarrollar un algoritmo para el procesamiento de imágenes basado en firmas espectrales multibanda, enfocado a la detección de la plaga monilia en cultivos de cacao.
- Implementar un sistema para la detección de la plaga monilia en plantaciones de cacao.
- Valorar las imágenes procesadas obtenidas de los escenarios, referente al estado de salud de los cultivos in situ para comparación de resultados.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Teledetección u observación remota

La teledetección u observación remota, es un sistema que permite capturar y procesar la información de un objeto sin entrar en contacto con él, debido a que emplea el uso de sensores ubicados en plataformas espaciales, aviones, dirigibles, vehículos aéreos no tripulados, entre otros. Los sensores remotos obtienen imágenes de la superficie de la tierra, a partir del reflejo de los objetos sometidos a diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, teniendo en cuenta que el porcentaje de reflectancia, varía en función de las propiedades físicas y químicas del objeto. (Parody y Zapata, 2018)

En otras palabras, el proceso de teledetección mide la energía que emana la superficie de la Tierra, se puede clasificar en dos tipos, dependiendo del origen de dicha energía: la teledetección pasiva corresponde cuando la fuente de energía es el sol u objetos terrestres emiten radiación y la teledetección activa indica que la energía es emitida desde la plataforma del sensor como por ejemplo los sistemas de radar. (Bravo, 2017)

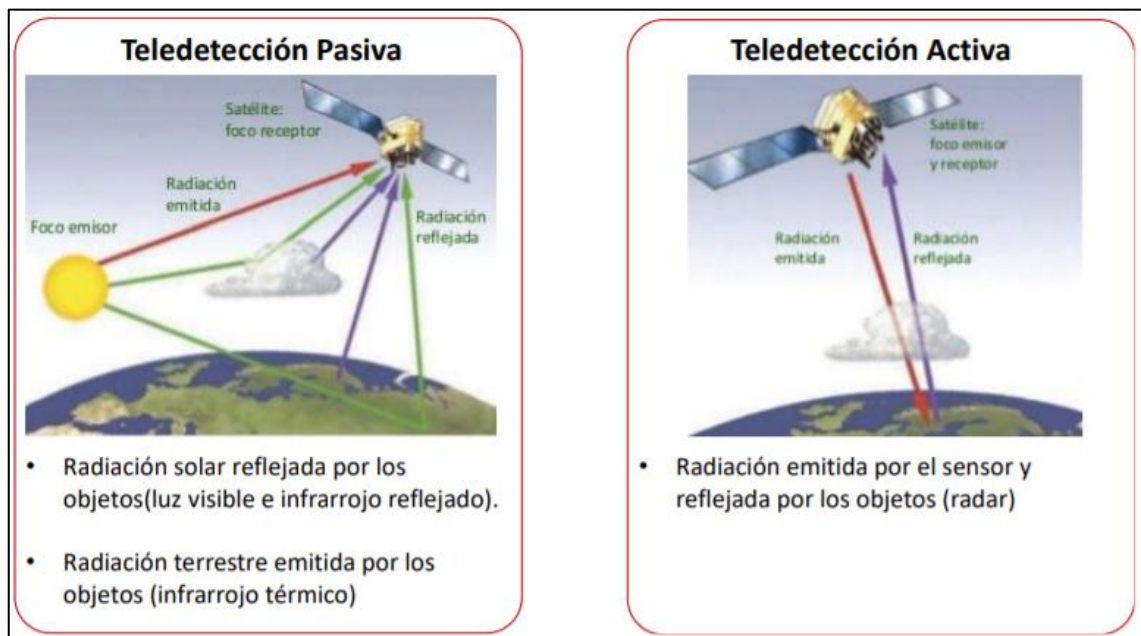


Figura 1-2. Técnicas de un sistema de teledetección

Fuente: López, 2020

2.1.1 Elementos de un sistema de teledetección

Dentro de los elementos principales que componen un sistema de teledetección, como se muestra en la Figura 2-2 se pueden describir los siguientes: (Chuvieco Salnero, 1995)

- **Fuente de energía:** se origina de la radiación electromagnética que posteriormente será captada por el sensor. La fuente puede ser de tipo activa emitiendo radiación electromagnética o pasiva como la luz del sol, siendo su reflejo captado por el sensor.
- **Cubierta terrestre:** son los rasgos de la naturaleza o artificiales creados por el hombre (vegetación, rocas, ríos, ciudades, edificaciones, estructuras, etc.) mismos que reflejan la energía hacia el sensor.
- **Sistema sensor:** conformado por dos partes, el dispositivo del sensor (cámaras, radar, sensores óptico-electrónicos, etc.) y la plataforma de observación (satélite, avión, dron, etc.). Su finalidad es captar la energía proveniente de la cubierta terrestre, almacenarla o enviarla a un sistema de recepción.
- **Sistema de recepción:** es el encargado de recibir la información del sistema sensor, la guarda en un formato apropiado y la distribuye a los usuarios.
- **Interprete:** es la persona que por medio de procedimientos y técnicas visuales o procesamiento de imágenes digitales convierte la información en temas relevantes (forestal, agricultura, medio ambiente, etc.) para los estudios pertinentes.
- **Usuario final:** es la persona beneficiada de todo el trabajo realizado y culminado, se encarga de analizar el documento y tomar las decisiones acordes a su interés.

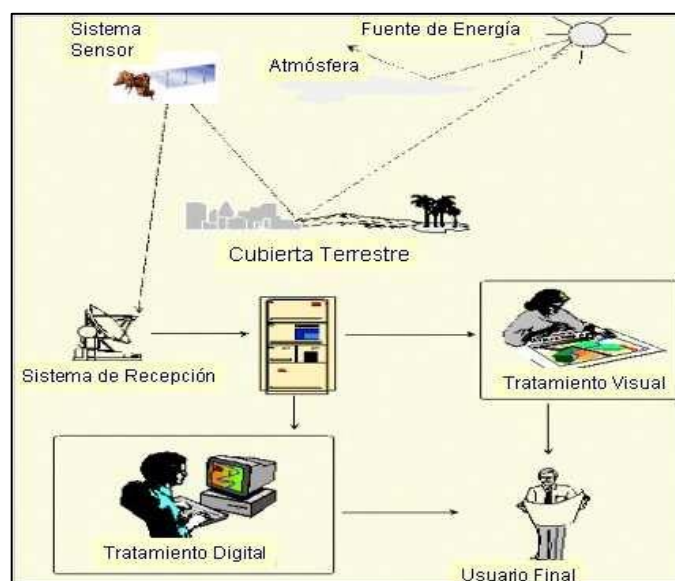


Figura 2-2. Componentes de un sistema de teledetección

Fuente: Chuvieco, 1995

2.1.2 Fundamentos de la teledetección

Los tres elementos indispensables dentro de un sistema de detección son: sensor, objeto observado y un flujo energético, este último es el que pone en contacto superficie y sensor, por lo que gran número de los principios de teledetección están directamente relacionados con las propiedades de esta radiación, ya que es la fuente de información que utiliza el sensor. Entre las múltiples formas que esta radiación puede adoptar, se utilizan principalmente dos: reflexión y emisión.

Cualquier objeto cuya temperatura este por encima del 0 absoluto (-273°C) emite energía y la intensidad de esta emisión está en función de su temperatura, la reflexión se deriva directamente de la luz solar, como fuente principal de energía en nuestro planeta, constituye la forma más importante para realizar teledetección. (Castaño, Reyes y Vela, 1996)

El sol u otra fuente de energía ilumina la superficie terrestre la cual refleja esa energía dependiendo de la cubierta presente sobre la misma, el flujo energético es detectado por el sensor y se transmite a las estaciones receptoras o almacena los datos en una memoria, ya que la atmósfera se encuentra entre la superficie y el sensor, esta dispersa y absorbe parte de la señal, de igual manera la observación remota puede usar la energía emitida por las propias cubiertas de la superficie terrestre. En cualquiera de estos casos el flujo energético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética. (Chuvienco Salnero, 1995)

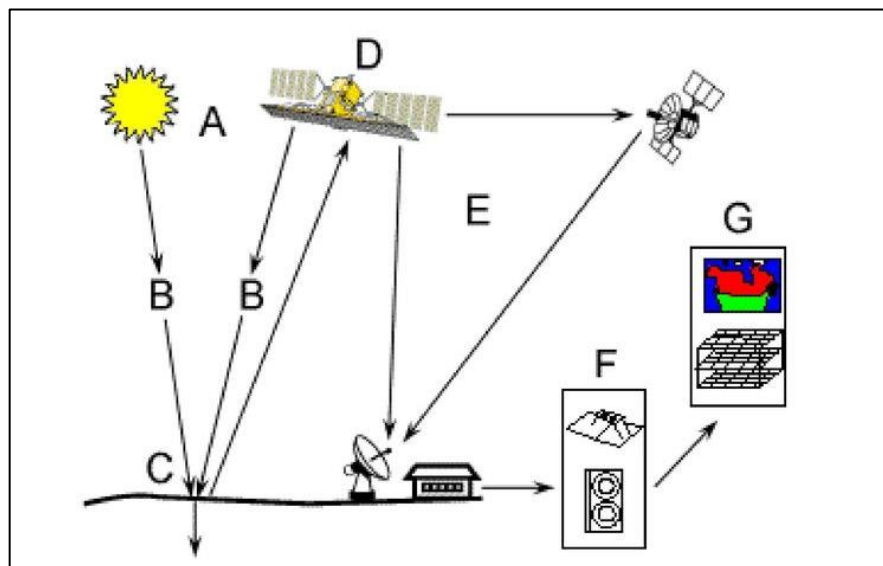


Figura 3-2. Funcionamiento de un sistema de teledetección

Fuente: Hernández Peralta, 2017

La Figura 4-2 describe el movimiento ondulatorio que realiza una onda electromagnética, al trasladarse de un lugar a otro, propagándose en el espacio a la velocidad de la luz a través de su campo eléctrico y magnético, encontrándose entrelazados y formando una perpendicular entre sí.

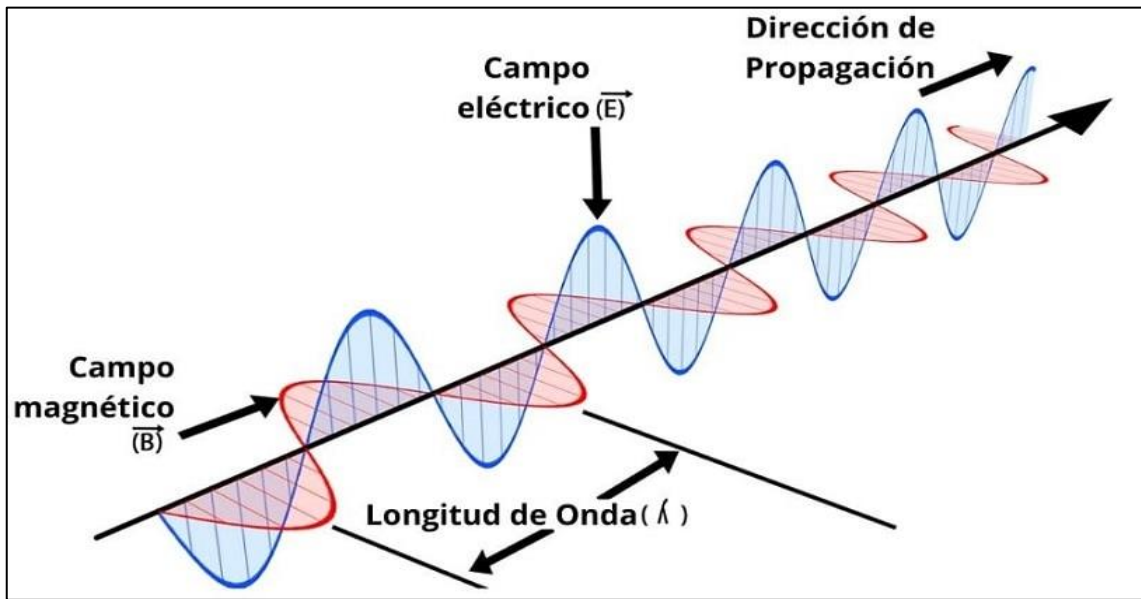


Figura 4-2. Movimiento de una onda electromagnética

Fuente: Zapata, 2020

La Ecuación 1-2 define el principio físico de una onda electromagnética, intervienen dos parámetros fundamentales, donde c es la velocidad de la luz ($3 \times 10^8 m/s$), la longitud de onda se expresa en metros (m) y la frecuencia en Hertz (Hz). (Chuvieco Salnero, 1995)

$$c = \lambda f$$

Ecuación 1-2: Velocidad de la Luz

Donde,

Longitud de onda (λ): la distancia entre dos crestas consecutivas de una misma oscilación.

Frecuencia (f): el número de ciclos que pasan por un punto fijo por unidad de tiempo.

La cantidad de energía contenida en una onda, se asocia al cálculo de energía de un fotón, y se define con la Ecuación 2-2, donde Q es la energía radiante de un fotón (en julios J). Se observa que: a mayor longitud de onda, la cantidad de energía será menor y viceversa, esto implica cierta dificultad para detectar la radiación en longitudes de ondas largas que en las longitudes de onda cortas. (Chuvieco Salnero, 1995)

$$Q = hf \quad Q = h\left(\frac{c}{\lambda}\right)$$

Ecuación 2-2: Cantidad de energía transportada por un fotón

Donde,

Frecuencia (f): el número de ciclos que pasan por un punto fijo por unidad de tiempo.

Constante de Planck (h) = $(6.6 \times 10^{-34} \text{ J/s})$: relaciona la energía de una partícula a su longitud de onda.

2.1.3 Radiación electromagnética

La radiación electromagnética se conforma básicamente por la combinación de campos eléctricos y magnéticos, estos campos a través del espacio se propagan libremente en forma de ondas portadoras de energía. Las vibraciones que poseen las ondas electromagnéticas forman una perpendicularidad a la dirección de propagación de la onda. (García Benau, 2012)

El ser humano está dotado de un sensor natural, el cual le permite percibir la información del exterior. El ojo humano es el instrumento de percepción, cuya capacidad se reduce a un intervalo de longitudes de onda comprendidas de 0,4 a 0,78 μm , conocido como espectro visible, la secuencia de colores del rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo y violeta, son la representación de una insignificante parte del espectro electromagnético como se observa en la Figura 5-2. Al contrario, los sensores que permanecen a bordo de las plataformas aéreas de observación tienen la capacidad de registrar información del comportamiento de los objetos en la superficie terrestre, en un amplio rango de bandas del espectro electromagnético. (Vega, Martínez y Martín, 2010)

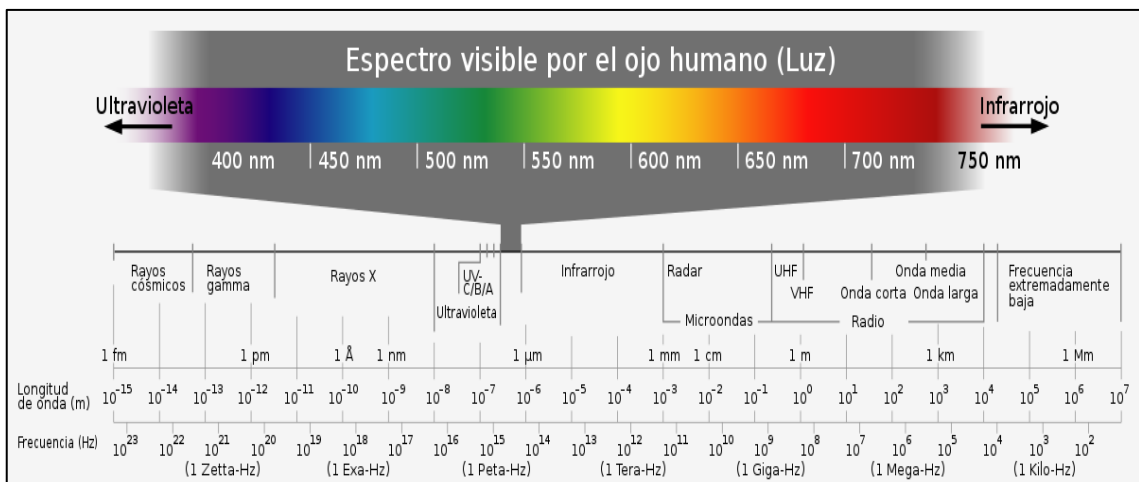


Figura 5-2. El espectro electromagnético

Fuente: Jailbird, 2021

- Espectro visible (0,4 a 0,7 micrómetros μm): es el rango de frecuencias de radiación electromagnética que percibe el ojo humano, son tres bandas elementales, que son azul (0,4 a 0,5 μm), verde (0,5 a 0,6 μm), y rojo (0,6 a 0,7 μm).
- Infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 micrómetros μm): conocido como NIR (Near Infrared), esta banda hace referencia a la energía solar que reflejan los cuerpos, de suma importancia por su capacidad de identificar masas vegetales y concentraciones de humedad.
- Infrarrojo de onda corta (1,3 a 3 micrómetros μm): conocido como SWIR (Short Wave Infrared), identifica la saturación de humedad que se encuentra en el suelo o la cantidad de agua que posee la vegetación.
- Infrarrojo medio (3 a 8 micrómetros μm): conocido como MWIR (Mid Wave Infrared), en esta banda espectral se entremezclan la reflexión de la luz del sol y la emisión de los cuerpos en la superficie, utilizado en mediciones de concentración de vapor de agua, ozono, aerosoles en la atmósfera.
- Infrarrojo lejano (8 a 14 micrómetros μm): conocido LWIR (Long Wave Infrared), su uso comprende la detección de emisiones térmicas de cuerpos que resaltan ante cambios de temperatura en el ambiente, incluye la porción emisiva del espectro terrestre.
- Microondas (a partir de 1mm a 1cm): De gran interés en la teledetección, abarca las perturbaciones atmosféricas menores y por ser un tipo de energía transparente a las nubes. (Reinoso Chilibingua, 2020)

2.1.3.1 Firma espectral

En esencia cada uno de los objetos presentes en el entorno natural interactúan con fuentes de energía propias o externas, dichos objetos tienen la capacidad de emitir o reflejar radiación electromagnética, razón por la cual cada objeto posee una respuesta espectral propia, la cual se denomina como firma espectral. Las firmas espectrales en términos de energías reflejada y emitida, denotan un perfil característico de radiancia emitida por diferentes elementos situados en la superficie terrestre. (Castaño, Reyes y Vela, 1996)

$$\text{Firma espectral} = \% \text{ radiación reflejada} + \% \text{ de absorbida} + \% \text{ de transmitida}$$

Ecuación 3-2: Caracterización de la firma espectral en función de sus componentes

Para identificar una firma espectral en específico, cada superficie interactúa con la radiación de manera distinta, absorbiendo ciertas longitudes de onda y reflejando otras. La teledetección tiene como propósito identificar dichos fenómenos y aquellos materiales que tienen lugar en la superficie de la Tierra a través de sus firmas espectrales. (Arenas, 2021)

2.1.3.2 Radiancia espectral

La radiancia espectral L o conocida como luminancia, se define como (φ , energía por unidad de tiempo, vatios, W), siendo la densidad de flujo de energía que se propaga en una dirección particular siguiendo un ángulo sólido particular. Su importancia deriva en que es la magnitud que detecta el sensor espectral. (SIGMUR, 2003)

2.1.3.3 Reflectancia espectral

La reflectancia espectral, se define como la cantidad de energía medida que se reflejan en los individuos, plantas y objetos del entorno terrestre, dependiendo de su naturaleza, interacciones con la radiación del sol, factores climáticos, agua y nutrientes que se encuentran en el medio ambiente. (Ángel López, 2012)

2.1.3.4 Respuesta espectral de la vegetación

Existen una infinidad de objetos en la superficie de la Tierra, asociados cada uno a una respuesta espectral única, para el particular análisis, es de interés profundizar acerca del estudio de la respuesta espectral de la vegetación. Las plantas sanas de color verde tienen una firma espectral muy característica, la clorofila presente absorbe la luz visible, en especial la luz roja, para usarla en el proceso de la fotosíntesis, mientras que la luz cercana al infrarrojo es reflejada eficazmente debido a que a la planta no le sirve. En las bandas de infrarrojo cercano y visible rojo la vegetación presenta una alta y baja reflexión respectivamente, así podemos identificar las áreas cubiertas de vegetación de las áreas áridas de tierra desnuda. (eesa, 2014)

La Figura 6-2 explica las diferentes respuestas espectrales de cierto tipo de vegetación en función de su reflectancia, se puede apreciar en el rango del espectro visible (de 0,4 a 0,7 μm) que existen niveles bajos de reflectancia en los diferentes tipos de vegetación, en el rango del espectro del infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 μm) resalta un pico del 75% de reflectancia, debido a la presencia de la clorofila en el follaje de las plantas, asociándola con la vegetación saludable, mientras que para la hierba amarillenta y seca se observa un valor del 40% de reflectancia. Las plantas que gozan de buena salud absorben poca energía de este rango de longitudes de onda, mientras que en el rango del espectro del infrarrojo medio (1,3 a 8 μm) los valores de reflectancia decrecen considerablemente ya que el agua presente en las plantas absorbe la energía de estas longitudes de onda.

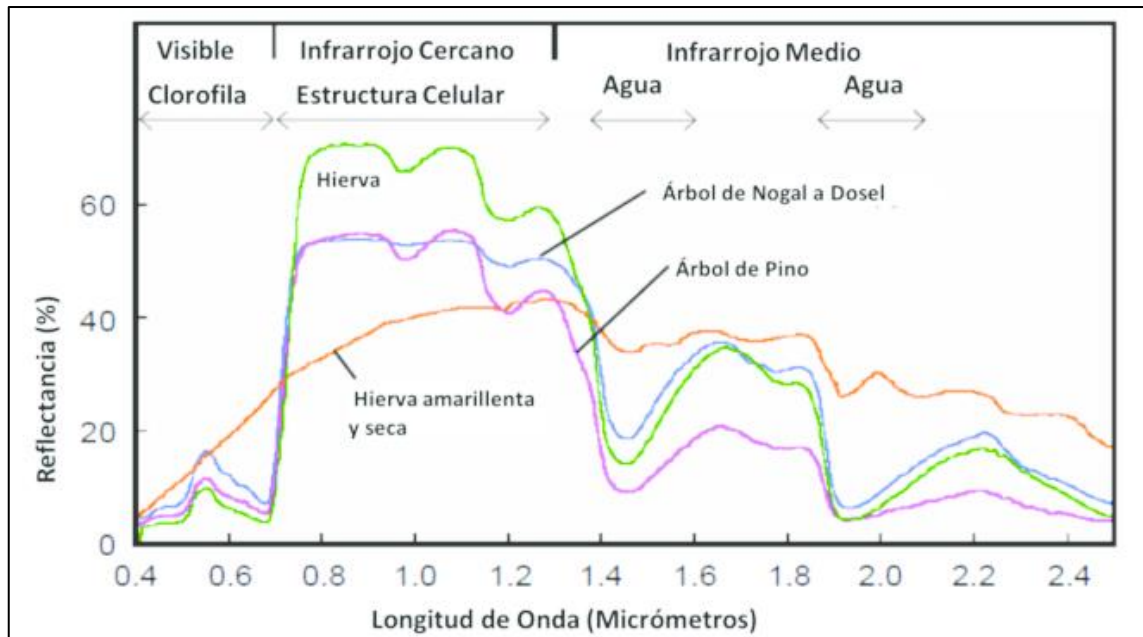


Figura 6-2. Firmas espectrales de algunas especies vegetales en la superficie

Fuente: Mendoza, 2014

2.1.4 Espectroscopía

Es la ciencia encargada de estudiar las interacciones que ocurren entre la radiación electromagnética y la materia, brindando información cualitativa y cuantitativa de la materia, además de sus propiedades física-químicas. La ley de Beer-Lambert explica a este fenómeno como la relación entre la luz absorbida y la concentración de una sustancia a una determinada longitud de onda. Newton describió el concepto de dispersión de la luz y el sistema optomecánico de un espectrómetro, mediante la difracción de un haz de luz del sol, que pasó por un prisma de cristal resultando un espectro continuo de colores. (Viera-Maza, 2018)

2.1.5 Sensores remotos

Los sensores que forman parte de los sistemas de teledetección son aquellos elementos que se encargan de la adquisición de información en la superficie terrestre, poseen una serie de cualidades que determinan las características de las imágenes que van a captar. Todo este conjunto de datos se almacena digitalmente en repositorios que resguardan la información, ya que estos equipos poseen una gran demanda en el área de teledetección, en los últimos años la evolución en su desarrollo ha sido notable, provocando la creación de nuevos sensores que cuentan con mejores características; alta resolución, gran fiabilidad y abaratados costos. Los sensores más conocidos son: sensores multispectrales, hiperspectrales, cámaras térmicas, etc. (Díaz García-Cervigón, 2015)

2.1.5.1 Sensores activos

Los sensores activos se encargan de emitir energía electromagnética sobre un determinado objeto y reciben la señal reflejada por el mismo, los sensores que destacan en esta categoría son: el radar, el lidar y el sonar, dichos sensores trabajan en el orden de frecuencias microondas, facilitando el trabajo en cualquier condición atmosférica. (Sánchez Lindoro, 2011)

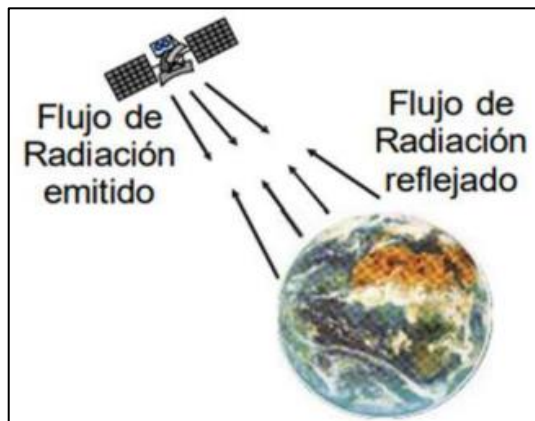


Figura 7-2. Sensor activo de un satélite

Fuente: Díaz, 2015

2.1.5.2 Sensores pasivos

El uso de sensores pasivos se limita a detectar radiación electromagnética que es emitida y reflejada por los objetos percibidos de manera natural, tienen gran valor en aplicaciones de percepción remota como la evaluación de recursos naturales. (Bravo, 2017). Dentro de esta categoría se encuentran los siguientes sensores: sensor visible RGB, multiespectral, hiperespectral y térmico. (Díaz García-Cervigón, 2015)

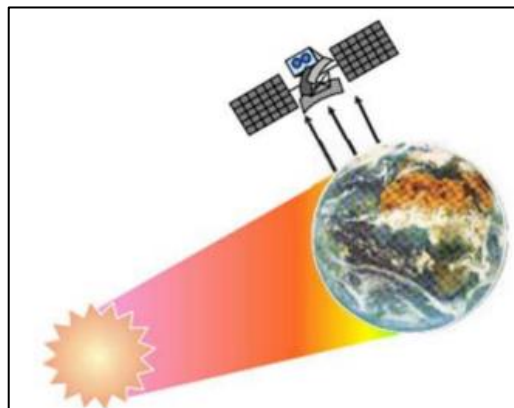


Figura 8-2. Sensor pasivo de un satélite

Fuente: Díaz, 2015

2.1.6 Aplicaciones de la teledetección

En el área de la teledetección, sus aplicaciones y usos son variados y múltiples, se trata de un campo de investigación relativamente nuevo, que aún se encuentra en proceso de estudio y desarrollo de nuevas metodologías. El uso de múltiples plataformas aéreas en la adquisición de imágenes, como por ejemplo satélites o drones, facilitan la tarea en la toma de datos, es necesario tener en cuenta que dichas imágenes necesitan tratamiento previo antes de ser capturadas, la aplicación de filtros, mejoras visuales, calibraciones y correcciones geométricas, etc., con el fin de optimizar la calidad visual de las mismas y el análisis de la información sea el adecuado y correcto.

En la actualidad existen muchas ciencias aplicadas que requieren el procesamiento de imágenes digitales, entre las que podemos resaltar: (López, 2020)

- Geografía
- Biología
- Geología
- Agronomía
- Oceanografía
- Arqueología

2.1.6.1 Agricultura en la teledetección

En el planeta Tierra, en torno al 37% de la superficie terrestre se ocupa para fines agrícolas, suponiendo una mayor demanda en este sector de la industria, al mismo tiempo, el impacto ambiental provocado por la explotación del suelo supone una degradación del medio, factores como la erosión, el agotamiento de minerales o la sequía son preocupantes para la población. Los satélites en dicho campo, se aplican como técnicas de prevención y cuidado del ambiente, en combinación con otras herramientas utilizadas en la agricultura de precisión. (López, 2020)

- Mapeo de los bosques del mundo: los científicos con apoyo de imágenes satelitales, han sido capaces de crear mapas que cuantifican la cantidad de árboles y bosques en el mundo, una pieza clave en el estudio y comprensión del cambio climático mundial y del ciclo del carbono en la Tierra.

- Rendimientos de cultivos: los satélites Sentinel juegan un papel importante en la observación de cultivos, capturan de manera eficaz y rápida los cambios en la producción agrícola a una escala nacional e internacional, siendo un apoyo importante en el monitoreo ambiental y el control de subsidios agrícolas. Su aplicación para el estudio agrícola semanal en sembríos, tiene una resolución de 10 metros y con una política de información abierta y gratuita a cualquier usuario.
- Política agrícola: el análisis de rendimientos en plantaciones, se utiliza de forma operacional para abarcar zonas muchas más extensas como el continente europeo, las decisiones en política agrícola dependen de estos factores. En las áreas más críticas de todo el mundo se está implementando estas técnicas para apoyar programas de ayuda.
- Usos agrícolas: el seguimiento de enfermedades, catástrofes y plagas sobre cosechas, resulta importante para un seguimiento continuo de los países más pobres del mundo.

2.2 Dron o vehículo aéreo no tripulado

Un dron o conocido también por sus acrónimos UAV (Unmanned Aerial Vehicle), VANT (Vehículo Aéreo No Tripulado) y RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems), es un dispositivo capaz de volar por sí mismo de forma autónoma, dicha aeronave es controlada desde tierra por un piloto o posee una preconfiguración de vuelo determinada, por lo que es necesario enlaces de comunicación confiables entre ambas partes. (Everaerts, 2014)

La aplicación de los UAVs en distintos sectores estratégicos ha sido importante, la sencillez que brinda al momento de capturar imágenes de alta resolución, su bajo costo en la adquisición de fotografías aéreas y la disponibilidad en zonas geográficas de difícil acceso han hecho que su uso sea muy frecuente en muchas ramas de estudio e investigación. Cabe recalcar que las imágenes pueden ser tomadas en tiempo real y en cualquier momento, con la frecuencia deseada, para el análisis de información de interés. (Diaz Celis, 2013)

Dentro de un sistema de teledetección por drones se tiene dos segmentos definidos con claridad: (Giusiano, 2017)

- Segmento de vuelo: se compone por el vehículo aéreo (baterías, sistema anticolidión, sensores, propelas, motores, etc.) y los medios de recuperación como el tren de aterrizaje, cables, paracaídas, etc.
- Segmento de tierra: se compone de un puesto de control, encargado de recibir información del dron y enviar órdenes a la aeronave

2.2.1 Tipos de drones

Las aeronaves no tripuladas, por las características de su estructura, concretamente el tipo de ala o hélice que posean, se clasifican en dos tipos:

2.2.1.1 Drones ala fija

Las cualidades que destacan a este tipo de dron son la velocidad y la capacidad de cubrir grandes áreas, siendo más efectivos que los de ala rotatoria, idóneos para aplicaciones en cartografía y teledetección, presentan dificultad al momento de maniobrar por lo que requieren de un espacio considerable para el despegue y aterrizaje. (Díaz García-Cervigón, 2015)



Figura 9-2. Dron de ala fija

Fuente: Arteaga, 2016

2.2.1.2 Drones ala rotatoria

Llamados también como multirrotor o multicóptero, su funcionamiento se basa en el giro de las hélices en el aire, permitiendo que el dron realice un despegue y aterrizaje vertical, propicios para realizar maniobras, son muy precisos en los sobrevuelos pudiendo ser capaces de llevar cargas de tamaño considerable gracias a los multirrotos. (Díaz García-Cervigón, 2015)



Figura 10-2. Dron de ala rotatoria

Fuente: Techlosofy, 2019

Los drones o plataformas aéreas no tripuladas, también se pueden clasificar por la aplicación o el uso que se les da por parte del usuario, destacando dos tipos:

2.2.1.3 Drones militares

Con respecto a los drones de uso militar, los hay de dos tipos: los drones como arma de ataque explícita y los drones con usos militares complementarios (vigilancia, captación de imágenes, control de superficie, etc.). La problemática de estos usos militares complementarios es similar a la de los drones no militares, con el añadido de que, en este caso, la finalidad última tiene que ver con acciones bélicas. Ello convierte este tipo de aparatos en lo que se conoce como tecnología de doble uso, es decir, que pueden tener usos militares y civiles. Cuando hablamos del arma de moda, sin embargo, nos referimos a los drones como arma de guerra en sentido estricto, lo cual los asimila a aviones de bombardeo o al uso de misiles y artillería diversa. Y son éstos los que presentan. (Alcalde, Aguiar y Icip, 2013)



Figura 11-2. Dron militar

Fuente: Ridgeway, Paul, 2028

2.1.2.4 Drones comerciales

En las empresas, la estrategia del uso de drones comerciales como negocio, se ha vuelto cada vez más frecuente, aumentando exponencial el uso común entre los clientes. Se estima que entre los años 2021-2025, la ganancia en el mercado por la venta de drones crecerá 28.53 mil millones de dólares, entre los factores más relevantes para este crecimiento es la Administración Federal de Aviación en Estados Unidos (FAA, en inglés), quienes han impulsado la creación normas regulatorias para el control del uso de los vehículos aéreos no tripulados. (TNE, 2021)

Entre los sectores más importantes en los que se utiliza este tipo de drones comerciales son: agricultura, los cuales ofrecen un control de cultivos de manera eficaz y rentable, mejorando su administración y producción, en el sector energético su uso brinda inspecciones de alta calidad y en tiempo real a cada una de las instalaciones que conforman la empresa, permitiendo una inspección segura y a distancia de todos estos equipos y en el sector de seguridad pública se utilizan en operaciones de rescate, los equipos evalúan las situaciones de emergencia con rapidez y seguridad, siendo muy valiosos para los equipos de búsqueda y rescate. (THALES, 2018)



Figura 12-2. Dron comercial

Fuente: THALES, 2018

Las especificaciones técnicas más importantes de los drones que gozan gran popularidad para las aplicaciones antes mencionadas y que se encuentran disponibles en el mercado se muestran en la Tabla 1-2, dentro de los parámetros y características más sobresalientes, se debe tener en consideración algunos aspectos relevantes a la hora de su elección; la misión objetivo, superficie a cubrir, topografía del medio, la resolución espacial deseada, las condiciones climatológicas para el aterrizaje y despegue, etc.

Tabla 1-2: Especificaciones técnicas de los drones más populares para teledetección.

MARCA	MODELO	AERONAVE							CONTROL REMOTO			BATERIA DE VUELO			APP		
		Peso (g)	Velocidad Máxima de Ascenso (m/s)	Velocidad Máxima de Descenso (m/s)	Velocidad Máxima (m/s)	Altura Máxima sobre el Nivel del Mar (m)	Tiempo Máximo de vuelo (min)	Rango de Temperatura Operativo (C°)	Sistema de Posicionamiento Satelital	Distancia Máxima de Transmisión (km)	Batería (mA)	Soporte Dispositivo Móvil	Capacidad (mA)	Voltaje (V)		Peso (g)	Potencia Máxima (W)
Dji	Phantom 3	1216	5	3	16	6000	25	0° a 40°	GPS	1	2600	Tablets y Smartphones	4480	15	365	100	DJI GO
Dji	Phantom 4	1380	6	4	20	6000	28	0° a 40°	GPS-GLONASS	5	6000	Tablets y Smartphones	5350	15	462	100	DJI GO 4
Dji	Matrice 600	9100	5	3	18	2500	23	0° a 40°	GPS	5	6000	Tablets y Smartphones	4500	22	595	180	DJI GO

Fuente: Dji, 2022

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

2.3 Procesamiento digital de imágenes

El uso de computadores para realizar los procesos de análisis y procesamiento de imágenes juega un papel fundamental, esto debido al nivel de dificultad que representa efectuar numerosos cálculos. Es cierto que los fundamentos y fórmulas matemáticas necesarias para la ejecución de estos procesos data de varios siglos atrás, pero ha sido posible realizarlo recién en las últimas décadas, debido a los avances en el desarrollo de tecnologías y a la disponibilidad de recursos computacionales en hardware y software. El surgimiento y abundancia de nuevos equipos con capacidad para realizar múltiples operaciones de manera instantánea y su aplicación en la vida cotidiana de cualquier persona, ha ratificado a que el análisis y procesamiento de imágenes digitales se establezca como un gran campo de investigación. Hoy en día, esta tecnología se encuentra integrada a todo dispositivo y aparato doméstico como celulares, cámaras digitales, impresoras, scanners, etc. (Pérez y Valente, 2018)

2.3.1 Imagen analógica

La imagen analógica a grandes rasgos, básicamente es un proceso físico-químico en el cual el ojo humano es capaz de captar la luz reflejada por los objetos que están presentes en el entorno físico, mediante el empleo de un material fotosensible, ya sea un papel o una película fotográfica, con ayuda de un dispositivo específicamente diseñado para ello, la cámara fotográfica. (Gómez Lozano, 2003)

2.3.2 Imagen digital

La imagen digital puede ser denotada como una función $f(x, y)$, siendo un arreglo bidimensional $b(x, y)$ que está compuesta por un conjunto de elementos de una matriz a los cuales se les asigna un valor específico, llamados píxeles, estos han sido cuantizados a dos niveles de intensidad, 0 y 1. (Sossa Azuela, 2006)

2.3.3 Formato de imagen

El uso del tipo de formato a emplearse para registrar una imagen, está íntimamente ligado al número de bits que son utilizados en el proceso de cuantizar la cantidad de luz recibida. Estos formatos pueden ser de carácter públicos y abiertos o del tipo privado, donde se requiere el pago de derechos para su utilización. Para facilitar el procesamiento de imágenes, los formatos de imágenes requieren conocer en que forma se almaceno la información y realizar la decodificación de los datos hasta tener la imagen en forma de matriz y separada en canales. (Ortiz, 2013)

En la Tabla 2-2 se puede observar algunos de los formatos más utilizados dentro de las imágenes digitales, con sus propiedades más relevantes.

Tabla 2-2: Tipos de formatos utilizados en imágenes digitales.

NOMBRE	FORMATO	PROPIEDADES
Joint Photographic Experts Group	JPEG	Es el resultado de la combinación de diferentes técnicas, soporte en colores YUV y RGB. De compresión regulable, disminuye el peso de la imagen y con esto la calidad de la imagen. Presenta una desventaja, cada vez que se guarda una imagen sufre una cierta corrupción.
Tagged Image File Format	TIFF	Compatible con las plataformas Macintosh y PC. Restricciones orientadas a objetos o vectores.
Bruto o Crudo	RAW	Almacena los datos de imagen directamente desde el sensor de la cámara a la tarjeta de memoria con un mínimo de procesamiento. No posee pérdidas en datos de la imagen, su calidad no se degrada por compresión. Los archivos RAW son muy grandes.
Matlab	MAT	Es una extensión propia de Matlab, la información se almacena de forma binaria en el "workspace". Almacena un conjunto de formatos entre los principales: variables simples, matrices numéricas y de caracteres, audio en formato de 8, 16, 64 bits de forma entero o flotante. Crea algoritmos para aplicaciones en diferentes aéreas.

Fuente: Chávez, 2021

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

2.3.4 Compresión y redundancia

La compresión de imágenes digitales en la actualidad es muy necesaria, debido a la enorme cantidad de información que se transmite y almacena a través de los medios digitales en tiempo real. Es necesario realizar la distinción entre los términos datos e información, los datos son el medio por donde se transporta la información, se puede utilizar distintas cantidades de datos para representación de información. La compresión de datos se refiere al proceso de disminuir la cantidad de datos requeridos para representar cierta cantidad de información. La redundancia de datos, se define cuando existe más del mínimo de datos necesario para transmitir la información. (Mejía Vilet, 2015)

$$R_D = 1 - \frac{1}{C_R} \quad C_R = \frac{\eta_1}{\eta_2}$$

Ecuación 4-2: Redundancia de datos

Donde,

C_R : relación de compresión.

η_1, η_2 : el número de unidades que cargan información (bits).

2.3.5 Tamaño y resolución de imagen

Ambos conceptos se encuentran íntimamente relacionados y dependen mutuamente el uno del otro. El tamaño de una imagen, hace referencia a la cantidad de memoria física que ocupa guardar la información de la imagen digitalizada en un disco de almacenamiento.

La resolución es la precisión a detalle en las imágenes, esta se mide en píxeles por pulgada (ppp) y condiciona el concepto de tamaño, ya que mantienen una relación directamente proporcional, si la cantidad de píxeles en la imagen digitalizada aumenta la cantidad de espacio en el disco será mayor y si se reduce la resolución el tamaño disminuirá. (Pérez y Valente, 2018)

2.3.5.1 Resolución espacial

La resolución espacial hace referencia al tamaño del objeto u elemento más pequeño presente en la superficie terrestre, aquel que puede distinguirse en la imagen, este es un aspecto muy relevante al momento de elegir imágenes, ya que determinan los aspectos que pueden observarse en la superficie. Cabe recalcar que entre mejor sea la resolución espacial, los archivos digitales generados necesitaran cantidades más grandes de espacio en las computadoras para realizar el procesamiento de las mismas. (Bautista et al., 2019)

2.3.5.2 Resolución espectral

Este tipo de resolución hace referencia a la longitud de onda en la que mide el sensor la reflectancia de energía. Un sistema se puede medir a partir del número de bandas, indicando cuantas longitudes de onda las separa, dichas longitudes son medidas en micrómetros (μm). Un sensor multiespectral de cinco bandas, por ejemplo, realiza la medición de energía en cinco longitudes de onda diferentes en el mismo instante de tiempo. (Bautista et al., 2019)

2.3.5.3 Resolución temporal

Esta resolución señala la periodicidad con la que el sensor adquiere una imagen de la misma proporción de la superficie terrestre, es decir su frecuencia de cobertura. (Moraga Peralta, Solano Mayorga y Cedeño Montoya, 2011)

2.3.5.4 Resolución radiométrica

La resolución radiométrica menciona acerca de la sensibilidad del sensor, en otras palabras, la capacidad de percibir fluctuaciones en la cantidad de radiancia espectral que recibe. El número máximo de niveles digitales de la imagen se identifica mediante la resolución radiométrica del sensor. (Moraga Peralta, Solano Mayorga y Cedeño Montoya, 2011)

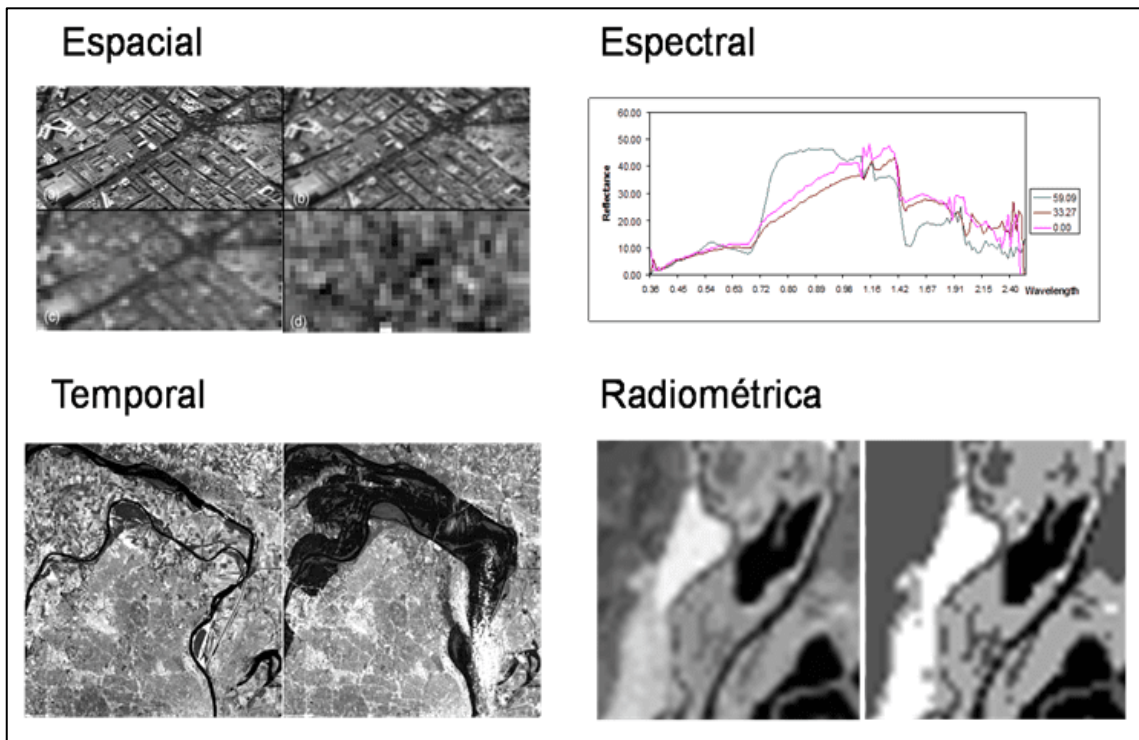


Figura 13-2. Resolución de imágenes en teledetección

Fuente: <https://ingeoexpert.com/articulo/21969/>

2.3.6 Modelos de color

Un modelo de color es un sistema de coordenadas, donde en cada subespacio del mismo, un color puede ser representado por un solo punto, tiene como objetivo facilitar la especificación de colores de forma generalizada y estándar. Muchos de los modelos de color se orientan a la utilización de hardware o aplicaciones cuya finalidad es la manipulación de colores. (Mejía Vilet, 2015)

Existen modelos orientados al uso de hardware; monitores a color, cámaras de video, impresiones a color, etc., además de técnicas de escala de gris. En la Tabla 3-2 se detalla algunos de los modelos a color más usuales con cada una de sus características.

