



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

SEDE ORELLANA

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS AGROAMBIENTALES E
ÍNDICES DE VEGETACIÓN A TRAVÉS DE DATOS
METEOROLÓGICOS Y EL ANÁLISIS DE IMÁGENES
MULTIESPECTRALES OBTENIDAS CON DRONES UAV EN
PLANTACIONES DE CACAO DEL CENTRO DE
INVESTIGACIONES INIAP**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR: DIEGO ANDRES FIGUEROA TORRES

DIRECTOR: Ing. SANTIAGO ISRAEL LOGROÑO NARANJO, MSc.

El Coca – Ecuador

2024

©2024, Diego Andrés Figueroa Torres.

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, Diego Andrés Figueroa Torres, 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 17 de enero de 2024

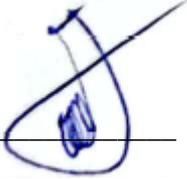
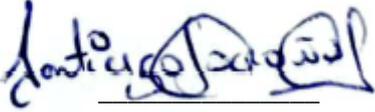


Diego Andrés Figueroa Torres

C.I. 175872604-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular, tipo: Proyecto de Investigación, **CARACTERIZACION DE SISTEMAS AGROAMBIENTALES E INIDICES DE VEGETACION A TRAVES DE DATOS METEREOLÓGICOS Y EL ANALISIS DE IMÁGENES MILTIESPECTRALES OBTENIDAS CON DRONES UAV EN PLANTACIONES DE CACAO DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES INIAP**, realizado por la señor: **DIEGO ANDRES FIGUEROA TORRES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del 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. Carlos Mestanza Ramón, PhD. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-01-17
Ing. Santiago Israel Logroño Naranjo, Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-17
Ing. Paúl Xavier Paguay Soxo, Mgs. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-01-17

DEDICATORIA

La presente tesis esta dedicada a Dios quien es la fuente de sabiduría e inspiración para ayudarme a alcanzar mis metas y culminar mi carrera con éxito. A mi madre Luz Nelly Torres quién me enseñó los valores de la dedicación, la humildad y sobre todo la perseverancia, a mi novia quien me dió fuerzas en momentos de debilidad, a mis hermanos por su confianza, amor y compañía, por último se la dedico a mi yo del pasado. ¡Lo logré!

Diego

AGRADECIMIENTO

A Dios por acompañarme con éxito a mi vida profesional. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Sede Orellana y los docentes que la conforman por los conocimientos y aprendizajes que me han brindado. Un fraternal agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Santiago Logroño Ms. C; a mi asesor Ing. Paul Paguay por su colaboración para la culminación de este trabajo de investigación.

Diego

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1.	Planteamiento del problema	3
1.2.	Limitaciones y delimitaciones	3
1.2.1.	<i>Limitaciones</i>	3
1.2.2.	<i>Delimitaciones</i>	3
1.3.	Problema general de investigación	4
1.4.	Problemas específicos de investigación	4
1.5.	Objetivos	4
1.5.1.	<i>Objetivo general</i>	5
1.5.2.	<i>Objetivos específicos</i>	5
1.6.	Justificación	5
1.6.1.	<i>Justificación teórica</i>	5
1.6.2.	<i>Justificación metodológica</i>	6
1.6.3.	<i>Justificación Práctica</i>	9
1.7.	Hipótesis.....	10

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	11
2.1.	Antecedentes de investigación.....	11
2.2.	Referencias teóricas	12
2.2.1.	<i>Sistemas de información geográfica</i>	12
2.2.1.1.	<i>Componentes de los SIG</i>	13
2.2.2.	<i>Teledetección</i>	14
2.2.2.1.	<i>Tipos de teledetección</i>	15