Tabla 3-2: Características y aplicaciones de los modelos de color.

MODELO	CARACTERÍSTICAS	APLICACIONES
RGB	Se basa en los colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B). De la combinación de los colores primarios resultan los colores secundarios: cian (C), magenta (M) y amarillo (Y). Combinando los tres colores primarios con los máximos valores representativos se obtiene el blanco puro (W) y si se combina con los mínimos valores representativos se obtiene el negro puro.	Utilizado en las cámaras a color.
RGB Normalizado	Este modelo evita problemas en los cambios de iluminación de una imagen.	Se usa en cámaras de video, impresiones, etc.
HSI	El modelo se basa en tres aspectos importantes: Matiz, Saturación, Intensidad. El matiz hace referencia al color dominante tal y como se percibe. La saturación es la cantidad de luz blanca mezclada con el color dominante. La intensidad representa la iluminación percibida.	Se aplica cuando la iluminación de la escena es determinante y se desea trabajar con la intensidad de la imagen.
YUV	Representa una percepción del color de una forma más humana, mucho mejor que el estándar RGB. El parámetro Y representa la luminancia (información en blanco y negro), mientras que U y V representan la crominancia (información relacionada con el color).	Usado por el hardware de gráficos por ordenador. Se emplea en la codificación, al momento de transmitir información de los televisores a color garantizando simultáneamente el funcionamiento de los televisores en blanco y negro.
$YD_B D_R$	Como en el modelo anterior, posee una componente que representa la luminancia (Y) y dos que representan la crominancia (DB y DR). El modelo es útil para diferenciar los píxeles de una imagen con dominancia de la componente roja.	Es utilizado en el estándar de televisión en color SECAM.

Fuente: Guerrero, 2015

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la Ecuación 4-2 se puede apreciar la normalización matemática del modelo RGB, el cual es una representación que evita y corrige ciertas anomalías en la imagen, provocados por los cambios de iluminación. (Marcial Basilio, 2011)

$$r = \frac{R}{R + G + B}; g = \frac{G}{R + G + B}; b = \frac{B}{R + G + B}$$

Ecuación 5-2: Relaciones de RGB normalizado

Donde,

R: banda roja.

G: banda verde.

B: banda azul.

La suma de (R, G, B) debe ser igual a uno.

2.3.7 Filtros

El proceso de filtrado en imágenes digitales se realiza tanto en el dominio del espacio $f(m,n)$, como en el dominio de las frecuencias $F(m^*,n^*)$. El propósito de utilizar filtros es eliminar aquellos píxeles cuyo nivel de intensidad es muy diferente al de los píxeles a su alrededor, debido a transformaciones indeseadas en la imagen o a procesos de transmisión. (Querejeta Simbani, 2015)

2.4 Imagen espectral

Es una representación visual de información, cuyos datos obtenidos se sitúan dentro del rango específico de longitud de onda del espectro electromagnético, estos datos son capturados por un sensor, el cual registra la señal para su descomposición óptica en varias bandas y posteriormente enviarla para construir la imagen, su principal finalidad es obtener información de la superficie terrestre para procesarla acorde al interés de estudio. (CONAPA, 2019)

2.4.1 Imagen multiespectral

La imagen multiespectral es captada a través de un sensor digital que mide la reflectancia en muchas bandas espectrales, está asociada a los valores numéricos que representan cada píxel, tantos como bandas espectrales sea capaz de detectar el sensor. Una imagen multiespectral proporciona la representación de la firma espectral de distintos elementos presentes en el entorno físico. (Bravo, 2017)

A continuación, se detalla las cinco principales bandas del espectro visible: (Casas, 2016)

Azul: obtiene imágenes de la atmósfera y de la profundidad del agua.

Verde: capta imágenes de la profundidad de la vegetación y también del agua.

Rojo: captura la imagen de objetos fabricados por la mano del hombre.

Borde Rojo: obtiene imágenes de vegetación.

Infrarrojo: capta imágenes de las estructuras geológicas, diferencias térmicas en las corrientes de agua, incendios y estudios de noche.

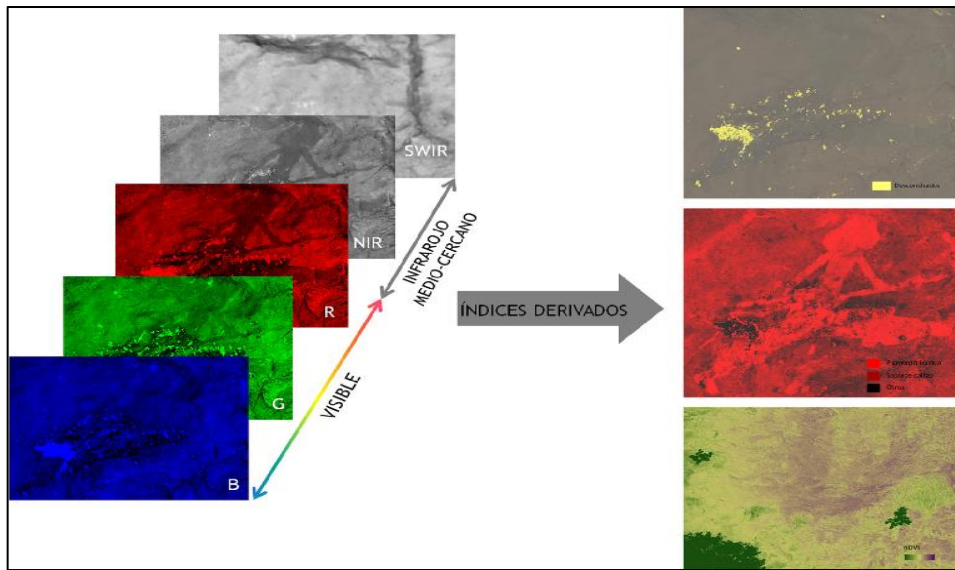


Figura 14-2. Imagen multiespectral (5 bandas) e índices cuantitativos derivados

Fuente: López, 2013

2.4.2 Imagen hiperespectral

Las imágenes hiperespectrales registran información en un mayor número de bandas espectrales que las imágenes multiespectrales, con un coste menor de ancho de banda. Pese a los beneficios que representa en cuanto a información ofrecida, no es tan accesible para el usuario por dos razones principales. La primera, poseen un elevado coste económico, además de la necesidad de material auxiliar externo para su correcto funcionamiento. Por último, son sistemas pesados, limitando el tipo de plataforma aérea donde pueden ser acoplados, en los últimos años se ha desarrollado nuevos prototipos más livianos capaces de ser llevados por UAS. (Notario García, 2019)

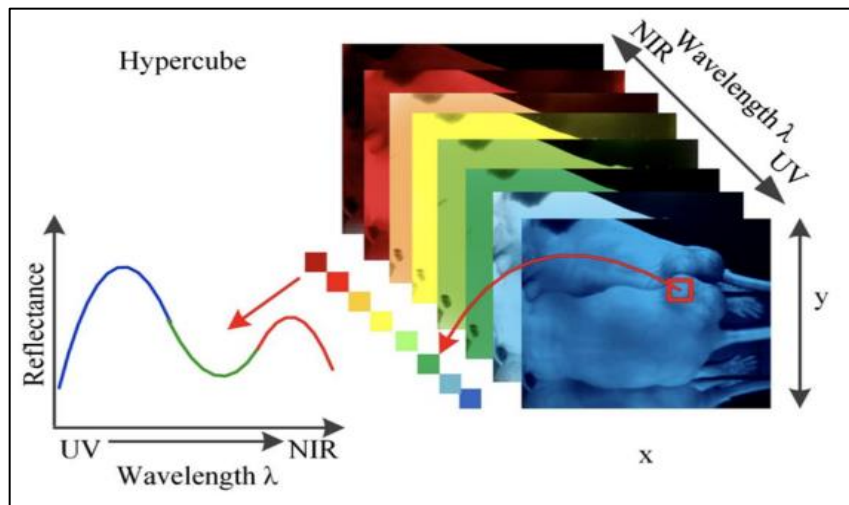


Figura 15-2. Imagen hiperespectral

Fuente: CIRES (Universidad de Colorado), 2013

2.4.3 Espectrometría de una imagen

Esta técnica conocida como teledetección hiperespectral, proporciona información acerca de las propiedades y características de los objetos que se encuentran en la superficie del planeta, explotando el hecho que dichos objetos son capaces de absorber, reflejar y emitir energía electromagnética. Mediante este proceso se consigue la construcción de un espectro de radiación o firma espectral continua por cada pixel en la imagen digital, haciendo posible la identificación de objetos a distancia, en base a sus firmas espectrales. Por otra parte, la espectrometría mide la variación en irradiancia de una longitud de onda, obteniendo datos relacionados con la composición química del material en el ángulo de visión o FOV (Field of view) del instrumento. (Rejas, 2014)

2.5 Cámara multibanda o multiespectral

Son dispositivos encargados de capturar información de imágenes a frecuencias específicas en todo el espectro electromagnético, el número de bandas capturadas varían entre un rango de dos a quince bandas. Las longitudes de onda captadas pueden aislarse mediante etapas de filtrado o la utilización de instrumentos sensibles a dichas longitudes, incluida el espectro de frecuencias más allá de lo que el ojo humano puede ver, como el infrarrojo. Las imágenes multiespectrales se constituyen en bandas espectrales posicionadas discretamente unas de otras, sin la necesidad de ser continuas. El campo de aplicaciones de estos dispositivos es muy extenso, pero han tomado mayor protagonismo en sectores de la agricultura, la medicina y sectores de la industria que utilizan cámaras de visión artificial. (JAI, 2019)

La Tabla 4-2 muestra las principales características de varios sensores multiespectrales que han sido específicamente diseñados para la utilización en conjunto con los vehículos aéreos no tripulados.

Tabla 4-2: Especificaciones técnicas de las cámaras multiespectrales más utilizadas en agricultura de precisión.

	SEQUOIA PARROT	MICASENSE REDEEDGE-MX	MICASENSE ALTUM
Almacenamiento	Tarjeta SD	Tarjeta SD	Dispositivos de almacenamiento compatibles con USB 3.0
Dimensiones	59 mm x 41 mm x 28 mm	8.7cmx 5.9cmx 4.54cm	8.2 cm x 6.7 cm x 6.45 cm
Resolución espacial	1280 x 960 píxeles13 cm/píxel a 120 de altura de vuelo	1280 x 960 (1.2 MP por cada banda)8 cm por píxel (por banda) a 120m	2064 x 1544 (3.2 MP por cada banda) 160 x 120 infrarrojo térmico
Bandas espectrales	Verde (550 BP 40) Rojo (660 BP 40) Borde rojo (735 BP 10) Infrarrojo cercano (790 BP 40)	Azul (475 nm, 20 nm), verde (560 nm, 20 nm), rojo (668 nm, 10), borde rojo (717 nm, 10 nm), infrarrojo cercano (840 nm, 40 nm)	6 bandas (rojo, verde, azul, borde rojo, infrarrojo cercano e infrarrojo térmico)
Peso	72 g (2,5 oz)	231.9 g (8.18 oz.)	406.5 g (14.34 oz.)
Resolución Radiométrica	10 bits	12 bits	12 bits
Conexiones	USB	USB Serial Ethernet WIFI	WIFI Ethernet y USB
Campo de Visión	61.9°HFOV	47.2° HFOV	48° x 37° (multiespectral) 57° x 44° (térmica)
Velocidad de Disparo	1 captura por segundo (todas las bandas)	1 captura por segundo (todas las bandas)	1 captura por segundo (todas las bandas)
Fuente de Energía Externa	5V 2.4 A	4.2 V – 15.8 V	4.9 V – 25.2 V
Entrada de Energía	5 W (pico ~12 W)	4.0/8.0W (nominal, pico)	5.5/7.0/10W (modo de espera, promedio, pico)
Compatibilidad con Dji Skyport	Si	Si	Si

Fuente: ACRE, 2022

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

2.6 Visión Artificial

Un sistema de visión artificial tiene como finalidad extraer e interpretar información de escenarios, a través de un computador, basándose en los datos de las imágenes capturadas por varias cámaras. Llamados también “sistemas de visión por computadora” incorporan elementos como satélites, sistemas de navegación, escáneres inteligentes y sistemas de detección remota, estos sistemas suelen emular la percepción visual humana. El componente principal dentro de un sistema de visión artificial es algún tipo de cámara digital, capaz de adquirir información mediante imágenes, aproximándose a la percepción visual. (Peters, 2017)

2.6.1 Segmentación de imagen

La segmentación tiene como finalidad realizar una división de la imagen en regiones significativas y de interés, los resultados obtenidos siguen varias etapas consecutivas para su identificación, descripción, análisis e interpretación. Los métodos de segmentación aceptan que las regiones extraídas poseen características de homogeneidad, pudiendo existir zonas delimitadas entre regiones que no son visibles en la imagen, de la misma forma pueden aparecer límites que no corresponden a límites físicos, textura o ruido. Por otra parte, el proceso de segmentación se denota como un reconocimiento de regiones deseadas o un proceso de decisión al momento de elegir que píxel pertenece a cada zona, cuyo propósito es establecer límites entre regiones. (Mendez, 2008)

Las principales técnicas utilizadas en segmentación son: (Mendez, 2008)

- Discontinuidad
- Similitud

2.6.2 Índices de vegetación

Los índices de vegetación son parámetros calculados a partir de valores de reflectancia a distintas longitudes de onda, capaces de realizar múltiples operaciones algebraicas, con los valores numéricos representativos de cada uno de los píxeles, usando dos o más bandas espectrales de una imagen y siendo sensible a la cubierta vegetal. Este proceso también se denota como la combinación de bandas espectrales, teniendo relación con la cantidad de la vegetación presente en cada píxel de la imagen espectral, estos índices sirven para mejorar la discriminación entre el suelo y la flora, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas. La presencia de valores bajos en el cálculo de los índices de vegetación, por lo general significa que las plantas, árboles, zonas verdes, etc., muestran un estado de enfermedad o con poca vigorosidad, mientras que los valores altos denotan que la vegetación es sana y no tiene ninguna complicación en su salud. Un aspecto importante a consideración, es que, para elegir el índice de vegetación adecuado, es necesario realizar un estudio previo en el terreno, los factores ambientales y su topología, puesto que, de no haber estudios disponibles, las imágenes obtenidas solo serán indicadores útiles de la cantidad relativa de vegetación presente en la zona de interés. (Muñoz, 2013)

2.6.2.1 Índice de vegetación diferencial normalizado NDVI

El índice NDVI es usado para obtener una medición sobre la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación en una determinada zona, además de medir la vigorosidad de plantas y la producción de biomasa, este proceso se realiza mediante la diferencia normalizada entre las reflectancias de las bandas espectrales rojo e infrarrojo cercano. El NDVI es el índice de vegetación más utilizado por su sencillez de cálculo y su rango de valores entre (-1 y 1) para evaluar el estado de salud de la cobertura vegetal de un área de interés. (Bravo, 2017)

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

Ecuación 6-2: Índice de vegetación diferencial normalizado

Donde,

NIR: banda infrarroja.

R: banda roja.

2.6.2.2 Índice normalizado de borde rojo NDRE

Este índice incorpora las bandas espectrales de borde rojo e infrarrojo, indica los cambios que ocurren con la cantidad de clorofila y nitrógeno en la planta, además del estrés hídrico, por tal razón, muestra los indicadores de los niveles de fertilizantes como de nitrógeno foliar de las plantas. Es considerado un mejor indicador de salud que el índice NDVI para aquellos cultivos de temporada media a tardía, igualmente obtiene mejores resultados en aplicaciones de manejo intensivo, ya que el NDVI pierde sensibilidad en el momento que las plantas acumulan grandes niveles de clorofila o cobertura foliar. (Innovatione AgroFood Design, 2020)

$$NDRE = \frac{NIR - RE}{NIR + RE}$$

Ecuación 7-2: Índice normalizado de borde rojo

Donde,

NIR: banda infrarroja.

RE: banda borde roja.

2.6.2.3 Índice de vegetación ajustado al suelo SAVI

Este índice es apropiado para trabajos en zonas semiáridas, donde la contribución del suelo es muy importante, reduce los efectos de humedad, brillo y ruido generados en el terreno. Existe una mayor distinción entre el suelo y la vegetación, brindando mejores características y más consistencia que el índice NDVI. (Bravo, 2017)

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

Ecuación 8-2: Índice de vegetación ajustado al suelo

Donde,

NIR: banda infrarroja.

R: banda borde roja.

L=0.5: factor de ajuste del suelo.

El valor normalizado para el factor de ajuste del suelo es de 0.5, se debe poner en consideración que el índice de vegetación está enfocado a cultivos jóvenes, donde exista abundante cantidad de suelo expuesto.

2.6.3 Umbralización

Es el método más sencillo y práctico para realizar la segmentación de una imagen, permite la separación de los píxeles de la imagen en escala de grises, mediante dos categorías, a partir de un borde o umbral. Si la imagen es $f(x, y)$, la imagen umbralización $g(x, y)$ y se fija un umbral U ($0 < U < 255$) generando una binarización de la imagen convirtiendo en blanco y negro que es definida por la Ecuación 8-2.

$$g(x, y) = 255; \text{ si } f(x, y) > \text{Umbral}$$
$$g(x, y) = 0; \text{ si } f(x, y) \leq \text{Umbral}$$

Ecuación 9-2: Condiciones para umbralización

La agrupación de los píxeles de una imagen pertenecientes a un mismo objeto, permite segregar la imagen del fondo. Dicho de otra forma, la segmentación basada en histograma, precisa diferentes umbrales en la agrupación de puntos en regiones de características comunes. (Guerrero, 2015)

2.7 Software

2.7.1 Matlab

Matlab, es un software matemático ampliamente utilizado en el área de ingeniería, tiene un alto desempeño, por lo que permite realizar una variedad de cálculos numéricos con vectores y matrices. Entre sus aplicaciones destacan: el manejo de matrices, implementación de algoritmos, representaciones gráficas de datos y funciones permitiéndole operar con facilidad sobre imágenes de tipo RGB, TIFF o RAW. En cuanto al manejo y tratamiento de imágenes destaca su herramienta Toolbox llamada “Image Processing Toolbox”. Una imagen a color RGB, está representada por tres matrices bidireccionales, mediante una serie de instrucciones por líneas de comando, podemos acceder a la información y realizar un sin número de operaciones en cada imagen, el uso de algoritmos estándar para el procesamiento, análisis y la visualización de imágenes, es fundamental en el manejo de esta aplicación. (Martínez, 2019)

Entre los servicios que oferta Matlab está App Designer, la cual permite a cada uno de los usuarios crear apps profesionales, sin que tenga una preparación académica como desarrollador de software profesional, es capaz de integrar las dos tareas principales en la creación de una aplicación: la distribución de los componentes visuales de una interfaz gráfica de usuario (GUI) y la programación del comportamiento de la app. (MathWorks, 2022)

2.7.2 Agisoft Metashape

Es un software especializado en el procesamiento de imágenes RGB/NIR, térmicas y multiespectrales, gracias a la reconstrucción rápida basada en canales de preferencia es ideal para la construcción de mapas especiales en 3D, para el uso en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Además, cuenta con procesos de generación de ortomosaicos multicanal y cálculo de índices de vegetación definidos por el usuario (por ejemplo, NDVI), Agisoft se acopla muy bien a los diferentes sistemas de teledetección, mediante la triangulación fotogramétrica, modelado de elevaciones digitales, medición de distancias, áreas, volúmenes, modelado en 3D con texturizado, y procesamiento en la nube, etc. (Agisoft, 2022)

2.7.3 Quantum Gis

QGis es un software de código libre para plataformas GNU/Linux, Unix, Windows, Mac e IOS, se utiliza para la construcción de un SIG, consta de múltiples aplicaciones para la creación de datos, mapas, modelos y consulta de datos geoespaciales, está orientado a profesionales del campo de la información geográfica, personal de medio ambiente o personal de administraciones públicas. (QGis, 2013)

Este software trabaja con bases de datos SQLite, es idóneo para la creación de mapas vectorizados de los campos, siendo especialista en el manejo de datos geoespaciales con soporte en la mayoría de formatos de imagen, además posee una interfaz sencilla y escalable, capaz de adicionar componentes según los requerimientos del usuario. En el área de cobertura vegetal, provee dos alternativas para calcular índices de vegetación, la “Calculadora Ráster” la cual permite introducir las fórmulas específicas y “SAGA ToolBox” que presenta funcionalidades para el cálculo de los índices más utilizados en la actualidad, en el campo de la agricultura. (Soca Muñoz, 2015)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Proceso de Investigación

El presente proyecto de titulación se basa y fundamenta dentro del método experimental, partiendo de la problemática analizada en torno al tema de investigación y así desarrollar cada uno de los objetivos específicos propuestos, con el fin de dar solución a los requerimientos planteados. La revisión bibliográfica, se utilizó para la recopilación de información y documentación necesaria de los factores y parámetros requeridos en el procesamiento de imágenes multiespectrales.

Este capítulo presenta el desarrollo de la parte aplicativa de la tesis, la adquisición de las imágenes multiespectrales de las parcelas de cultivo de cacao, capturadas por la cámara Micasense RedEdge- Mx, que se encuentra acoplada al dron Dji Phantom 4, el desarrollo del algoritmo de procesamiento de imágenes, así como las diferentes configuraciones, calibraciones geométricas y correcciones radiométricas de las imágenes obtenidas y el cálculo de índices de vegetación, a través del software Matlab.

La figura 1-3 muestra las etapas de consecución del sistema de detección de la plaga monilia en cultivos de cacao, mediante un diagrama de su funcionamiento general, el cual inicia con el diseño y ensamblaje del sistema para la adquisición de imágenes, continuando con los elementos y procesos que intervienen dentro de la etapa de procesamiento de las imágenes. Todo el funcionamiento del sistema se detalla con más precisión en cada uno de los temas propuestos dentro de este capítulo.

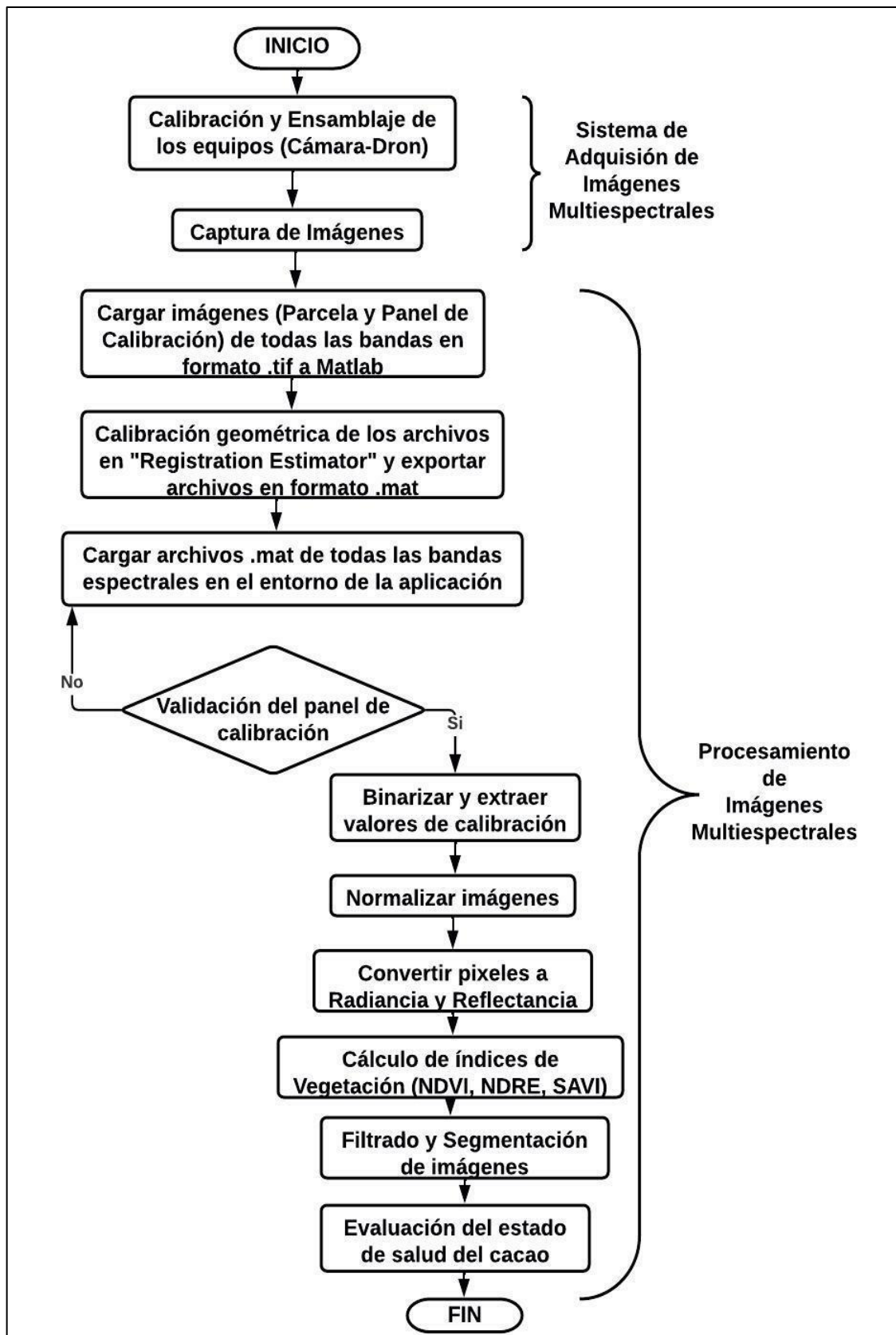


Figura 1-3. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.2 Escenario

La Joya de los Sachas, cantón localizado en la provincia de Orellana se ubica en la región amazónica, al noreste del Ecuador, siendo una ciudad agro productiva por tradición, la actividad agrícola ocupa el cuarto lugar de la lista de principales actividades, luego de la explotación de recursos naturales como el petróleo y minerales. Bajo los criterios y datos estadísticos de la ICCO, Ecuador se encuentra entre los principales productores de granos de cacao, ocupa el tercer lugar a nivel mundial y representa el 7% de la producción mundial total, el sector cacaotero contribuye activamente en la economía del país y constituye fundamentalmente el sustento económico familiar de la población costera del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana. (ANECACAO, 2019)

En la actualidad, bajo la resolución 743.CP.2021 se aprobó el “CONVENIO MARCO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO “ESPOCH” Y LA DIRECCION DISTRITAL DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA DE ORELLANA”, lo que derivó en la creación del proyecto de investigación denominado "Implementación de una Plataforma Informática de Alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas en los cantones La Joya de los Sachas, Loreto y Francisco de Orellana" bajo resolución 128.CP.2021. (ESPOCH, 2021)

En base al convenio y al proyecto de investigación, el tema de este trabajo de titulación tiene como objetivo mejorar los procesos de prevención, cuidado y producción agrícola, dentro de los cultivos de cacao, mediante la implementación de un sistema de detección de la plaga monilia (*Moniliophthora roreri*), a través del procesamiento de imágenes multispectrales y poder realizar la valoración del estado de salud de dichas plantaciones.

3.2.1 Zona de estudio

El área de estudio se encuentra dentro de la jurisdicción del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en la ciudad de la Joya de los Sachas, la conforman 2 parcelas como se observa en la Figuras 2-3 y 3-3. La primera parcela se encuentra ubicada en las coordenadas: 0°34'29.89"S 76°87'26.92"O, mientras que la segunda parcela: 0°35'69.12"S 76°86'25.26"O, ambas a una altitud de 284 m.s.n.m, los lugares presentan una temperatura promedio de 28°C y una precipitación anual de 2650 a 4500 mm³. (ecuadesigners, 2010)

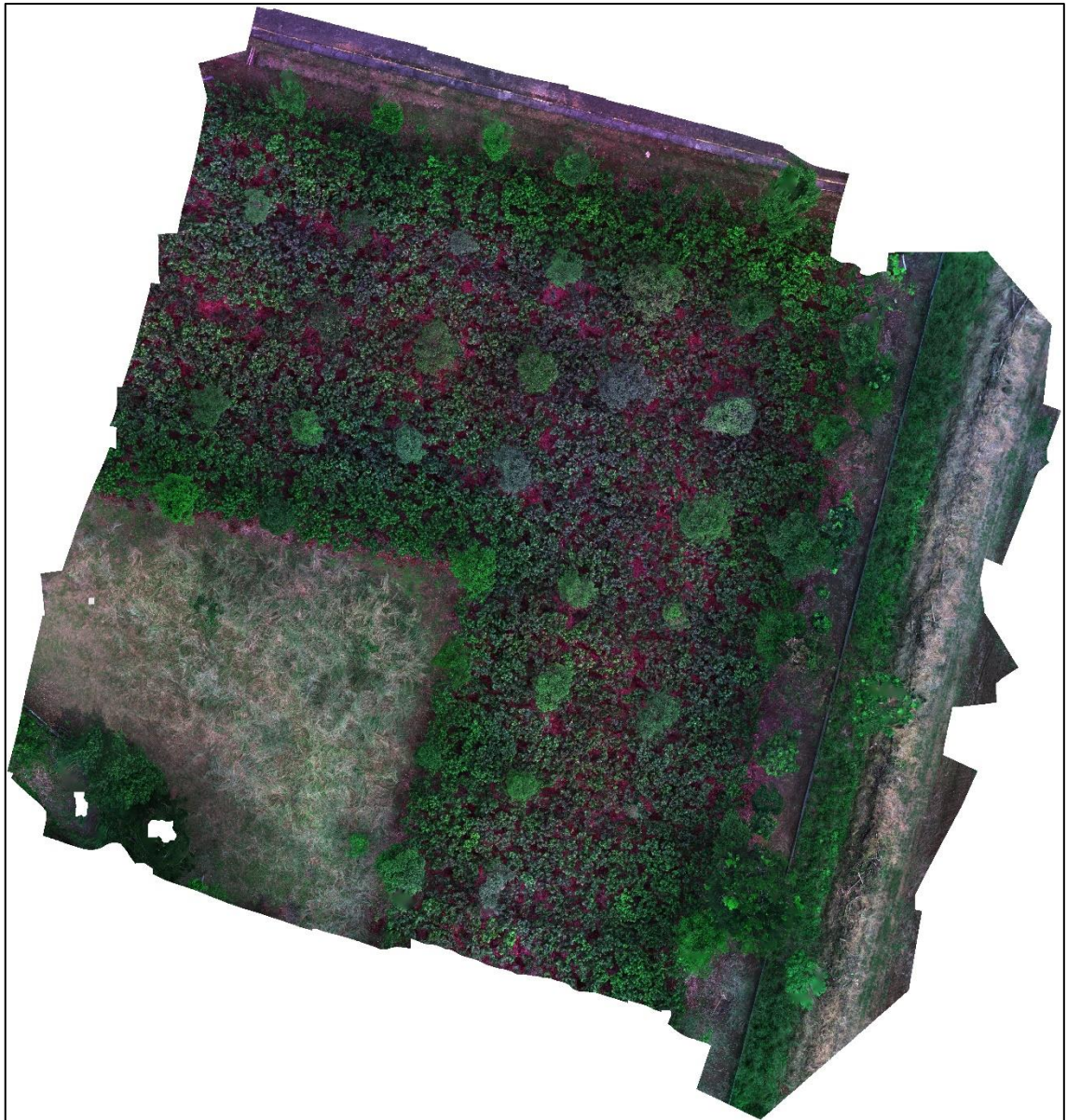


Figura 2-3. Ortomosaico de la primera parcela de cacao, Joya de los Sachas

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

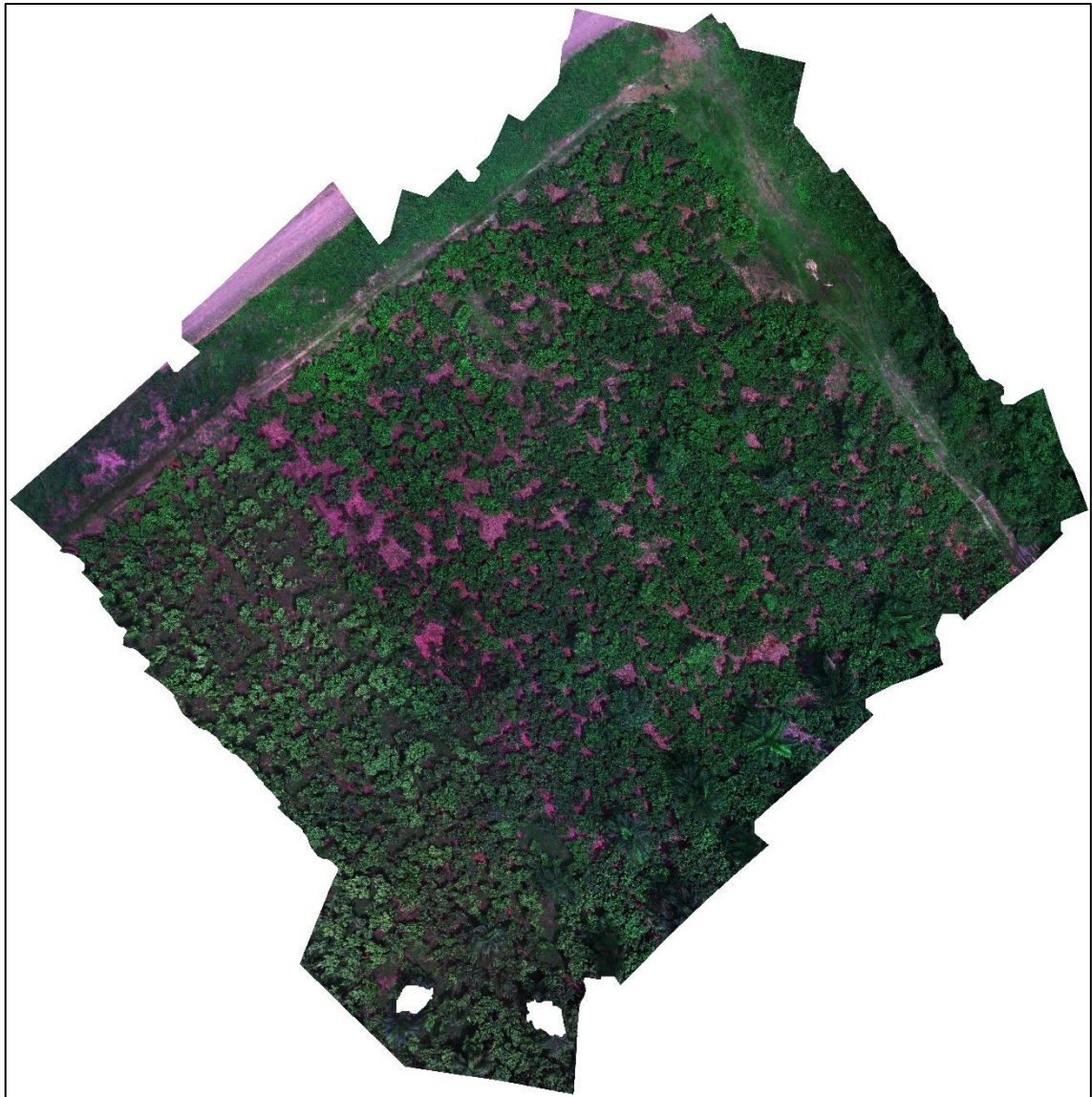


Figura 3-3. Ortomosaico de la segunda parcela de cacao, Joya de los Sachas

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.3 Sistema de adquisición de imágenes multiespectrales

3.3.1 Componentes del sistema

Con el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento y óptimo desempeño del sistema para la adquisición de imágenes aéreas multiespectrales, es necesario realizar una comparación y evaluación de criterios entre las diferentes alternativas de los elementos que conforman dicho sistema (dron y cámara multiespectral), seleccionando las opciones que mejor se ajusten a las necesidades de este trabajo.

En la Tabla 1-3 se visualiza el rango de calificación correspondiente a la valoración de los criterios de selección.

Tabla 1-3: Ponderación a la valoración de criterio de selección.

VALORACIÓN DE CRITERIO	CALIFICACIÓN
Sobresaliente	5
Muy Bueno	4
Bueno	3
Regular	2
Deficiente	1

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.3.1.1 Plataforma aérea (dron)

Los elementos esenciales que se toman en cuenta al momento de elegir un vehículo aéreo no tripulado para utilizarlo como plataforma de observación remota son: (Bautista et al., 2019)

- Autonomía de vuelo
- Capacidad de carga
- Rango de Comunicación
- Portabilidad

La Tabla 2-3 proporciona información de las calificaciones a cada uno de los modelos de drones comerciales considerados en la Tabla 1-2 detallada en el capítulo anterior, dichos puntajes se obtuvieron en base al desempeño del dron en cada uno de los criterios acotados con anterioridad, posteriormente se suma el puntaje y se selecciona la opción con la mayor calificación.

Tabla 2-3: Calificación de modelos para la plataforma aérea (dron).

MODELO	Dji Phantom 3	Dji Phantom 4	Dji Matrice 600
CRITERIO			
Autonomía de vuelo	4	5	4
Capacidad de carga	4	5	4
Rango de Comunicación	2	5	5
Portabilidad	5	5	3
TOTAL	15	20	16

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En consideración de las calificaciones totales de Tabla 2-3, cabe destacar el puntaje obtenido por el dron Dji modelo Phantom 4, mismo que se utilizará como plataforma aérea como parte del sistema de adquisición de datos.



Figura 4-3. Dron Dji Phantom 4

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.3.1.2 Cámara Multiespectral

La adquisición de imágenes multiespectrales para la obtención del NDVI se lo realiza mediante sensores remotos (espectro visible e infrarrojos) o cámaras multiespectrales, dentro del mercado existe una extensa variedad de ofertas de cámaras multiespectrales, dependiendo de la necesidad y el uso que se pretenda dar, es de suma importancia establecer los criterios que se ajusten a los requerimientos del trabajo, por lo que la selección del equipo está basada en las siguientes características: (Bautista et al., 2019)

- Resolución de la imagen
- Dimensiones
- Peso
- Número de bandas
- Intervalo de captura

La Tabla 3-3 indica la calificación de cada uno de los modelos de cámaras multispectrales puestos a consideración en la Tabla 3-2 del capítulo anterior, se utilizó el mismo procedimiento de puntuación para cada modelo comercial de cámara multispectral como se hizo con el dron, posteriormente se suma el puntaje y se selecciona la opción con la mayor calificación.

Tabla 3-3: Calificación de los modelos de cámaras multispectrales.

MODELO	SEQUOIA PARROT	MICASENSE REDEEDGE-MX	MICASENSE ALTUM
CRITERIO			
Resolución de la imagen	3	4	5
Dimensiones	5	4	4
Peso	5	4	1
Número de bandas	3	4	5
Intervalo de captura	5	5	5
TOTAL	21	21	20

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

Al visualizar los resultados de la Tabla 3-3, es importante recalcar que tanto la cámara multispectral SEQUOIA PARROT y MICASENSE REDEEDGE-MX obtuvieron la misma calificación, sin embargo, los puntajes de los criterios a evaluar de la cámara MICASENSE REDEEDGE-MX son más balanceados, razón por la cual dicha cámara se utilizará como parte del sistema de adquisición de datos.



Figura 5-3. Cámara Multispectral Micasense RedEdge-MX

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.3.2 Diseño del sistema

El diseño del sistema para la adquisición de imágenes se constituye principalmente de los dos dispositivos anteriormente seleccionados, el dron Dji Phantom 4 y la cámara multiespectral MicaSense RedEdge-MX.

Los elementos que componen al dron básicamente son los siguientes: (DJI, 2016)

- Antena GPS.
- Propelas.
- Motor.
- Indicador LED.
- Gimbal y Cámara.
- Sistema de Sensor de obstáculos.
- Batería Inteligente.
- Indicador Estado de Vuelo.
- Indicador de Estado de Cámara.
- Puerto Micro USB.
- Tarjeta Micro USB
- Sensores de Posicionamiento.

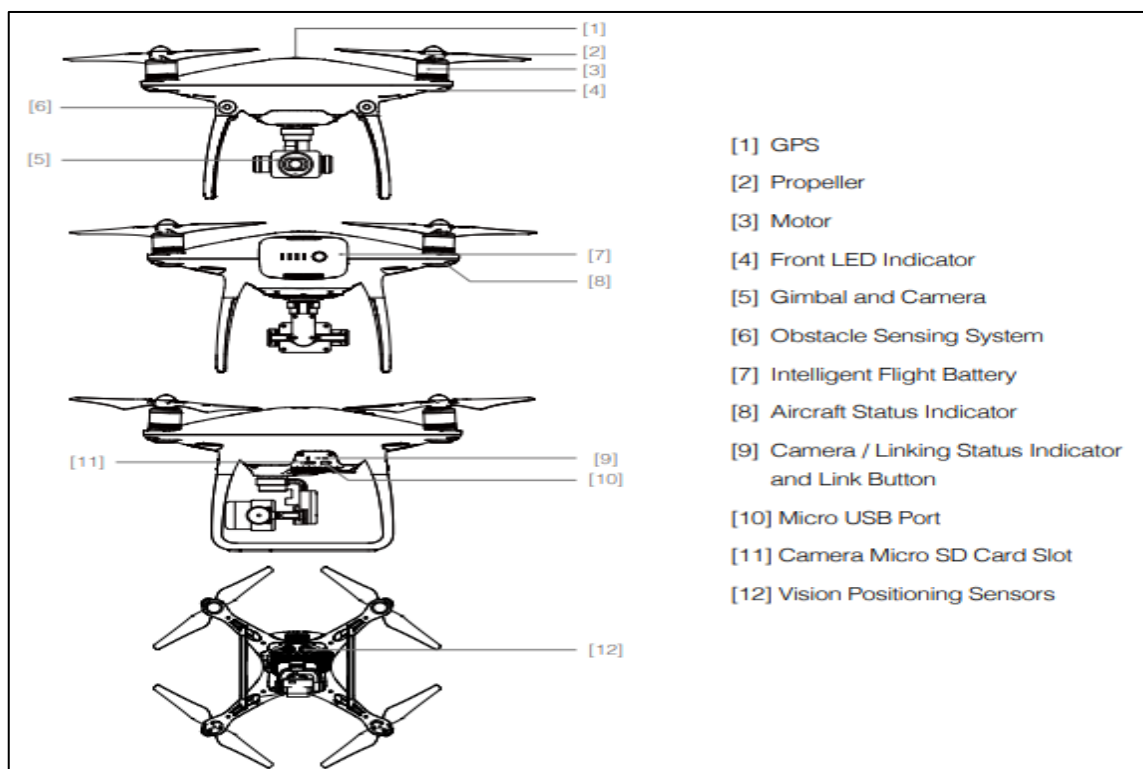


Figura 6-3. Diagrama de los componentes del dron

Fuente: Dji, 2016

La cámara multiespectral cuenta con 4 conectores: (Micasense, 2019)

- Alimentación/disparo de captura (PWR/TGR).
- Módulo sensor de luz DSL/módulo GPS (DSL/GPS).
- Conector USB para el módulo WIFI.
- Puerto de conexión Ethernet (COMM).

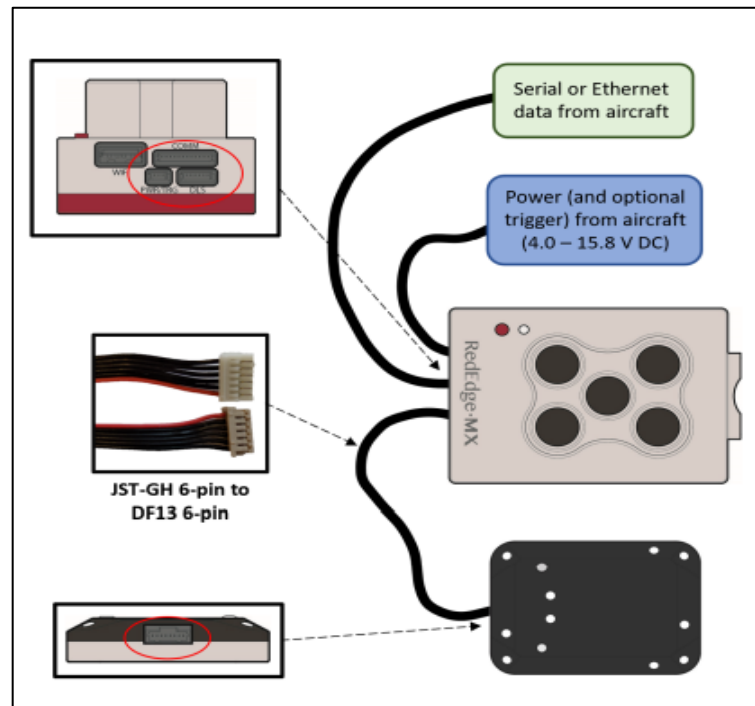


Figura 7-3. Conexión de los elementos del sensor multiespectral

Fuente: Micasense, 2019

El acople de la cámara multiespectral al dron se obtuvo mediante el diseño de tres piezas, cumpliendo con características de resistencia y ligereza, para lo cual se utilizó un programa de modelamiento tridimensional y una impresora 3D. La figura 8-3 muestra la primera pieza, una placa que sirvió para sostener y fijar la cámara multiespectral preservando su seguridad e integridad.

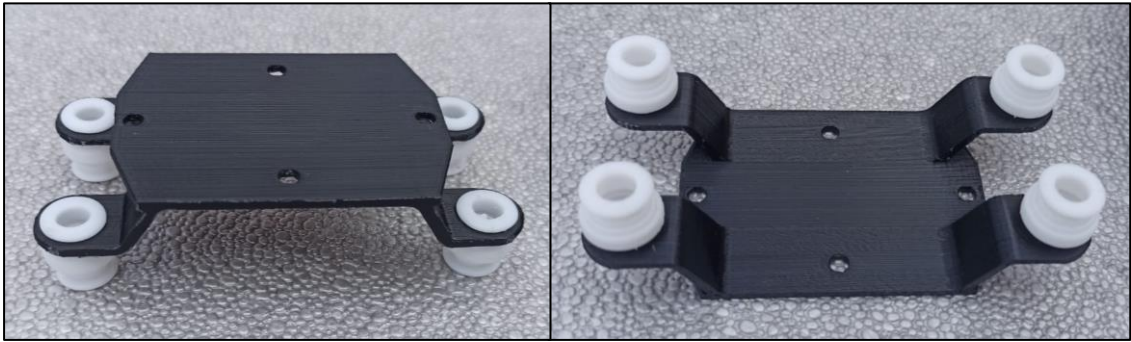


Figura 8-3. Placa impresa para la Cámara Multiespectral Micasense RedEdge-MX

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La figura 9-3 muestra la segunda pieza, siendo la conexión entre la placa de la cámara multiespectral y el tren de aterrizaje del dron Phantom 4, además de sostener del módulo (DSL/GPS).

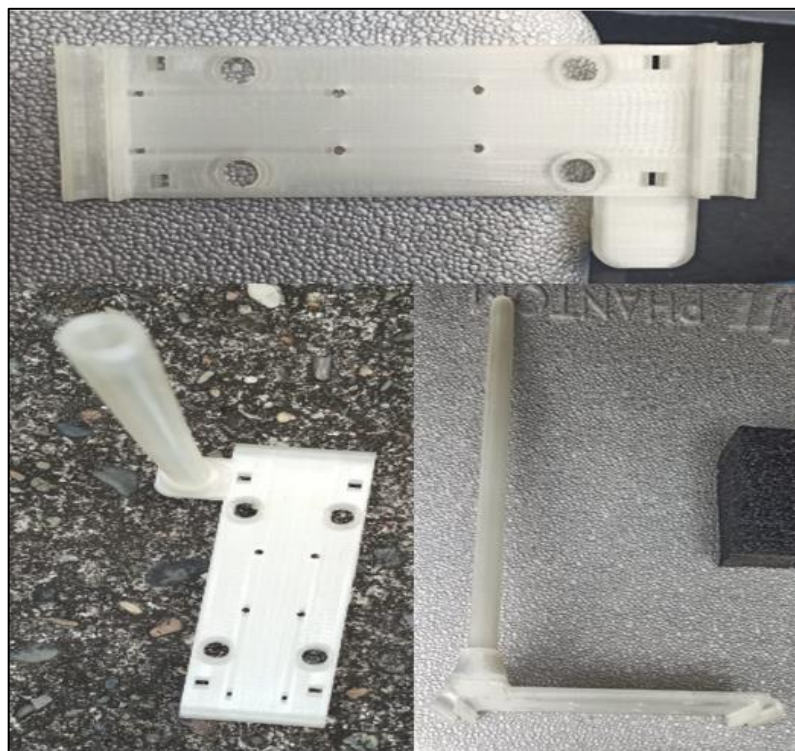


Figura 9-3. Acople impreso para la Cámara Multiespectral

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La última pieza tiene la función de sujetar la batería de la cámara multispectral al dron como se aprecia en la figura 10-3.



Figura 10-3. Soporte para la batería de la Cámara Multispectral

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la Figura 11-3 se observa al sistema de adquisición de imágenes multispectrales, cada una de las piezas de acople sujetan tanto a la cámara MicaSense RedEdge-MX como a su batería externa al dron Phantom 4 y el módulo GPS/ DSL montado en un soporte.

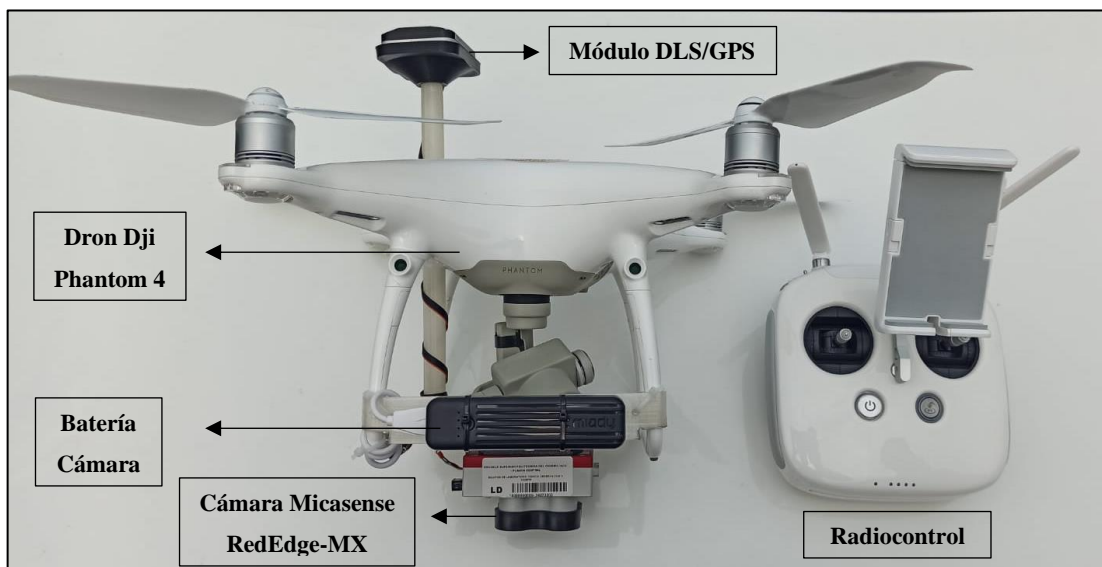


Figura 11-3. Sistema de adquisición de imágenes

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.3.3 Adquisición de imágenes multispectrales

Para realizar el proceso de captura de imágenes, la cámara multispectral precisa de una configuración previa al vuelo, colocando la antena WI-FI de la cámara se accede al menú desde un navegador de internet, utilizando la dirección IP 192.168.10.254 y la contraseña “micasense”, una vez habilitado el menú, se despliega la interfaz de la cámara de la cámara, como se muestra en la Figura 12-3.

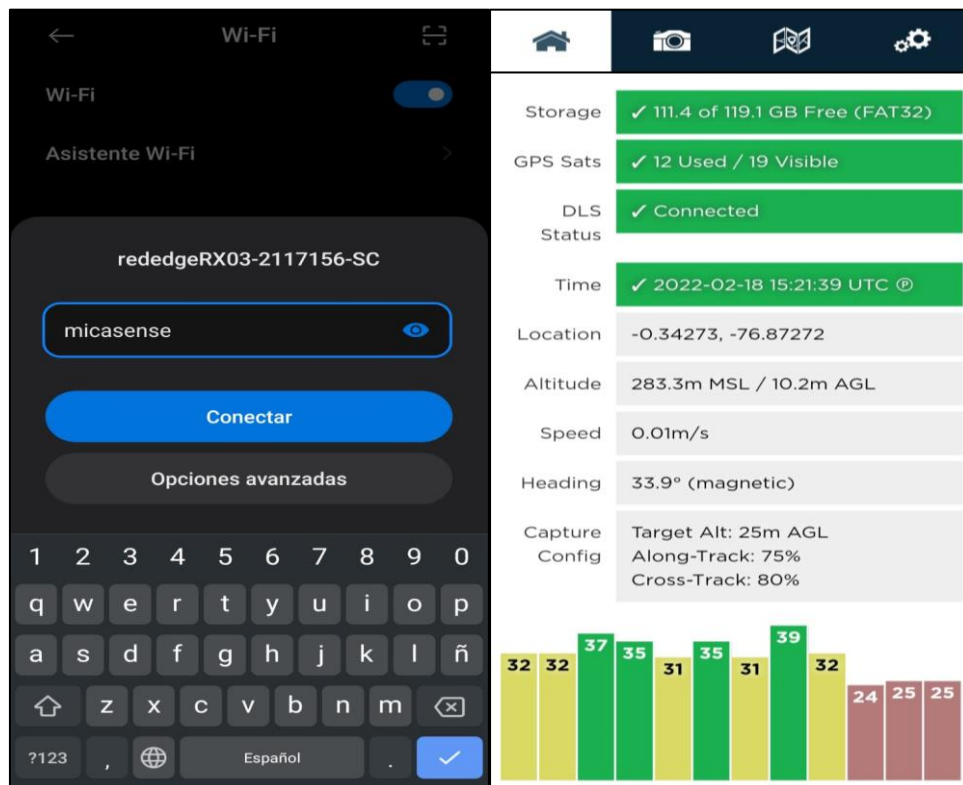


Figura 12-3. Menú principal de la cámara Micasense RedEdge-Mx

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La Figura 13-3 muestra el modo de captura de la cámara, se elige todas las bandas, en las configuraciones básicas, en el modo de auto captura se selecciona la opción “Overlap”, el porcentaje de superposición de 75%, en “Target Alt” es la altura a la que volara el dron, mientras que “Target Alt Tolerance” es la altura a la que la cámara empezara a capturar imágenes, una vez realizados estos ajustes deberán ser guardados mediante la opción “Save”.

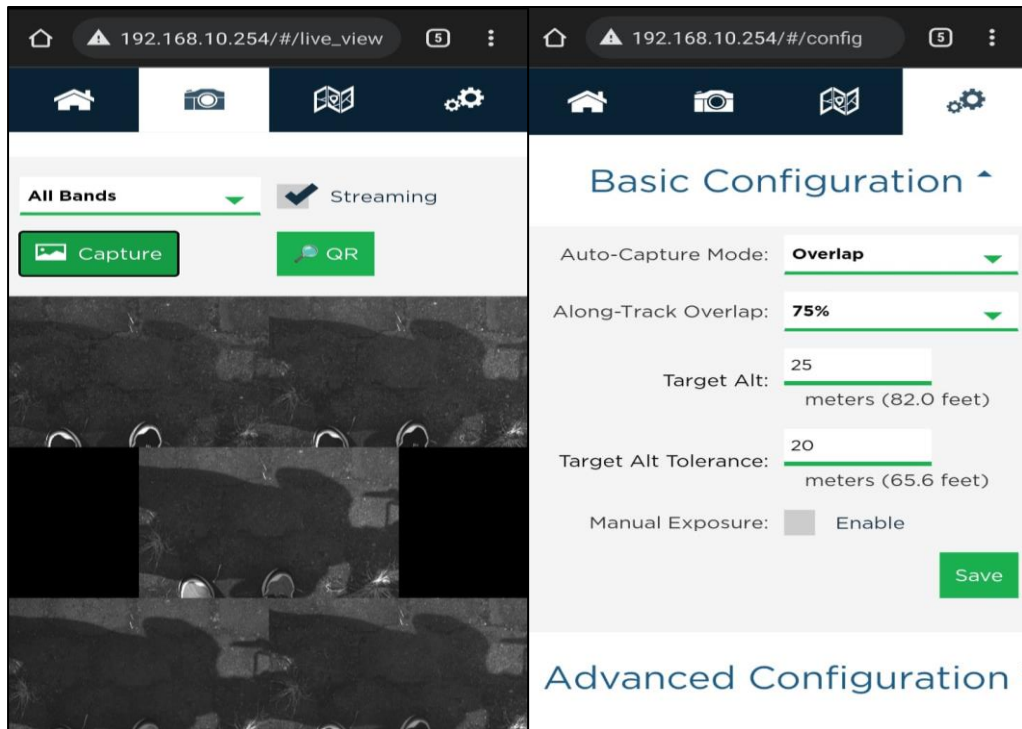


Figura 13-3. Configuraciones de la cámara Micasense RedEdge-Mx

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

A una altura aproximada de 1 metro, sin hacer sombra al panel de calibración se realiza la captura de imágenes de dicho panel, calibrando los valores de reflectancia de la cámara antes de empezar el plan de vuelo, como se observa en la Figura 14-3.



Figura 14-3. Calibración de los valores de reflectancia

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La misión de vuelo se la realiza mediante la aplicación de software DroneDeploy, automatiza el vuelo y también facilita la captura de imágenes aéreas. En la Figura 15-3 se aprecia la interfaz de la aplicación con los parámetros establecidos para que el dron realice el barrido y adquisición de imágenes de la parcela de cacao.



Figura 15-3. Progreso de la misión en las parcelas de cacao con la aplicación DroneDeploy.

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la Figura 16-3 se observa el sobrevuelo de la parcela de cacao, mediante el uso del dron Phantom 4 con la aplicación DJI GO4.



Figura 16-3. Sobrevuelo del dron Dji Phantom 4.

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.4 Procesamiento de imágenes multiespectrales

3.4.1 Desarrollo del Programa de Procesamiento de Imágenes Multiespectrales

3.4.1.1 Calibración geométrica

Estudios realizados han demostrado que, para conseguir resultados de alta calidad, es importante realizar una adecuada calibración de la cámara multiespectral, sus parámetros pueden cambiar debido a la tensión mecánica (durante el uso físico de la cámara), cambios de temperatura y envejecimiento del hardware. (Frontera, Smith y Marsh, 2020)

La utilización del co-registro de bandas es fundamental cuando se hace uso de cámaras multibanda, los errores de registro presentan inconsistencias significativas al momento de manejar estos datos en algún software, por lo tanto, los avances investigativos en la última década proponen un método de co-registro, utilizando descriptores SURF, teniendo en cuenta las diferencias en la distorsión de la lente y las diferentes posiciones de las lentes en la cámara. (Shahbazi y Cortes, 2019)

A las imágenes captadas por la cámara multispectral, es preciso realizar un proceso de calibración geométrica, debido a las propiedades y características físicas de la cámara Micasense RedEdge-Mx, sus lentes tienden a capturar las imágenes de cada banda espectral con cierto desplazamiento en módulo y fase, lo que significa errores en los resultados de procesamiento. Para lo cual, es imprescindible corregir dichas imágenes a través de la aplicación “Registration Estimator”, propia de Matlab, esta se encarga de ubicar las imágenes desplazadas de cada banda espectral, respecto a la imagen de la última banda de la cámara multispectral, encontrando los puntos en común y efectuando las correcciones del caso como se muestra en la Figura 17-3

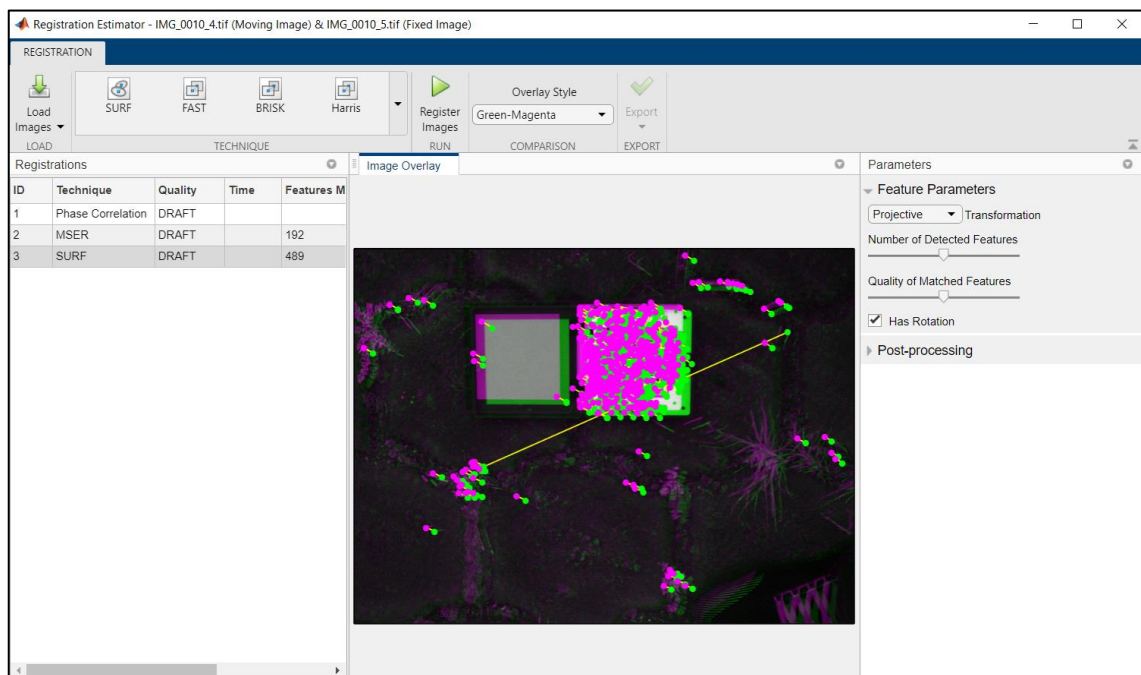


Figura 17-3. Detección de puntos para cada banda espectral en “Registration Estimator”

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La técnica SURF (Speeded Up Robust Features) asegura la obtención de las matrices, encontrando y detectando los puntos de interés en los objetos, con un bajo coste computacional por medio de determinantes hessianas, localizando su posición asociada a la segunda imagen y así disponer un sentido de orientación. (Patiño Ordoñez, 2012)

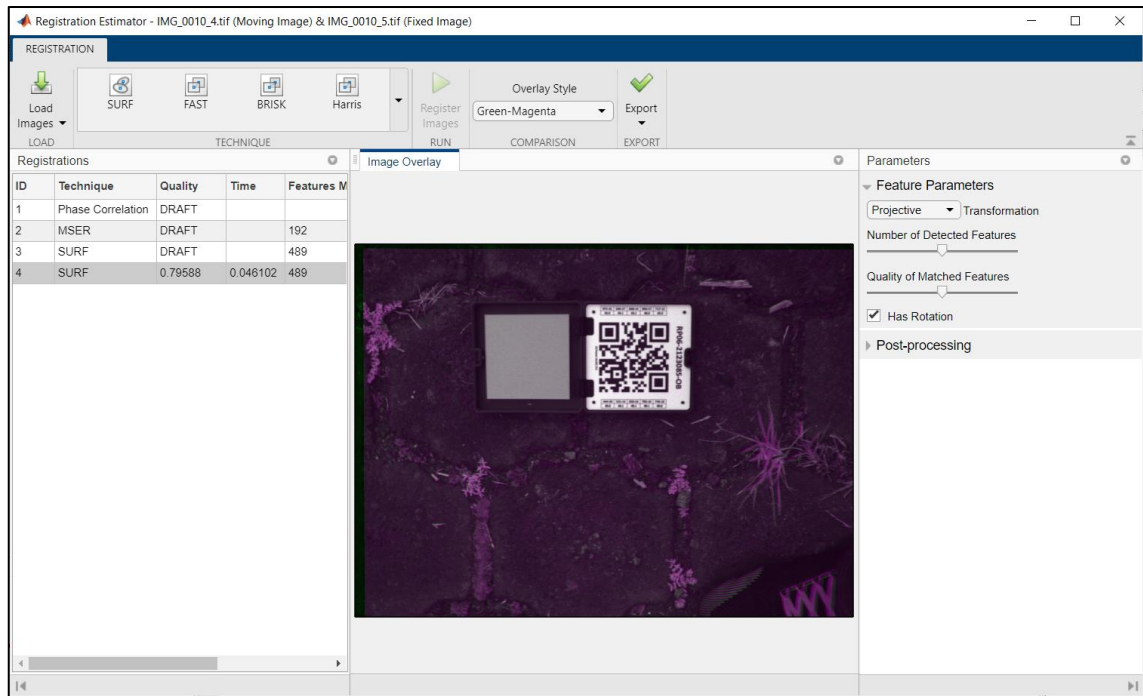


Figura 18-3. Corrección de puntos de la imagen espectral

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.4.1.2 Corrección radiométrica

Al momento de hacer uso de sensores multispectrales, hay que recordar que las firmas espectrales dependen en gran medida de la luz y las condiciones atmosféricas, esto es esencial cuando se recopilan datos para análisis multitemporales. Las investigaciones en procedimientos de adquisición de imágenes en un ambiente controlado siguen en desarrollo, así como técnicas para reducir el ruido y métodos para el posprocesamiento de las imágenes (Frontera, Smith y Marsh, 2020). MicaSense propone un método de conversión de los valores de píxel en bruto, en valores de radiación espectral absolutos utilizando el sensor de luz descendente (DLS) integrado que proporciona valores de irradiancia para cada banda. (Micasense, 2017)

La Ecuación 1-3 representa al modelo de corrección radiométrica RedEdge utilizado para calcular la radiancia absoluta.

$$L = V(x, y) * \frac{a_1}{g} * \frac{p - p_{BL}}{t_e + a_2y - a_3t_e y}$$

Ecuación 1-3: Conversión de píxeles a radiancia

Donde,

p : valor normalizado de píxel.

p_{BL} : valor normalizado de nivel de negro.

a_1, a_2, a_3 : coeficientes de corrección radiométrica.

$V(x, y)$: función polinomial de viñeta por cada posición píxel (x, y) .

t_e : tiempo de exposición de la imagen.

g : configuración de ganancia de la cámara.

(x, y) : columnas y filas de pixeles.

L : radiancia espectral en W/m² /sr/nm.

La Ecuación 2-3 define el proceso de normalización de los pixeles en un rango de 0 a 1. Mediante las propiedades de la imagen se puede verificar su tamaño (número de bits), dato relevante en la aplicación de la ecuación.

$$p = \frac{\text{imagen } n \text{ bits}}{2^n \text{ bits}}$$

Ecuación 2-3: Normalización de pixeles

El modelo de calibración de viñeta corrige el problema de la reducción de sensibilidad de luz en los pixeles más alejados del centro de la imagen. (Micasense, 2017)

$$r = \sqrt{(x - C_x)^2 + (y - C_y)^2}$$

Ecuación 3-3: Radio de la viñeta

$$k = 1 + k_0 * r + k_1 * r^2 + k_2 * r^3 + k_3 * r^4 + k_4 * r^5 + k_5 * r^6$$

Ecuación 4-3: Factor de corrección de calibración

$$I_{\text{corregido}}(x, y) = \frac{I(x, y)}{k}$$

Ecuación 5-3: Intensidad corregida

Donde,

r : distancia del píxel (x, y) desde el centro de la viñeta, en píxeles.

(x, y) : coordenada del píxel que se está corrigiendo.

k : factor de corrección por el cual se debe dividir el valor de píxel sin procesar para corregir la viñeta.

$I(x, y)$: intensidad original del píxel en x, y .

$I_{\text{corregido}}(x, y)$: es la intensidad corregida de píxel en x, y .

Todos los metadatos requeridos en las ecuaciones 3-3 y 4-3 se pueden obtener mediante el programa exiftool que son: (cx, cy) el centro del viñeteado, los coeficientes polinomiales de viñeteado y de corrección radiométrica.

La Ecuación 6-3 expresa el cálculo del factor de corrección de reflectancia, es preciso reconocer los píxeles del panel de calibración, además de los valores promedios de corrección que se encuentran propiamente en el panel, con esta información se procede a transformar a valores de radiancia.

$$F_i = \frac{p_i}{\text{avg}(L_i)}$$

Ecuación 6-3: Calibración de reflectancia

Donde,

F_i : factor de calibración de reflectancia para la banda i .

p_i : reflectancia promedio del CRP para la banda i (de los datos de calibración del panel proporcionados por Micasense).

$\text{avg}(L_i)$: valor promedio de la radiancia de los píxeles dentro del panel para la banda i .

Los datos de calibración que se encuentran en el panel de la cámara son valores de fábrica:

Banda Azul: 0.490

Banda Verde: 0.491

Banda Rojo: 0.491

Banda Cercano Infrarrojo (NIR): 0.491

Banda Borde Rojo: 0.490

Una vez que las imágenes del panel de calibración han sido cargadas con éxito a la aplicación, se procedió a realizar la detección de los píxeles en dichos paneles, si el proceso es válido se extraen los valores de calibración. La Figura 19-3 muestra el proceso de binarizar la imagen con el objetivo de eliminar todo el ruido generado por elementos que se encuentran en el medio.

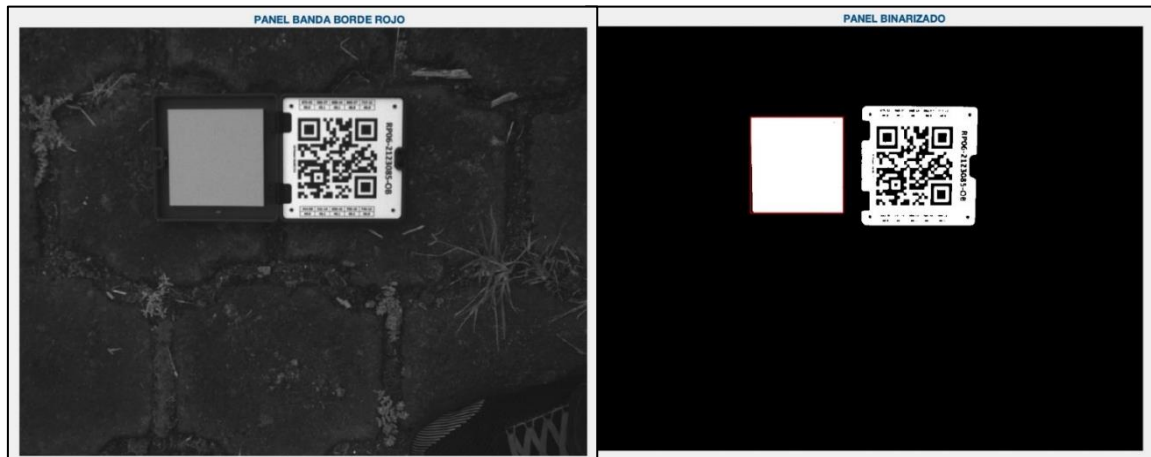


Figura 19-3. Imagen espectral de borde rojo y binarizada del panel de calibración

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

La función “regionprops” extrae la información de la imagen binaria, para posteriormente identificar los rectángulos presentes en la imagen gracias a la función “BoundingBox”, a partir de estos procesos la función “rectangle” se encarga de identificar el panel de acuerdo al área, con el objeto de almacenar las coordenadas y crear una imagen binaria únicamente del panel como se muestra en la Figura 20-3. (Chávez Revelo, 2021)

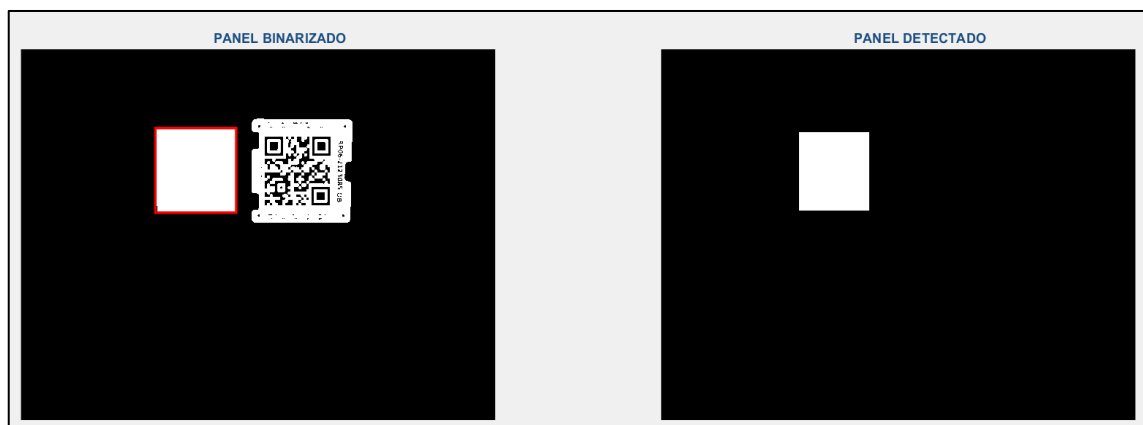


Figura 20-3. Detección y construcción de imagen binaria del panel de calibración

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.4.1.3 APP DESIGNER

La aplicación Cocoa Plantation Analyzer fue diseñada mediante App Designer, puesto que es un entorno de desarrollo interactivo de aplicaciones, proporcionando una versión totalmente integrada del editor de MATLAB, además de múltiples componentes interactivos de la IU. La interfaz de la aplicación es muy amigable con el usuario, cabe destacar las acciones de “CARGA DE IMÁGENES”, donde en una ventana se visualiza las imágenes en las diferentes bandas espectrales, así también los índices de vegetación y la sección de segmentación como se observa en la Figura 21-3.



Figura 21-3. Panel principal de la interfaz desarrollada mediante APP DESIGNER Matlab

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la interfaz principal, los botones realizan acciones como: carga de imágenes para cada banda, procesamiento de las imágenes, un panel de calibración, realizar el proceso de calibración y los cálculos para hallar los índices de vegetación NDVI, NDRE y SAVI. Los resultados del procesamiento se muestran en los paneles tipo *axes*: la imagen RGB, las imágenes de los índices de vegetación con escalas de color y la imagen segmentada en cuatro zonas; vegetación sana, normal y estresada o enferma, además del suelo desnudo.

3.4.1.4 Imagen RGB

El proceso de adquisición de imágenes mediante el dron y la cámara en las parcelas de cacao de la ciudad del Sacha, arroja una imagen de un área determinada en cinco bandas espectrales, una vez realizada las respectivas correcciones de luminosidad se utilizó para la construcción de la imagen multiespectral RGB, las bandas Red, Green y Blue.

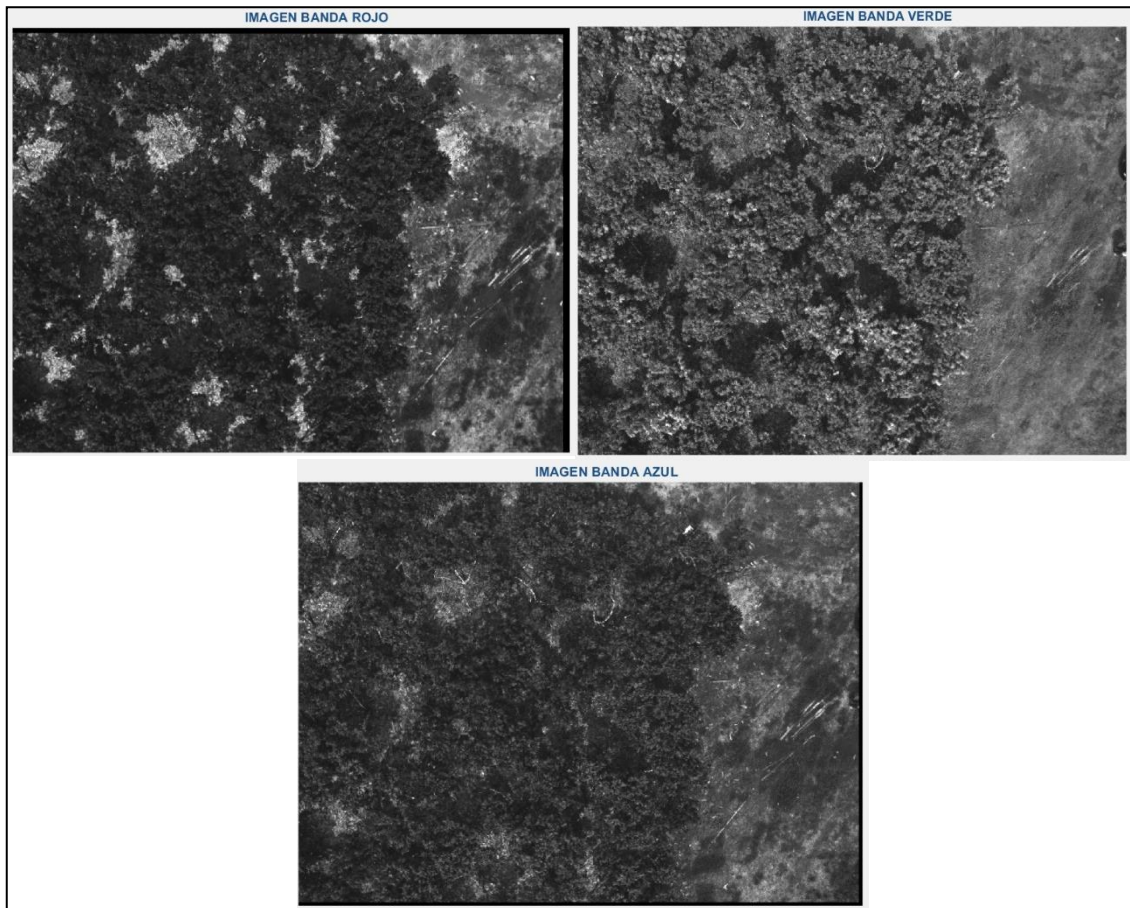


Figura 22-3. Bandas espectrales red, green y blue

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022



Figura 23-3. Imagen multiespectral RGB

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.4.1.5 Cálculo de los índices de vegetación

En cuanto al cálculo de los índices de vegetación, es necesario que las imágenes se encuentren calibradas para posteriormente combinar las diferentes bandas espectrales roja, infrarroja y de borde rojo y obtener los índices de vegetación NDVI, NDRE y SAVI. Las plantas cuando se encuentran en proceso de la fotosíntesis reflejan la luz de la banda NIR tomando una tonalidad de color blanco para distinguir la parte del cultivo y negro para la sedimentación del suelo, mientras que la banda Roja refleja de manera opuesta la vegetación y el suelo.

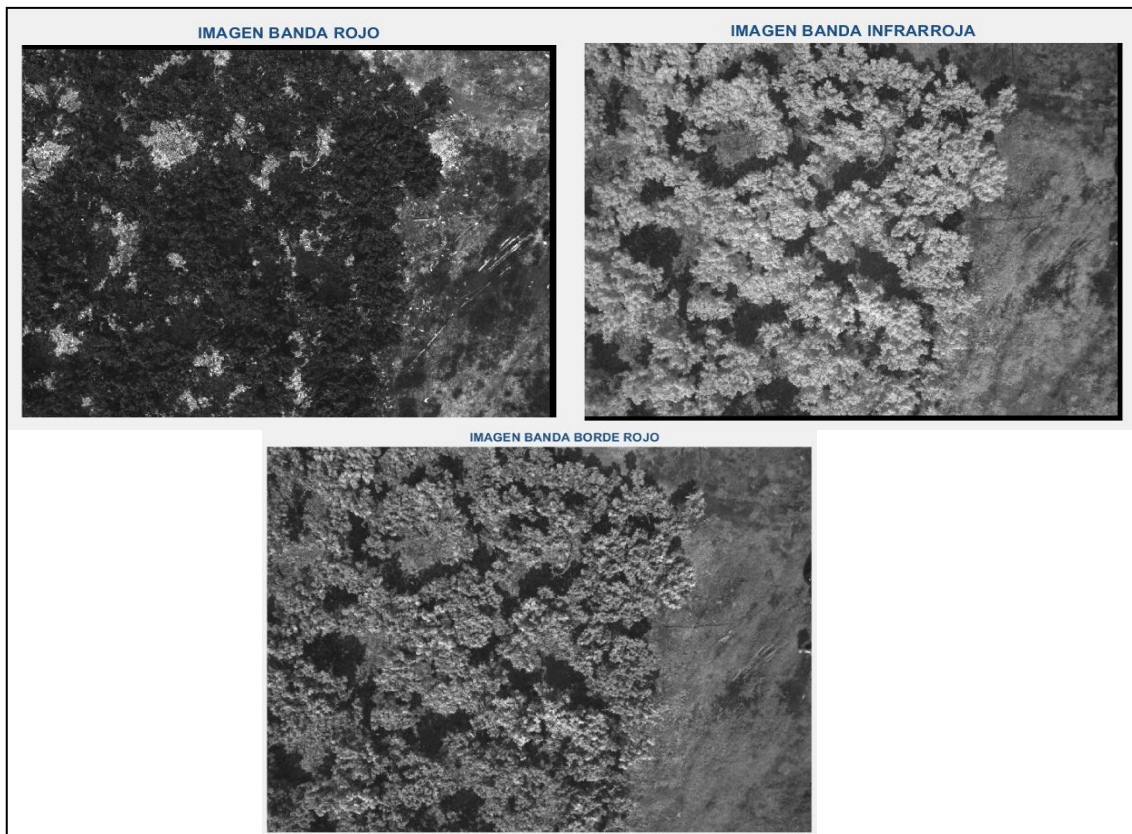


Figura 24-3. Bandas espectrales red, infrarrojo y borde rojo

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

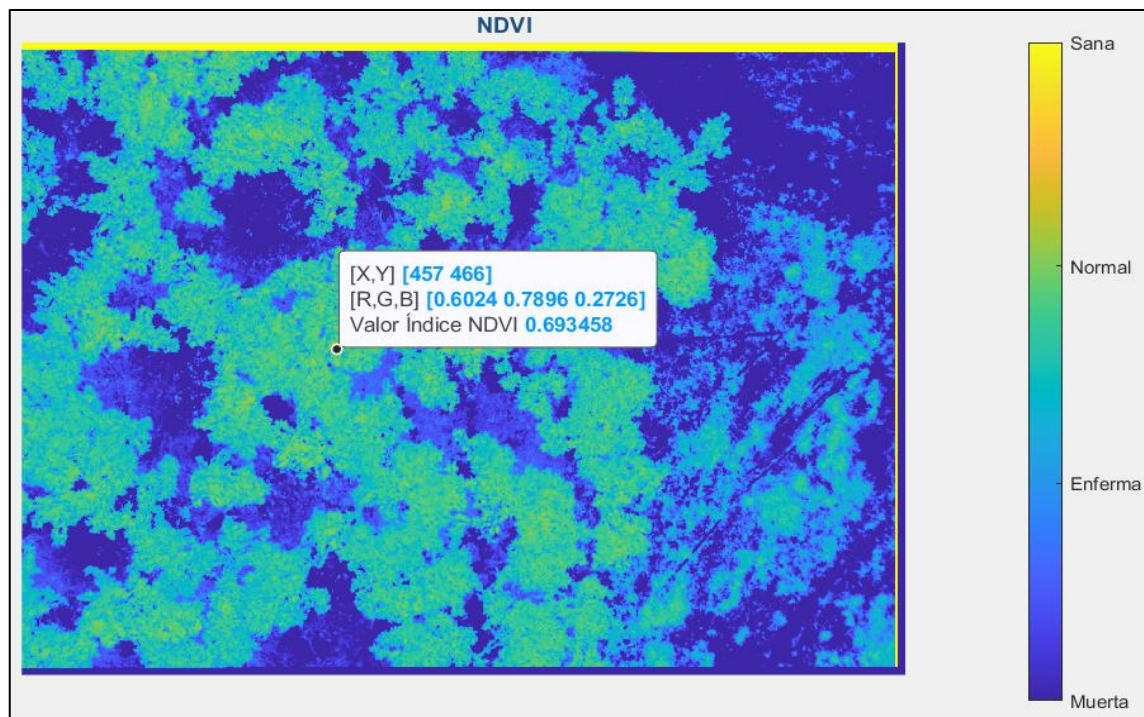


Figura 25-3. Índice de vegetación NDVI

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

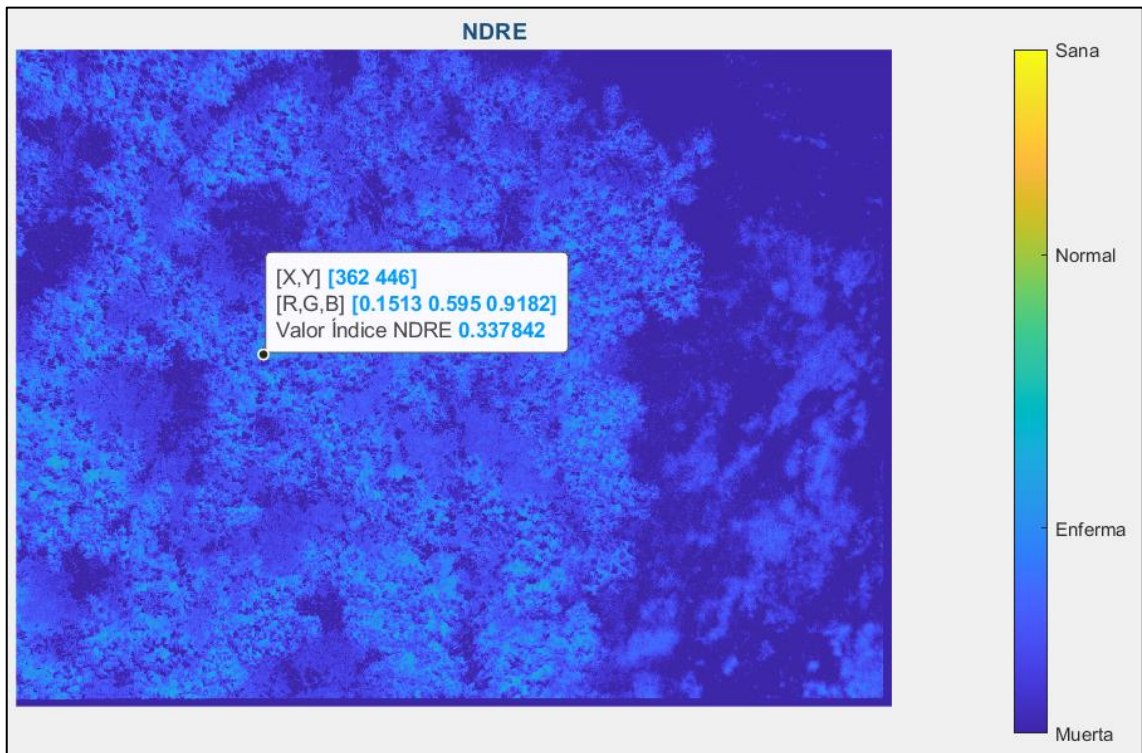


Figura 26-3. Índice de vegetación NDRE

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

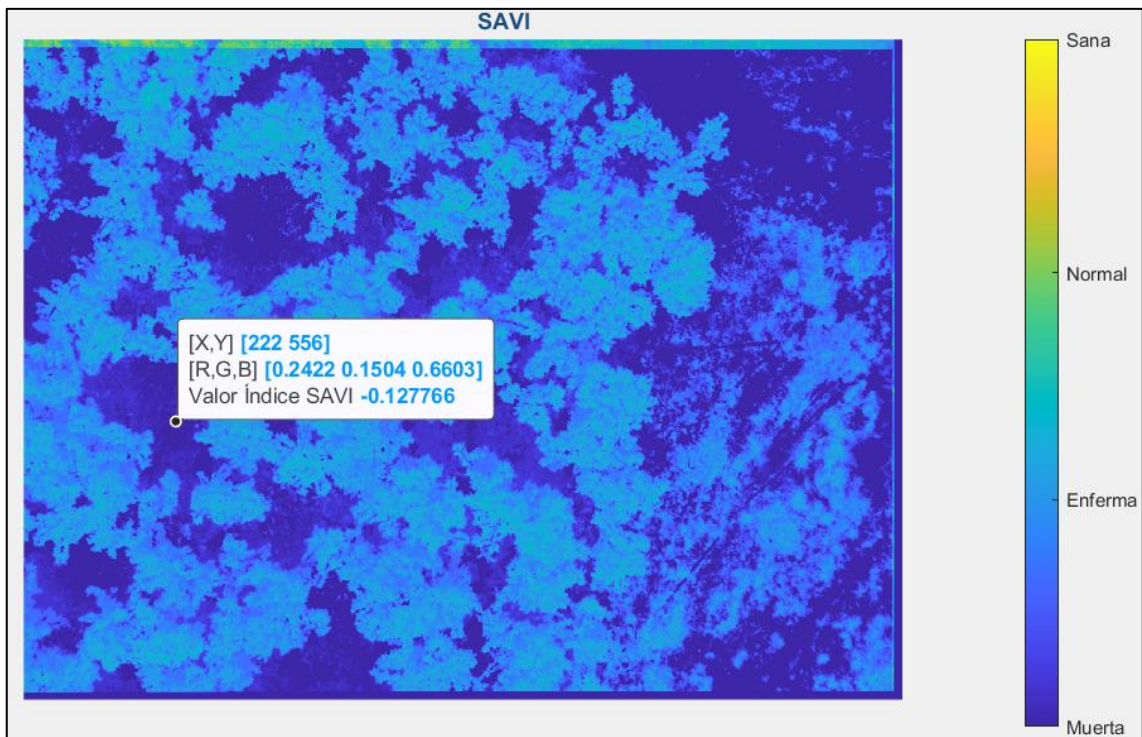


Figura 27-3. Índice de vegetación SAVI

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

3.4.1.6 Segmentación

La segmentación de las plantaciones se la hará bajo los criterios estudiados con anterioridad, se utilizaron cuatro indicadores: vegetación sana, normalmente sana, enferma o estresada y muerta o tierra. Con la finalidad de evaluar el estado de salud de los cultivos de cacao, se utilizó el índice de vegetación NDVI, los valores negativos representan una planta muerta, rocas o suelo desnudo, y los valores positivos muestran el estado de salud de dicha vegetación, divididos en intervalos como se indica en la Figura 27-3.