2.2.2.2.	<i>Elementos de la teledetección</i>	16
2.2.2.3.	<i>Fundamentos de la teledetección</i>	17
2.2.3.	Índices de vegetación	18
2.2.3.1.	<i>Índices de vegetación de diferencia normalizada</i>	19
2.2.3.2.	<i>Formula del NDVI</i>	19
2.2.3.3.	<i>Valores NDVI</i>	19
2.2.3.4.	<i>Teledetección aplicada en UAV</i>	20
2.2.3.5.	<i>Radiación electromagnética</i>	20
2.2.3.6.	<i>Firma espectral</i>	21
2.2.3.7.	<i>Reflectancia espectral</i>	21
2.2.3.8.	<i>Reflectividad de la vegetación</i>	21
2.2.3.9.	<i>Absorción de pigmentos</i>	22
2.2.4.	Dron o vehículo aéreo no tripulado	23
2.2.5.	Datos meteorológicos	26
2.2.5.1.	<i>Temperatura ambiente</i>	27
2.2.5.2.	<i>Presión atmosférica</i>	28
2.2.5.3.	<i>Humedad relativa ambiente</i>	28
2.2.5.4.	<i>Radiación solar global</i>	29
2.2.5.5.	<i>Radiación fotosintéticamente activa</i>	29
2.2.5.6.	<i>Radiación ultravioleta</i>	29
2.2.5.7.	<i>Volumen de precipitaciones pluviales</i>	30
2.2.5.8.	<i>Temperatura del suelo</i>	30
2.2.5.10.	<i>pH del suelo</i>	31
2.2.5.11.	<i>Conductividad eléctrica del suelo</i>	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	32
3.1.	Enfoque de investigación	32
3.2.	Nivel de investigación	32
3.3.	Diseño de la investigación	32
3.4.	Tipo de estudio	33
3.5.	Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	33
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	34
3.6.1.	<i>Estructura del sistema de adquisición de imágenes</i>	34
3.6.2.	<i>Cámara multispectral</i>	35

3.6.2.1.	<i>Las piezas 3D ensambladas</i>	37
3.6.2.2.	<i>Soporte para la batería de la cámara micasense</i>	38
3.6.3.	<i>Adquisición de los datos meteorológicos</i>	39
3.6.4.	<i>Adquisición de las imágenes multiespectrales</i>	40
3.6.5.	<i>Procesamiento de las imágenes</i>	42
3.6.6.	<i>Adquisición de datos meteorológicos</i>	46

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	47
4.1.	Prueba del correcto funcionamiento de la cámara multiespectral acoplada al sistema UAV's	47
4.2.	Coberturas caracterizadas	47

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
5.1.	Conclusiones	53
5.2.	Recomendaciones	54

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Valores NDVI	19
Tabla 2-2:	Diferencias entre vehículo UAV´s ala fija y rotatoria	25
Tabla 2-3:	Especificaciones técnicas de los drones de mayor comercialización en Ecuador	26
Tabla 3-1:	Información lente y cámara.....	36
Tabla 3-2:	Conversión formato vectorial del cálculo de las áreas.....	46
Tabla 4-1:	Cambio de cobertura en relación al tiempo	47
Tabla 4-2:	Representación gráfica cambio de cobertura	49
Tabla 4-3:	Correlación humedad-cambio cobertura.....	52