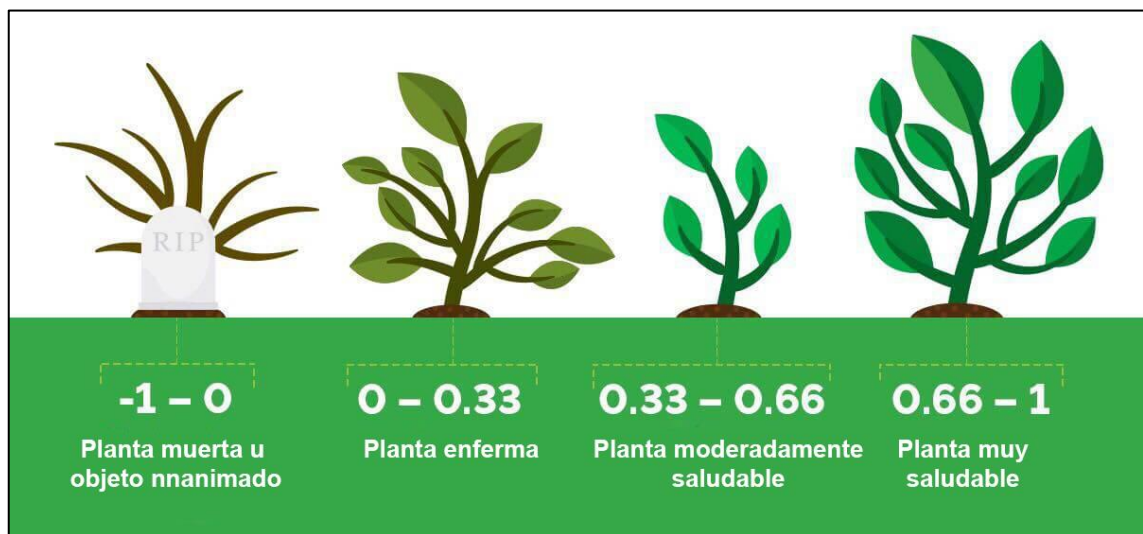


Figura 28-3. Escala de valoración de salud vegetal por NDVI

Fuente: <https://www.elagrario.com/agricultura-ndvi-todo-sobre-la-tecnologia-que-esta-revolucionando-el-agro-10512.html>

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1 Prueba de vuelo

Las pruebas de vuelo del VANT en las parcelas de cacao, tuvo como finalidad comprobar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición de imágenes, obteniendo resultados favorables para la recolección de datos. Las misiones de vuelo se realizaron a una altura de 25 m sobre el suelo, donde la cámara Micasense RedEdge-MX acoplada al dron Phantom 4 procedió hacer la captura de imágenes multiespectrales con absoluta normalidad, como se observa en las Figuras 1-4 y 2-4.



Figura 1-4. Despegue del dron Dji Phantom 4

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022



Figura 2-4. Sobrevuelo en la parcela de cacao

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

4.2 Análisis de resultados

La comprobación de los resultados obtenidos por la aplicación Cocoa Plantation Analyzer se consiguió mediante el análisis de las mazorcas de cacao, mismas que se encontraban con diferente estado de salud, a fin de tener una óptima apreciación de los valores del índice NDVI como se observa en las Figura 3-4 y 4-4.

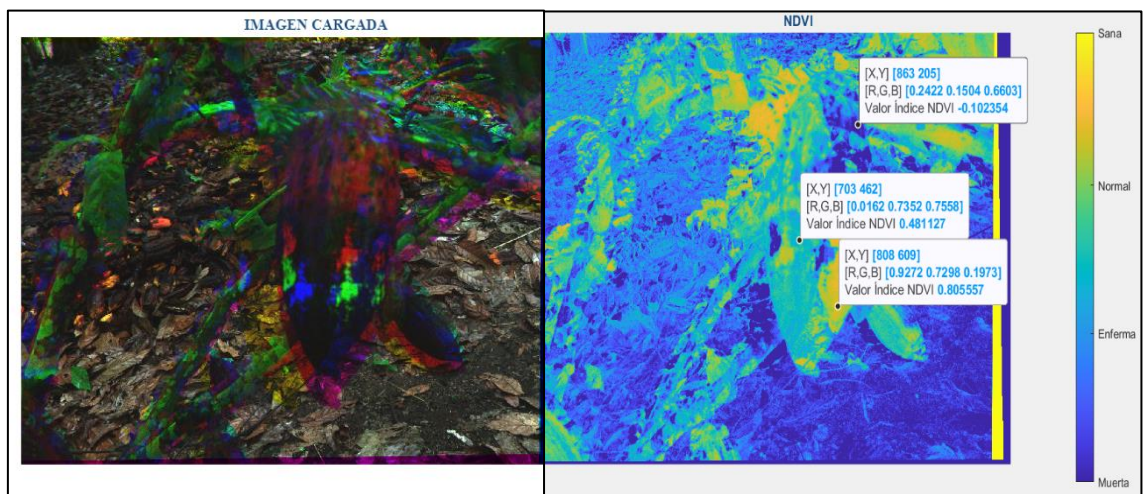


Figura 3-4. Análisis NDVI de muestra enferma de cacao

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

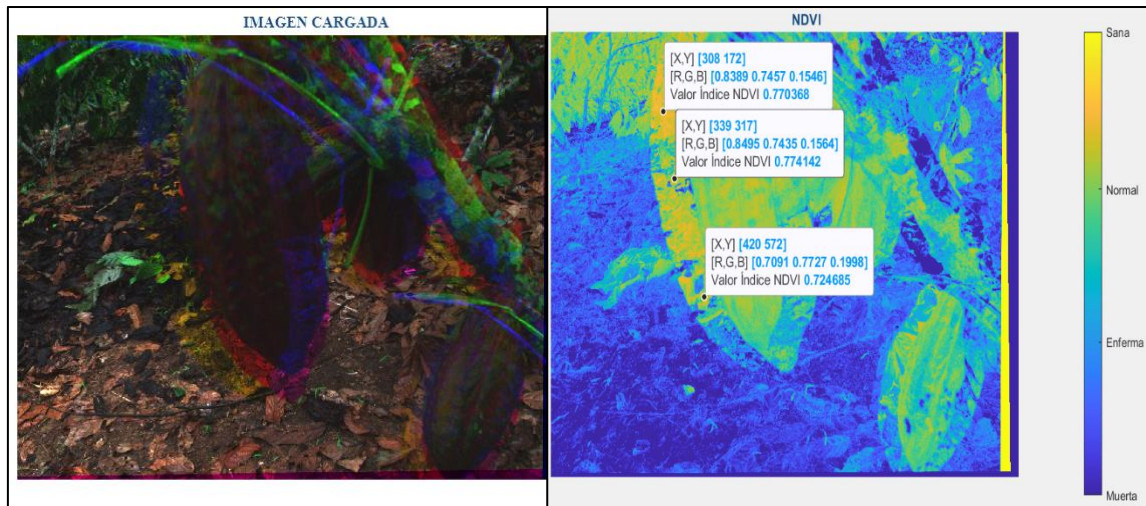


Figura 4-4. Análisis NDVI de muestra sana de cacao

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la Figura 3-4, gracias a la escala de colores se puede apreciar de manera más clara y precisa una mazorca de cacao mayormente enferma, corroborando con los datos extraídos del índice NDVI, con valores; 0.805 para ciertas zonas de la mazorca que se encuentra saludables, 0.381 rangos de valores de una planta enferma y -0.102 debido a la afectación de la plaga monilia. Mientras que en la Figura 4-4 se observa intervalos de valores entre 0.724 y 0.774 denotando un estado de salud muy favorable.

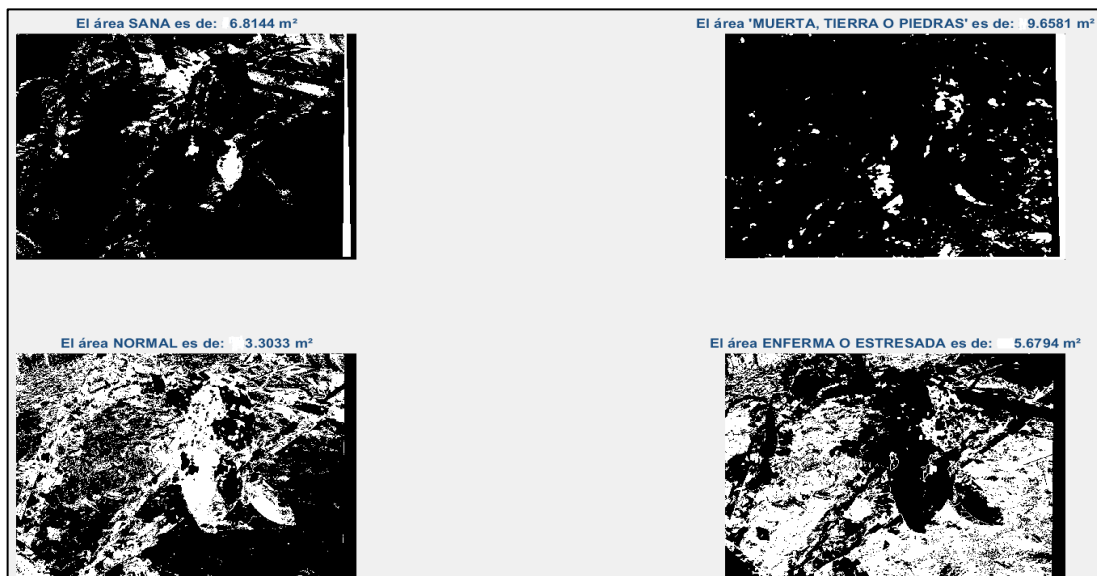


Figura 5-4. Segmentación de la mazorca de cacao enferma por NDVI

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

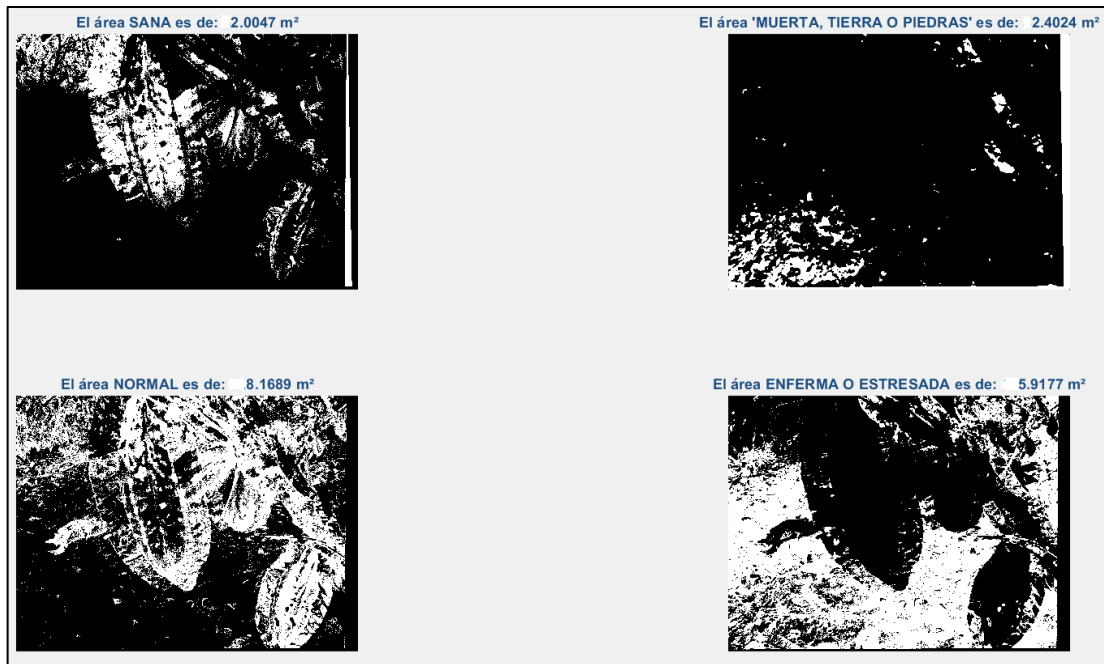


Figura 6-4. Segmentación de la mazorca de cacao sana por NDVI

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

Las Figuras 5-4 y 6-4 describen el proceso de filtrado y segmentación de las imágenes de la mazorca afectada por la plaga monilia y la mazorca sana de cacao respectivamente, a partir de los intervalos obtenidos de los cálculos de índices de vegetación, los colores blanco y negro son la representación de la planta, de acuerdo con su indicador y el área de acuerdo a la altura a la que la imagen fue captada.

4.2.1 Análisis de índices de vegetación

Los resultados que se muestran en la Figura 7-4 de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer en la parcela de cultivo de cacao, capturada a una altura de 25 metros, mediante el índice NDVI permite observar cómo se encuentra la parte alta de la plantación, la cual presenta mayor actividad de clorofila indicando que cada árbol se encuentra normalmente sano, con valores entre 0.02 a 0.78 de los píxeles obtenidos de la imagen, el índice NDRE permite determinar el estado de cultivo en la parte baja por su mayor penetración por la longitud de la banda de borde rojo, donde se logra observar que se encuentran normalmente sano el estado del cultivo en sus hojas bajas con un valor máximo de 0.71 y mínimo de -0.64. Mientras el índice SAVI logra con su factor de corrección de ajuste al suelo distinguir de mejor manera la parte que corresponde a tierra en el cultivo con un valor pico mínimo de -0.82. Este proceso se realizó para cada una de las 192 muestras obtenidas por la cámara Micasense RedEdge-Mx al momento de hacer el barrido multispectral en los sembríos de cacao, la información a detalle esta especificada en los Anexos D, E y F.

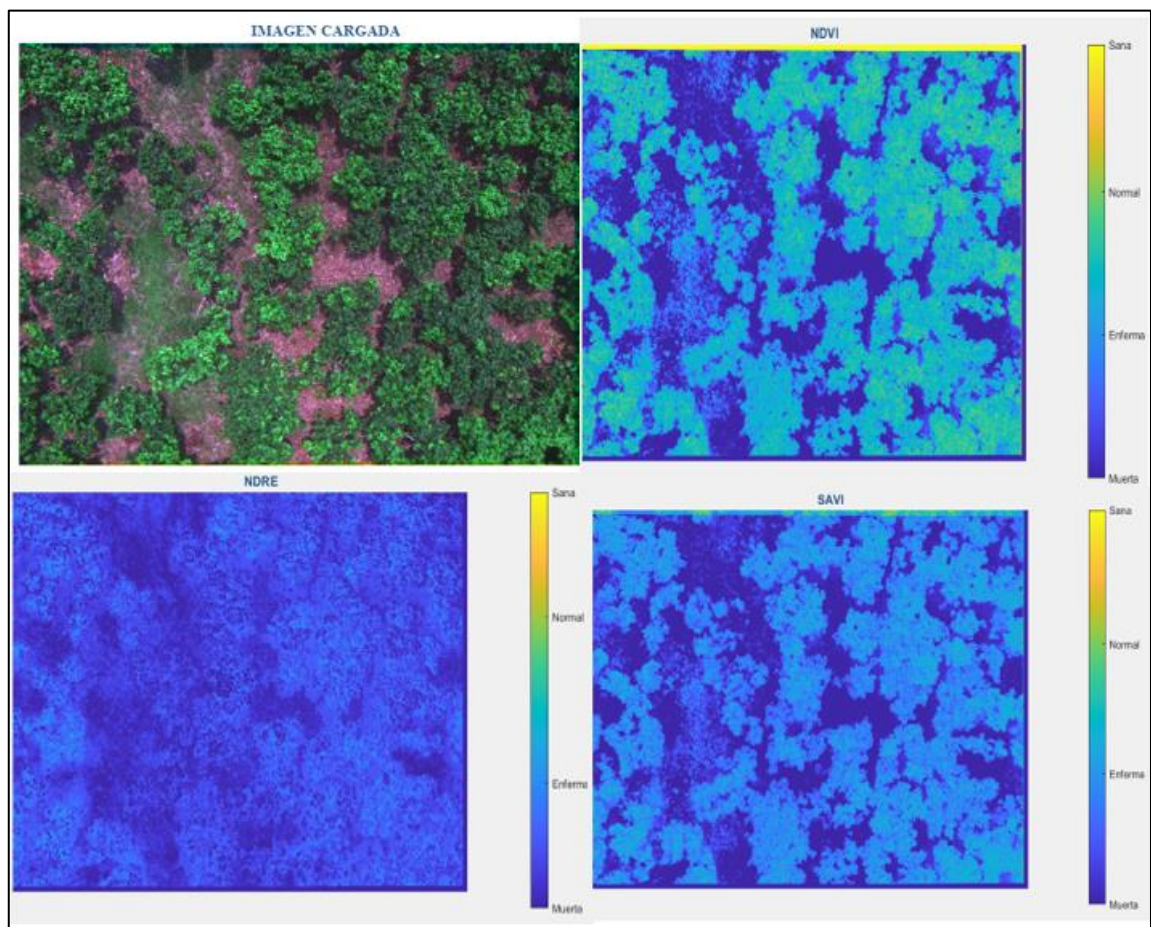


Figura 7-4. Análisis de índices de vegetación parcela de cacao

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

En la Figura 8-4 presenta el resultado de la segmentación del índice de vegetación NDVI, como se aprecian las regiones del cultivo de cacao de acuerdo a su estado de salud. De igual forma determina el área de cada región de acuerdo a la altura de vuelo de 25 m, donde se obtiene como resultados; 5.9011 m² de área sana, normalmente sana con 191.5574 m², enferma o estresada con 92.1624 m² y con un 75.5561 m² como tierra, piedra y plantas muertas con una resolución por píxel de 8.33 cm/píxel.

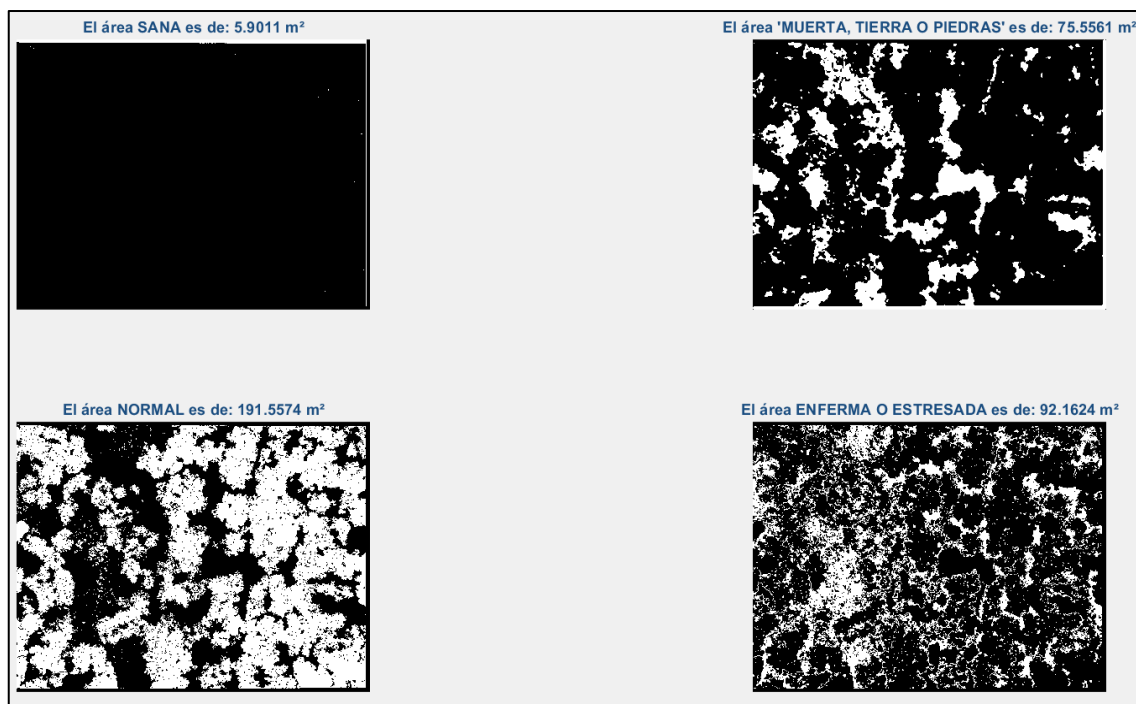


Figura 8-4. Segmentación del índice de vegetación NDVI en parcela de cacao

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

Obtenido los resultados de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer se procedió a verificar las zonas sanas, estresadas o afectadas por la plaga monilia en las plantaciones de cacao in situ, como se muestra en la Figura 9-4, gracias a la colaboración del técnico especialista agrónomo del INIAP, que forma parte del proyecto PATFA se realizó el recorrido a través de los cultivos con total normalidad. En los Anexos H, I, J y K se encuentran más imágenes de resultados observados en campo.



Figura 9-4. Resultados del cacao in situ

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

4.3 Validación de datos

El estudio de los capítulos anteriores en el marco de investigación de la presente tesis, han ido estableciendo de forma descriptiva, experimental y analítica el procesamiento de imágenes multiespectrales para la detección de la plaga monilia en cacao. Es necesario realizar el proceso de comprobación de una hipótesis, estableciendo la relación entre los hechos y causas que lo preceden, para su validación se utilizó la prueba estadística chi-cuadrado de Pearson con el objetivo de dictaminar si se acepta o se descarta la hipótesis planteada.

4.3.1 Planteamiento de hipótesis

H_0 = La aplicación Cocoa Plantation Analyzer permite detectar la plaga monilia en plantaciones de cacao de la ciudad del Sacha, evaluando su estado de salud mediante el cálculo y análisis de índices de vegetación (NDVI, NDRE, SAVI), basado en la teledetección y procesamiento de imágenes multiespectrales.

H_1 = La aplicación Cocoa Plantation Analyzer no permite detectar la plaga monilia en plantaciones de cacao de la ciudad del Sacha, evaluando su estado de salud mediante el cálculo y análisis de índices de vegetación (NDVI, NDRE, SAVI), basado en la teledetección y procesamiento de imágenes multiespectrales.

4.3.2 Cálculo de chi-cuadrado

Para la obtención del chi-cuadrado fue necesario tabular 192 muestras de imágenes multiespectrales, los valores máximos y mínimos corresponden a los índices de vegetación NDVI, NDRE y SAVI que fueron calculados a través de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer. Para realizar una validación de datos exitosa se utilizó el programa QGIS, extrayendo los mismos valores para cada índice de vegetación, como se observa en los Anexos D, E y F.

$$X^2_{calc} = \sum \frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$$

Ecuación 1-4: Cálculo de chi-cuadrado

Donde,

F. O: valores de frecuencia observada.

F. E: valores de frecuencia esperada.

La Tabla del Anexo G, describe el valor promedio obtenido de la aplicación Cocoa Plantation para cada uno de los índices de vegetación, siendo este el valor de frecuencia observado, mientras que el valor intermedio correspondiente al programa QGis, se denotara como el valor de frecuencia esperado.

Los resultados obtenidos para el chi cuadrado fueron los siguientes:

- NDVI: 0,071264
- NDRE: 0,466995
- SAVI: 0,130250

4.3.3 Cálculo de los grados de libertad

$$\text{Grados de libertad (v)} = (\text{Cantidad de filas} - 1) (\text{Cantidad de columnas} - 1)$$

Ecuación 2-4: Cálculo de grados de libertad

$$\text{Grados de libertad (v)} = (192-1) (2-1)$$

$$\text{Grados de libertad (v)} = 191$$

Donde,

α : 0,05(Nivel de confianza).

p: Probabilidad de encontrar un valor mayor o igual que el chi cuadrado tabulado.

Tabla 1-4: Distribución de valores Chi-Cuadrado crítico.

v/p	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
1	10,8274	7,8794	6,6349	5,0239	3,8415	2,7055	1,6424	1,0742	0,7083	0,4549
2	13,8150	10,5965	9,2104	7,3778	5,9915	4,6052	3,2189	2,4079	1,8326	1,3863
3	16,2660	12,8381	11,3449	9,3484	7,8147	6,2514	4,6416	3,6649	2,9462	2,3660
4	18,4662	14,8602	13,2767	11,1433	9,4877	7,7794	5,9886	4,8784	4,0446	3,3567
5	20,5147	16,7496	15,0863	12,8325	11,0705	9,2363	7,2893	6,0644	5,1319	4,3515
6	22,4575	18,5475	16,8119	14,4494	12,5916	10,6446	8,5581	7,2311	6,2108	5,3481
7	24,3213	20,2777	18,4753	16,0128	14,0671	12,0170	9,8032	8,3834	7,2832	6,3458
8	26,1239	21,9549	20,0902	17,5345	15,5073	13,3616	11,0301	9,5245	8,3505	7,3441
9	27,8767	23,5893	21,6660	19,0228	16,9190	14,6837	12,2421	10,6564	9,4136	8,3428
10	29,5879	25,1881	23,2093	20,4832	18,3070	15,9872	13,4420	11,7807	10,4732	9,3418
11	31,2635	26,7569	24,7250	21,9200	19,6752	17,2750	14,6314	12,8987	11,5298	10,3410
12	32,9092	28,2997	26,2170	23,3367	21,0261	18,5493	15,8120	14,0111	12,5838	11,3403
13	34,5274	29,8193	27,6882	24,7356	22,3620	19,8119	16,9848	15,1187	13,6356	12,3398
14	36,1239	31,3194	29,1412	26,1189	23,6848	21,0641	18,1508	16,2221	14,6853	13,3393
15	37,6978	32,8015	30,5780	27,4884	24,9958	22,3071	19,3107	17,3217	15,7332	14,3389

v/p	0,001	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
16	39,2518	34,2671	31,9999	28,8453	26,2962	23,5418	20,4651	18,4179	16,7795	15,3385
17	40,7911	35,7184	33,4087	30,1910	27,5871	24,7690	21,6146	19,5110	17,8244	16,3382
18	42,3119	37,1564	34,8052	31,5264	28,8693	25,9894	22,7595	20,6014	18,8679	17,3379
19	43,8194	38,5821	36,1908	32,8523	30,1435	27,2036	23,9004	21,6891	19,9102	18,3376
20	45,3142	39,9969	37,5663	34,1696	31,4104	28,4120	25,0375	22,7745	20,9514	19,3374
21	46,7963	41,4009	38,9322	35,4789	32,6706	29,6151	26,1711	23,8578	21,9915	20,3372
22	48,2676	42,7957	40,2894	36,7807	33,9245	30,8133	27,3015	24,9390	23,0307	21,3370
23	49,7276	44,1814	41,6383	38,0756	35,1725	32,0069	28,4288	26,0184	24,0689	22,3369
24	51,1790	45,5584	42,9798	39,3641	36,4150	33,1962	29,5533	27,0960	25,1064	23,3367
25	52,6187	46,9280	44,3140	40,6465	37,6525	34,3816	30,6752	28,1719	26,1430	24,3366
26	54,0511	48,2898	45,6416	41,9231	38,8851	35,5632	31,7946	29,2463	27,1789	25,3365
27	55,4751	49,6450	46,9628	43,1945	40,1133	36,7412	32,9117	30,3193	28,2141	26,3363
28	56,8918	50,9936	48,2782	44,4608	41,3372	37,9159	34,0266	31,3909	29,2486	27,3362
29	58,3006	52,3355	49,5878	45,7223	42,5569	39,0875	35,1394	32,4612	30,2825	28,3361
30	59,7022	53,6719	50,8922	46,9792	43,7730	40,2560	36,2502	33,5302	31,3159	29,3360
31	61,0980	55,0025	52,1914	48,2319	44,9853	41,4217	37,3591	34,5981	32,3486	30,3359
32	62,4873	56,3280	53,4857	49,4804	46,1942	42,5847	38,4663	35,6649	33,3809	31,3359
33	63,8694	57,6483	54,7754	50,7251	47,3999	43,7452	39,5718	36,7307	34,4126	32,3358
34	65,2471	58,9637	56,0609	51,9660	48,6024	44,9032	40,6756	37,7954	35,4438	33,3357
35	66,6192	60,2746	57,3420	53,2033	49,8018	46,0588	41,7780	38,8591	36,4746	34,3356
36	67,9850	61,5811	58,6192	54,4373	50,9985	47,2122	42,8788	39,9220	37,5049	35,3356
37	69,3476	62,8832	59,8926	55,6680	52,1923	48,3634	43,9782	40,9839	38,5348	36,3355
38	70,703	64,1812	61,1620	56,8955	53,3835	49,5126	45,0763	42,0450	39,5643	37,3354
39	72,0550	65,4753	62,4281	58,1201	54,5722	50,6598	46,1730	43,1053	40,5935	38,3354
40	73,4029	66,7660	63,6908	59,3417	55,7585	51,8050	47,2685	44,1649	41,6222	39,3353
45	80,0776	73,1660	69,9569	65,4101	61,6562	57,5053	52,7288	49,4517	46,7607	44,3351
50	86,6603	79,4898	76,1538	71,4202	67,5048	63,1671	58,1638	54,7228	51,8916	49,3349
55	93,1671	85,7491	82,2920	77,3804	73,3115	68,7962	63,5772	59,9804	57,0160	54,3348
60	99,6078	91,9518	88,3794	83,2977	79,0820	74,3970	68,9721	65,2265	62,1348	59,3347
70	112,316	104,214	100,425	95,0231	90,5313	85,5270	79,7147	75,6893	72,3583	69,3345
80	124,838	116,320	112,328	106,628	101,879	96,5782	90,4053	86,1197	82,5663	79,3343
90	137,208	128,298	124,116	118,135	113,145	107,565	101,053	96,5238	92,7614	89,3342
100	149,448	140,169	135,806	129,561	124,342	118,498	111,666	106,905	102,945	99,3341
120	173,618	163,648	158,950	152,211	146,567	140,232	132,806	127,615	123,289	119,334
140	197,449	186,846	181,840	174,647	168,613	161,827	153,853	148,268	143,604	139,333
160	221,019	209,823	204,530	196,915	190,516	183,310	174,828	168,875	163,897	159,333
180	244,372	232,619	227,056	219,044	212,303	204,703	195,743	189,446	184,173	179,333
200	267,538	255,263	249,445	241,057	233,994	226,021	216,608	209,985	204,433	199,333
250	324,830	311,346	304,939	295,688	287,881	279,050	268,598	261,225	255,032	249,333
300	381,423	366,843	359,906	349,874	341,395	331,788	320,397	312,346	305,574	299,333
500	603,445	585,206	576,493	563,851	553,126	540,930	526,401	516,087	507,381	499,333
600	712,772	692,980	683,515	669,769	658,093	644,800	628,815	617,671	608,146	599,333

Fuente: <https://www.slideshare.net/mayhuasca2/tabla-chi-cuadrado-37003519>

Obtenido un grado de libertad de 191, se procede a visualizar la Tabla 1-4, extrayéndose el valor crítico de $\chi^2=233,9942$, con un nivel de confianza del 95% y un grado de libertad equivalente a 200.

4.3.4 Interpretación del planteamiento de la hipótesis

$$X^2_{calc} \leq \text{valor crítico}$$

$$0,071264 \leq 233,9942 \text{ NDVI}$$

$$0,466995 \leq 233,9942 \text{ NDRE}$$

$$0,130250 \leq 233,9942 \text{ SAVI}$$

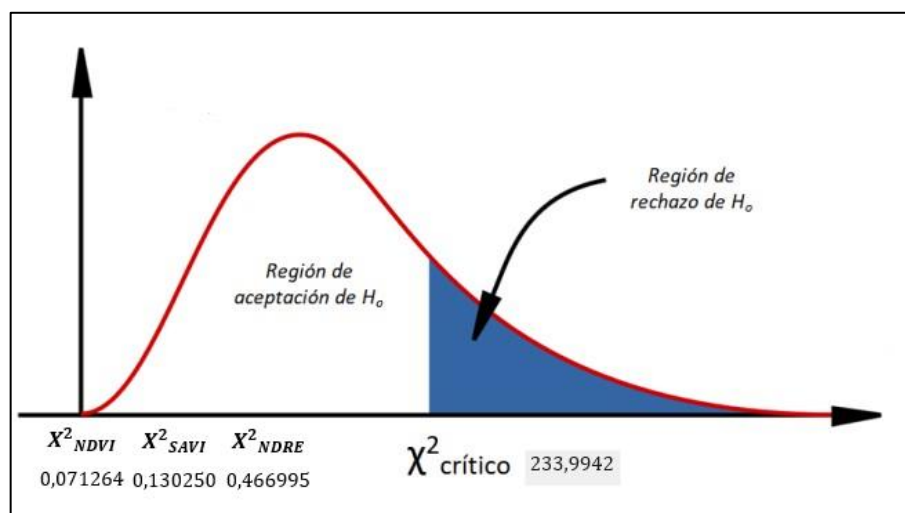


Figura 10-4. Área de aceptación y rechazo

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

De acuerdo a la Figura 10-4, con un nivel de confianza del 95% se acepta la hipótesis nula, la aplicación Cocoa Plantation Analyzer permite detectar la plaga monilia en plantaciones de cacao de la ciudad del Sacha, evaluando su estado de salud mediante el cálculo y análisis de índices de vegetación (NDVI, NDRE, SAVI), basado en la teledetección y procesamiento de imágenes multispectrales.

4.4 Presupuesto del trabajo

En la Tabla 2-4 se detalla cada uno de los equipos, dispositivos, materiales y gastos utilizados en la consecución del presente trabajo de grado, con un total de \$9.720,00 dólares americanos. Los precios especificados se obtuvieron a través de un contrato, mediante un concurso de compras públicas por parte de la ESPOCH, permitiendo que la ejecución e implementación del proyecto sea factible.

Tabla 2-4: Presupuesto del trabajo de grado

ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Cámara Micasense RedEdge-MX	1	\$6.900,00	\$6.900,00
2	Dron Dji Phantom 4	1	\$2.500,00	\$2.500,00
3	Acople Cámara	1	\$20,00	\$20,00
4	Gastos Varios		\$300,00	\$300,00
			TOTAL	\$ 9.720,00

Realizado por: Cumba Armijos, Anthony, 2022

CONCLUSIONES

- La cantidad de trabajos de investigación referentes a la teledetección en el campo de la agricultura 4.0 o agricultura de precisión, resultan de gran importancia en el estudio del procesamiento de imágenes, sin embargo, la información y los trabajos realizados de teledetección a través de Vehículos Aéreos no Tripulados (VANTs) no han sido del todo profundizado y estudiados, destacando algunos trabajos a nivel regional, ya que las líneas investigativas se inclinan a la recolección de datos por medio de satélites en órbita. La aplicación de distintas técnicas para el tratamiento de imágenes multiespectrales como; transformaciones geométricas, correcciones radiométricas, reconocimiento de características, segmentación y filtrado resultaron fundamentales al momento de procesar las imágenes espectrales y el cálculo de los índices NDVI, NDRE y SAVI en la valoración del estado de salud de los cultivos de cacao.
- Se desarrolló un algoritmo para el procesamiento de imágenes multiespectrales mediante el uso del software Matlab, dando origen a la aplicación Cocoa Plantation Analyzer, cuya interfaz es muy amigable con el usuario. Dentro de la consecución del algoritmo en general, se ejecutaron varias etapas, cada una de las muestras obtenidas por el sistema de adquisición de imágenes fueron sometidas a las diferentes configuraciones, calibraciones geométricas, correcciones radiométricas, etapa de segmentación y de filtrado, así también la combinación de las cinco diferentes bandas espectrales: azul, verde, roja, infrarrojo y borde rojo que permitieron calcular los diferentes índices de vegetación, con el propósito de detectar las variaciones y anomalías en las imágenes multibanda de los sembríos de cacao, ocasionados por la presencia de plaga monilia.
- La implementación del sistema de detección de la plaga monilia en cultivos de cacao de la ciudad del Sacha, se dividió en dos componentes fundamentales; la primera consistió en el sistema de adquisición de imágenes, conformado por la cámara Micasense RedEdge-MX acoplada al dron Phantom 4, el cual realizó varias misiones de vuelo a una altura de 25 m sobre el suelo, obteniendo resultados favorables para la recolección de datos y teniendo un desempeño óptimo en su funcionamiento. La segunda etapa se basa en el procesamiento de imágenes a cargo de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer, arrojando los resultados deseados para realizar una posterior valoración del estado de salud de los cultivos in situ y poder comparar los resultados obtenidos.

- La valoración del estado de salud vegetativo de los cultivos se realizó mediante el análisis y comparación de los índices NDVI, NDRE y SAVI en la aplicación Cocoa Plantation Analyzer para cada una de las imágenes obtenidas de las parcelas de cacao, donde los resultados visuales mostrados en las figuras permitieron una mejor comprensión del estado de las plantaciones de cacao, así como los valores del índice NDVI arrojaron múltiples valores, comprendidos entre [0.698 ; 0.812] por píxel, para zonas con un estado de salud favorable e intervalos de [-0.791; -0.106] para la vegetación afectada por la monilia, denotando putrefacción en hojas y frutos. Mientras que el índice NDRE sirvió para observar que ciertas zonas de las parcelas se encuentran en un estado de estrés, en el intervalo de [0.121 - 0.309] por píxel y el SAVI logro corregir errores por reflectancia del suelo determinando el área del suelo desnudo con valores negativos en los píxeles con picos de hasta -0.6721. Todos los datos obtenidos fueron validados mediante una prueba estadística de chi cuadrado y se comparó con los valores extraídos por el programa QGIS, comprobando que los resultados tienen homogeneidad entre ellos, obteniendo una confiabilidad mayor al 95 %. Además, se realizó el proceso de segmentación en cada una de las imágenes multiespectrales, diferenciando el estado de salud de cultivos de cacao a través de cuatro indicadores: sana, normalmente sana, enferma o estresada y muerta o piedras.
- La aplicación de este sistema de detección de la plaga monilia en cultivos de cacao tiene como objetivo mejorar los procesos agrícolas convencionales, brindando al agricultor una herramienta que aumente la eficiencia y calidad de su trabajo. Esto deriva directamente en el ahorro de costos de producción, puesto que permite optimizar infraestructuras, materiales, horas de trabajo y fuentes de energía. La utilización de este tipo de sistemas, para la obtención de imágenes de alta resolución de los cultivos, proporciona información clave para realizar control de plagas y predecir problemas en las cosechas.

RECOMENDACIONES

- En el proceso de adquisición de datos, al momento de sobrevolar las parcelas de cacao, se recomienda verificar que las baterías de la cámara y el dron se encuentren cargadas al 100 % y revisar que las condiciones climatológicas sean las adecuadas para no tener inconvenientes en el vuelo del dron mediante la aplicación “DJI GO4”.
- Realizar el proceso de corrección radiométrica de la cámara multispectral mediante la captura de la imagen del panel de calibración a una altura de 1.5 metros sin que exista sombra, del mismo modo calibrar el módulo DSL/GPS de la cámara a través de la aplicación de Micasense antes de proceder a realizar el vuelo con el dron.
- Para la planificación de vuelo es importante constatar en la aplicación “DJI GO4” que el dron se encuentre enganchado a la cantidad mínima requerida de satélites, para tener un posicionamiento adecuado y este no se extravié durante la misión, de igual manera inhabilitar el sistema de sensores de obstáculos del dron, ya que al estar acoplado a la cámara multispectral y a otros elementos externos a la plataforma aérea, provocaría que la aeronave pierda el control y se estrelle en el piso durante el vuelo.
- Para realizar el proceso de corrección geométrica de las imágenes multispectrales se emplea la función `imregister()` de Matlab, debido a que las técnicas de corrección utilizadas para las imágenes de la cámara Micasense RedEdge-MX no son útiles en otro tipo de sensores, se recomienda utilizar la App de Matlab “Registration Estimator” para realizar una correcta y adecuada corrección de puntos en las imágenes capturadas por los diferentes sensores multispectrales.