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1:	Adquisición de imágenes por teledetección.....	7
Ilustración 1-2:	Diagrama de Chuveico	8
Ilustración 2-1:	Elementos de un SIG	14
Ilustración 2-2:	Sensores Pasivos.....	15
Ilustración 2-3:	Sensores activos.....	16
Ilustración 2-4:	Elementos de la teledetección.....	17
Ilustración 2-5:	Longitud de onda	18
Ilustración 2-6:	Onda electromagnética polarizada en el plano	18
Ilustración 2-7:	Espectro electromagnético.....	20
Ilustración 2-8:	Espectro visible para el ojo humano	21
Ilustración 2-9:	Comportamiento espectral de la vegetación	22
Ilustración 3-1:	Mapa de Ubicación.....	34
Ilustración 3-2:	Componentes del dron	35
Ilustración 3-3:	Cámara multispectral	36
Ilustración 3-4:	Panel de calibración.....	37
Ilustración 3-5:	Base rígida y resistente para cámara MicaSense RedEdge-MX.....	37
Ilustración 3-6:	Placa utilizada para la adhesión de la cámara multispectral al tren	38
Ilustración 3-7:	Soporte para la batería de la cámara MicaSense RedEdge-MX	38
Ilustración 3-8:	Estructura final UAVs y cámara.....	39
Ilustración 3-9:	Sensores climatológicos.....	39
Ilustración 3-10:	Sensor HMP-155 de temperatura y humedad.....	40
Ilustración 3-11:	Adquisición de imágenes multispectrales	41
Ilustración 3-12:	Determinación de parámetros	41
Ilustración 3-13:	Dron realizando la misión de vuelo	42
Ilustración 3-14:	Procesamiento de las imágenes	45
Ilustración 3-15:	Valoración que determina la salud de la planta	45
Ilustración 3-16:	Clasificación NDVI 25-05-2023.....	46
Ilustración 4-1:	Temperatura en relación con el tiempo de estudio	48
Ilustración 4-2:	Humedad en relación al tiempo de estudio	48
Ilustración 4-3:	Graficas en relación con el cambio de cobertura.....	49
Ilustración 4-4:	Correlación coberturas de la salud de la planta y la temperatura	50
Ilustración 4-5:	Correlación coberturas de la salud de la planta y la humedad.....	51
Ilustración 4-6:	Relación con respecto al valor del coeficiente de Pearson	51

RESUMEN

El inusual comportamiento climático y su fluctuación repentina entre días soleados y lluviosos ha ocasionado dificultades en las cubiertas vegetales, especialmente en la vegetación arbustiva destinada a la cosecha. Esto ha generado desafíos para los agricultores al tratar de determinar el estado de salud de las plantas. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue caracterizar sistemas agroambientales e índices de vegetación a través de datos meteorológicos y el análisis de imágenes multiespectrales obtenidas con drones UAV en plantaciones de cacao. La metodología empleada adoptó un enfoque cuantitativo con un nivel de estudio correlacional, utilizando un diseño de investigación experimental longitudinal. Se consideraron variables como temperatura y humedad durante un período definido. La cobertura estudiada pertenece al INIAP y forma parte del Proyecto de Investigación PATFA de la ESPOCH-SEDE ORELLANA, que proporcionó equipos para la captura de imágenes mediante la cámara multiespectral MicaSense RedEdge-MX, adaptada al dron UAV's DJI Phantom 4 Pro V2. Los datos meteorológicos se obtuvieron de la estación meteorológica del mismo proyecto. Mediante el procesamiento de imágenes y datos meteorológicos, se logró establecer la correlación entre la variable climática y el cambio de cobertura utilizando el método de Pearson. Este reveló una relación indirecta entre la salud de la planta y la temperatura promedio durante el período de estudio. Además, se observó una relación directa entre la humedad relativa y la cobertura de las plantas enfermas, con registros que oscilaron entre valores máximos del 100% y mínimos del 34.5%. En conclusión, los hallazgos indicaron que la temperatura en la provincia de Orellana no ejerce una influencia directa sobre el estado de salud de la vegetación.

Palabras clave: <TELEDETECCIÓN>, < ESTACIÓN METEOROLÓGICA>, <SISTEMA UAV'S>, < CUBIERTAS VEGETALES>, <IMÁGENES MULTIESPECTRALES>, <MÉTODO PEARSON>.

Cristian Tenelanda.S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.
0604686709

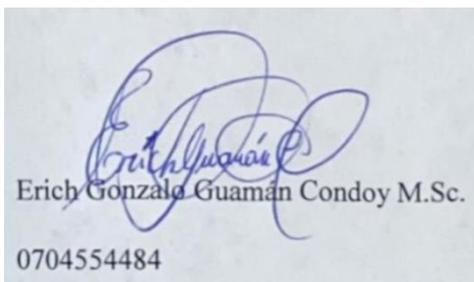


0321-DBRA-UPT-2024

ABSTRACT

The unusual weather behavior and its sudden fluctuation between sunny and rainy days has caused difficulties in plant canopies, especially in shrub vegetation destined for harvest. This has created challenges for farmers in trying to determine the health status of plants. Therefore, the objective of the present research was to characterize agro-environmental systems and vegetation indices through meteorological data and the analysis of multispectral images obtained with UAV drones in cocoa plantations. The methodology employed adopted a quantitative approach with a correlational level of study, using a longitudinal experimental research design. Variables such as temperature and humidity were considered during a defined period. The coverage studied belongs to INIAP and is part of the PATFA Research Project of ESPOCH-SEDE ORELLANA, which provided equipment for image capture using the multispectral camera MicaSense RedEdge-MX, adapted to the UAV's DJI Phantom 4 Pro V2 drone. The meteorological data were obtained from the weather station of the same project. By processing images and meteorological data, the correlation between the climatic variable and the change in coverage was established using Pearson's method. This revealed an indirect relationship between plant health and average temperature during the study period. In addition, a direct relationship was observed between relative humidity and the cover of diseased plants, with records ranging from maximum values of 100% to minimum values of 34.5%. In conclusion, the findings indicate that temperature in the province of Orellana does not have a direct influence on the state of health of the vegetation.

Keywords: <TELEDETECTION>, <METEOROLOGICAL STATION>, <UAV'S SYSTEM>, <VEGETAL COVERS>, <MULTIESPECTRAL IMAGES>, <PEARSON METHOD>



INTRODUCCIÓN

La teledetección es actualmente, una de las herramientas más potentes y robustas tanto para la obtención de información espacial de variables urbano- medioambientales como para la elaboración de mapas geográficos (Ramírez y Yanes, 2017, p.7) ofrece grandes posibilidades para la realización de progresos en el conocimiento de la naturaleza (Sacristán, 2005, p.6).

En cubiertas vegetales, la teledetección ha permitido dar seguimiento y análisis de las plantas a escala espacio-temporal mediante los índices de vegetación (IV) derivados de la reflectancia espectral debido a su desempeño generalmente decente (Carmo et al., 2022, p.2). Actualmente, el VI más utilizado en la observación de cubiertas vegetales es el índice de vegetación de diferencia normalizada, este índice explota la vegetación verde y saludable es decir, cuanto más clorofila haya en un dosel, más luz visible (incluida la roja) se puede absorber potencialmente para impulsar la fotosíntesis (Rouse et al., 1974). Desde la década de 1970, los investigadores han reconocido el potencial de las observaciones multitemporales para proporcionar información sobre la salud y desarrollo fenológico de la vegetación natural (Tavares et al., 2008, p.3).

En algunas partes del mundo, el extraño comportamiento del clima o las enfermedades de las plantas también pueden afectar a la salud de la vegetación, su velocidad de crecimiento o su calidad, pero puede sufrir de su clima tropical, y a veces es difícil para los agricultores prever y detectar estos diferentes problemas (falta de agua, hojas quemadas, enfermedades, etc.)

Es indiscutible la gran cantidad de pruebas crecientes de los cambios climáticos, como las oscilaciones de la temperatura media y las precipitaciones en el tiempo geológico. El cambio climático está impactando las diferentes regiones del mundo (Alpízar, 2019, p.7) y con ello afectando la situación de los recursos forestales (Beaulieu et al., 2012, p.8).

Por otro lado, la fenología de la vegetación se refiere a las etapas biológicas impulsadas por factores ambientales (Wang, 2012, p.6) marcando así el calendario de eventos estacionales, como el inicio y el retroceso del verdor, que puede utilizarse para controlar la respuesta de las variaciones climáticas a corto y largo plazo con una dinámica espacial.

Lee et al. (2018, p.2), modificará las distribuciones espaciales en los componentes fisicobiótico y socioeconómico, lo que producirá conflictos tanto en la relación sociedad- naturaleza como en cada uno de estos componentes (Alarcón y Pabón, 2013, p.3). El NDVI funciona como indicador del crecimiento de la vegetación (Zhou et al., 2009, p.2) y junto a los datos meteorológicos se puede

evidenciar la respuesta que tiene la vegetación a las condiciones climáticas (Wang et al., 2007, p.1).