GLOSARIO

Algoritmo: Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema. (Real Academia Española, 2021a)

Autónoma: Condición de quien, para ciertas cosas, no depende de nadie. (Real Academia Española, 2021b)

Emisividad: Capacidad de un material para emitir energía radiante. (Real Academia Española, 2021c)

Esporas: Forma de resistencia que adoptan las bacterias ante condiciones ambientales desfavorables. (Real Academia Española, 2021d)

Fitosanitarios: Perteneciente o relativo a la prevención y curación de las enfermedades de las plantas. (Real Academia Española, 2021e)

Lidar: Instrumento que detecta la posición o el movimiento de objetos y que funciona de manera similar a un radar , pero que utiliza radiación láser en lugar de microondas.(Diccionario de Ingles Collins, 2022)

Multirotor: Helicóptero con más de dos rotores. (Sensagent, 2022a)

Patógeno: Que tiene la propiedad de causar alguna enfermedad: gérmenes patógenos, agente patógeno, bacterias patógenas. (Sensagent, 2022b)

Pixel: Superficie homogénea más pequeña de las que componen una imagen, que se define por su brillo y color. (Real Academia Española, 2021f)

Radiocontrol: Técnica que permite el gobierno de un objeto a distancia y de manera inalámbrica mediante una emisora de control remoto. (Sensagent, 2022c)

Radar: Sistema que utiliza radiaciones electromagnéticas reflejadas por un objeto para determinar la localización o velocidad de este. (Real Academia Española, 2021g)

Radiometría: Detección y medida de los campos de radiación y sus magnitudes.(Real Academia Española, 2021h)

Reflexión: Acción y efecto de reflejar o reflejarse. (Real Academia Española, 2021i)

BIBLIOGRAFÍA

- AGISOFT.** *Features* [blog]. 2022. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>
- ALCALDE, J., AGUIAR, P. y ICIP, I.** *Los Asesinatos Selectivos Con Drones : Contexto, Dilemas y Propuestas* [en línea]. 2014. [Consulta: 17 de febrero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269670152_Los_asesinatos_selectivos_con_drones_contexto_dilemas_y_propuestas
- ANECACAO.** *Sector Exportador De Cacao* [en línea]. 2019. [Consulta: 08 de febrero 2022]. Disponible en: <http://www.anecacao.com/uploads/estadistica/cacao-ecuador-2019-4.pdf>
- ÁNGEL LÓPEZ, Y.B.** Metodología para identificar cultivos de coca mediante análisis de parámetros red edge y espectroscopia de imágenes [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia. 2012. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/10405>
- ARENAS, J.M.** *¿Qué son las firmas espectrales?* [blog]. 2021. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/firmas-espectrales/>
- BAUTISTA, R., CONSTANTE, P., GORDON, A. y MENDOZA, D.** "Diseño e implementación de un sistema de visión artificial para análisis de datos NDVI en imágenes espectrales de cultivos de brócoli obtenidos mediante una aeronave pilotada remotamente". *Infociencia* [en línea], 2019, vol. 12, no. 1, pp. 30. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. ISSN 1390-339X. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/334079644_Disenio_e_implementacion_de_un_sistema_de_vision_artificial_para_analisis_de_datos_NDVI_en_imagenes_espectrales_de_cultivos_de_brocoli_obtenidos_mediante_una_aeronave_pilotada_remotamente
- BERRÍO, V., MOSQUERA, J. y ALZATE, D.** "Uso de drones para el analisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión". *@Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria* [en línea], 2015, vol. 13, no. 1, pp. 28-40. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. ISSN 1692-7125. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/230755963.pdf>
- BONNAIRE RIVERA, L., MONTOYA BONILLA, B. y OBANDO-VIDAL, F.** "Procesamiento de imágenes multiespectrales captadas con drones para evaluar el índice de vegetación de diferencia normalizada en plantaciones de café variedad Castillo". *Ciencia & Tecnología Agropecuaria* [en línea], 2021, vol. 22, no. 1. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. ISSN 0122-8706. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7942575>
- BRAVO, N.F.** *Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER LIT y MODIS* [en línea]. Huánuco-Perú, 2017. [Consulta: 04 de marzo 2022]. Disponible en: <https://sites.google.com/view/geomatica-ambiental-srl/>

- CALDERÓN MADRID, R., ZARCO TEJADA, P.J., NAVAS CORTÉS, J.A., LANDA, B.B. y LÓPEZ LÓPEZ, M.** "Detección de enfermedades de cultivos mediante imágenes hiperespectrales y térmicas de alta resolución espacial". *Agricultura 4.0* [en línea], 2018, no. 4. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324747699_Deteccion_de_enfermedades_de_cultivos_mediante_imagenes_hiperespectrales_y_termicas_de_alta_resolucion_espacial
- CASAS, L.L.** *Desarrollo de camara multiespectral : captura y an alisis de sus imágenes* [en línea]. Barcelona-España, 2016. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/tfg_49267/Desarrollo_de_camara_multiespectral_captura_y_analisis_de_sus_imagenes-Luis_Lebron_Casas.pdf
- CASTAÑO, S., REYES, J. y VELA, A.** *La Teledeteccion. Sus Bases* [en línea]. Castilla-España, 1996. [Consulta: 03 de enero 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2282743>
- CEPAL.** *Diagnóstico de la Cadena Productiva del Cacao en el Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador, 2015. [Consulta: 04 de marzo 2022] Disponible en: <https://www.vicepresidencia.gob.ec/wp-content/uploads/2015/07/Resumen-Cadena-de-Cacao-rev.pdf>
- CEREZO VALENZUELA, J.** *Rendimiento del cacao* [blog]. El Universo, 2010. [Consulta: 04 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.eluniverso.com/2010/02/17/1/1366/rendimiento-cacao.html>
- CHÁVEZ REVELO, J.R.** Valoración de cultivos de quinua, mediante teledetección y procesamiento de imágenes espectrales, para productores y comercializadores orgánicos Bio Taita Chimborazo (COPROBICH) (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 7-15.
- CHUVIECO SALNERO, E.** *Fundamentos de teledeteccion espacial* [en línea]. 2 Edicion. Madrid-España, 1995. [Consulta: 03 de enero 2022]. Disponible en: <http://cursosihlla.bdh.org.ar/Sist.%20Cart.%20y%20Teledet./Bibliografia/FUNDAMENTOS-DE-TELEDETECCION-EMILIO-CHUVIECO.pdf>
- CONAPA.** *¿Por qué se utilizan imágenes espectrales en la agricultura?* [blog]. 2019. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://conapa.es/por-que-se-utilizan-imagenes-espectrales-en-la-agricultura/>
- CORREA ALVAREZ, J., CASTRO MARTÍNEZ, S. y COY, J.** "Estado de la Moniliasis del cacao causada por *Moniliophthora roreri* en Colombia". *Acta Agronómica* [en línea], 2014, vol. 63, no. 4, pp. 388-399. [Consulta: 23 de febrero 2022]. ISSN 0120-2812. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v63n4/v63n4a11.pdf>

- DIAZ CELIS, C.A.** Adquisición de imágenes de bajo costo aplicadas a la agricultura de precisión usando vehículos aéreos no tripulados [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad San Francisco de Quito, Quito, Ecuador. 2013. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1665>.
- DÍAZ GARCÍA-CERVIGÓN, J.J.J.** Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad Complutense De Madrid, Madrid España. 2015. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: https://eprints.ucm.es/id/eprint/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf.
- DICCIONARIO DE INGLES COLLINS.** Lidar sustantivo | Definición | Diccionario Inglés Collins en collinsdictionary.com [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.collinsdictionary.com/es/diccionario/ingles/lidar>
- DJI.** *DJI Phantom 4 pro/pro+ User Manual* [blog]. 2016. [Consulta: 17 de febrero 2022]. Disponible en: <http://www.dji.com/product/phantom-4-pro/info#video><http://www.dji.com/phantom-4-pro/info#downloads>.
- ECUADESIGNERS.** *Cantón Joya de los Sachas*. [blog]. AME, 2010. [Consulta: 17 de febrero 2022]. Disponible en: <https://ame.gob.ec/canton-joya-de-los-sachas/>.
- EESA.** *Firmas espectrales* [blog]. Eduspace, 2014. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html#:~:text=La firma espectral de las,la planta no le sirve.](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEM6DYD3GXF_0.html#:~:text=La%20firma%20espectral%20de%20las,la%20planta%20no%20le%20sirve.)
- ESPOCH.** RESOLUCIÓN 128.CP.2021.
- EVERAERTS, J.** *The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping* [en línea]. Mol-Bélgica, 2014. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228640891_The_use_of_unmanned_aerial_vehicles_UAVs_for_remote_sensing_and_mapping
- FRONTERA, F., SMITH, M.J. y MARSH, S.** *Preliminary investigation into the geometric calibration of the micasense rededge-m multispectral camera* [en línea]. Nottingham-Reino Unido, 2020. [Consulta: 08 de febrero 2022]. Disponible en: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLIII-B2-2020/17/2020/>
- GARCÍA BENAÚ, M.A.** *Radiación Electromagnética* [en línea]. 2012. [Consulta: 04 de marzo 2022]. Disponible en: https://www.uv.es/DSSQA/documentacion/castellano/PDF/14_RADIACIONES.pdf
- GARCÍA, R., QUEVEDO, J. y SOCORRO, A.** "Valoración del estado agronómico de las plantaciones de cacao nacional en el Ecuador". *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* [en línea], 2019, vol. 2, no. 2, pp. 109-119. [Consulta: 23 de febrero 2022]. Disponible en: <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/140/220>

- GIUSIANO, M.N.** Drones agrícolas en el manejo sitio específico de malezas análisis de beneficios económicos [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Siglo 21, Córdoba, Argentina. 2017. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/14078>
- GÓMEZ LOZANO, D.** *Fotografía Analógica*. Madrid-España, 2003. pp. 6-8.
- GUERRERO, J.M.** Sistema de Visión para Agricultura de Precisión [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Complutense De Madrid, Madrid España. 2015. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/30145/1/T36062.pdf>
- INNOVATIONE AGROFOOD DESIGN.** *Índices de vegetación en agricultura de precisión* [blog]. 2020. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://innovatione.eu/2020/04/20/indices-vegetacion-agricultura-precision/>
- JAI.** *Multispectral imaging for medical and industrial machine vision systems* [blog]. 2019. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.jai.com/multispectral-imaging-machine-vision-systems/>
- KARABURUN, A.** "Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed". *Ozean Journal of Applied Sciences* [en línea], 2010, vol. 3, no. 1, pp. 77-85. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. ISSN 1943-2429. Disponible en: http://ozelacademy.com/OJAS_v3n1_8.pdf
- LÓPEZ, C.** *Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental* [en línea]. Coquimbo-Chile, 2020. [Consulta: 03 de enero 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Cristian-Lopez-Montecinos/publication/343295557_Fundamentos_Basicos_para_la_Teledeteccion_Ambiental/links/5f21e3c692851cd302c87695/Fundamentos-Basicos-para-la-Teledeteccion-Ambiental.pdf
- MADERA SOSTENIBLE.** *Grupo Operativo AgroForeSat: Soluciones BigData para Sanidad Agroforestal utilizando tecnología satelital* [blog]. 2018. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. Disponible en: <https://madera-sostenible.com/forestal/innovador-sistema-de-deteccion-temprana-de-plagas-y-enfermedades/>
- MAHAJAN, U. y BUNDEL, B.R.** "Drones for Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to Estimate Crop Health for Precision Agriculture: A Cheaper Alternative for Spatial Satellite Sensors". *International Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Ecological Sciences and Climate Change (AFHABEC-2016)* [en línea], 2016, vol. 3 pp. 38-41. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/312497233_Drones_for_Normalized_Difference_Vegetation_Index_NDVI_to_Estimate_Crop_Health_for_Precision_Agriculture_A_Cheaper_Alternative_for_Spatial_Satellite_Sensors

- MARCIAL BASILIO, J.A.** Detección de imágenes con contenido explícito usando los modelos de color HSV y YCbCr [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2011. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/12664>
- MARTÍNEZ, A.M.** *Herramientas MATLAB para el tratamiento de imágenes* [en línea]. Madrid-España, 2019. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/56155/1/TFG_AILIN_MENENDEZ_MARTINEZ.pdf
- MATHWORKS.** *MATLAB App Designer* [blog]. 2022. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://la.mathworks.com/products/matlab/app-designer.html>
- MEJÍA VILET, J.R.** "Procesamiento Digital De Imágenes". *Universidad Nacional del Sur* [en línea], 2015, vol. 72, pp. 11. [Consulta: 14 de marzo 2022]. ISSN 0185-2698. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/132/13207206.pdf>
- MENDEZ, R.** *Procesamiento digital de imágenes* [en línea]. San Juan-Argentina, 2008. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/Capitulo1.pdf#:~:text=El%20sistema%20visual%20humano%20es%20uno%20de%20los,por%20lo%20mismo%20frecuentemente%20se%20olvida%20su%20importancia>
- MICASENSE.** *Multispectral Camera User Manual* [blog]. 2017. [Consulta: 08 de febrero 2022]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/132/13207206.pdf>
- MICASENSE.** *MicaSense RedEdge-MX™ and DLS 2 Integration Guide* [blog]. 2019. [Consulta: 17 de febrero 2022]. Disponible en: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360011389334-RedEdge-MX-Integration-Guide>
- MONTALVO MARTÍNEZ, M.** Técnicas de visión artificial para la segmentación y detección de líneas de cultivo en imágenes agrícolas [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Complutense De Madrid, Madrid España. 2015. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=99092&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=99092>
- MORAGA PERALTA, J.C., SOLANO MAYORGA, M.A. y CEDEÑO MONTOYA, B.C.** "Integración Espacial y Espectral de Imágenes". *Revista Geográfica de América Central* [en línea], 2011, vol. 7, pp. 18. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: https://elibro.net/en/ereader/epoch/33194?as_all=imagenes,espectral&as_all_op=unaccent__icont
- MUÑOZ, P.** *Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación* [en línea]. Santiago-Chile, 2013. [Consulta: 17 de diciembre 2021]. Disponible en: [http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema Índices de vegetación%2C Pedro Muñoz A.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetación%20Pedro%20Muñoz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- NOTARIO GARCÍA, M.D.** Influencia de parámetros de vuelo y condiciones ambientales en sensores livianos en visible e infrarrojo sobre plataformas no tripuladas en aplicaciones [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad d Córdoba, Córdoba, Argentina. 2019. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/19177>
- ORTIZ, M.M.** *Procesamiento Digital de Imágenes* [en línea]. Puebla-México, 2013. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <http://mmartin.cs.buap.mx/notas/PDI-MM-Rev.2013.pdf>
- PARODY, A. y ZAPATA, E. de J.** "Agricultura De Precisión En Colombia Utilizando Teledetección De Alta Resolución". *Suelos Ecuatoriales* [en línea], 2018, vol. 48, no. 1 y 2, pp. 41-49. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. Disponible en: http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/94
- PATIÑO ORDOÑEZ, T.J.** Recuperación de imágenes basada en contenidos utilizando el método SURF [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2012. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1709>
- PÉREZ, P. y VALENTE, M.** *Fundamentos básicos del procesamiento de imágenes* [en línea]. 2018. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.famaf.unc.edu.ar/~pperez1/manuales/cim/cap2.html>
- PÉREZ, V.L.** "Moniliophthora roreri H.C. Evans et al. y Moniliophthora perniciosa (Stahel) Aime: impacto, síntomas, diagnóstico, epidemiología y manejo". *Revista de Protección Vegetal* [en línea], 2018, vol. 33, no. 1, pp. 10-20. [Consulta: 13 de diciembre 2021]. ISSN 1010-2752. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rpv/v33n1/rpv07118.pdf>
- PETERS, J.F.** "Foundations of Computer Vision". *Book in Intelligent Systems Reference Library* [en línea], 2017, vol. 124, no. March 2017, pp. 431. [Consulta: 08 de marzo 2022]. ISSN 1010-0797. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315449828_Foundations_of_Computer_Vision#:~:text=In%20the%20foundations%20of%20computer%20vision%2C%20geometry-based%20quantizers,mesh%20maximal%20nucleus%20clusters%20%28MN%20Cs%29%20compared%20with
- QGIS.** *Manual operativo para la utilización del sistema de información geográfica Quantum GIS I* [blog]. 2013. [Consulta: 04 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.uv.mx/cuo/files/2013/05/Manual-QGIS-CUOM.pdf>
- QUEREJETA SIMBANI, P.** "Procesamiento Digital de Imágenes". *Ecologia* [en línea], 2015, pp. 1-4. [Consulta: 08 de noviembre 2021]. ISSN 0185-2698. Disponible en: <http://lcr.uns.edu.ar/fvc/NotasDeAplicacion/FVC-QuerejetaSimbeniPedro.pdf>

- QUINGAÍSA, E. Y RIVEROS, H.** *Estudio de caso: denominación de origen “cacao arriba”* [en línea]. Quito-Ecuador, 2007. [Consulta: 23 de febrero 2022]. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A7704E/A7704E.PDF>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Algoritmo sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/algoritmo?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Autónoma adjetivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/aut%C3%B3noma>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Emisividad sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/emisividad?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Esporas sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/espora?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Fitosanitarios adjetivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en:
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Pixel sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/pixel?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Radar sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/radar?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Radiometría sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/radiometr%C3%ADa?m=form>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA.** Reflexión sustantivo | Definición | Diccionario de la lengua española en dle.rae.es [blog] |. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dle.rae.es/reflexi%C3%B3n?m=form>
- REINOSO CHILQUINGA, H.A.** Determinación el Riesgo de Incendios Forestales Mediante el Procesamiento de Imágenes Multiespectrales en Zonas con Presencia de Vegetación (Trabajo de Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021. pp. 23-25.
- REJAS, J.G.** Detección de patrones y anomalías espectrales del terreno mediante espectrometría de imagen de alta resolución. Reconocimiento, optimización y evaluación multiescenario [en línea] (Trabajo de Titulación). (Doctorado) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2014. [Consulta: 15 de noviembre 2021]. Disponible en:

http://oa.upm.es/25545/1/Juan_Gregorio_Rejas_Ayuga.pdf

SÁNCHEZ LINDORO, F. de J. Aplicación de sensores activos y pasivos en la circulación superficial de mesoescala en la parte sur del golfo de México (bahía de Campeche) [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México. 2011. [Consulta: 15 de noviembre 2021]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/12898/1/sanchezl1.pdf>

SÁNCHEZ MÉNDEZ, A.G. y ARGUIJO-HERNÁNDEZ, S.P. "Análisis de imágenes multiespectrales para la detección de cultivos y detección de plagas y enfermedades en la producción de café". *Research in Computing Science* [en línea], 2018, vol. 147, no. 7, pp. 309-317. [Consulta: 08 de marzo 2022]. ISSN 1870-4069. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339206763_Analisis_de_imagenes_multiespectrales_para_la_deteccion_de_cultivos_y_deteccion_de_plagas_y_enfermedades_en_la_produccion_de_cafe?enrichId=rgreq-c7605d0caf45ee0144269b173e88e8dc-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzOTIwNjc2MztBUzo5OTAwNjQ1MDI5MTUwNzJAMTYxMzA2MTE4MDA3Mw%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf

SANSAGENT. Multirotor sustantivo. | Definición |SENSAGENT-DICTIONARY en [sensagent.com](http://dictionary.sensagent.com/multirotor/es-es/) [blog]. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <http://dictionary.sensagent.com/multirotor/es-es/>

SANSAGENT. Patógeno adjetivo. | Definición |SENSAGENT-DICTIONARY en [sensagent.com](http://dictionary.sensagent.com/patogeno/es-es/) [blog]. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <http://dictionary.sensagent.com/patogeno/es-es/>

SANSAGENT. Radiocontrol sustantivo. | Definición |SENSAGENT-DICTIONARY en [sensagent.com](http://dictionary.sensagent.com/radiocontrol/es-es/) [blog]. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <http://dictionary.sensagent.com/radiocontrol/es-es/>

SANSAGENT. Radiocontrol sustantivo. | Definición |SENSAGENT-DICTIONARY en [sensagent.com](http://dictionary.sensagent.com/radiocontrol/es-es/) [blog]. [Consulta: 18 de marzo 2022]. Disponible en: <http://dictionary.sensagent.com/radiocontrol/es-es/>

SHAHBAZI, M. y CORTES, C. "Seamless co-registration of images from multi-sensor multispectral cameras". *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives* [en línea], 2019, vol. 42, no. 2, pp. 315-322. [Consulta: 14 de marzo 2022]. ISSN 16821750. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/337638597_SEAMLESS_COREGISTRATION_OF_IMAGES_FROM_MULTI-SENSOR_MULTISPECTRAL_CAMERAS

SIGMUR. *Fundamentos físicos de la teledetección* [en línea]. Madrid-España, 2003. [Consulta: 07 de abril 2022]. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema01.pdf>

SOCA MUÑOZ, J.L. Detección de Roya Naranja y Roya Parda en la caña de azúcar mediante imágenes multiespectrales [en línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba. 2015. [Consulta: 07 de abril 2022]. Disponible en: https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/7901/Jorge_Luis_Soca_Muñoz.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- SOSSA AZUELA, J.H.** *Rasgos Descriptores para el Reconocimiento de Objetos* [en línea]. Ciudad de México, México, 2006. [Consulta: 08 de marzo 2022]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/epoch/74768?page=38>
- THALES.** *Ciberseguridad para la industria de los drones comerciales* [blog]. 2018. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://www.thalesgroup.com/es/countries/americas/latinamerica/dis/iot/inspiracion/drones-comerciales>.
- TNE.** *Drones comerciales aceleran el vuelo para crecer en el mercado* [blog]. 2021. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://circulotne.com/aumenta-el-uso-de-drones-comerciales.html>
- VEGA, I., MARTÍNEZ, J. y MARTÍN, M.P.** *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente: Red Nacional de Teledetección Ambiental* [en línea]. Madrid-España, 2010. [Consulta: 04 de marzo 2022]. Disponible en: http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio-ambiente_pliego.pdf.
- VIERA-MAZA, G.** Aplicación de procesamiento de imágenes para clasificación de granos de cacao según su color interno [en línea] (Trabajo de Titulación). (Maestría) Universidad de Piura. 2018. [Consulta: 07 de abril 2022]. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3486?&locale-attribute=es>
- VILLA, C.E.** "Agricultura de precisión y teledetección : aparición en España". *Vida Rural* [en línea], 2000, vol. 12, no. 1, pp. 38-39. [Consulta: 14 de marzo 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=183300>

ANEXOS

ANEXO A: Código de la aplicación Cocoa Plantation Analyzer

```
%----- IMAGENES ESPECTRALES -----  
close all;  
clear all;  
clc;  
  
f1=figure;  
hold on  
global img_blue  
img_blue= load('blue.mat');  
img_blue=img_blue.movingReg.RegisteredImage;  
handles.img=img_blue; % GUARDAR IMAGEN  
imshow(img_blue);  
title('IMAGEN BANDA AZUL','Color', [0.1, 0.3, 0.5]); %TITULO  
hold off  
  
f2=figure;  
hold on  
global img_red  
% [nombre,carpeta]=uigetfile('*.mat');  
%img_red= load(strcat(carpet, nombre))  
img_red= load('red.mat');  
img_red=img_red.movingReg2.RegisteredImage;  
handles.img=img_red; %GUARDAR IMAGEN  
imshow(img_red); %MOSTRAR EN EL AXES5 IMAGEN CARGADA  
title('IMAGEN BANDA ROJO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);  
hold off  
  
f3=figure;  
hold on  
global img_green  
% [nombre,carpeta]=uigetfile('*.mat');  
%img_green= load(strcat(carpet, nombre))  
img_green= load('green.mat');  
img_green=img_green.movingReg1.RegisteredImage;  
handles.img=img_green; %GUARDAR IMAGEN  
imshow(img_green);  
title('IMAGEN BANDA VERDE','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);  
hold off  
  
f4=figure;  
hold on  
global img_nir  
img_nir= load('nir.mat');  
img_nir=img_nir.movingReg3.RegisteredImage;  
handles.img=img_nir; %GUARDAR IMAGEN  
imshow(img_nir); %MOSTRAR EN EL AXES5 IMAGEN CARGADA  
title('IMAGEN BANDA INFRARROJA','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);  
hold off  
  
f5=figure;  
hold on
```

```

global img_redge
% [nombre,carpeta]=uigetfile('*.mat');
%img_redge= load(strcat(carpetas,nombre))
img_redge= load('rededge.mat');
img_redge=img_redge.movingReg4.RegisteredImage;
handles.img=img_redge; %GUARDAR IMAGEN
imshow(img_redge); %MOSTRAR EN EL AXES5 IMAGEN CARGADA
title('IMAGEN BANDA BORDE ROJO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
hold off

```

```

%-----PANEL-----

```

```

global Bluec Greenc Redc Near_IRc Red_Edgec
% [nombre,carpeta]=uigetfile('*.mat');

```

```

f6=figure;
hold on
Bluec= load('panel_blue.mat');
Bluec=Bluec.movingReg22_1.RegisteredImage;
imshow(Bluec);
title('PANEL BANDA AZUL','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
hold off

```

```

f7=figure;
hold on
Greenc=load('panel_green.mat');
Greenc=Greenc.movingReg22_2.RegisteredImage;
imshow(Greenc);
title('PANEL BANDA VERDE','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
hold off

```

```

f8=figure;
hold on
Redc=load('panel_red.mat');
Redc=Redc.movingReg22_3.RegisteredImage;
imshow(Redc);
title('PANEL BANDA ROJO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
hold off

```

```

f9=figure;
hold on
Near_IRc=load('panel_nir.mat');
Near_IRc=Near_IRc.movingReg22_4.RegisteredImage;
imshow(Near_IRc);
title('PANEL BANDA INFRARROJO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
hold off

```

```

f10=figure;
hold on
Red_Edgec=load('panel_rededge.mat');
Red_Edgec=Red_Edgec.movingReg22_5.RegisteredImage;
title('PANEL BANDA BORDE ROJO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
imshow(Red_Edgec);
hold off

```

```
%%-----CALIBRAR=====
```

```
global Blue_c Green_c Red_c Near_IR_c Red_Edge_c ...
```

```
% Binarizar panel
```

```
bw1=imbinarize(Bluec);
```

```
bw2=imbinarize(Greenc);
```

```
bw3=imbinarize(Redc);
```

```
bw4=imbinarize(Near_IRc);
```

```
bw5=imbinarize(Red_Egec);
```

```
%Normalizar Imagen de 16 bits
```

```
img_bluec=str2num(int2str(Bluec))/(2^16);
```

```
img_greenc=str2num(int2str(Greenc))/(2^16);
```

```
img_redc=str2num(int2str(Redc))/(2^16);
```

```
img_nirc=str2num(int2str(Near_IRc))/(2^16);
```

```
img_redgec=str2num(int2str(Red_Egec))/(2^16);
```

```
%METADATOS B1 -----
```

```
%BANDA AZUL
```

```
%Coeficientes polinomiales
```

```
k0=9.9999999999999995e-07;
```

```
k1=-1.5701689999999999e-07;
```

```
k2=3.058708e-10;
```

```
k3=2.6882490000000001e-13;
```

```
k4=-3.0638860000000001e-15;
```

```
k5=2.4522650000000002e-18;
```

```
%CENTRO Cx y Cy
```

```
cx=610.119199999999998;
```

```
cy=463.8886;
```

```
%Coeficientes de calibración radiométrica
```

```
a1=8.6656970000000005e-05;
```

```
a2=7.9185120000000003e-08;
```

```
a3=-7.8633180000000007e-06;
```

```
%tiempo de exposición
```

```
te=1/1235;
```

```
%Pb
```

```
Pb=4800;
```

```
r=[];
```

```
%Ganancia
```

```
g=1;
```

```
for x=1:1:960
```

```
    for y=1:1:1280
```

```
        r(x,y)=sqrt((x-cx)^2+(y-cy)^2);
```

```
        k(x,y)=1+r(x,y)*k0+r(x,y)^2*k1+r(x,y)^3*k2+r(x,y)^4*k3+r(x,y)^5*k4+r(x,y)^6*k5;
```

```
        v(x,y)=1/k(x,y);
```

```
        L1(x,y)=v(x,y)*(a1/g)*(img_bluec(x,y)-Pb)/(te+a2*y-a3*te*y);
```

```
    end
```

```
end
```

```
%METADATOS B2 -----
```

```
%BANDA VERDE
```

```
%coeficientes polinomiales
```

```
k0=1.0004650000000001e-06;
```

```

k1=5.2702269999999996e-07;
k2=-8.2823720000000004e-09;
k3=2.9328230000000003e-11;
k4=-4.0839180000000002e-14;
k5=1.9340780000000002e-17;
%CENTRO Cx y Cy
cx=599.53800000000001;
cy=471.99200000000002;
%coeficientes de calibración radiométrica
a1=7.9596250000000006e-05;
a2=7.6197989999999995e-08;
a3=-2.5452779999999998e-06;
%tiempo de exposición
te=1/1235;
%Pb
Pb=4800;
r=[];
%Ganancia
g=1;

for x=1:1:960
    for y=1:1:1280
        r(x,y)=sqrt((x-cx)^2+(y-cy)^2);
        k(x,y)=1+r(x,y)*k0+r(x,y)^2*k1+r(x,y)^3*k2+r(x,y)^4*k3+r(x,y)^5*k4+r(x,y)^6*k5;
        v(x,y)=1/k(x,y);
        L2(x,y)=v(x,y)*(a1/g)*(img_greenc(x,y)-Pb)/(te+a2*y-a3*te*y);
    end
end

```

```

%METADATOS B3-----
%BANDA ROJA
%coeficientes polinomiales
k0=1.0009739999999999e-06;
k1=4.3904419999999998e-07;
k2=-4.5923330000000001e-09;
k3=1.311813e-11;
k4=-1.677365e-14;
k5=7.5710920000000005e-18;
%CENTRO Cx y Cy
cx=586.06629999999996;
cy=474.12279999999998;
%Coeficientes de calibración radiométrica
a1=0.0001774837;
a2=5.7753509999999998e-08;
a3=-2.9965149999999999e-05;
%Tiempo de exposición
te=1/855;
%Pb
Pb=4800;
r=[];
%Ganancia
g=1;

for x=1:1:960

```



```

for y=1:1:1280
    r(x,y)=sqrt((x-cx)^2+(y-cy)^2);
    k(x,y)=1+r(x,y)*k0+r(x,y)^2*k1+r(x,y)^3*k2+r(x,y)^4*k3+r(x,y)^5*k4+r(x,y)^6*k5;
    v(x,y)=1/k(x,y);
    L3(x,y)=v(x,y)*(a1/g)*(img_redc(x,y)-Pb)/(te+a2*y-a3*te*y);
end
end

%METADATOS B4-----

%BANDA NIR
%coeficientes polinomiales
k0=9.99999800000000008e-07;
k1=-6.71167699999999996e-07;
k2=-3.265997e-09;
k3=1.70896699999999999e-11;
k4=-2.585232e-14;
k5=1.25641400000000001e-17;
%CENTRO Cx y Cy
cx=621.624299999999995;
cy=470.644200000000001;
%coeficientes de calibración radiométrica
a1=0.00010119399999999999;
a2=5.81883900000000003e-08;
a3=-3.48707400000000001e-05;
%tiempo de exposición
te=1/549;
%Pb
Pb=4800;
r=[];

for x=1:1:960
    for y=1:1:1280
        r(x,y)=sqrt((x-cx)^2+(y-cy)^2);
        k(x,y)=1+r(x,y)*k0+r(x,y)^2*k1+r(x,y)^3*k2+r(x,y)^4*k3+r(x,y)^5*k4+r(x,y)^6*k5;
        v(x,y)=1/k(x,y);
        L4(x,y)=v(x,y)*(a1/g)*(img_nirc(x,y)-Pb)/(te+a2*y-a3*te*y);
    end
end

%METADATOS B5
%BANDA REDEEDGE
%coeficientes polinomiales
k0=9.99999999999999995e-07;
k1=-2.82120200000000003e-07;
k2=-2.070511e-09;
k3=8.43553199999999996e-12;
k4=-1.221407e-14;
k5=5.82722300000000004e-18;
%CENTRO Cx y Cy
cx=602.347600000000006;
cy=473.803999999999997;
%coeficientes de calibración radiométrica
a1=0.000192958300000000001;
a2=6.14950699999999998e-08;
a3=-2.56652e-05;

```

```

% tiempo de exposición
te=1/635;
% Pb
Pb=4800;
r=[];

for x=1:1:960
    for y=1:1:1280
        r(x,y)=sqrt((x-cx)^2+(y-cy)^2);
        k(x,y)=1+r(x,y)*k0+r(x,y)^2*k1+r(x,y)^3*k2+r(x,y)^4*k3+r(x,y)^5*k4+r(x,y)^6*k5;
        v(x,y)=1/k(x,y);
        L5(x,y)=v(x,y)*(a1/g)*(img_redgec(x,y)-Pb)/(te+a2*y-a3*te*y);

    end
end

xfilt=medfilt2(bw1,[2 2]); % filtro

f11=figure;
hold on
imshow(xfilt);
title('PANEL BINARIZADO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);

stat=regionprops(xfilt); % encontrar regiones

for k=1:length(stat)
    caja=stat(k).BoundingBox;
    if stat(k).Area>44500 && stat(k).Area<47000
        coordenadas=rectangle('Position',[caja(1), caja(2), caja(3),...
            caja(4)], 'EdgeColor','r', 'LineWidth', 1);
    end
end
coordenadas=coordenadas.Position;
panel=[];
for i=1:1280
    for j=1:960
        if i>coordenadas(1)+10 && i<coordenadas(1)+coordenadas(3)-20 % nuevo derecha 10 y
            resto ancho
                if j>coordenadas(2)+10 && j<coordenadas(2)+coordenadas(4)-5
                    panel(j,i)=1;
                else
                    panel(j,i)=0;
                end
            else
                panel(j,i)=0;
            end
        end
    end
end
hold off

f12=figure;
hold on
title('PANEL DETECTADO','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
imshow(panel);
hold off

```

```

% conversión de pixeles a radiancia del panel
imagenpanel1=panel.*L1;
imagenpanel2=panel.*L2;
imagenpanel3=panel.*L3;
imagenpanel4=panel.*L4;
imagenpanel5=panel.*L5;
% valor pi de los pixeles dentro del panel
V_Calibracion1=sum(sum(imagenpanel1))/(length(find(imagenpanel1)));
V_Calibracion2=sum(sum(imagenpanel2))/(length(find(imagenpanel2)));
V_Calibracion3=sum(sum(imagenpanel3))/(length(find(imagenpanel3)));
V_Calibracion4=sum(sum(imagenpanel4))/(length(find(imagenpanel4)));
V_Calibracion5=sum(sum(imagenpanel5))/(length(find(imagenpanel5)));
% factor de corrección de reflectancia
fi1=0.490/V_Calibracion1;
fi2=0.491/V_Calibracion2;
fi3=0.491/V_Calibracion3;
fi4=0.491/V_Calibracion4;
fi5=0.490/V_Calibracion5;
% Conversión a pixel a radiancia
Blue_c=(str2num(int2str(img_blue)))/(2^16)).*(L1);
Green_c=(str2num(int2str(img_green)))/(2^16)).*(L2);
Red_c=(str2num(int2str(img_red)))/(2^16)).*(L3);
Near_IR_c=(str2num(int2str(img_nir)))/(2^16)).*(L4);
Red_Edge_c=(str2num(int2str(img_redge)))/(2^16)).*(L5);
% Conversión a radiancia a reflectancia
Blue_c=Blue_c*(fi1);
Green_c= Green_c*(fi2);
Red_c= Red_c*(fi3);
Near_IR_c=Near_IR_c*(fi4);
Red_Edge_c=Red_Edge_c*(fi5);

%%%-----NDVI-----
global const NDVI image
NDVI=(Near_IR_c-Red_c)/(Near_IR_c+Red_c); %Calculo NVDI
x= gray2ind(NDVI,256); %Convertir escala de grises a indexed image
image=ind2rgb(x,colormap(parula)); %Convertir indexed a RGB

f13=figure; %Desplegar nueva figura
hold on
title('NDVI','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
colorbar('Ticks',[-2,0,0.33,0.66,1],...
'TickLabels',{' ','Muerta','Enferma','Normal','Sana'})
imshow(image);
hold off

RGB(:, :,1)=img_red;
RGB(:, :,2)=img_green;
RGB(:, :,3)=img_blue;

f14=figure;
hold on
title('IMAGEN RGB','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);

```

```

imshow(RGB);
hold off

%%----- NDRE -----

global NDRE
NDRE=(Near_IR_c-Red_Edge_c)/(Near_IR_c+Red_Edge_c);
y= gray2ind(NDRE,256);
image=ind2rgb(y,colormap(parula));

f15=figure;
hold on
imshow(image,'Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
colorbar('Ticks',[-2,0,0.3,0.7,1],...,
'TickLabels',{'','Muerta','Enferma','Normal','Sana'});
title('NDRE','Color', [0.1, 0.3, 0.5])
hold off

%----- SAVI=====

global SAVI

SAVI=[(Near_IR_c-Red_c)/(Near_IR_c+Red_c+0.5)]*1.5;
y= gray2ind(SAVI,256);

image=ind2rgb(y,colormap(parula));

f16=figure;
hold on
title('SAVI','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
imshow(image);
colorbar('Ticks',[-2,0,0.33,0.66,1],...
'TickLabels',{'','Muerta','Enferma','Normal','Sana'});

const=3;
hold off

%% SEGMENTACION

global GSD;

%Cálculo de GSD
h= 25; %h_vuelo ALTURA DE VUELO
Sw= 4.8; %ancho del sensor de la cámara
Fr= 5.4; %longitud focal de la cámara
dim=1280; %dimensión
format bank
GSD=(Sw*h*100)/(dim*Fr); %Tamaño del pixel en el terreno
GSD=roundn(GSD,-3);
handles.GSD1=GSD;
handles.NDVI=NDVI;

```

global NDVI_S sana normal enferma muerta

```
NDVI_S=NDVI;
GSD=GSD;
umbral_1= imbinarize(NDVI_S,0.66); % intervalo de vegetación sana
sana=umbral_1;
umbral_2= imbinarize(NDVI_S,0.33);
normal=xor(sana,umbral_2);
umbral_3= imbinarize(NDVI_S,0);
enferma= xor(umbral_3,umbral_2);
muerta=imcomplement(umbral_3);
```

```
f17=figure;
tiledlayout(2,2)
nexttile
imshow(sana); % muestra de imagen en el axes
title('SANA','Color', [0.1, 0.3, 0.5] );
nexttile
imshow(normal);
title('NORMALMENTE SANA','Color', [0.1, 0.3, 0.5] );
nexttile
imshow(enferma);
title('ENFERMA O ESTRESADA','Color', [0.1, 0.3, 0.5] );
nexttile
imshow(muerta);
title( 'MUERTA, TIERRA O PIEDRAS','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
```

%% ----REGIONES

```
f18=figure;
tiledlayout(2,2)
nexttile
%region sana
xfilt_sana=medfilt2(sana,[1 1]);
imshow(xfilt_sana);
title('SANA','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
%xfilt_sana=imcomplement(xfilt_sana);
propiedades=regionprops(xfilt_sana);
propiedades= struct2cell(propiedades);
Area_sana=propiedades(1,:);
Area_sana= sum(cell2mat(Area_sana));
%región normal
nexttile
xfilt_normal=medfilt2(normal,[1 1]);
imshow(xfilt_normal);
title('NORMALMENTE SANA','Color', [0.1, 0.3, 0.5] );
%xfilt_sana=imcomplement(xfilt_sana);
propiedades=regionprops(xfilt_normal);
propiedades= struct2cell(propiedades);
Area_normal=propiedades(1,:);
Area_normal=sum(cell2mat(Area_normal));
%región estresada
nexttile
xfilt_enferma=medfilt2(enferma,[3 3]);
imshow(xfilt_enferma);
```

```

title( 'ENFERMA O ESTRESADA','Color',[0.1, 0.3, 0.5]);
%xfilt_sana=imcomplement(xfilt_sana);
propiedades=regionprops(xfilt_enferma);
propiedades= struct2cell(propiedades);
Area_enferma=propiedades(1,:);
Area_enferma= sum(cell2mat(Area_enferma));
%región muerta
nexttile
xfilt_muerta=medfilt2(muerta,[8 8]);
imshow(xfilt_muerta);
title( 'MUERTA, TIERRA O PIEDRAS','Color', [0.1, 0.3, 0.5]);
%xfilt_sana=imcomplement(xfilt_sana);
propiedades=regionprops(xfilt_muerta);
propiedades=struct2cell(propiedades);
Area_muerta=propiedades(1,:);
Area_muerta=sum(cell2mat(Area_muerta));

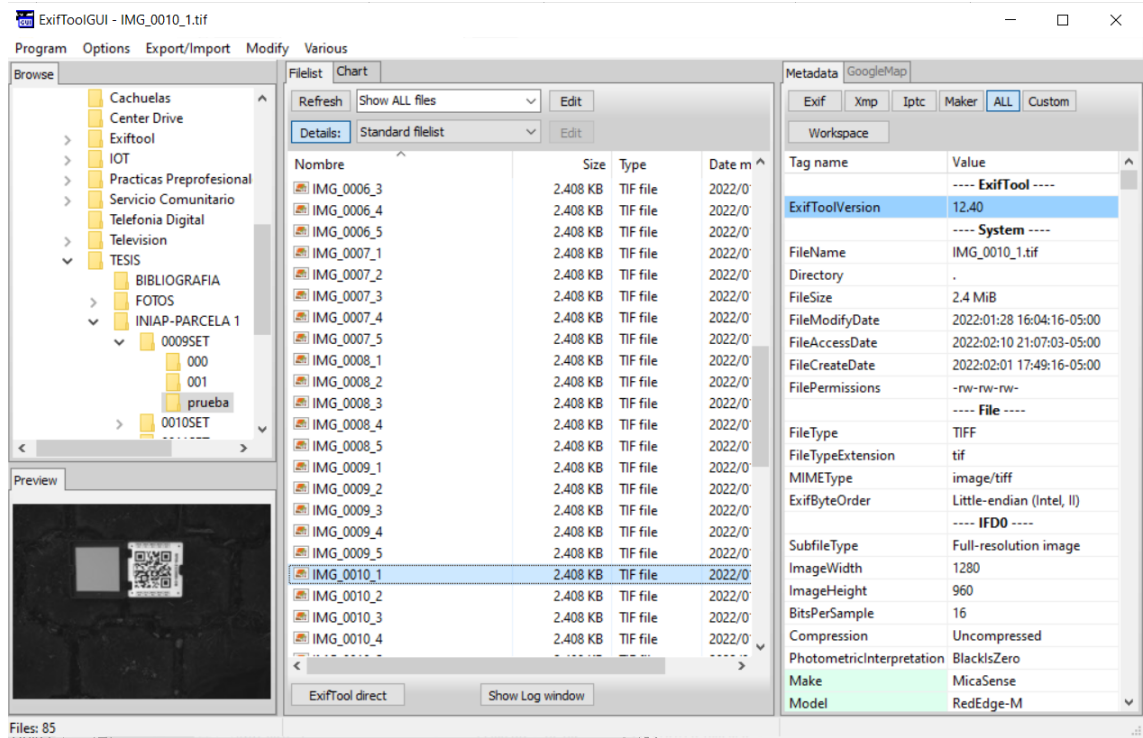
%Cálculo de Áreas

Area_sana=Area_sana*(GSD*0.01)^2;
Area_normal=Area_normal*(GSD*0.01)^2;
Area_enferma=Area_enferma*(GSD*0.01)^2;
Area_muerta=Area_muerta*(GSD*0.01)^2;

disp("El área sana es de: "+Area_sana+ " m²");
disp(" ");
disp("El área normal es de: "+Area_normal+" m²");
disp(" ");
disp("El área enferma es de: "+Area_enferma+ "m²");
disp(" ");
disp("El área muerta es de: "+Area_muerta+ "m²");

```

ANEXO B: Extracción de Metadatos en Programa Exiftool



ExifToolGUI - IMG_0010_1.tif

Program Options Export/Import Modify Various

Browse: Cachuelas, Center Drive, Exiftool, IOT, Practicas Preprofesional, Servicio Comunitario, Telefonía Digital, Television, TESIS, BIBLIOGRAFIA, FOTOS, INIAP-PARCELA 1, 0009SET, 000, 001, prueba, 0010SET

Filelist: Refresh Show ALL files Edit

Nombre	Size	Type	Date m
IMG_0006_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0006_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0006_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_4	2.408 KB	TIF file	2022/0

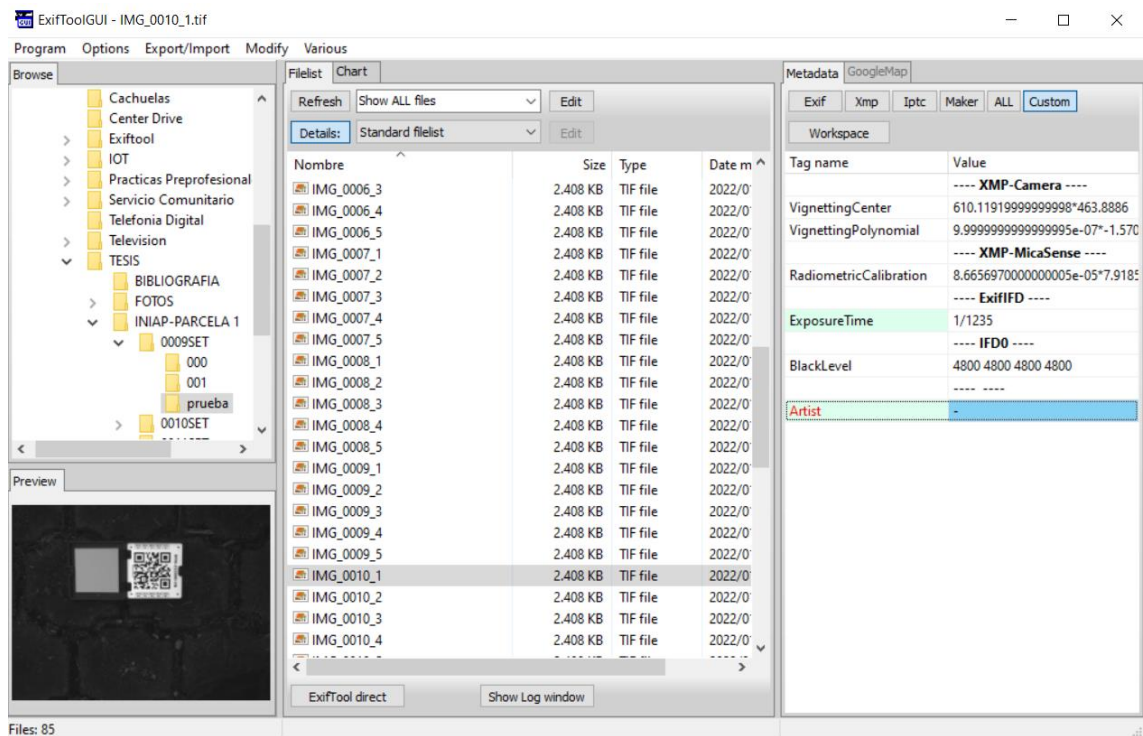
Metadata: GoogleMap

Exif Xmp Iptc Maker ALL Custom

Workspace

Tag name	Value
ExifToolVersion	12.40
System	System
FileName	IMG_0010_1.tif
Directory	.
FileSize	2.4 MiB
FileModifyDate	2022:01:28 16:04:16-05:00
FileAccessDate	2022:02:10 21:07:03-05:00
FileCreateDate	2022:02:01 17:49:16-05:00
FilePermissions	-rw-rw-rw-
FileType	TIFF
FileTypeExtension	tif
MIMETYPE	image/tiff
ExifByteOrder	Little-endian (Intel, II)
SubfileType	Full-resolution image
ImageWidth	1280
ImageHeight	960
BitsPerSample	16
Compression	Uncompressed
PhotometricInterpretation	BlackIsZero
Make	MicaSense
Model	RedEdge-M

Files: 85



ExifToolGUI - IMG_0010_1.tif

Program Options Export/Import Modify Various

Browse: Cachuelas, Center Drive, Exiftool, IOT, Practicas Preprofesional, Servicio Comunitario, Telefonía Digital, Television, TESIS, BIBLIOGRAFIA, FOTOS, INIAP-PARCELA 1, 0009SET, 000, 001, prueba, 0010SET

Filelist: Refresh Show ALL files Edit

Nombre	Size	Type	Date m
IMG_0006_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0006_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0006_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0007_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0008_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_4	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0009_5	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_1	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_2	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_3	2.408 KB	TIF file	2022/0
IMG_0010_4	2.408 KB	TIF file	2022/0

Metadata: GoogleMap

Exif Xmp Iptc Maker ALL Custom

Workspace

Tag name	Value
XMP-Camera	XMP-Camera
VignettingCenter	610.11919999999998*463.8886
VignettingPolynomial	9.9999999999999995e-07*-1.570
RadiometricCalibration	8.6656970000000005e-05*7.9185
ExposureTime	1/1235
BlackLevel	4800 4800 4800 4800
Artist	-

Files: 85

ANEXO C: Metadatos de la Imagen del Panel de Calibración

IMAGEN PANEL	CARACTERÍSTICAS		BANDA				
			Azul	Verde	Rojo	Infrarrojo	Borde Rojo
IMG_0010.tif	Centros Cx y Cy	Cx	610.1192	599.5380	586.0663	621.6243	602.3476
		Cy	463.8886	471.9920	474.1228	470.6442	473.8040
	Coeficientes Polinomiales	k0	1.0000e-06	1.0005e-06	1.0010e-06	1.0000e-06	1.0000e-06
		k1	-1.5702e-07	5.2702e-07	4.3904e-07	-6.7117e-07	-2.8212e-07
		k2	3.0587e-10	-8.2824e-09	-4.5923e-09	-3.2660e-09	-2.0705e-09
		k3	2.6882e-13	2.9328e-11	1.3118e-11	1.7090e-11	8.4355e-12
		k4	-3.0639e-15	-4.0839e-14	-1.6774e-14	-2.5852e-14	-1.2214e-14
		k5	2.4523e-18	1.9341e-17	7.5711e-18	1.2564e-17	5.8272e-18
	Coeficientes de calibración radiométrica	a1	8.6657e-05	7.9596e-05	1.7748e-04	1.0119e-04	1.9296e-04
		a2	7.9185e-08	7.6198e-08	5.7754e-08	5.8188e-08	6.1495e-08
		a3	-7.8633e-06	-2.5453e-06	-2.9965e-05	-3.4871e-05	-2.5665e-05
	Tiempo de Exposición	te	1/1235	1/1235	1/855	1/549	1/635

ANEXO D: Muestra de valores mínimos y máximos NDVI en MATLAB y QGIS

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO					
		MATLAB			QGIS		
		NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO	NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO
1	IMG_0000.tif	-0,7678965	0,7971265	0,7825115	-0,7668838	0,7967746	0,7818292
2	IMG_0001.tif	-0,7590433	0,8123022	0,78567275	-0,7518297	0,8042264	0,77802805
3	IMG_0002.tif	-0,7693151	0,7647587	0,7670369	-0,7712323	0,7673835	0,7693079
4	IMG_0003.tif	-0,7583468	0,7543505	0,75634865	-0,755926	0,7584919	0,75720895
5	IMG_0004.tif	-0,7684508	0,7644425	0,76644665	-0,7672822	0,7806091	0,77394565
6	IMG_0005.tif	-0,7683919	0,7559344	0,76216315	-0,7692551	0,7738927	0,7715739
7	IMG_0006.tif	-0,7486301	0,7376889	0,7431595	-0,7435632	0,7554561	0,74950965
8	IMG_0007.tif	-0,7497714	0,7468779	0,74832465	-0,7466375	0,7648864	0,75576195
9	IMG_0008.tif	-0,7603037	0,7416318	0,75096775	-0,7570389	0,7618692	0,75945405
10	IMG_0009.tif	-0,7584406	0,7402182	0,7493294	-0,7068224	0,7610949	0,73395865
11	IMG_0010.tif	-0,7687167	0,7354802	0,75209845	-0,7193173	0,7562703	0,7377938
12	IMG_0011.tif	-0,7457215	0,7277652	0,73674335	-0,6899279	0,7123661	0,701147
13	IMG_0012.tif	-0,7561647	0,7598815	0,7580231	-0,7060473	0,7523658	0,72920655
14	IMG_0013.tif	-0,7552779	0,7520019	0,7536399	-0,7063747	0,7428762	0,72462545
15	IMG_0014.tif	-0,7658128	0,752644	0,7592284	-0,7177457	0,7443074	0,73102655
16	IMG_0015.tif	-0,7384772	0,746448	0,7424626	-0,7462454	0,7400407	0,74314305
17	IMG_0016.tif	-0,7089184	0,7690048	0,7389616	-0,7133672	0,7489344	0,7311508
18	IMG_0017.tif	-0,7176801	0,7836258	0,75065295	-0,7286489	0,7816687	0,7551588
19	IMG_0018.tif	-0,748533	0,7856429	0,76708795	-0,7577589	0,7733434	0,76555115
20	IMG_0019.tif	-0,7148851	0,7456923	0,7302887	-0,7151481	0,7486795	0,7319138
21	IMG_0020.tif	-0,7144314	0,7563138	0,7353726	-0,7179356	0,7581671	0,73805135
22	IMG_0021.tif	-0,6994635	0,7382041	0,7188338	-0,7217972	0,7452322	0,7335147
23	IMG_0022.tif	-0,6853478	0,7394305	0,71238915	-0,6669621	0,7538748	0,71041845
24	IMG_0023.tif	-0,763838	0,7475707	0,75570435	-0,7672239	0,7525242	0,75987405
25	IMG_0024.tif	-0,7330446	0,7356319	0,73433825	-0,7414367	0,7406456	0,74104115
26	IMG_0025.tif	-0,7721759	0,7094303	0,7408031	-0,778242	0,726801	0,7525215
27	IMG_0026.tif	-0,7161428	0,6987228	0,7074328	-0,7238525	0,7150036	0,71942805
28	IMG_0027.tif	-0,7306168	0,7237182	0,7271675	-0,7212859	0,7415942	0,73144005
29	IMG_0028.tif	-0,7246713	0,7600099	0,7423406	-0,7137236	0,7629477	0,73833565
30	IMG_0029.tif	-0,7308945	0,7316527	0,7312736	-0,7181229	0,7417686	0,72994575
31	IMG_0030.tif	-0,7327643	0,7634039	0,7480841	-0,725996	0,7708956	0,7484458
32	IMG_0031.tif	-0,7398361	0,7550721	0,7474541	-0,7297705	0,7727495	0,75126
33	IMG_0032.tif	-0,737409	0,7591597	0,74828435	-0,7414436	0,7690456	0,7552446
34	IMG_0033.tif	-0,7367036	0,7568841	0,74679385	-0,7320431	0,7707211	0,7513821
35	IMG_0034.tif	-0,740588	0,7549932	0,7477906	-0,7435044	0,7616897	0,75259705
36	IMG_0035.tif	-0,73665	0,7540292	0,7453396	-0,7399229	0,7596637	0,7497933
37	IMG_0036.tif	-0,7679855	0,7468402	0,75741285	-0,7684427	0,7495347	0,7589887
38	IMG_0037.tif	-0,7640686	0,7385606	0,7513146	-0,7586136	0,748049	0,7533313
39	IMG_0038.tif	-0,7561645	0,7336842	0,74492435	-0,742728	0,7406311	0,74167955
40	IMG_0039.tif	-0,7469601	0,7549218	0,75094095	-0,7385147	0,7610219	0,7497683
41	IMG_0040.tif	-0,7467893	0,7531773	0,7499833	-0,7439443	0,7560845	0,7500144
42	IMG_0041.tif	-0,7438386	0,759869	0,7518538	-0,744296	0,7664717	0,75538385

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO					
		MATLAB			QGIS		
		NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO	NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO
43	IMG_0042.tif	-0,7432423	0,7571069	0,7501746	-0,7381327	0,7676324	0,75288255
44	IMG_0043.tif	-0,7441685	0,7534083	0,7487884	-0,7396618	0,7595818	0,7496218
45	IMG_0044.tif	-0,7506193	0,74686058	0,748739975	-0,7475539	0,7731718	0,760362885
46	IMG_0045.tif	-0,7430317	0,75774878	0,750390275	-0,7372257	0,7843285	0,760777135
47	IMG_0046.tif	-0,7414614	0,75651868	0,748990075	-0,7352965	0,7808306	0,758063585
48	IMG_0047.tif	-0,7463853	0,75419508	0,750290225	-0,7502517	0,7698818	0,760066785
49	IMG_0048.tif	-0,7378211	0,75994468	0,748882925	-0,7338101	0,780158	0,756984085
50	IMG_0049.tif	-0,7458700	0,75784758	0,751858825	-0,7319183	0,778813	0,755365685
51	IMG_0050.tif	-0,7498123	0,76015968	0,754986025	-0,7437144	0,7832446	0,763479535
52	IMG_0051.tif	-0,7461804	0,75638838	0,751284425	-0,7413675	0,7796868	0,760527185
53	IMG_0052.tif	-0,7551450	0,76285598	0,759000525	-0,7440976	0,778998	0,761547835
54	IMG_0053.tif	-0,7456654	0,76272868	0,754197075	-0,7429203	0,7818202	0,762370285
55	IMG_0054.tif	-0,7560426	0,7561444	0,756093535	-0,7634747	0,7874015	0,775438135
56	IMG_0055.tif	-0,7652067	0,7635884	0,764397585	-0,7629859	0,788902	0,77594395
57	IMG_0056.tif	-0,7305593	0,7254651	0,728012235	-0,71866	0,7595775	0,73911875
58	IMG_0057.tif	-0,7309298	0,735732	0,7333309	-0,717094	0,7497267	0,73341035
59	IMG_0058.tif	-0,7394337	0,7681166	0,75377515	-0,7127299	0,7793859	0,7460579
60	IMG_0059.tif	-0,7525122	0,7616807	0,75709645	-0,7413708	0,7649782	0,7531745
61	IMG_0060.tif	-0,7472427	0,756318	0,75178035	-0,7301843	0,7667693	0,7484768
62	IMG_0061.tif	-0,7489035	0,7542139	0,7515587	-0,718383	0,7509116	0,7346473
63	IMG_0062.tif	-0,757173	0,7415333	0,74935315	-0,7409669	0,7491138	0,74504035
64	IMG_0063.tif	-0,7499349	0,7671747	0,7585548	-0,7309512	0,7645328	0,747742
65	IMG_0064.tif	-0,7565799	0,7642113	0,7603956	-0,739826	0,7649302	0,7523781
66	IMG_0065.tif	-0,7391511	0,7577313	0,7484412	-0,7273402	0,7513337	0,73933695
67	IMG_0066.tif	-0,7643886	0,7930009	0,77869475	-0,7468115	0,764224	0,75551775
68	IMG_0067.tif	-0,7479558	0,7873415	0,76764865	-0,7282588	0,7623618	0,7453103
69	IMG_0068.tif	-0,7574956	0,7905147	0,77400515	-0,7413596	0,7854638	0,7634117
70	IMG_0069.tif	-0,7525634	0,7840785	0,76832095	-0,73517	0,7803559	0,75776295
71	IMG_0070.tif	-0,7269778	0,7796745	0,75332615	-0,7136291	0,777693	0,74566105
72	IMG_0071.tif	-0,7323118	0,7817457	0,75702875	-0,7214036	0,777266	0,7493348
73	IMG_0072.tif	-0,7299072	0,7711916	0,7505494	-0,7165915	0,7656441	0,7411178
74	IMG_0073.tif	-0,7350983	0,7615371	0,7483177	-0,7221207	0,7583795	0,7402501
75	IMG_0074.tif	-0,7438399	0,7529283	0,7483841	-0,7206434	0,7482907	0,73446705
76	IMG_0075.tif	-0,7383873	0,7546782	0,74653275	-0,7183311	0,7506243	0,7344777
77	IMG_0076.tif	-0,7423853	0,7478055	0,7450954	-0,722541	0,7440249	0,73328295
78	IMG_0077.tif	-0,7501683	0,7598847	0,7550265	-0,73094	0,7542371	0,74258855
79	IMG_0078.tif	-0,7515869	0,7246449	0,7381159	-0,7343593	0,759495	0,74692715
80	IMG_0079.tif	-0,7453439	0,7148845	0,7301142	-0,7259671	0,744215	0,73509105
81	IMG_0080.tif	-0,7331039	0,7049354	0,719019675	-0,7484517	0,7310545	0,7397531
82	IMG_0081.tif	-0,7508476	0,7306172	0,740732425	-0,7699115	0,7451805	0,757546
83	IMG_0082.tif	-0,7502859	0,7299672	0,740126575	-0,7694132	0,7510622	0,7602377
84	IMG_0083.tif	-0,7341718	0,7218509	0,728011375	-0,7541171	0,7383555	0,7462363
85	IMG_0084.tif	-0,7392343	0,7217301	0,730482225	-0,7559103	0,740356	0,74813315

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO					
		MATLAB			QGIS		
		NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO	NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO
86	IMG_0085.tif	-0,7476310	0,7190482	0,733339625	-0,7647927	0,7447699	0,7547813
87	IMG_0086.tif	-0,7461101	0,7380866	0,742098375	-0,7644091	0,7591911	0,7618001
88	IMG_0087.tif	-0,7592302	0,7222318	0,740731025	-0,7775447	0,7422291	0,7598869
89	IMG_0088.tif	-0,7517486	0,7321868	0,741967725	-0,7694083	0,7517015	0,7605549
90	IMG_0089.tif	-0,7442670	0,7163174	0,730292225	-0,760583	0,734718	0,7476505
91	IMG_0090.tif	-0,7586102	0,7161584	0,7373843	-0,7264147	0,7344282	0,73042145
92	IMG_0091.tif	-0,7452562	0,7396386	0,7424474	-0,7153565	0,7635354	0,73944595
93	IMG_0092.tif	-0,6971709	0,7340198	0,71559535	-0,6754858	0,7390078	0,7072468
94	IMG_0093.tif	-0,7097358	0,7491368	0,7294363	-0,6786222	0,7546465	0,71663435
95	IMG_0094.tif	-0,7072346	0,7494026	0,7283186	-0,6897101	0,7607107	0,7252104
96	IMG_0095.tif	-0,7051247	0,7911873	0,748156	-0,6701	0,7993985	0,73474925
97	IMG_0096.tif	-0,7239031	0,7738363	0,7488697	-0,6925437	0,7846989	0,7386213
98	IMG_0097.tif	-0,726876	0,7405701	0,73372305	-0,6926789	0,75707	0,72487445
99	IMG_0098.tif	-0,7252414	0,7242128	0,7247271	-0,6911932	0,730951	0,7110721
100	IMG_0099.tif	-0,7305406	0,7317987	0,73116965	-0,6975252	0,7388335	0,71817935
101	IMG_0100.tif	-0,7222412	0,7758865	0,74906385	-0,691468	0,7804115	0,73593975
102	IMG_0101.tif	-0,7356234	0,8012738	0,7684486	-0,7020232	0,8090343	0,75552875
103	IMG_0102.tif	-0,7368548	0,7264976	0,7316762	-0,7879932	0,7365725	0,76228285
104	IMG_0103.tif	-0,7361586	0,7123294	0,724244	-0,7853665	0,7213667	0,7533666
105	IMG_0104.tif	-0,7307572	0,7466861	0,73872165	-0,7805096	0,7558257	0,76816765
106	IMG_0105.tif	-0,7162929	0,7485088	0,73240085	-0,7669466	0,75707	0,7620083
107	IMG_0106.tif	-0,7200498	0,7532366	0,7366432	-0,7680161	0,6948546	0,73143535
108	IMG_0107.tif	-0,7419687	0,72432	0,73314435	-0,7846175	0,6689275	0,7267725
109	IMG_0108.tif	-0,7444191	0,7302454	0,73733225	-0,7868665	0,6668534	0,72685995
110	IMG_0109.tif	-0,7484472	0,755214	0,7518306	-0,7928925	0,6937746	0,74333355
111	IMG_0110.tif	-0,757913	0,7213327	0,73962285	-0,709173	0,661491	0,685332
112	IMG_0111.tif	-0,7539879	0,7743065	0,7641472	-0,6957255	0,7096862	0,70270585
113	IMG_0112.tif	-0,7442978	0,7550621	0,74967995	-0,6907831	0,6954094	0,69309625
114	IMG_0113.tif	-0,7326859	0,7303058	0,73149585	-0,6999296	0,6670455	0,68348755
115	IMG_0114.tif	-0,7065967	0,7676771	0,7371369	-0,6764961	0,7723428	0,72441945
116	IMG_0115.tif	-0,7142654	0,7580787	0,73617205	-0,6828584	0,756896	0,7198772
117	IMG_0116.tif	-0,7096623	0,7549391	0,7323007	-0,6881335	0,7535445	0,720839
118	IMG_0117.tif	-0,7352179	0,7548301	0,745024	-0,7033844	0,7546798	0,7290321
119	IMG_0118.tif	-0,7440036	0,7510806	0,7475421	-0,714221	0,7536692	0,7339451
120	IMG_0119.tif	-0,7437953	0,7634949	0,7536451	-0,7146105	0,7607709	0,7376907
121	IMG_0120.tif	-0,7420808	0,7698741	0,75597745	-0,7056953	0,7672506	0,73647295
122	IMG_0121.tif	-0,7499349	0,7671747	0,7585548	-0,7309512	0,7645328	0,747742
123	IMG_0122.tif	-0,7565799	0,7642113	0,7603956	-0,739826	0,7649302	0,7523781
124	IMG_0123.tif	-0,7391511	0,7577313	0,7484412	-0,7273402	0,7513337	0,73933695
125	IMG_0124.tif	-0,7643886	0,7930009	0,77869475	-0,7468115	0,764224	0,75551775
126	IMG_0125.tif	-0,7479558	0,7873415	0,76764865	-0,7282588	0,7623618	0,7453103
127	IMG_0126.tif	-0,7574956	0,7905147	0,77400515	-0,7413596	0,7854638	0,7634117
128	IMG_0127.tif	-0,7525634	0,7840785	0,76832095	-0,73517	0,7803559	0,75776295

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO					
		MATLAB			QGIS		
		NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO	NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO
129	IMG_0128.tif	-0,7089184	0,7690048	0,7389616	-0,7133672	0,7489344	0,7311508
130	IMG_0129.tif	-0,7176801	0,7836258	0,75065295	-0,7286489	0,7816687	0,7551588
131	IMG_0130.tif	-0,748533	0,7856429	0,76708795	-0,7577589	0,7733434	0,76555115
132	IMG_0131.tif	-0,7148851	0,7456923	0,7302887	-0,7151481	0,7486795	0,7319138
133	IMG_0132.tif	-0,7144314	0,7563138	0,7353726	-0,7179356	0,7581671	0,73805135
134	IMG_0133.tif	-0,6994635	0,7382041	0,7188338	-0,7217972	0,7452322	0,7335147
135	IMG_0134.tif	-0,6853478	0,7394305	0,71238915	-0,6669621	0,7538748	0,71041845
136	IMG_0135.tif	-0,763838	0,7475707	0,75570435	-0,7672239	0,7525242	0,75987405
137	IMG_0136.tif	-0,7330446	0,7356319	0,73433825	-0,7414367	0,7406456	0,74104115
138	IMG_0137.tif	-0,7721759	0,7094303	0,7408031	-0,778242	0,726801	0,7525215
139	IMG_0138.tif	-0,7161428	0,6987228	0,7074328	-0,7238525	0,7150036	0,71942805
140	IMG_0139.tif	-0,7306168	0,7237182	0,7271675	-0,7212859	0,7415942	0,73144005
141	IMG_0140.tif	-0,7246713	0,7600099	0,7423406	-0,7137236	0,7629477	0,73833565
142	IMG_0141.tif	-0,7308945	0,7316527	0,7312736	-0,7181229	0,7417686	0,72994575
143	IMG_0142.tif	-0,7089184	0,7690048	0,7389616	-0,7133672	0,7489344	0,7311508
144	IMG_0143.tif	-0,7239031	0,7738363	0,7488697	-0,6925437	0,7846989	0,7386213
145	IMG_0144.tif	-0,726876	0,7405701	0,73372305	-0,6926789	0,75707	0,72487445
146	IMG_0145.tif	-0,7252414	0,7242128	0,7247271	-0,6911932	0,730951	0,7110721
147	IMG_0146.tif	-0,7305406	0,7317987	0,73116965	-0,6975252	0,7388335	0,71817935
148	IMG_0147.tif	-0,7222412	0,7758865	0,74906385	-0,691468	0,7804115	0,73593975
149	IMG_0148.tif	-0,7356234	0,8012738	0,7684486	-0,7020232	0,8090343	0,75552875
150	IMG_0149.tif	-0,7368548	0,7264976	0,7316762	-0,7879932	0,7365725	0,76228285
151	IMG_0150.tif	-0,7361586	0,7123294	0,724244	-0,7853665	0,7213667	0,7533666
152	IMG_0151.tif	-0,7307572	0,7466861	0,73872165	-0,7805096	0,7558257	0,76816765
153	IMG_0152.tif	-0,7162929	0,7485088	0,73240085	-0,7669466	0,75707	0,7620083
154	IMG_0153.tif	-0,740588	0,7549932	0,7477906	-0,7435044	0,7616897	0,75259705
155	IMG_0154.tif	-0,73665	0,7540292	0,7453396	-0,7399229	0,7596637	0,7497933
156	IMG_0155.tif	-0,7679855	0,7468402	0,75741285	-0,7684427	0,7495347	0,7589887
157	IMG_0156.tif	-0,7640686	0,7385606	0,7513146	-0,7586136	0,748049	0,7533313
158	IMG_0157.tif	-0,7561645	0,7336842	0,74492435	-0,742728	0,7406311	0,74167955
159	IMG_0158.tif	-0,7469601	0,7549218	0,75094095	-0,7385147	0,7610219	0,7497683
160	IMG_0159.tif	-0,7467893	0,7531773	0,7499833	-0,7439443	0,7560845	0,7500144
161	IMG_0160.tif	-0,7299072	0,7711916	0,7505494	-0,7165915	0,7656441	0,7411178
162	IMG_0161.tif	-0,7350983	0,7615371	0,7483177	-0,7221207	0,7583795	0,7402501
163	IMG_0162.tif	-0,7438399	0,7529283	0,7483841	-0,7206434	0,7482907	0,73446705
164	IMG_0163.tif	-0,7383873	0,7546782	0,74653275	-0,7183311	0,7506243	0,7344777
165	IMG_0164.tif	-0,7423853	0,7478055	0,7450954	-0,722541	0,7440249	0,73328295
166	IMG_0165.tif	-0,7501683	0,7598847	0,7550265	-0,73094	0,7542371	0,74258855
167	IMG_0166.tif	-0,7515869	0,7246449	0,7381159	-0,7343593	0,759495	0,74692715
168	IMG_0167.tif	-0,7453439	0,7148845	0,7301142	-0,7259671	0,744215	0,73509105
169	IMG_0168.tif	-0,7331039	0,7049354	0,719019675	-0,7484517	0,7310545	0,7397531
170	IMG_0169.tif	-0,7508476	0,7306172	0,740732425	-0,7699115	0,7451805	0,757546
171	IMG_0170.tif	-0,7502859	0,7299672	0,740126575	-0,7694132	0,7510622	0,7602377

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADO					
		MATLAB			QGIS		
		NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO	NDVI MIN	NDVI MAX	VALOR INTERMEDIO
172	IMG_0171.tif	-0,7368548	0,7264976	0,7316762	-0,7879932	0,7365725	0,76228285
173	IMG_0172.tif	-0,7361586	0,7123294	0,724244	-0,7853665	0,7213667	0,7533666
174	IMG_0173.tif	-0,7307572	0,7466861	0,73872165	-0,7805096	0,7558257	0,76816765
175	IMG_0174.tif	-0,7162929	0,7485088	0,73240085	-0,7669466	0,75707	0,7620083
176	IMG_0175.tif	-0,7200498	0,7532366	0,7366432	-0,7680161	0,6948546	0,73143535
177	IMG_0176.tif	-0,7419687	0,72432	0,73314435	-0,7846175	0,6689275	0,7267725
178	IMG_0177.tif	-0,7444191	0,7302454	0,73733225	-0,7868665	0,6668534	0,72685995
179	IMG_0178.tif	-0,7484472	0,755214	0,7518306	-0,7928925	0,6937746	0,74333355
180	IMG_0179.tif	-0,757913	0,7213327	0,73962285	-0,709173	0,661491	0,685332
181	IMG_0180.tif	-0,7561647	0,7598815	0,7580231	-0,7060473	0,7523658	0,72920655
182	IMG_0181.tif	-0,7552779	0,7520019	0,7536399	-0,7063747	0,7428762	0,72462545
183	IMG_0182.tif	-0,7658128	0,752644	0,7592284	-0,7177457	0,7443074	0,73102655
184	IMG_0183.tif	-0,7384772	0,746448	0,7424626	-0,7462454	0,7400407	0,74314305
185	IMG_0184.tif	-0,7089184	0,7690048	0,7389616	-0,7133672	0,7489344	0,7311508
186	IMG_0185.tif	-0,7176801	0,7836258	0,75065295	-0,7286489	0,7816687	0,7551588
187	IMG_0186.tif	-0,748533	0,7856429	0,76708795	-0,7577589	0,7733434	0,76555115
188	IMG_0187.tif	-0,7148851	0,7456923	0,7302887	-0,7151481	0,7486795	0,7319138
189	IMG_0188.tif	-0,7144314	0,7563138	0,7353726	-0,7179356	0,7581671	0,73805135
190	IMG_0189.tif	-0,6994635	0,7382041	0,7188338	-0,7217972	0,7452322	0,7335147
191	IMG_0190.tif	-0,6853478	0,7394305	0,71238915	-0,6669621	0,7538748	0,71041845
192	IMG_0191.tif	-0,7457215	0,7277652	0,73674335	-0,6899279	0,7123661	0,701147

ANEXO E: Muestra de valores mínimos y máximos NDRE en MATLAB y QGIS

MUESTRAS		ÍNDICE NORMALIZADO DE BORDE ROJO					
		MATLAB			QGIS		
		NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO	NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO
1	IMG_0000.tif	-0,768565	0,7470498	0,7578074	-0,77099	0,874217	0,8226035
2	IMG_0001.tif	-0,769052	0,7239658	0,7465089	-0,775254	0,873885	0,8245695
3	IMG_0002.tif	-0,759369	0,7132128	0,7362909	-0,765368	0,841422	0,803395
4	IMG_0003.tif	-0,764818	0,6899468	0,7273824	-0,769348	0,830803	0,8000755
5	IMG_0004.tif	-0,768622	0,6929328	0,7307774	-0,773959	0,838871	0,806415
6	IMG_0005.tif	-0,767579	0,6968218	0,7322004	-0,771975	0,839551	0,805763
7	IMG_0006.tif	-0,765045	0,6934438	0,7292444	-0,769489	0,839365	0,804427
8	IMG_0007.tif	-0,768783	0,7001068	0,7344449	-0,773306	0,838305	0,8058055
9	IMG_0008.tif	-0,762472	0,7039758	0,7332239	-0,76867	0,835459	0,8020645
10	IMG_0009.tif	-0,764938	0,6857198	0,7253289	-0,770738	0,804418	0,787578
11	IMG_0010.tif	-0,76097	0,6998618	0,7304159	-0,727482	0,772769	0,7501255
12	IMG_0011.tif	-0,755824	0,6823848	0,7191044	-0,721197	0,750058	0,7356275
13	IMG_0012.tif	-0,709073	0,771553	0,740313	-0,739441	0,778668	0,7590545
14	IMG_0013.tif	-0,707865	0,768988	0,7384265	-0,738486	0,764579	0,7515325
15	IMG_0014.tif	-0,697407	0,766618	0,7320125	-0,728098	0,770792	0,749445
16	IMG_0015.tif	-0,685998	0,767142	0,72657	-0,716542	0,7551	0,735821
17	IMG_0016.tif	-0,675666	0,793773	0,7347195	-0,704388	0,779269	0,7418285
18	IMG_0017.tif	-0,678014	0,79717	0,737592	-0,705597	0,797413	0,751505
19	IMG_0018.tif	-0,685779	0,797102	0,7414405	-0,715528	0,820543	0,7680355
20	IMG_0019.tif	-0,705937	0,699404	0,7026705	-0,733596	0,651362	0,692479
21	IMG_0020.tif	-0,66108	0,801032	0,731056	-0,688937	0,825135	0,757036
22	IMG_0021.tif	-0,660902	0,758552	0,709727	-0,68881	0,786191	0,7375005
23	IMG_0022.tif	-0,7347842	0,76437	0,7495771	-0,737047	0,792924	0,7649855
24	IMG_0023.tif	-0,7533582	0,777141	0,7652496	-0,758242	0,83133	0,794786
25	IMG_0024.tif	-0,7699992	0,799349	0,7846741	-0,77101	0,767822	0,769416
26	IMG_0025.tif	-0,7585642	0,763326	0,7609451	-0,760301	0,789977	0,775139
27	IMG_0026.tif	-0,7604252	0,7844252	0,7724252	-0,763784	0,860729	0,8122565
28	IMG_0027.tif	-0,7341542	0,7682752	0,7512147	-0,735959	0,849214	0,7925865
29	IMG_0028.tif	-0,7439312	0,7875752	0,7657532	-0,746494	0,860056	0,803275
30	IMG_0029.tif	-0,7617012	0,7515782	0,7566397	-0,764775	0,873753	0,819264
31	IMG_0030.tif	-0,7582452	0,7928192	0,7755322	-0,762246	0,829738	0,795992
32	IMG_0031.tif	-0,7549922	0,7583532	0,7566727	-0,75816	0,879538	0,818849
33	IMG_0032.tif	-0,7691612	0,7492042	0,7591827	-0,770859	0,84975	0,8103045
34	IMG_0033.tif	-0,7699832	0,7634202	0,7667017	-0,77172	0,871756	0,821738
35	IMG_0034.tif	-0,7556552	0,7513672	0,7535112	-0,758017	0,863602	0,8108095
36	IMG_0035.tif	-0,7560072	0,7388172	0,7474122	-0,758482	0,850138	0,80431
37	IMG_0036.tif	-0,7595102	0,7584462	0,7589782	-0,759052	0,848608	0,80383
38	IMG_0037.tif	-0,7562832	0,7629772	0,7596302	-0,757808	0,856683	0,8072455
39	IMG_0038.tif	-0,7584042	0,7417502	0,7500772	-0,761789	0,841316	0,8015525
40	IMG_0039.tif	-0,750332	0,774482	0,762407	-0,764211	0,840746	0,8024785
41	IMG_0040.tif	-0,738528	0,779375	0,7589515	-0,753497	0,868477	0,810987
42	IMG_0041.tif	-0,737246	0,791647	0,7644465	-0,752257	0,857355	0,804806

MUESTRAS		ÍNDICE NORMALIZADO DE BORDE ROJO					
		MATLAB			QGIS		
		NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO	NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO
43	IMG_0042.tif	-0,738842	0,792071	0,7654565	-0,752457	0,864992	0,8087245
44	IMG_0043.tif	-0,740101	0,780321	0,760211	-0,753837	0,873413	0,813625
45	IMG_0044.tif	-0,741716	0,789377	0,7655465	-0,755279	0,89696	0,8261195
46	IMG_0045.tif	-0,7446	0,79508	0,76984	-0,759056	0,872444	0,81575
47	IMG_0046.tif	-0,760262	0,791039	0,7756505	-0,775462	0,86533	0,820396
48	IMG_0047.tif	-0,778078	0,811189	0,7946335	-0,777118	0,871107	0,8241125
49	IMG_0048.tif	-0,762919	0,814294	0,7886065	-0,764641	0,864463	0,814552
50	IMG_0049.tif	-0,763483	0,799527	0,781505	-0,764922	0,867654	0,816288
51	IMG_0050.tif	-0,767726	0,748899	0,7583125	-0,768736	0,871006	0,819871
52	IMG_0051.tif	-0,776853	0,75883	0,7678415	-0,777293	0,868093	0,822693
53	IMG_0052.tif	-0,771654	0,76362	0,767637	-0,772451	0,857561	0,815006
54	IMG_0053.tif	-0,766518	0,767176	0,766847	-0,767212	0,86729	0,817251
55	IMG_0054.tif	-0,773164	0,763948	0,768556	-0,772361	0,858433	0,815397
56	IMG_0055.tif	-0,76754	0,788852	0,778196	-0,7569627	0,840889	0,79892585
57	IMG_0056.tif	-0,763465	0,743208	0,7533365	-0,7642697	0,827302	0,79578585
58	IMG_0057.tif	-0,759192	0,727229	0,7432105	-0,7583117	0,831002	0,79465685
59	IMG_0058.tif	-0,755905	0,753225	0,754565	-0,7567357	0,867577	0,81215635
60	IMG_0059.tif	-0,755263	0,758264	0,7567635	-0,7540257	0,874271	0,81414835
61	IMG_0060.tif	-0,766814	0,75546	0,761137	-0,7669757	0,868357	0,81766635
62	IMG_0061.tif	-0,772493	0,782419	0,777456	-0,7726627	0,854076	0,81336935
63	IMG_0062.tif	-0,753587	0,757735	0,755661	-0,7535547	0,862785	0,80816985
64	IMG_0063.tif	-0,758893	0,768628	0,7637605	-0,7594677	0,870756	0,81511185
65	IMG_0064.tif	-0,754204	0,792667	0,7734355	-0,7526737	0,882258	0,81746585
66	IMG_0065.tif	-0,76251	0,774535	0,7685225	-0,7627457	0,856797	0,80977135
67	IMG_0066.tif	-0,752785	0,764995	0,75889	-0,7536177	0,847298	0,80045785
68	IMG_0067.tif	-0,755404	0,779603	0,7675035	-0,719884	0,85761	0,788747
69	IMG_0068.tif	-0,755366	0,776528	0,765947	-0,71878	0,832529	0,7756545
70	IMG_0069.tif	-0,748894	0,769691	0,7592925	-0,713415	0,828273	0,770844
71	IMG_0070.tif	-0,718762	0,76936	0,744061	-0,710624	0,825904	0,768264
72	IMG_0071.tif	-0,718949	0,753123	0,736036	-0,708417	0,820603	0,76451
73	IMG_0072.tif	-0,723337	0,803008	0,7631725	-0,712715	0,829591	0,771153
74	IMG_0073.tif	-0,711527	0,808872	0,7601995	-0,704108	0,822576	0,763342
75	IMG_0074.tif	-0,71277	0,817067	0,7649185	-0,704982	0,851924	0,778453
76	IMG_0075.tif	-0,712503	0,793916	0,7532095	-0,704222	0,841532	0,772877
77	IMG_0076.tif	-0,717272	0,80219	0,759731	-0,70438	0,829555	0,7669675
78	IMG_0077.tif	-0,709348	0,802687	0,7560175	-0,701985	0,836707	0,769346
79	IMG_0078.tif	-0,711096	0,800067	0,7555815	-0,703496	0,83141	0,767453
80	IMG_0079.tif	-0,718581	0,801944	0,7602625	-0,711518	0,847072	0,779295
81	IMG_0080.tif	-0,702263	0,805908	0,7540855	-0,694962	0,809984	0,752473
82	IMG_0081.tif	-0,730827	0,800312	0,7655695	-0,722285	0,816203	0,769244
83	IMG_0082.tif	-0,727267	0,814047	0,770657	-0,712223	0,817006	0,7646145
84	IMG_0083.tif	-0,711947	0,80608	0,7590135	-0,70393	0,828699	0,7663145
85	IMG_0084.tif	-0,691824	0,792345	0,7420845	-0,682115	0,867729	0,774922

MUESTRAS		ÍNDICE NORMALIZADO DE BORDE ROJO					
		MATLAB			QGIS		
		NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO	NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO
86	IMG_0085.tif	-0,721715	0,7507377	0,73622635	-0,7435584	0,847315	0,7954367
87	IMG_0086.tif	-0,73132	0,7534637	0,74239185	-0,7548964	0,846398	0,8006472
88	IMG_0087.tif	-0,732595	0,7692307	0,75091285	-0,7546034	0,853393	0,8039982
89	IMG_0088.tif	-0,735942	0,7644557	0,75019885	-0,7600704	0,868365	0,8142177
90	IMG_0089.tif	-0,713867	0,7610427	0,73745485	-0,7384534	0,836532	0,7874927
91	IMG_0090.tif	-0,720827	0,7591467	0,73998685	-0,7456184	0,85911	0,8023642
92	IMG_0091.tif	-0,732365	0,7749127	0,75363885	-0,7564064	0,854838	0,8056222
93	IMG_0092.tif	-0,73571	0,7811297	0,75841985	-0,7604814	0,792548	0,7765147
94	IMG_0093.tif	-0,687286	0,7941247	0,74070535	-0,7119044	0,785418	0,7486612
95	IMG_0094.tif	-0,653702	0,8040017	0,72885185	-0,6743904	0,813929	0,7441597
96	IMG_0095.tif	-0,670102	0,7864637	0,72828285	-0,6921564	0,845473	0,7688147
97	IMG_0096.tif	-0,706781	0,7821257	0,74445335	-0,7185534	0,825415	0,7719842
98	IMG_0097.tif	-0,714151	0,7502357	0,73219335	-0,7270604	0,846999	0,7870297
99	IMG_0098.tif	-0,701723	0,7460653	0,72389415	-0,703467	0,816099	0,759783
100	IMG_0099.tif	-0,695262	0,7378343	0,71654815	-0,699275	0,8062	0,7527375
101	IMG_0100.tif	-0,678719	0,7727283	0,72572365	-0,680274	0,835267	0,7577705
102	IMG_0101.tif	-0,692692	0,7702683	0,73148015	-0,695647	0,855947	0,775797
103	IMG_0102.tif	-0,671946	0,7551863	0,71356615	-0,675042	0,841239	0,7581405
104	IMG_0103.tif	-0,7165	0,7388543	0,72767715	-0,720074	0,835376	0,777725
105	IMG_0104.tif	-0,68242	0,7463823	0,71440115	-0,683477	0,829657	0,756567
106	IMG_0105.tif	-0,686868	0,7729473	0,72990765	-0,688217	0,859346	0,7737815
107	IMG_0106.tif	-0,689234	0,7621813	0,72570765	-0,690339	0,848778	0,7695585
108	IMG_0107.tif	-0,734551	0,7348773	0,73471415	-0,735822	0,830072	0,782947
109	IMG_0108.tif	-0,736669	0,7474243	0,74204665	-0,734628	0,811754	0,773191
110	IMG_0109.tif	-0,732316	0,756993	0,7446545	-0,730475	0,842405	0,78644
111	IMG_0110.tif	-0,727415	0,741533	0,734474	-0,727306	0,846686	0,786996
112	IMG_0111.tif	-0,729916	0,745603	0,7377595	-0,738748	0,853777	0,7962625
113	IMG_0112.tif	-0,728816	0,738185	0,7335005	-0,736627	0,827968	0,7822975
114	IMG_0113.tif	-0,728836	0,745003	0,7369195	-0,73756	0,803699	0,7706295
115	IMG_0114.tif	-0,701969	0,728471	0,71522	-0,709648	0,840834	0,775241
116	IMG_0115.tif	-0,70415	0,781688	0,742919	-0,712069	0,832582	0,7723255
117	IMG_0116.tif	-0,712754	0,745738	0,729246	-0,721307	0,808503	0,764905
118	IMG_0117.tif	-0,713497	0,75645	0,7349735	-0,679868	0,847778	0,763823
119	IMG_0118.tif	-0,73256	0,742293	0,7374265	-0,700531	0,836617	0,768574
120	IMG_0119.tif	-0,716106	0,749588	0,732847	-0,684231	0,845922	0,7650765
121	IMG_0120.tif	-0,73439	0,757688	0,746039	-0,700134	0,857038	0,778586
122	IMG_0121.tif	-0,768565	0,7470498	0,7578074	-0,77099	0,874217	0,8226035
123	IMG_0122.tif	-0,769052	0,7239658	0,7465089	-0,775254	0,873885	0,8245695
124	IMG_0123.tif	-0,759369	0,7132128	0,7362909	-0,765368	0,841422	0,803395
125	IMG_0124.tif	-0,764818	0,6899468	0,7273824	-0,769348	0,830803	0,8000755
126	IMG_0125.tif	-0,768622	0,6929328	0,7307774	-0,773959	0,838871	0,806415
127	IMG_0126.tif	-0,767579	0,6968218	0,7322004	-0,771975	0,839551	0,805763
128	IMG_0127.tif	-0,765045	0,6934438	0,7292444	-0,769489	0,839365	0,804427