En los últimos años las cubiertas vegetales de la amazonia han presentado mayor sensibilidad al clima favoreciendo así al retroceso de los cultivos y las actividades de producción de producción agrícola (Abiodun et al., 2011, p.2).

Es por esto que el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para el monitoreo de cobertura vegetal ha tenido aceptación a nivel mundial, principalmente porque se reducen las limitaciones del sistema satelital al momento de capturar imágenes multiespectrales (Montilla et al., 2021, p.1) y porque su implementación es más barata que las imágenes de satélite y las cámaras hiperespectrales (Castillo et al., 2018, p.2).

En este sentido los estudios agro ambientales buscan optimizar el manejo de la producción agrícola teniendo en cuenta la variabilidad del agro sistema (clima, suelo y vegetación), para que la optimización sea posible en primera instancia se necesita conocer las condiciones actuales en las que se encuentra el campo utilizando estaciones meteorológicas que proveen datos del clima para analizar y tomar acciones en base a estas condiciones, evitando de esta manera el tratamiento homogéneo del campo agrícola.

En base a las actividades del proyecto PATFA (Proyecto de alertas Tempranas Fitosanitarias Agrícolas) que se lleva en ejecución se tomó 1 cubierta vegetal ubicadas en las instalaciones del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) que se encuentra en la Parroquia San Carlos - Cantón Joya de los Sachas, con la finalidad de caracterizar mediante el procesamiento de imágenes multiespectrales para la obtención de índices de vegetación que se obtienen a partir de barridos multiespectrales con el uso de UAVs y cámara multibanda, por otra parte se analiza los datos meteorológicos en el tiempo estimado de investigación para determinar la incidencia en la salud de la vegetación.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La afectación de la salud en la vegetación en los cultivos de cacao de la Provincia de Orellana es notable, el no poder detectar o cuantificar las causas de esta variabilidad a resultado en un manejo homogéneo del campo agrícola. Esta situación representa un problema, ya que este tipo de manejo no atiende precisamente las necesidades específicas del cultivo en cierto momento o en cierta ubicación en el campo, además implica realizar las mismas actividades y aplicar el mismo tipo y cantidad de insumos a lo largo del campo ocasionando un desperdicio de recursos agrícolas.

En los últimos años se ha evidenciado que la utilización de cubiertas vegetales se ha convertido en una práctica común, considerando a los beneficios en la protección del suelo contra la erosión y escurrimiento superficial, así como, para el mejoramiento de la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la disminución de la evaporación del suelo y reducción en el consumo de agua (Quezada et al., 2020, p.6).

En base a lo anterior, se plantea realizar un análisis de cubiertas vegetales y la incidencia que está causando el clima sobre ellas en un periodo de tiempo establecido, obteniendo información necesaria de un pronóstico de cambio potencial en la vegetación.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

La limitación más importante que puede presentarse durante la investigación es la toma de imágenes en días nublados, lluviosos o con poca iluminación del sol, puesto que es necesaria la luz solar para la reflectancia en las imágenes que servirán como estudio.

Para una óptima predicción de afectación de la salud de la vegetación se requiere un estudio con adquisición de datos de aproximadamente dos años que este trabajo investigativo puede ser punto de partida.

1.2.2. Delimitaciones

Delimitación espacial. - El estudio será realizado en el área geográfica del INIAP ubicado en la Parroquia San Carlos - Cantón Joya de los Sachas, con una selección de dos parcelas de cultivos arbóreo que forman parte de la investigación del proyecto PATFA.

Delimitación temporal. - La misma tendrá fecha de inicio a principios del mes de noviembre del 2021 y mediados del mes de agosto del 2022.

Delimitación metodológica. - Se basará en la metodología de Chuvieco (imágenes satelitales para análisis temporal) la cual responde a las necesidades identificadas en la investigación como es la captura, procesamiento, análisis e interpretación de imágenes multiespectrales.