MUESTRAS		ÍNDICE NORMALIZADO DE BORDE ROJO					
		MATLAB			QGIS		
		NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO	NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO
129	IMG_0128.tif	-0,76097	0,6998618	0,7304159	-0,727482	0,772769	0,7501255
130	IMG_0129.tif	-0,755824	0,6823848	0,7191044	-0,721197	0,750058	0,7356275
131	IMG_0130.tif	-0,709073	0,771553	0,740313	-0,739441	0,778668	0,7590545
132	IMG_0131.tif	-0,707865	0,768988	0,7384265	-0,738486	0,764579	0,7515325
133	IMG_0132.tif	-0,697407	0,766618	0,7320125	-0,728098	0,770792	0,749445
134	IMG_0133.tif	-0,685998	0,767142	0,72657	-0,716542	0,7551	0,735821
135	IMG_0134.tif	-0,675666	0,793773	0,7347195	-0,704388	0,779269	0,7418285
136	IMG_0135.tif	-0,678014	0,79717	0,737592	-0,705597	0,797413	0,751505
137	IMG_0136.tif	-0,685779	0,797102	0,7414405	-0,715528	0,820543	0,7680355
138	IMG_0137.tif	-0,705937	0,699404	0,7026705	-0,733596	0,651362	0,692479
139	IMG_0138.tif	-0,66108	0,801032	0,731056	-0,688937	0,825135	0,757036
140	IMG_0139.tif	-0,660902	0,758552	0,709727	-0,68881	0,786191	0,7375005
141	IMG_0140.tif	-0,76097	0,6998618	0,7304159	-0,727482	0,772769	0,7501255
142	IMG_0141.tif	-0,7582452	0,7928192	0,7755322	-0,762246	0,829738	0,795992
143	IMG_0142.tif	-0,7549922	0,7583532	0,7566727	-0,75816	0,879538	0,818849
144	IMG_0143.tif	-0,7691612	0,7492042	0,7591827	-0,770859	0,84975	0,8103045
145	IMG_0144.tif	-0,7699832	0,7634202	0,7667017	-0,77172	0,871756	0,821738
146	IMG_0145.tif	-0,7556552	0,7513672	0,7535112	-0,758017	0,863602	0,8108095
147	IMG_0146.tif	-0,7560072	0,7388172	0,7474122	-0,758482	0,850138	0,80431
148	IMG_0147.tif	-0,7595102	0,7584462	0,7589782	-0,759052	0,848608	0,80383
149	IMG_0148.tif	-0,7562832	0,7629772	0,7596302	-0,757808	0,856683	0,8072455
150	IMG_0149.tif	-0,7584042	0,7417502	0,7500772	-0,761789	0,841316	0,8015525
151	IMG_0150.tif	-0,750332	0,774482	0,762407	-0,764211	0,840746	0,8024785
152	IMG_0151.tif	-0,738528	0,779375	0,7589515	-0,753497	0,868477	0,810987
153	IMG_0152.tif	-0,737246	0,791647	0,7644465	-0,752257	0,857355	0,804806
154	IMG_0153.tif	-0,7582452	0,7928192	0,7755322	-0,762246	0,829738	0,795992
155	IMG_0154.tif	-0,736669	0,7474243	0,74204665	-0,734628	0,811754	0,773191
156	IMG_0155.tif	-0,732316	0,756993	0,7446545	-0,730475	0,842405	0,78644
157	IMG_0156.tif	-0,727415	0,741533	0,734474	-0,727306	0,846686	0,786996
158	IMG_0157.tif	-0,729916	0,745603	0,7377595	-0,738748	0,853777	0,7962625
159	IMG_0158.tif	-0,728816	0,738185	0,7335005	-0,736627	0,827968	0,7822975
160	IMG_0159.tif	-0,728836	0,745003	0,7369195	-0,73756	0,803699	0,7706295
161	IMG_0160.tif	-0,701969	0,728471	0,71522	-0,709648	0,840834	0,775241
162	IMG_0161.tif	-0,70415	0,781688	0,742919	-0,712069	0,832582	0,7723255
163	IMG_0162.tif	-0,712754	0,745738	0,729246	-0,721307	0,808503	0,764905
164	IMG_0163.tif	-0,713497	0,75645	0,7349735	-0,679868	0,847778	0,763823
165	IMG_0164.tif	-0,73256	0,742293	0,7374265	-0,700531	0,836617	0,768574
166	IMG_0165.tif	-0,716106	0,749588	0,732847	-0,684231	0,845922	0,7650765
167	IMG_0166.tif	-0,73439	0,757688	0,746039	-0,700134	0,857038	0,778586
168	IMG_0167.tif	-0,768565	0,7470498	0,7578074	-0,77099	0,874217	0,8226035
169	IMG_0168.tif	-0,769052	0,7239658	0,7465089	-0,775254	0,873885	0,8245695
170	IMG_0169.tif	-0,759369	0,7132128	0,7362909	-0,765368	0,841422	0,803395
171	IMG_0170.tif	-0,764818	0,6899468	0,7273824	-0,769348	0,830803	0,8000755

MUESTRAS		ÍNDICE NORMALIZADO DE BORDE ROJO					
		MATLAB			QGIS		
		NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO	NDRE MIN	NDRE MAX	VALOR INTERMEDIO
172	IMG_0171.tif	-0,755263	0,758264	0,7567635	-0,7540257	0,874271	0,81414835
173	IMG_0172.tif	-0,766814	0,75546	0,761137	-0,7669757	0,868357	0,81766635
174	IMG_0173.tif	-0,772493	0,782419	0,777456	-0,7726627	0,854076	0,81336935
175	IMG_0174.tif	-0,753587	0,757735	0,755661	-0,7535547	0,862785	0,80816985
176	IMG_0175.tif	-0,758893	0,768628	0,7637605	-0,7594677	0,870756	0,81511185
177	IMG_0176.tif	-0,754204	0,792667	0,7734355	-0,7526737	0,882258	0,81746585
178	IMG_0177.tif	-0,76251	0,774535	0,7685225	-0,7627457	0,856797	0,80977135
179	IMG_0178.tif	-0,752785	0,764995	0,75889	-0,7536177	0,847298	0,80045785
180	IMG_0179.tif	-0,755404	0,779603	0,7675035	-0,719884	0,85761	0,788747
181	IMG_0180.tif	-0,755366	0,776528	0,765947	-0,71878	0,832529	0,7756545
182	IMG_0181.tif	-0,748894	0,769691	0,7592925	-0,713415	0,828273	0,770844
183	IMG_0182.tif	-0,720827	0,7591467	0,73998685	-0,7456184	0,85911	0,8023642
184	IMG_0183.tif	-0,732365	0,7749127	0,75363885	-0,7564064	0,854838	0,8056222
185	IMG_0184.tif	-0,73571	0,7811297	0,75841985	-0,7604814	0,792548	0,7765147
186	IMG_0185.tif	-0,687286	0,7941247	0,74070535	-0,7119044	0,785418	0,7486612
187	IMG_0186.tif	-0,653702	0,8040017	0,72885185	-0,6743904	0,813929	0,7441597
188	IMG_0187.tif	-0,670102	0,7864637	0,72828285	-0,6921564	0,845473	0,7688147
189	IMG_0188.tif	-0,706781	0,7821257	0,74445335	-0,7185534	0,825415	0,7719842
190	IMG_0189.tif	-0,714151	0,7502357	0,73219335	-0,7270604	0,846999	0,7870297
191	IMG_0190.tif	-0,701723	0,7460653	0,72389415	-0,703467	0,816099	0,759783
192	IMG_0191.tif	-0,720827	0,7591467	0,73998685	-0,7456184	0,85911	0,8023642

ANEXO F: Muestra de valores mínimos y máximos SAVI en MATLAB y QGIS

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO					
		MATLAB			QGIS		
		SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO	SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO
1	IMG_0000.tif	-0,640755	0,6449352	0,6428451	-0,650707	0,6499483	0,65032765
2	IMG_0001.tif	-0,638224	0,6808004	0,6595122	-0,637193	0,6355221	0,63635755
3	IMG_0002.tif	-0,631372	0,582379	0,6068755	-0,659321	0,602035	0,630678
4	IMG_0003.tif	-0,615357	0,5863218	0,6008394	-0,648832	0,6097838	0,6293079
5	IMG_0004.tif	-0,621678	0,6170615	0,61936975	-0,656622	0,6319283	0,64427515
6	IMG_0005.tif	-0,625108	0,591636	0,608372	-0,657971	0,6130554	0,6355132
7	IMG_0006.tif	-0,605486	0,5809539	0,59321995	-0,640302	0,5991408	0,6197214
8	IMG_0007.tif	-0,608455	0,5933466	0,6009008	-0,642428	0,6133176	0,6278728
9	IMG_0008.tif	-0,614875	0,5885171	0,60169605	-0,649368	0,6150562	0,6322121
10	IMG_0009.tif	-0,611981	0,5825517	0,59726635	-0,646693	0,6063666	0,6265298
11	IMG_0010.tif	-0,621196	0,5747159	0,59795595	-0,63758	0,6017334	0,6196567
12	IMG_0011.tif	-0,617343	0,5605373	0,58894015	-0,61731	0,5693545	0,59333225
13	IMG_0012.tif	-0,612199	0,5877447	0,59997185	-0,628464	0,6435037	0,63598385
14	IMG_0013.tif	-0,60558	0,5815789	0,59357945	-0,621811	0,6322402	0,6270256
15	IMG_0014.tif	-0,620139	0,6081318	0,6141354	-0,636503	0,637099	0,636801
16	IMG_0015.tif	-0,598149	0,5969529	0,59755095	-0,613354	0,6301655	0,62175975
17	IMG_0016.tif	-0,582681	0,6501404	0,6164107	-0,587104	0,6412513	0,61417765
18	IMG_0017.tif	-0,602503	0,6654786	0,6339908	-0,60366	0,6788654	0,6412627
19	IMG_0018.tif	-0,624264	0,6542475	0,63925575	-0,623935	0,6731268	0,6485309
20	IMG_0019.tif	-0,556008	0,6384519	0,59722995	-0,556987	0,6447108	0,6008489
21	IMG_0020.tif	-0,582742	0,6466662	0,6147041	-0,596124	0,6567225	0,62642325
22	IMG_0021.tif	-0,611105	0,6275256	0,6193153	-0,58881	0,6522567	0,62053335
23	IMG_0022.tif	-0,565954	0,667702	0,616828	-0,571039	0,6576141	0,61432655
24	IMG_0023.tif	-0,672161	0,6296034	0,6508822	-0,642649	0,6482228	0,6454359
25	IMG_0024.tif	-0,658374	0,6135495	0,63596175	-0,624221	0,6242727	0,62424685
26	IMG_0025.tif	-0,646903	0,5558509	0,60137695	-0,628397	0,6159013	0,62214915
27	IMG_0026.tif	-0,655297	0,5642075	0,60975225	-0,595488	0,602318	0,598903
28	IMG_0027.tif	-0,594051	0,6163863	0,60521865	-0,58353	0,6316648	0,6075974
29	IMG_0028.tif	-0,607246	0,6394357	0,62334085	-0,593483	0,6479191	0,62070105
30	IMG_0029.tif	-0,62453	0,594748	0,609639	-0,610541	0,6221788	0,6163599
31	IMG_0030.tif	-0,629324	0,6632611	0,64629255	-0,616045	0,655366	0,6357055
32	IMG_0031.tif	-0,622244	0,6059573	0,61410065	-0,618675	0,6566552	0,6376651
33	IMG_0032.tif	-0,610395	0,6179875	0,61419125	-0,575888	0,6540784	0,6149832
34	IMG_0033.tif	-0,602776	0,6088351	0,60580555	-0,589257	0,6489178	0,6190874
35	IMG_0034.tif	-0,599474	0,6152279	0,60735095	-0,585833	0,6448246	0,6153288
36	IMG_0035.tif	-0,599279	0,6043893	0,60183415	-0,579034	0,635632	0,607333
37	IMG_0036.tif	-0,635847	0,6027053	0,61927615	-0,614347	0,6310541	0,62270055
38	IMG_0037.tif	-0,621306	0,58499	0,603148	-0,607616	0,6213018	0,6144589
39	IMG_0038.tif	-0,614444	0,5774513	0,59594765	-0,596669	0,6180249	0,60734695
40	IMG_0039.tif	-0,647564	0,5874966	0,6175303	-0,641301	0,6240851	0,63269305
41	IMG_0040.tif	-0,65422	0,5931493	0,62368465	-0,644485	0,6333378	0,6389114
42	IMG_0041.tif	-0,652854	0,6136581	0,63325605	-0,644219	0,6495281	0,64687355

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO					
		MATLAB			QGIS		
		SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO	SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO
43	IMG_0042.tif	-0,648931	0,6056792	0,6273051	-0,641036	0,65286	0,646948
44	IMG_0043.tif	-0,650383	0,6149912	0,6326871	-0,642096	0,6492722	0,6456841
45	IMG_0044.tif	-0,653634	0,6016927	0,62766335	-0,645548	0,65004	0,647794
46	IMG_0045.tif	-0,647185	0,6100358	0,6286104	-0,638391	0,6569157	0,64765335
47	IMG_0046.tif	-0,656992	0,6181528	0,6375724	-0,636124	0,6505522	0,6433381
48	IMG_0047.tif	-0,660851	0,6256558	0,6432534	-0,647412	0,6477382	0,6475751
49	IMG_0048.tif	-0,644103	0,6204352	0,6322691	-0,636016	0,6549155	0,64546575
50	IMG_0049.tif	-0,648368	0,6276821	0,63802505	-0,634699	0,6523467	0,64352285
51	IMG_0050.tif	-0,655554	0,6342652	0,6449096	-0,62071	0,6533735	0,63704175
52	IMG_0051.tif	-0,643476	0,6242901	0,63388305	-0,613903	0,646972	0,6304375
53	IMG_0052.tif	-0,609835	0,6371638	0,6234994	-0,620975	0,6509921	0,63598355
54	IMG_0053.tif	-0,612892	0,6388616	0,6258768	-0,616374	0,6980121	0,65719305
55	IMG_0054.tif	-0,639982	0,6524942	0,6462381	-0,634327	0,6973714	0,6658492
56	IMG_0055.tif	-0,684127	0,6882332	0,6861801	-0,643502	0,7039673	0,67373465
57	IMG_0056.tif	-0,58936	0,5952936	0,5923268	-0,600735	0,6620406	0,6313878
58	IMG_0057.tif	-0,59141	0,6508417	0,62112585	-0,609625	0,6673885	0,63850675
59	IMG_0058.tif	-0,609725	0,6725501	0,64113755	-0,608837	0,7125345	0,66068575
60	IMG_0059.tif	-0,636491	0,6559215	0,64620625	-0,628699	0,7020052	0,6653521
61	IMG_0060.tif	-0,620367	0,6534582	0,6369126	-0,620975	0,6998734	0,6604242
62	IMG_0061.tif	-0,603216	0,6826162	0,6429161	-0,61278	0,6886726	0,6507263
63	IMG_0062.tif	-0,657421	0,6673126	0,6623668	-0,627401	0,6881998	0,6578004
64	IMG_0063.tif	-0,661424	0,6811195	0,67127175	-0,621506	0,7006263	0,66106615
65	IMG_0064.tif	-0,644982	0,7054899	0,67523595	-0,62264	0,7043296	0,6634848
66	IMG_0065.tif	-0,626197	0,6938834	0,6600402	-0,614647	0,6930988	0,6538729
67	IMG_0066.tif	-0,644853	0,66783	0,6563415	-0,632448	0,7048468	0,6686474
68	IMG_0067.tif	-0,629858	0,6535347	0,64169635	-0,619649	0,6992744	0,6594617
69	IMG_0068.tif	-0,628644	0,6625644	0,6456042	-0,628699	0,6946191	0,66165905
70	IMG_0069.tif	-0,634686	0,6581811	0,64643355	-0,62443	0,6570732	0,6407516
71	IMG_0070.tif	-0,61691	0,6525965	0,63475325	-0,605815	0,6560267	0,63092085
72	IMG_0071.tif	-0,623303	0,6564261	0,63986455	-0,605673	0,6553042	0,6304886
73	IMG_0072.tif	-0,602602	0,5839797	0,59329085	-0,602974	0,6531671	0,62807055
74	IMG_0073.tif	-0,610571	0,5664692	0,5885201	-0,603759	0,6452892	0,6245241
75	IMG_0074.tif	-0,614784	0,5571555	0,58596975	-0,611903	0,6344191	0,62316105
76	IMG_0075.tif	-0,610839	0,557734	0,5842865	-0,609532	0,6192394	0,6143857
77	IMG_0076.tif	-0,603409	0,5571782	0,5802936	-0,613223	0,6303673	0,62179515
78	IMG_0077.tif	-0,608219	0,5696421	0,58893055	-0,619048	0,6289513	0,62399965
79	IMG_0078.tif	-0,609186	0,5606088	0,5848974	-0,617165	0,6427506	0,6299578
80	IMG_0079.tif	-0,604569	0,5570338	0,5808014	-0,615602	0,633938	0,62477
81	IMG_0080.tif	-0,60617	0,5365663	0,57136815	-0,607692	0,6213197	0,61450585
82	IMG_0081.tif	-0,611149	0,5531076	0,5821283	-0,622249	0,6157858	0,6190174
83	IMG_0082.tif	-0,602497	0,5491288	0,5758129	-0,613399	0,610383	0,611891
84	IMG_0083.tif	-0,611189	0,558007	0,584598	-0,611639	0,6206255	0,61613225
85	IMG_0084.tif	-0,611736	0,5578647	0,58480035	-0,596137	0,6321842	0,6141606

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO					
		MATLAB			QGIS		
		SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO	SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO
86	IMG_0085.tif	-0,611736	0,5578647	0,58480035	-0,596137	0,6321842	0,6141606
87	IMG_0086.tif	-0,6190926	0,6042265	0,61165955	-0,632582	0,6451824	0,6388822
88	IMG_0087.tif	-0,6178036	0,6140928	0,6159482	-0,632316	0,6475097	0,63991285
89	IMG_0088.tif	-0,6268896	0,6171403	0,62201495	-0,64138	0,6450169	0,64319845
90	IMG_0089.tif	-0,6233386	0,605365	0,6143518	-0,635773	0,6512594	0,6435162
91	IMG_0090.tif	-0,6149366	0,5997564	0,6073465	-0,629665	0,6273645	0,62851475
92	IMG_0091.tif	-0,6309706	0,5380792	0,5845249	-0,637105	0,6063447	0,62172485
93	IMG_0092.tif	-0,6123826	0,6032629	0,60782275	-0,625437	0,6518457	0,63864135
94	IMG_0093.tif	-0,5786316	0,5716217	0,57512665	-0,577346	0,591195	0,5842705
95	IMG_0094.tif	-0,5888446	0,6165622	0,6027034	-0,580771	0,5958814	0,5883262
96	IMG_0095.tif	-0,6051536	0,5794262	0,5922899	-0,611551	0,6283293	0,61994015
97	IMG_0096.tif	-0,5843946	0,6479526	0,6161736	-0,597588	0,6748897	0,63623885
98	IMG_0097.tif	-0,591367	0,6766839	0,63402545	-0,607285	0,6666638	0,6369744
99	IMG_0098.tif	-0,590082	0,6075166	0,5987993	-0,613635	0,6351243	0,62437965
100	IMG_0099.tif	-0,601355	0,5814388	0,5913969	-0,581508	0,595178	0,588343
101	IMG_0100.tif	-0,606601	0,5661379	0,58636945	-0,585947	0,581026	0,5834865
102	IMG_0101.tif	-0,568483	0,6223371	0,59541005	-0,562024	0,6321361	0,59708005
103	IMG_0102.tif	-0,596377	0,6504596	0,6234183	-0,589092	0,6713516	0,6302218
104	IMG_0103.tif	-0,596072	0,6089596	0,6025158	-0,589092	0,5934453	0,59126865
105	IMG_0104.tif	-0,607262	0,5454345	0,57634825	-0,587256	0,5712225	0,57923925
106	IMG_0105.tif	-0,603015	0,6049227	0,60396885	-0,583856	0,6284164	0,6061362
107	IMG_0106.tif	-0,5926	0,6158121	0,60420605	-0,572541	0,6351243	0,60383265
108	IMG_0107.tif	-0,585336	0,6168024	0,6010692	-0,568818	0,6391744	0,6039962
109	IMG_0108.tif	-0,595004	0,5840401	0,58952205	-0,586732	0,6097937	0,59826285
110	IMG_0109.tif	-0,628483	0,614208	0,6213455	-0,588305	0,6193249	0,60381495
111	IMG_0110.tif	-0,6071	0,6262157	0,61665785	-0,612819	0,6384138	0,6256164
112	IMG_0111.tif	-0,640197	0,5619938	0,6010954	-0,627398	0,6016591	0,61452855
113	IMG_0112.tif	-0,618809	0,5705929	0,59470095	-0,618097	0,6308781	0,62448755
114	IMG_0113.tif	-0,613672	0,5562458	0,5849589	-0,614663	0,6277416	0,6212023
115	IMG_0114.tif	-0,645176	0,5481433	0,59665965	-0,621012	0,5972922	0,6091521
116	IMG_0115.tif	-0,603773	0,6118775	0,60782525	-0,604688	0,6571156	0,6309018
117	IMG_0116.tif	-0,598499	0,617154	0,6078265	-0,609139	0,6466595	0,62789925
118	IMG_0117.tif	-0,608785	0,6086757	0,60873035	-0,612819	0,6337939	0,62330645
119	IMG_0118.tif	-0,610098	0,6137207	0,61190935	-0,623402	0,6408382	0,6321201
120	IMG_0119.tif	-0,624011	0,5995354	0,6117732	-0,630874	0,6221253	0,62649965
121	IMG_0120.tif	-0,623051	0,6058994	0,6144752	-0,631141	0,636878	0,6340095
122	IMG_0121.tif	-0,648931	0,6056792	0,6273051	-0,641036	0,65286	0,646948
123	IMG_0122.tif	-0,650383	0,6149912	0,6326871	-0,642096	0,6492722	0,6456841
124	IMG_0123.tif	-0,653634	0,6016927	0,62766335	-0,645548	0,65004	0,647794
125	IMG_0124.tif	-0,647185	0,6100358	0,6286104	-0,638391	0,6569157	0,64765335
126	IMG_0125.tif	-0,656992	0,6181528	0,6375724	-0,636124	0,6505522	0,6433381
127	IMG_0126.tif	-0,660851	0,6256558	0,6432534	-0,647412	0,6477382	0,6475751
128	IMG_0127.tif	-0,644103	0,6204352	0,6322691	-0,636016	0,6549155	0,64546575

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO					
		MATLAB			QGIS		
		SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO	SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO
129	IMG_0128.tif	-0,646903	0,5558509	0,60137695	-0,628397	0,6159013	0,62214915
130	IMG_0129.tif	-0,655297	0,5642075	0,60975225	-0,595488	0,602318	0,598903
131	IMG_0130.tif	-0,594051	0,6163863	0,60521865	-0,58353	0,6316648	0,6075974
132	IMG_0131.tif	-0,607246	0,6394357	0,62334085	-0,593483	0,6479191	0,62070105
133	IMG_0132.tif	-0,62453	0,594748	0,609639	-0,610541	0,6221788	0,6163599
134	IMG_0133.tif	-0,629324	0,6632611	0,64629255	-0,616045	0,655366	0,6357055
135	IMG_0134.tif	-0,622244	0,6059573	0,61410065	-0,618675	0,6566552	0,6376651
136	IMG_0135.tif	-0,610395	0,6179875	0,61419125	-0,575888	0,6540784	0,6149832
137	IMG_0136.tif	-0,602776	0,6088351	0,60580555	-0,589257	0,6489178	0,6190874
138	IMG_0137.tif	-0,599474	0,6152279	0,60735095	-0,585833	0,6448246	0,6153288
139	IMG_0138.tif	-0,646903	0,5558509	0,60137695	-0,628397	0,6159013	0,62214915
140	IMG_0139.tif	-0,631372	0,582379	0,6068755	-0,659321	0,602035	0,630678
141	IMG_0140.tif	-0,615357	0,5863218	0,6008394	-0,648832	0,6097838	0,6293079
142	IMG_0141.tif	-0,621678	0,6170615	0,61936975	-0,656622	0,6319283	0,64427515
143	IMG_0142.tif	-0,625108	0,591636	0,608372	-0,657971	0,6130554	0,6355132
144	IMG_0143.tif	-0,605486	0,5809539	0,59321995	-0,640302	0,5991408	0,6197214
145	IMG_0144.tif	-0,608455	0,5933466	0,6009008	-0,642428	0,6133176	0,6278728
146	IMG_0145.tif	-0,614875	0,5885171	0,60169605	-0,649368	0,6150562	0,6322121
147	IMG_0146.tif	-0,611981	0,5825517	0,59726635	-0,646693	0,6063666	0,6265298
148	IMG_0147.tif	-0,621196	0,5747159	0,59795595	-0,63758	0,6017334	0,6196567
149	IMG_0148.tif	-0,617343	0,5605373	0,58894015	-0,61731	0,5693545	0,59333225
150	IMG_0149.tif	-0,612199	0,5877447	0,59997185	-0,628464	0,6435037	0,63598385
151	IMG_0150.tif	-0,60558	0,5815789	0,59357945	-0,621811	0,6322402	0,6270256
152	IMG_0151.tif	-0,620139	0,6081318	0,6141354	-0,636503	0,637099	0,636801
153	IMG_0152.tif	-0,631372	0,582379	0,6068755	-0,659321	0,602035	0,630678
154	IMG_0153.tif	-0,615357	0,5863218	0,6008394	-0,648832	0,6097838	0,6293079
155	IMG_0154.tif	-0,621678	0,6170615	0,61936975	-0,656622	0,6319283	0,64427515
156	IMG_0155.tif	-0,602503	0,6654786	0,6339908	-0,60366	0,6788654	0,6412627
157	IMG_0156.tif	-0,624264	0,6542475	0,63925575	-0,623935	0,6731268	0,6485309
158	IMG_0157.tif	-0,556008	0,6384519	0,59722995	-0,556987	0,6447108	0,6008489
159	IMG_0158.tif	-0,582742	0,6466662	0,6147041	-0,596124	0,6567225	0,62642325
160	IMG_0159.tif	-0,611105	0,6275256	0,6193153	-0,58881	0,6522567	0,62053335
161	IMG_0160.tif	-0,565954	0,667702	0,616828	-0,571039	0,6576141	0,61432655
162	IMG_0161.tif	-0,672161	0,6296034	0,6508822	-0,642649	0,6482228	0,6454359
163	IMG_0162.tif	-0,658374	0,6135495	0,63596175	-0,624221	0,6242727	0,62424685
164	IMG_0163.tif	-0,646903	0,5558509	0,60137695	-0,628397	0,6159013	0,62214915
165	IMG_0164.tif	-0,655297	0,5642075	0,60975225	-0,595488	0,602318	0,598903
166	IMG_0165.tif	-0,611736	0,5578647	0,58480035	-0,596137	0,6321842	0,6141606
167	IMG_0166.tif	-0,6190926	0,6042265	0,61165955	-0,632582	0,6451824	0,6388822
168	IMG_0167.tif	-0,6178036	0,6140928	0,6159482	-0,632316	0,6475097	0,63991285
169	IMG_0168.tif	-0,6268896	0,6171403	0,62201495	-0,64138	0,6450169	0,64319845
170	IMG_0169.tif	-0,6233386	0,605365	0,6143518	-0,635773	0,6512594	0,6435162
171	IMG_0170.tif	-0,6149366	0,5997564	0,6073465	-0,629665	0,6273645	0,62851475

MUESTRAS		ÍNDICE DE VEGETACIÓN AJUSTADO AL SUELO					
		MATLAB			QGIS		
		SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO	SAVI MIN	SAVI MAX	VALOR INTERMEDIO
172	IMG_0171.tif	-0,6071	0,6262157	0,61665785	-0,612819	0,6384138	0,6256164
173	IMG_0172.tif	-0,640197	0,5619938	0,6010954	-0,627398	0,6016591	0,61452855
174	IMG_0173.tif	-0,618809	0,5705929	0,59470095	-0,618097	0,6308781	0,62448755
175	IMG_0174.tif	-0,613672	0,5562458	0,5849589	-0,614663	0,6277416	0,6212023
176	IMG_0175.tif	-0,645176	0,5481433	0,59665965	-0,621012	0,5972922	0,6091521
177	IMG_0176.tif	-0,603773	0,6118775	0,60782525	-0,604688	0,6571156	0,6309018
178	IMG_0177.tif	-0,598499	0,617154	0,6078265	-0,609139	0,6466595	0,62789925
179	IMG_0178.tif	-0,608785	0,6086757	0,60873035	-0,612819	0,6337939	0,62330645
180	IMG_0179.tif	-0,610098	0,6137207	0,61190935	-0,623402	0,6408382	0,6321201
181	IMG_0180.tif	-0,624011	0,5995354	0,6117732	-0,630874	0,6221253	0,62649965
182	IMG_0181.tif	-0,623051	0,6058994	0,6144752	-0,631141	0,636878	0,6340095
183	IMG_0182.tif	-0,6071	0,6262157	0,61665785	-0,612819	0,6384138	0,6256164
184	IMG_0183.tif	-0,640197	0,5619938	0,6010954	-0,627398	0,6016591	0,61452855
185	IMG_0184.tif	-0,640197	0,5619938	0,6010954	-0,627398	0,6016591	0,61452855
186	IMG_0185.tif	-0,618809	0,5705929	0,59470095	-0,618097	0,6308781	0,62448755
187	IMG_0186.tif	-0,613672	0,5562458	0,5849589	-0,614663	0,6277416	0,6212023
188	IMG_0187.tif	-0,645176	0,5481433	0,59665965	-0,621012	0,5972922	0,6091521
189	IMG_0188.tif	-0,603773	0,6118775	0,60782525	-0,604688	0,6571156	0,6309018
190	IMG_0189.tif	-0,598499	0,617154	0,6078265	-0,609139	0,6466595	0,62789925
191	IMG_0190.tif	-0,608785	0,6086757	0,60873035	-0,612819	0,6337939	0,62330645
192	IMG_0191.tif	-0,610098	0,6137207	0,61190935	-0,623402	0,6408382	0,6321201

ANEXO G: Cálculo Chi-Cuadrado

MUESTRAS	NDVI		NDRE		SAVI		$\frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$		
	F. O	F. E	F. O	F. E	F. O	F. E	NDVI	NDRE	SAVI
1	0,782512	0,781829	0,757807	0,822604	0,642845	0,650328	0,000001	0,005104	0,000086
2	0,785673	0,778028	0,746509	0,824570	0,659512	0,636358	0,000075	0,007390	0,000843
3	0,767037	0,769308	0,736291	0,803395	0,606876	0,630678	0,000007	0,005605	0,000898
4	0,756349	0,757209	0,727382	0,800076	0,600839	0,629308	0,000001	0,006605	0,001288
5	0,766447	0,773946	0,730777	0,806415	0,619370	0,644275	0,000073	0,007094	0,000963
6	0,762163	0,771574	0,732200	0,805763	0,608372	0,635513	0,000115	0,006716	0,001159
7	0,743160	0,749510	0,729244	0,804427	0,593220	0,619721	0,000054	0,007027	0,001133
8	0,748325	0,755762	0,734445	0,805806	0,600901	0,627873	0,000073	0,006320	0,001159
9	0,750968	0,759454	0,733224	0,802065	0,601696	0,632212	0,000095	0,005909	0,001473
10	0,749329	0,733959	0,725329	0,787578	0,597266	0,626530	0,000322	0,004920	0,001367
11	0,752098	0,737794	0,730416	0,750126	0,597956	0,619657	0,000277	0,000518	0,000760
12	0,736743	0,701147	0,719104	0,735628	0,588940	0,593332	0,001807	0,000371	0,000033
13	0,758023	0,729207	0,740313	0,759055	0,599972	0,635984	0,001139	0,000463	0,002039
14	0,753640	0,724625	0,738427	0,751533	0,593579	0,627026	0,001162	0,000229	0,001784
15	0,759228	0,731027	0,732013	0,749445	0,614135	0,636801	0,001088	0,000405	0,000807
16	0,742463	0,743143	0,726570	0,735821	0,597551	0,621760	0,000001	0,000116	0,000943
17	0,738962	0,731151	0,734720	0,741829	0,616411	0,614178	0,000083	0,000068	0,000008
18	0,750653	0,755159	0,737592	0,751505	0,633991	0,641263	0,000027	0,000258	0,000082
19	0,767088	0,765551	0,741441	0,768036	0,639256	0,648531	0,000003	0,000921	0,000133
20	0,730289	0,731914	0,702671	0,692479	0,597230	0,600849	0,000004	0,000150	0,000022
21	0,735373	0,738051	0,731056	0,757036	0,614704	0,626423	0,000010	0,000892	0,000219
22	0,718834	0,733515	0,709727	0,737501	0,619315	0,620533	0,000294	0,001046	0,000002
23	0,712389	0,710418	0,749577	0,764986	0,616828	0,614327	0,000005	0,000310	0,000010
24	0,755704	0,759874	0,765250	0,794786	0,650882	0,645436	0,000023	0,001098	0,000046
25	0,734338	0,741041	0,784674	0,769416	0,635962	0,624247	0,000061	0,000303	0,000220
26	0,740803	0,752522	0,760945	0,775139	0,601377	0,622149	0,000182	0,000260	0,000694
27	0,707433	0,719428	0,772425	0,812257	0,609752	0,598903	0,000200	0,001953	0,000197
28	0,727168	0,731440	0,751215	0,792587	0,605219	0,607597	0,000025	0,002160	0,000009
29	0,742341	0,738336	0,765753	0,803275	0,623341	0,620701	0,000022	0,001753	0,000011
30	0,731274	0,729946	0,756640	0,819264	0,609639	0,616360	0,000002	0,004787	0,000073
31	0,748084	0,748446	0,775532	0,795992	0,646293	0,635706	0,000000	0,000526	0,000176
32	0,747454	0,751260	0,756673	0,818849	0,614101	0,637665	0,000019	0,004721	0,000871
33	0,748284	0,755245	0,759183	0,810305	0,614191	0,614983	0,000064	0,003225	0,000001
34	0,746794	0,751382	0,766702	0,821738	0,605806	0,619087	0,000028	0,003686	0,000285
35	0,747791	0,752597	0,753511	0,810810	0,607351	0,615329	0,000031	0,004049	0,000103
36	0,745340	0,749793	0,747412	0,804310	0,601834	0,607333	0,000026	0,004025	0,000050
37	0,757413	0,758989	0,758978	0,803830	0,619276	0,622701	0,000003	0,002503	0,000019
38	0,751315	0,753331	0,759630	0,807246	0,603148	0,614459	0,000005	0,002809	0,000208
39	0,744924	0,741680	0,750077	0,801553	0,595948	0,607347	0,000014	0,003306	0,000214
40	0,750941	0,749768	0,762407	0,802479	0,617530	0,632693	0,000002	0,002001	0,000363
41	0,749983	0,750014	0,758952	0,810987	0,623685	0,638911	0,000000	0,003339	0,000363
42	0,751854	0,755384	0,764447	0,804806	0,633256	0,646874	0,000016	0,002024	0,000287
43	0,750175	0,752883	0,765457	0,808725	0,627305	0,646948	0,000010	0,002315	0,000596

MUESTRAS	NDVI		NDRE		SAVI		$\frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$		
	F. O	F. E	F. O	F. E	F. O	F. E	NDVI	NDRE	SAVI
44	0,748788	0,749622	0,760211	0,813625	0,632687	0,645684	0,000001	0,003507	0,000262
45	0,748740	0,760363	0,765547	0,826120	0,627663	0,647794	0,000178	0,004441	0,000626
46	0,750390	0,760777	0,769840	0,815750	0,628610	0,647653	0,000142	0,002584	0,000560
47	0,748990	0,758064	0,775651	0,820396	0,637572	0,643338	0,000109	0,002440	0,000052
48	0,750290	0,760067	0,794634	0,824113	0,643253	0,647575	0,000126	0,001054	0,000029
49	0,748883	0,756984	0,788607	0,814552	0,632269	0,645466	0,000087	0,000826	0,000270
50	0,751859	0,755366	0,781505	0,816288	0,638025	0,643523	0,000016	0,001482	0,000047
51	0,754986	0,763480	0,758313	0,819871	0,644910	0,637042	0,000094	0,004622	0,000097
52	0,751284	0,760527	0,767842	0,822693	0,633883	0,630438	0,000112	0,003657	0,000019
53	0,759001	0,761548	0,767637	0,815006	0,623499	0,635984	0,000009	0,002753	0,000245
54	0,754197	0,762370	0,766847	0,817251	0,625877	0,657193	0,000088	0,003109	0,001492
55	0,756094	0,775438	0,768556	0,815397	0,646238	0,665849	0,000483	0,002691	0,000578
56	0,764398	0,775944	0,778196	0,798926	0,686180	0,673735	0,000172	0,000538	0,000230
57	0,728012	0,739119	0,753337	0,795786	0,592327	0,631388	0,000167	0,002264	0,002417
58	0,733331	0,733410	0,743211	0,794657	0,621126	0,638507	0,000000	0,003331	0,000473
59	0,753775	0,746058	0,754565	0,812156	0,641138	0,660686	0,000080	0,004084	0,000578
60	0,757096	0,753175	0,756764	0,814148	0,646206	0,665352	0,000020	0,004045	0,000551
61	0,751780	0,748477	0,761137	0,817666	0,636913	0,660424	0,000015	0,003908	0,000837
62	0,751559	0,734647	0,777456	0,813369	0,642916	0,650726	0,000389	0,001586	0,000094
63	0,749353	0,745040	0,755661	0,808170	0,662367	0,657800	0,000025	0,003412	0,000032
64	0,758555	0,747742	0,763761	0,815112	0,671272	0,661066	0,000156	0,003235	0,000158
65	0,760396	0,752378	0,773436	0,817466	0,675236	0,663485	0,000085	0,002372	0,000208
66	0,748441	0,739337	0,768523	0,809771	0,660040	0,653873	0,000112	0,002101	0,000058
67	0,778695	0,755518	0,758890	0,800458	0,656342	0,668647	0,000711	0,002159	0,000226
68	0,767649	0,745310	0,767504	0,788747	0,641696	0,659462	0,000670	0,000572	0,000479
69	0,774005	0,763412	0,765947	0,775655	0,645604	0,661659	0,000147	0,000121	0,000390
70	0,768321	0,757763	0,759293	0,770844	0,646434	0,640752	0,000147	0,000173	0,000050
71	0,753326	0,745661	0,744061	0,768264	0,634753	0,630921	0,000079	0,000762	0,000023
72	0,757029	0,749335	0,736036	0,764510	0,639865	0,630489	0,000079	0,001061	0,000139
73	0,750549	0,741118	0,763173	0,771153	0,593291	0,628071	0,000120	0,000083	0,001926
74	0,748318	0,740250	0,760200	0,763342	0,588520	0,624524	0,000088	0,000013	0,002076
75	0,748384	0,734467	0,764919	0,778453	0,585970	0,623161	0,000264	0,000235	0,002220
76	0,746533	0,734478	0,753210	0,772877	0,584287	0,614386	0,000198	0,000500	0,001475
77	0,745095	0,733283	0,759731	0,766968	0,580294	0,621795	0,000190	0,000068	0,002770
78	0,755027	0,742589	0,756018	0,769346	0,588931	0,624000	0,000208	0,000231	0,001971
79	0,738116	0,746927	0,755582	0,767453	0,584897	0,629958	0,000104	0,000184	0,003223
80	0,730114	0,735091	0,760263	0,779295	0,580801	0,624770	0,000034	0,000465	0,003094
81	0,719020	0,739753	0,754086	0,752473	0,571368	0,614506	0,000581	0,000003	0,003028
82	0,740732	0,757546	0,765570	0,769244	0,582128	0,619017	0,000373	0,000018	0,002198
83	0,740127	0,760238	0,770657	0,764615	0,575813	0,611891	0,000532	0,000048	0,002127
84	0,728011	0,746236	0,759014	0,766315	0,584598	0,616132	0,000445	0,000070	0,001614
85	0,730482	0,748133	0,742085	0,774922	0,584800	0,614161	0,000416	0,001391	0,001404
86	0,733340	0,754781	0,736226	0,795437	0,584800	0,614161	0,000609	0,004407	0,001404
87	0,742098	0,761800	0,742392	0,800647	0,611660	0,638882	0,000510	0,004239	0,001160

MUESTRAS	NDVI		NDRE		SAVI		$\frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$		
	F. O	F. E	F. O	F. E	F. O	F. E	NDVI	NDRE	SAVI
88	0,740731	0,759887	0,750913	0,803998	0,615948	0,639913	0,000483	0,003505	0,000897
89	0,741968	0,760555	0,750199	0,814218	0,622015	0,643198	0,000454	0,005034	0,000698
90	0,730292	0,747651	0,737455	0,787493	0,614352	0,643516	0,000403	0,003179	0,001322
91	0,737384	0,730421	0,739987	0,802364	0,607347	0,628515	0,000066	0,004849	0,000713
92	0,742447	0,739446	0,753639	0,805622	0,584525	0,621725	0,000012	0,003354	0,002226
93	0,715595	0,707247	0,758420	0,776515	0,607823	0,638641	0,000099	0,000422	0,001487
94	0,729436	0,716634	0,740705	0,748661	0,575127	0,584271	0,000229	0,000085	0,000143
95	0,728319	0,725210	0,728852	0,744160	0,602703	0,588326	0,000013	0,000315	0,000351
96	0,748156	0,734749	0,728283	0,768815	0,592290	0,619940	0,000245	0,002137	0,001233
97	0,748870	0,738621	0,744453	0,771984	0,616174	0,636239	0,000142	0,000982	0,000633
98	0,733723	0,724874	0,732193	0,787030	0,634025	0,636974	0,000108	0,003821	0,000014
99	0,724727	0,711072	0,723894	0,759783	0,598799	0,624380	0,000262	0,001695	0,001048
100	0,731170	0,718179	0,716548	0,752738	0,591397	0,588343	0,000235	0,001740	0,000016
101	0,749064	0,735940	0,725724	0,757771	0,586369	0,583487	0,000234	0,001355	0,000014
102	0,768449	0,755529	0,731480	0,775797	0,595410	0,597080	0,000221	0,002532	0,000005
103	0,731676	0,762283	0,713566	0,758141	0,623418	0,630222	0,001229	0,002621	0,000073
104	0,724244	0,753367	0,727677	0,777725	0,602516	0,591269	0,001126	0,003221	0,000214
105	0,738722	0,768168	0,714401	0,756567	0,576348	0,579239	0,001129	0,002350	0,000014
106	0,732401	0,762008	0,729908	0,773782	0,603969	0,606136	0,001150	0,002488	0,000008
107	0,736643	0,731435	0,725708	0,769559	0,604206	0,603833	0,000037	0,002499	0,000000
108	0,733144	0,726773	0,734714	0,782947	0,601069	0,603996	0,000056	0,002971	0,000014
109	0,737332	0,726860	0,742047	0,773191	0,589522	0,598263	0,000151	0,001255	0,000128
110	0,751831	0,743334	0,744655	0,786440	0,621346	0,603815	0,000097	0,002220	0,000509
111	0,739623	0,685332	0,734474	0,786996	0,616658	0,625616	0,004301	0,003505	0,000128
112	0,764147	0,702706	0,737760	0,796263	0,601095	0,614529	0,005372	0,004298	0,000294
113	0,749680	0,693096	0,733501	0,782298	0,594701	0,624488	0,004619	0,003044	0,001421
114	0,731496	0,683488	0,736920	0,770630	0,584959	0,621202	0,003372	0,001475	0,002115
115	0,737137	0,724419	0,715220	0,775241	0,596660	0,609152	0,000223	0,004647	0,000256
116	0,736172	0,719877	0,742919	0,772326	0,607825	0,630902	0,000369	0,001120	0,000844
117	0,732301	0,720839	0,729246	0,764905	0,607827	0,627899	0,000182	0,001662	0,000642
118	0,745024	0,729032	0,734974	0,763823	0,608730	0,623306	0,000351	0,001090	0,000341
119	0,747542	0,733945	0,737427	0,768574	0,611909	0,632120	0,000252	0,001262	0,000646
120	0,753645	0,737691	0,732847	0,765077	0,611773	0,626500	0,000345	0,001358	0,000346
121	0,755977	0,736473	0,746039	0,778586	0,614475	0,634010	0,000517	0,001361	0,000602
122	0,758555	0,747742	0,757807	0,822604	0,627305	0,646948	0,000156	0,005104	0,000596
123	0,760396	0,752378	0,746509	0,824570	0,632687	0,645684	0,000085	0,007390	0,000262
124	0,748441	0,739337	0,736291	0,803395	0,627663	0,647794	0,000112	0,005605	0,000626
125	0,778695	0,755518	0,727382	0,800076	0,628610	0,647653	0,000711	0,006605	0,000560
126	0,767649	0,745310	0,730777	0,806415	0,637572	0,643338	0,000670	0,007094	0,000052
127	0,774005	0,763412	0,732200	0,805763	0,643253	0,647575	0,000147	0,006716	0,000029
128	0,768321	0,757763	0,729244	0,804427	0,632269	0,645466	0,000147	0,007027	0,000270
129	0,738962	0,731151	0,730416	0,750126	0,601377	0,622149	0,000083	0,000518	0,000694
130	0,750653	0,755159	0,719104	0,735628	0,609752	0,598903	0,000027	0,000371	0,000197
131	0,767088	0,765551	0,740313	0,759055	0,605219	0,607597	0,000003	0,000463	0,000009