Para los datos meteorológicos se realiza una recopilación de información en las estaciones meteorológicas ubicadas en el lugar de estudio, que con la ayuda del servicio libre y sin costo Colaboratory conocido por su abreviado “colab” que permite al usuario escribir y ejecutar códigos arbitrarios de Python realizar una correlación estadística de las imágenes multiespectrales procesadas y los datos meteorológicos.

1.3. Problema general de investigación

¿El clima actual de la Parroquia San Carlos ubicado en el área geográfica del cantón Joya de los Sachas – Provincia de Orellana está influyendo en el estado de salud de los cultivos arbóreos?.

1.4. Problemas específicos de investigación

¿El análisis de las características de vehículos aéreos no tripulados (UAV) aplicando el análisis multiespectral de cubierta permite realizar estudios ambientales en las plantaciones de cacao?.

¿La clasificación de los cultivos según los índices de vegetación a partir de las imágenes captadas en la cubierta vegetal estudiada y los datos meteorológicos obtenidos permite el estudio de la salud de la vegetación?.

¿La afectación de la cubierta vegetal se relaciona con los datos meteorológicos?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Caracterizar sistemas agroambientales e índices de vegetación a través de datos meteorológicos y el análisis de imágenes multiespectrales obtenidas con drones UAV en plantaciones de cacao.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar las características de vehículos aéreos no tripulados (UAV) aplicado para estudios ambientales.
- Clasificar la cubierta vegetal según los índices de vegetación obtenidos a partir de las imágenes captadas en la plantación de cacao.
- Determinar la afectación de la cubierta vegetal con relación al dato meteorológico.

1.6. Justificación

1.6.1. Justificación teórica

La relación entre el datos meteorológicos y la salud de la vegetación se ha utilizado para hacer inferencias sobre la relación de cambios en los patrones (Bonan et al., 2003, p.4) es decir, a medida que cambia el clima, esto se convierte en un factor de estrés que pueden provocar cambios en la salud de la vegetación (Cramer y Leemans, 1993, p.1).

La presente investigación tiene como objetivo la caracterización de sistemas agroambientales e índices de vegetación a través de datos meteorológicos y el análisis de imágenes multiespectrales obtenidas con drones UAV en plantaciones de cacao del centro de investigaciones INIAP ubicado en la Parroquia San Carlos - Cantón Joya de los Sachas, utilizando la teledetección que en la actualidad constituye un instrumento importante al servicio del medio ambiente (Mecánica et al., 2015, p.4). El avance tecnológico actual permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, que pueden ser accesibles a cualquier persona o institución, esto a su vez constituye una alternativa económicamente factible para proyectos con recursos limitados como generalmente ocurre en países en vías de desarrollo (Carnevale et al., 2007, p.8). Usando del espectro electromagnético las bandas visibles e infrarrojas con el fin de analizar características de la vegetación (Passucci, 2017, p.8). Así como también, las cámaras multiespectrales son capaces de capturar imágenes tomadas desde plataformas aéreas o terrestres con una más amplia gama de

longitudes de onda, lo que posibilita resaltar en las imágenes capturadas otras características físicas del área o el objeto estudiado (Guirola, 2018, p.2), lo cual permite efectuar una evaluación estadística que acepte o rechace la hipótesis propuesta durante la investigación, para finalmente plantear propuestas de planificación para tener una conservación eficiente en los cultivos arbóreos.