MUESTRAS	NDVI		NDRE		SAVI		$\frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$		
	F. O	F. E	F. O	F. E	F. O	F. E	NDVI	NDRE	SAVI
132	0,730289	0,731914	0,738427	0,751533	0,623341	0,620701	0,000004	0,000229	0,000011
133	0,735373	0,738051	0,732013	0,749445	0,609639	0,616360	0,000010	0,000405	0,000073
134	0,718834	0,733515	0,726570	0,735821	0,646293	0,635706	0,000294	0,000116	0,000176
135	0,712389	0,710418	0,734720	0,741829	0,614101	0,637665	0,000005	0,000068	0,000871
136	0,755704	0,759874	0,737592	0,751505	0,614191	0,614983	0,000023	0,000258	0,000001
137	0,734338	0,741041	0,741441	0,768036	0,605806	0,619087	0,000061	0,000921	0,000285
138	0,740803	0,752522	0,702671	0,692479	0,607351	0,615329	0,000182	0,000150	0,000103
139	0,707433	0,719428	0,731056	0,757036	0,601377	0,622149	0,000200	0,000892	0,000694
140	0,727168	0,731440	0,709727	0,737501	0,606876	0,630678	0,000025	0,001046	0,000898
141	0,742341	0,738336	0,730416	0,750126	0,600839	0,629308	0,000022	0,000518	0,001288
142	0,731274	0,729946	0,775532	0,795992	0,619370	0,644275	0,000002	0,000526	0,000963
143	0,738962	0,731151	0,756673	0,818849	0,608372	0,635513	0,000083	0,004721	0,001159
144	0,748870	0,738621	0,759183	0,810305	0,593220	0,619721	0,000142	0,003225	0,001133
145	0,733723	0,724874	0,766702	0,821738	0,600901	0,627873	0,000108	0,003686	0,001159
146	0,724727	0,711072	0,753511	0,810810	0,601696	0,632212	0,000262	0,004049	0,001473
147	0,731170	0,718179	0,747412	0,804310	0,597266	0,626530	0,000235	0,004025	0,001367
148	0,749064	0,735940	0,758978	0,803830	0,597956	0,619657	0,000234	0,002503	0,000760
149	0,768449	0,755529	0,759630	0,807246	0,588940	0,593332	0,000221	0,002809	0,000033
150	0,731676	0,762283	0,750077	0,801553	0,599972	0,635984	0,001229	0,003306	0,002039
151	0,724244	0,753367	0,762407	0,802479	0,593579	0,627026	0,001126	0,002001	0,001784
152	0,738722	0,768168	0,758952	0,810987	0,614135	0,636801	0,001129	0,003339	0,000807
153	0,732401	0,762008	0,764447	0,804806	0,606876	0,630678	0,001150	0,002024	0,000898
154	0,747791	0,752597	0,775532	0,795992	0,600839	0,629308	0,000031	0,000526	0,001288
155	0,745340	0,749793	0,742047	0,773191	0,619370	0,644275	0,000026	0,001255	0,000963
156	0,757413	0,758989	0,744655	0,786440	0,633991	0,641263	0,000003	0,002220	0,000082
157	0,751315	0,753331	0,734474	0,786996	0,639256	0,648531	0,000005	0,003505	0,000133
158	0,744924	0,741680	0,737760	0,796263	0,597230	0,600849	0,000014	0,004298	0,000022
159	0,750941	0,749768	0,733501	0,782298	0,614704	0,626423	0,000002	0,003044	0,000219
160	0,749983	0,750014	0,736920	0,770630	0,619315	0,620533	0,000000	0,001475	0,000002
161	0,750549	0,741118	0,715220	0,775241	0,616828	0,614327	0,000120	0,004647	0,000010
162	0,748318	0,740250	0,742919	0,772326	0,650882	0,645436	0,000088	0,001120	0,000046
163	0,748384	0,734467	0,729246	0,764905	0,635962	0,624247	0,000264	0,001662	0,000220
164	0,746533	0,734478	0,734974	0,763823	0,601377	0,622149	0,000198	0,001090	0,000694
165	0,745095	0,733283	0,737427	0,768574	0,609752	0,598903	0,000190	0,001262	0,000197
166	0,755027	0,742589	0,732847	0,765077	0,584800	0,614161	0,000208	0,001358	0,001404
167	0,738116	0,746927	0,746039	0,778586	0,611660	0,638882	0,000104	0,001361	0,001160
168	0,730114	0,735091	0,757807	0,822604	0,615948	0,639913	0,000034	0,005104	0,000897
169	0,719020	0,739753	0,746509	0,824570	0,622015	0,643198	0,000581	0,007390	0,000698
170	0,740732	0,757546	0,736291	0,803395	0,614352	0,643516	0,000373	0,005605	0,001322
171	0,740127	0,760238	0,727382	0,800076	0,607347	0,628515	0,000532	0,006605	0,000713
172	0,731676	0,762283	0,756764	0,814148	0,616658	0,625616	0,001229	0,004045	0,000128
173	0,724244	0,753367	0,761137	0,817666	0,601095	0,614529	0,001126	0,003908	0,000294
174	0,738722	0,768168	0,777456	0,813369	0,594701	0,624488	0,001129	0,001586	0,001421
175	0,732401	0,762008	0,755661	0,808170	0,584959	0,621202	0,001150	0,003412	0,002115

MUESTRAS	NDVI		NDRE		SAVI		$\frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$		
	F. O	F. E	F. O	F. E	F. O	F. E	NDVI	NDRE	SAVI
176	0,736643	0,731435	0,763761	0,815112	0,596660	0,609152	0,000037	0,003235	0,000256
177	0,733144	0,726773	0,773436	0,817466	0,607825	0,630902	0,000056	0,002372	0,000844
178	0,737332	0,726860	0,768523	0,809771	0,607827	0,627899	0,000151	0,002101	0,000642
179	0,751831	0,743334	0,758890	0,800458	0,608730	0,623306	0,000097	0,002159	0,000341
180	0,739623	0,685332	0,767504	0,788747	0,611909	0,632120	0,004301	0,000572	0,000646
181	0,758023	0,729207	0,765947	0,775655	0,611773	0,626500	0,001139	0,000121	0,000346
182	0,753640	0,724625	0,759293	0,770844	0,614475	0,634010	0,001162	0,000173	0,000602
183	0,759228	0,731027	0,739987	0,802364	0,616658	0,625616	0,001088	0,004849	0,000128
184	0,742463	0,743143	0,753639	0,805622	0,601095	0,614529	0,000001	0,003354	0,000294
185	0,738962	0,731151	0,758420	0,776515	0,601095	0,614529	0,000083	0,000422	0,000294
186	0,750653	0,755159	0,740705	0,748661	0,594701	0,624488	0,000027	0,000085	0,001421
187	0,767088	0,765551	0,728852	0,744160	0,584959	0,621202	0,000003	0,000315	0,002115
188	0,730289	0,731914	0,728283	0,768815	0,596660	0,609152	0,000004	0,002137	0,000256
189	0,735373	0,738051	0,744453	0,771984	0,607825	0,630902	0,000010	0,000982	0,000844
190	0,718834	0,733515	0,732193	0,787030	0,607827	0,627899	0,000294	0,003821	0,000642
191	0,712389	0,710418	0,723894	0,759783	0,608730	0,623306	0,000005	0,001695	0,000341
192	0,736743	0,701147	0,739987	0,802364	0,611909	0,632120	0,001807	0,004849	0,000646
$X^2_{calc} = \sum \frac{(F. O - F. E)^2}{F. E}$							0,071264	0,466995	0,130250

ANEXO H: Monilia en Mazorca de Cacao



ANEXO I: Monilia en hojas y brotes florales del Cacao



ANEXO J: Control de mazorcas de cacao

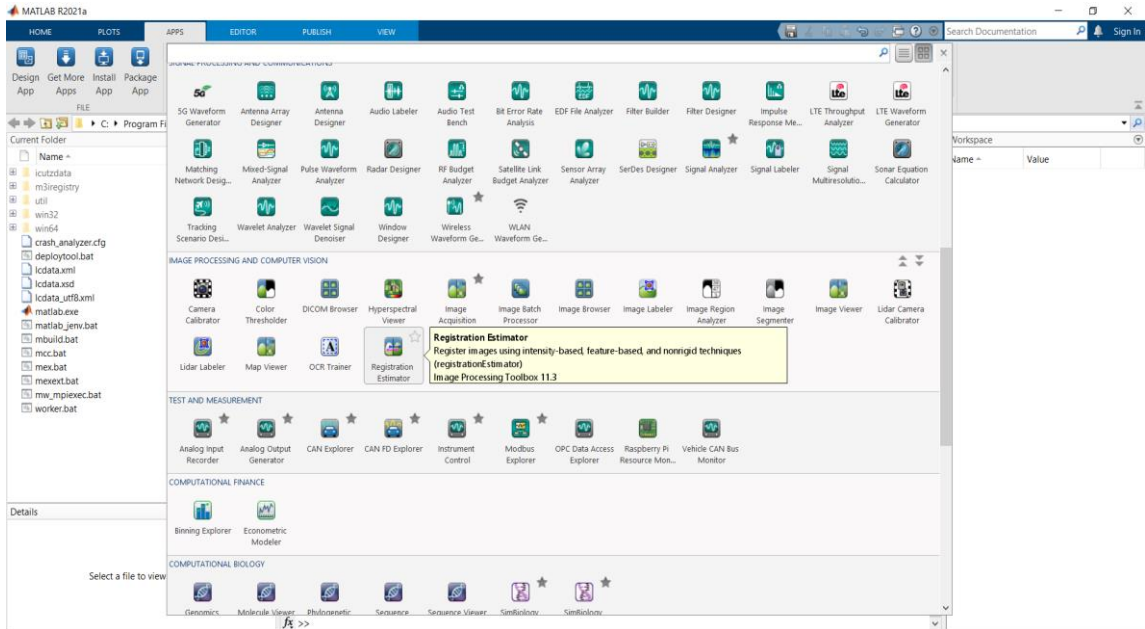


ANEXO K: Brote de cacao en árbol sano

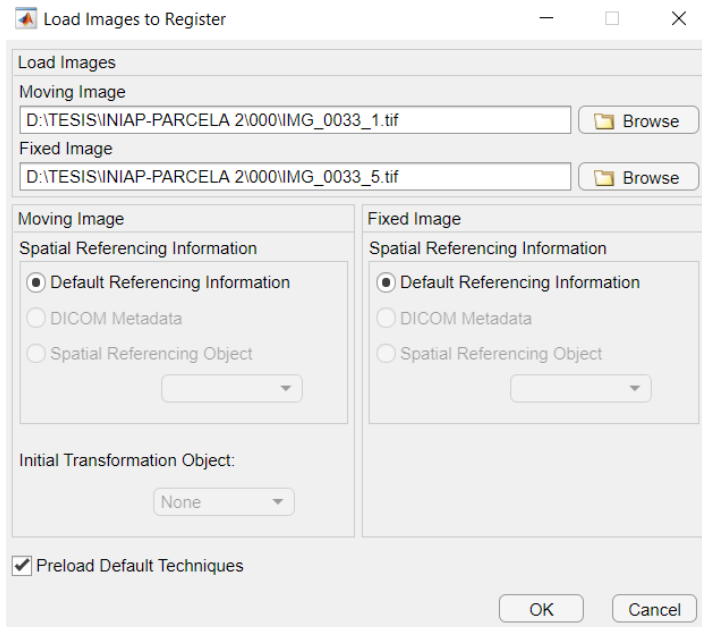


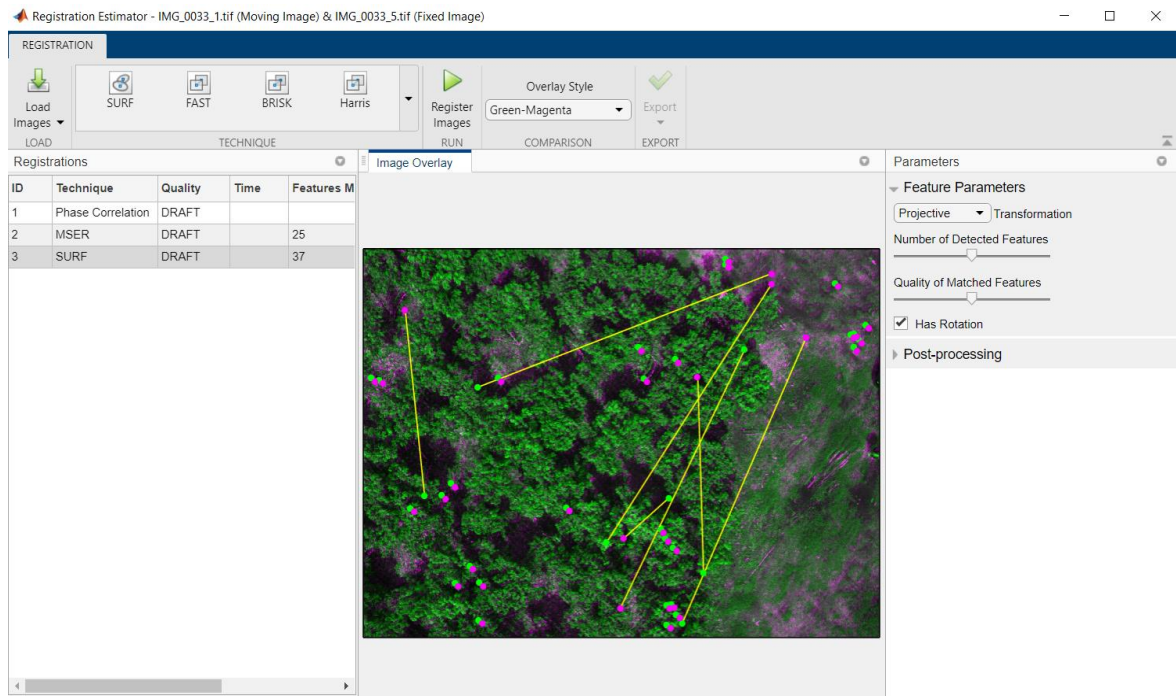
ANEXO L: Manual de Funcionamiento

1. Abrimos el software MATLAB R2021a y nos dirigimos al apartado de APPS, en la sección de IMAGE PROCESSING AND COMPUTER VISION y seleccionamos Registration Estimator.

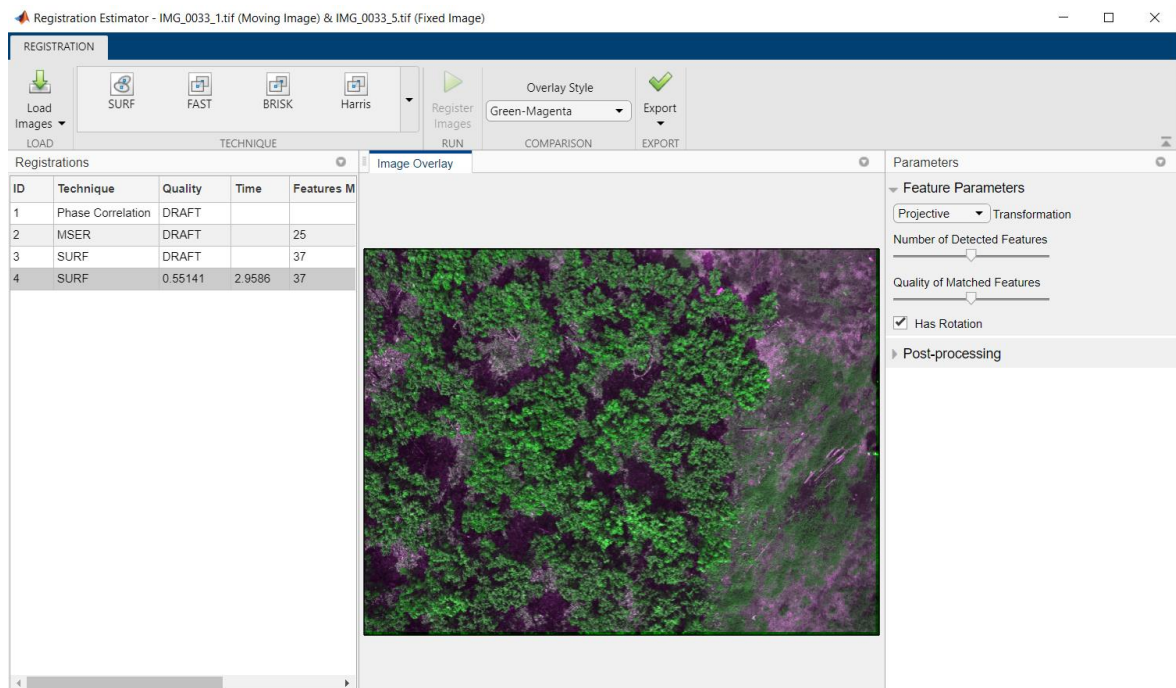


2. En la ventana de Registration Estimator, se procede a cargar las imágenes que se desea corregir respecto a la banda de borde rojo (IMG0XX_5.tif).





3. Se ejecuta el algoritmo SURF para realizar la corrección geométrica y se registra la imagen.



4. Se guarda el resultado en el Workspace asignando el siguiente nombre para cada banda.

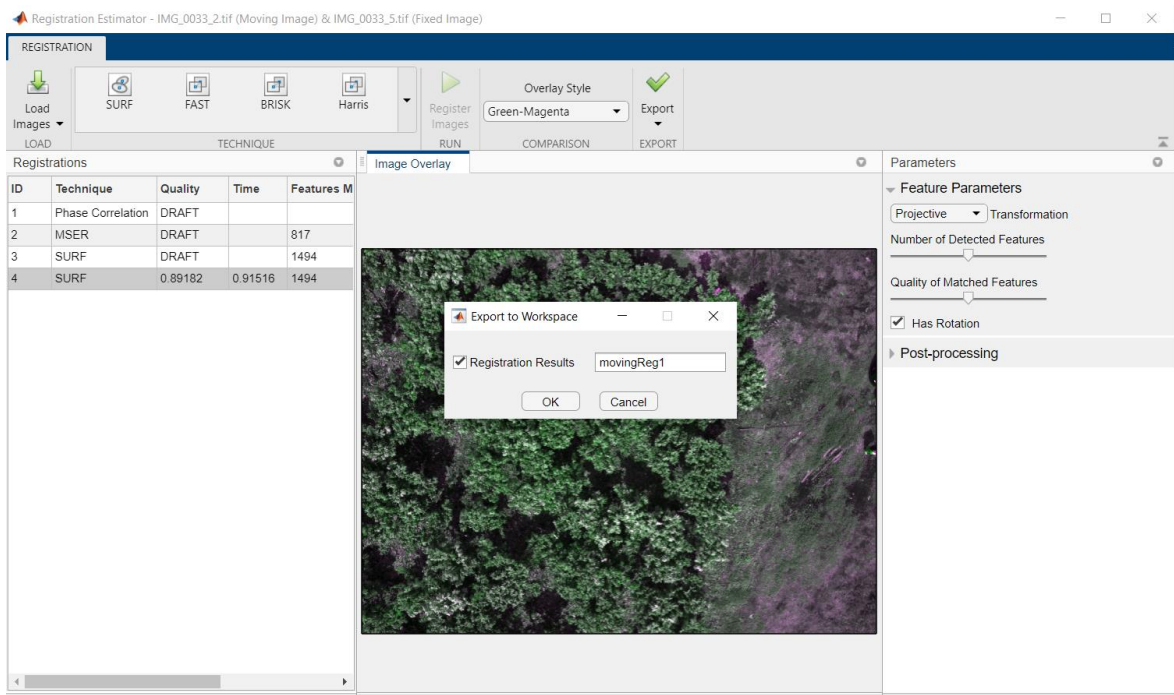
Azul: MovingReg

Verde: MovingReg1

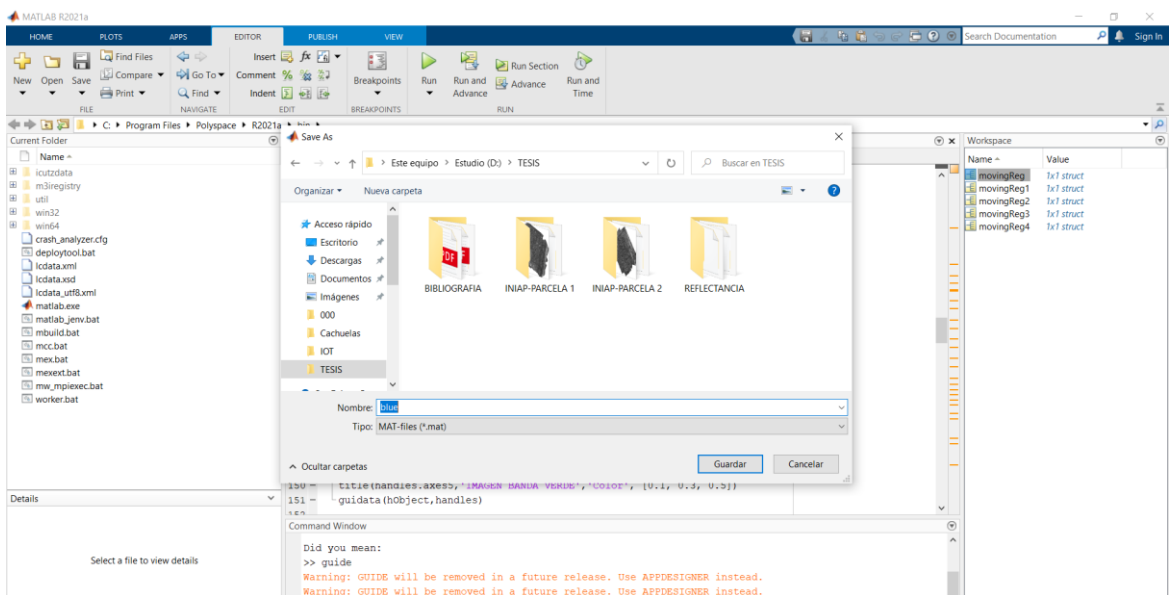
Rojo: MovingReg2

Infrarrojo: MovingReg3

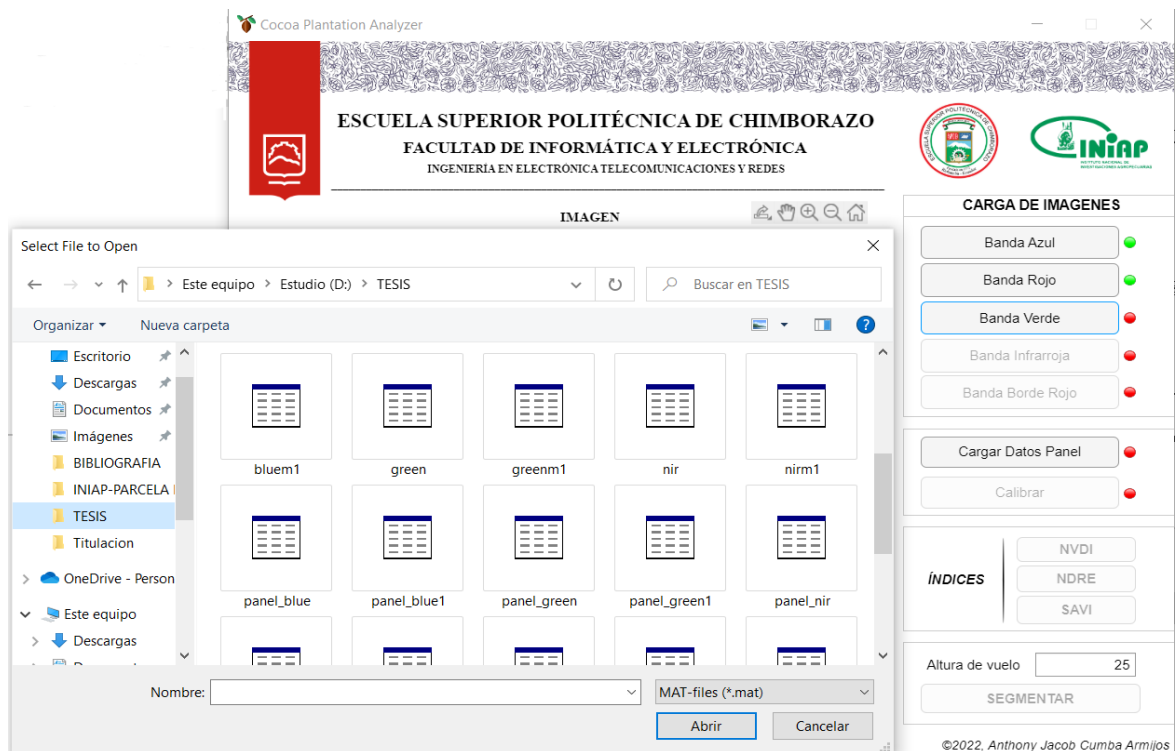
Borde Rojo: MovingReg4



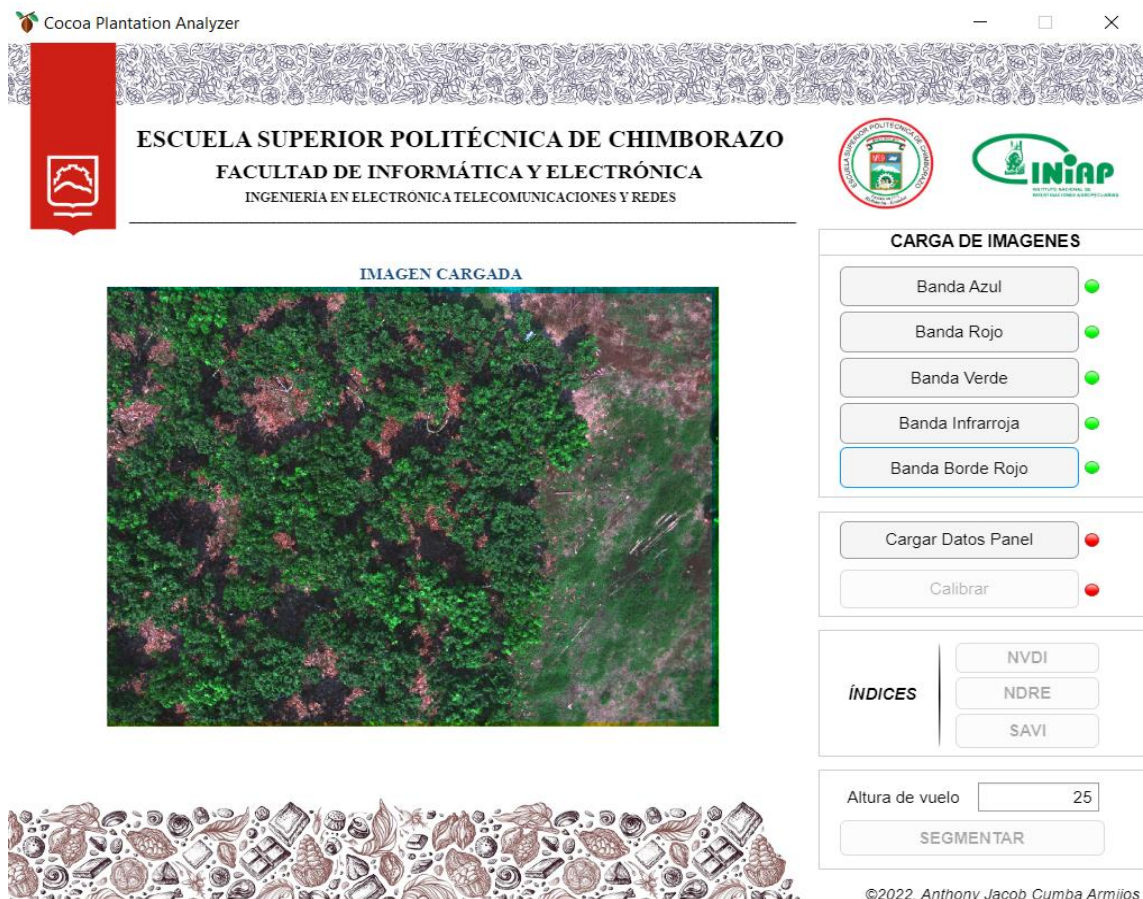
5. Exportar los archivos del Workspace y guardarlos en formato tipo (*.mat) en la carpeta de su elección.



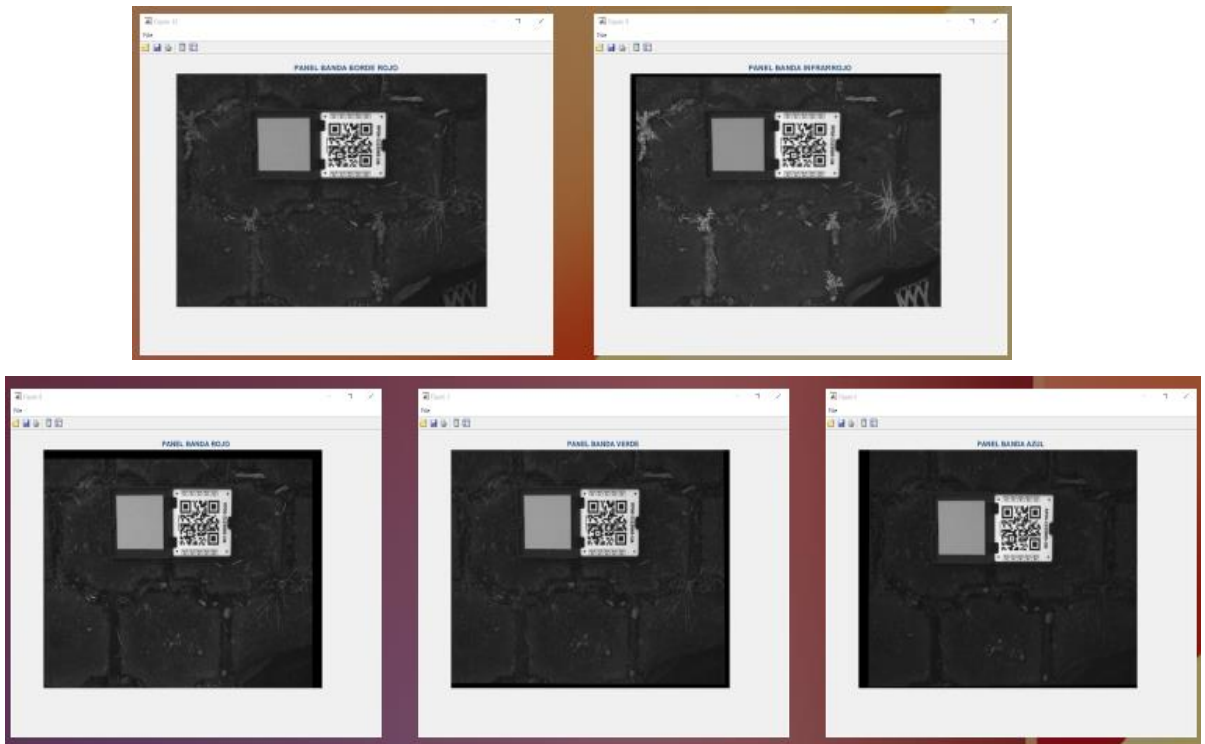
6. Abrir la aplicación Cocoa Plantation Analyzer y cargar las imágenes según la banda.



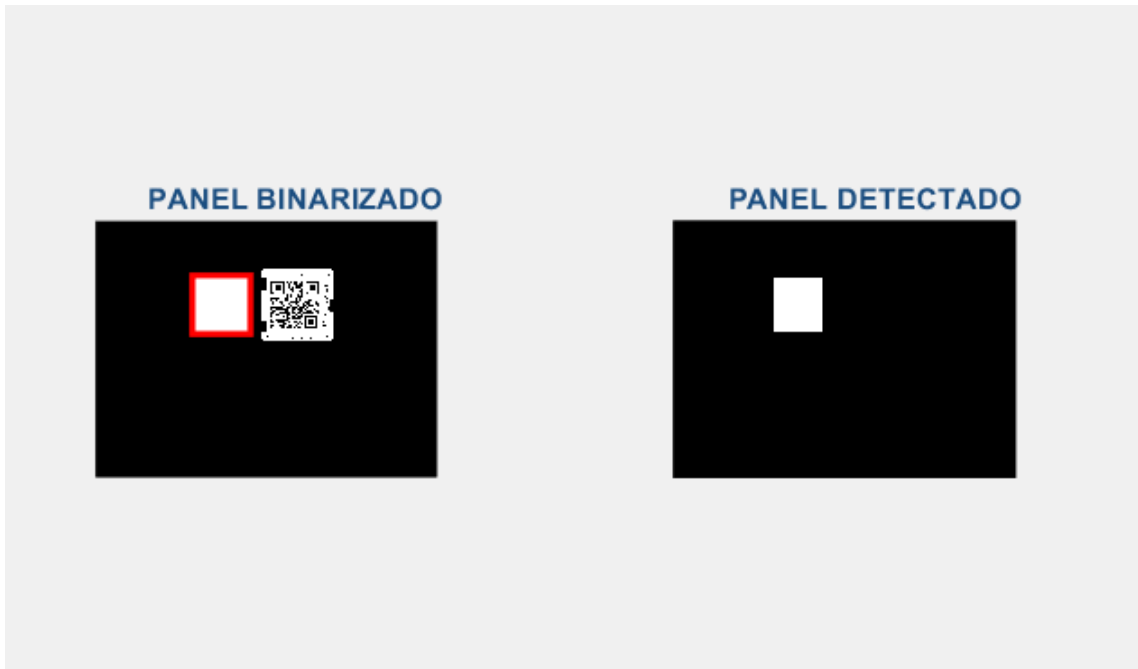
7. Una vez cargada las imágenes de todas las bandas, se realiza el procesamiento y se visualiza una nueva imagen RGB.



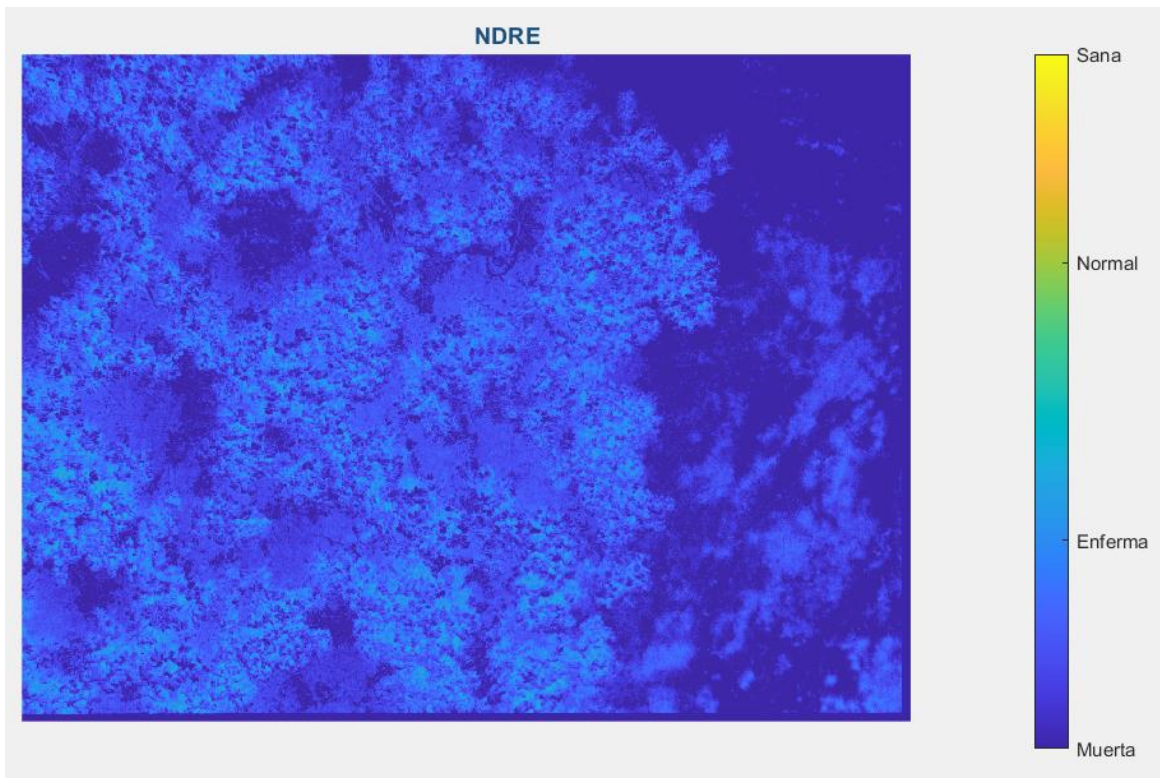
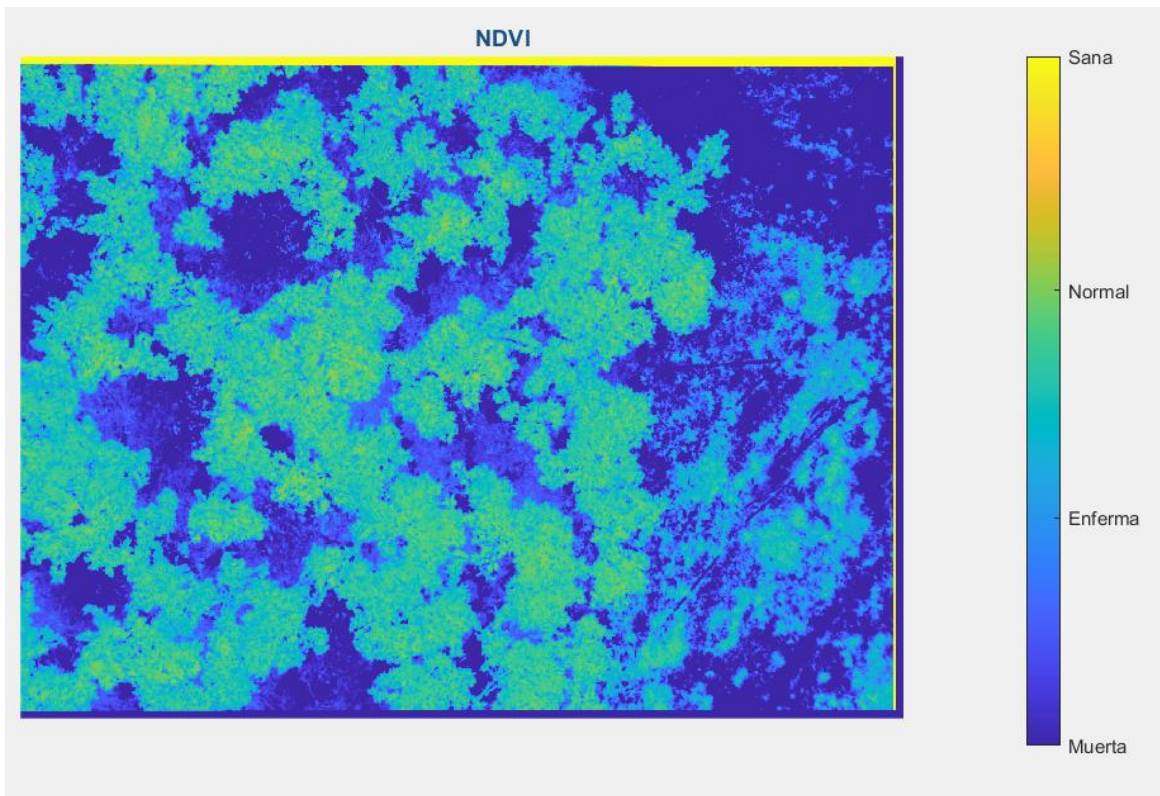
8. Se cargan los datos del panel para realizar las calibraciones radiométricas.

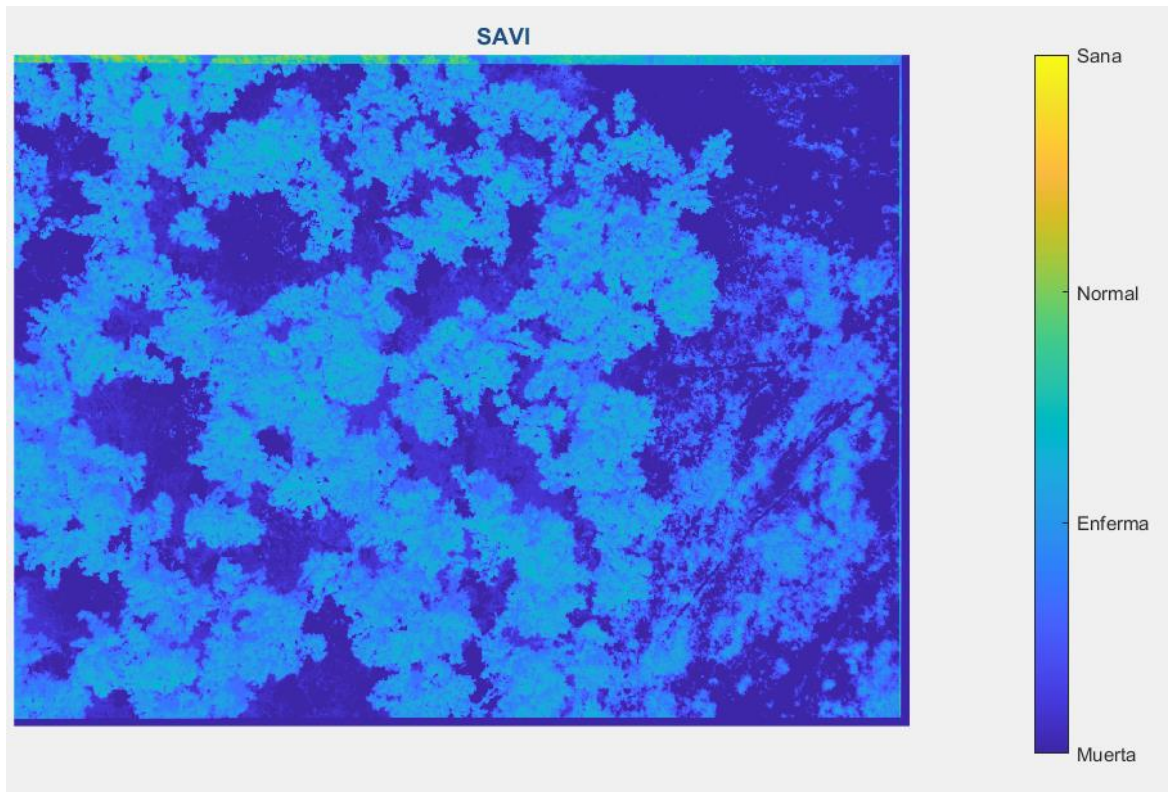


9. Se realiza la detección y binarización del panel.

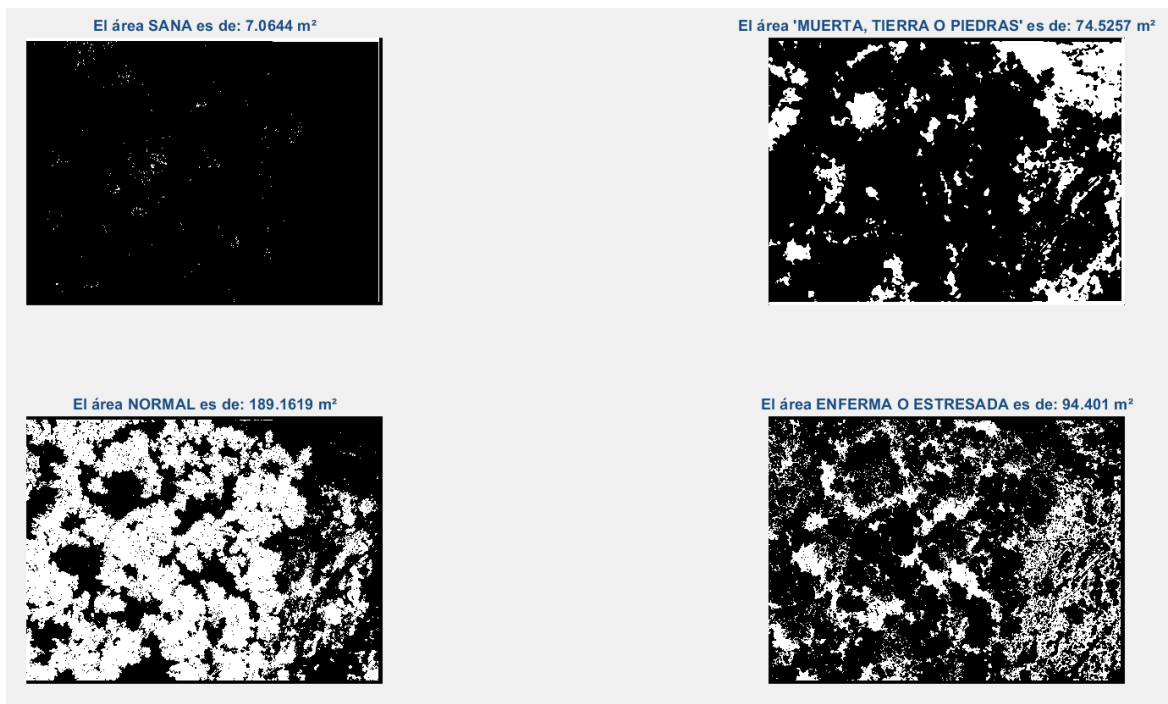


10. Se escoge la opción del índice de vegetación a analizar.





11. Se escoge la opción de segmentación.





epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 04 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: ANTHONY JACOB CUMBA ARMIJOS
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: TELECOMUNICACIONES
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

0596-DBRA-UPT-2022