El análisis de cubiertas terrestres con sensores remotos tiene entre sus diversas ventajas, la posibilidad de conocer, explorar e investigar sitios de acceso remoto y/o con climas extremos, es así, que reconocidos programas de monitoreo atmosférico, inventario de glaciares, seguimiento de erupciones volcánicas, o parques nacionales y reservas faunística (Lo Vecchio , y otros, 2016). Por otro lado, es importante determinar el beneficio de la instalación de una estación meteorológica y la adquisición de datos de una manera remota mediante la realización de las tareas de forma automática y el control de dispositivos conectados que en el presente estudio será por medio de los sensores, siendo que es la adquisición favorable y envió de datos a través de la nube con un protocolo de comunicación Wireless (Solano , 2021, p.1). Asimismo, Caicedo et al. (2014, p.1) menciona que entre las principales ventajas de la implementación de una estación meteorológica es la obtención de parámetros necesarios que determinan y caracterizan el ambiente y hábitat de la plaga como es el caso de la “monilla” que llega a afectar desde un 5% hasta la pérdida total de cada cacao contaminado. De ahí la importancia del uso de estaciones meteorológicas en este tipo de estudios, pues permiten la observación en un lugar establecido para la obtención de datos meteorológicos para uno o varios fines realiza en distintos tiempos ya sea real, diferido o ambos (Jiménez, 2020, p.2).

1.6.2. Justificación metodológica

El proyecto de investigación sirve de guía para futuras investigaciones, pues se presenta herramientas y técnicas propuestas por Chuvieco, en donde se realiza observación remota de la superficie terrestre en donde las imágenes de teledetección son adquiridas en formato digital, por medio de la incorporación de sensores avanzados que permiten el enriquecimiento notable de la información sobre determinados procesos ambientales. Asimismo, mediante la aplicación de la teledetección, tiene por objetivo extraer la información relevante de los datos brutos, siendo necesario conocer varias técnicas de interpretación digital tales como correcciones radiométricas y geométricas, transformaciones de imágenes, clasificación, validación de resultados, etc. (Chuvieco, 2007). De esta manera la teledetección también se usa como parte del método deductivo, que se basan en la aplicación de modelos físicos o matemáticos que permitan estimar los parámetros de interés a partir de los datos adquiridos mediante teledetección (Pargot, 2013).

En base a la metodología antes mencionada se realiza la captura, procesamiento y análisis de las imágenes multiespectrales.

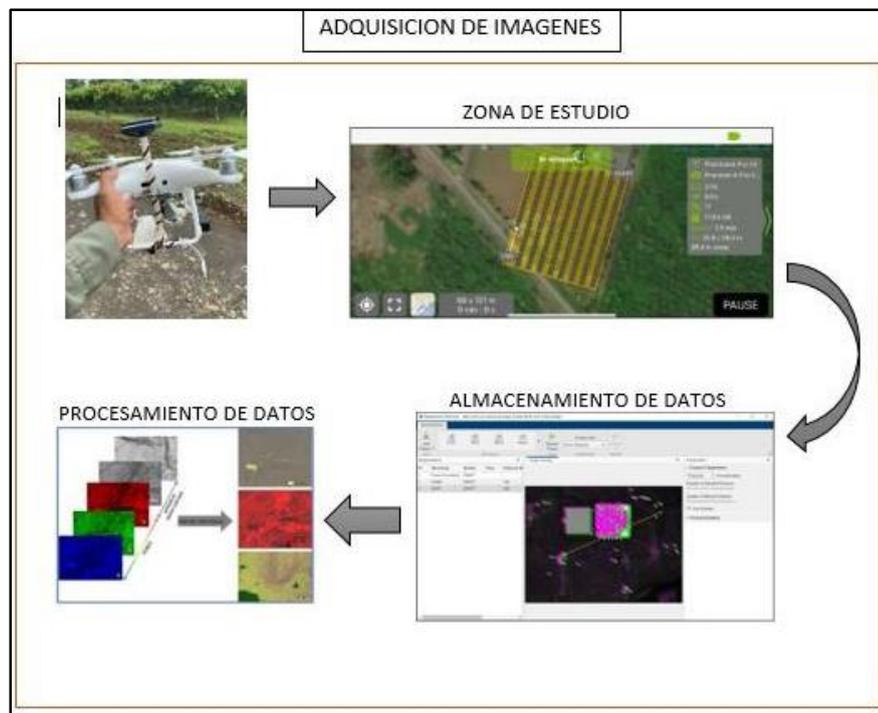


Ilustración 1-1: Adquisición de imágenes por teledetección

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

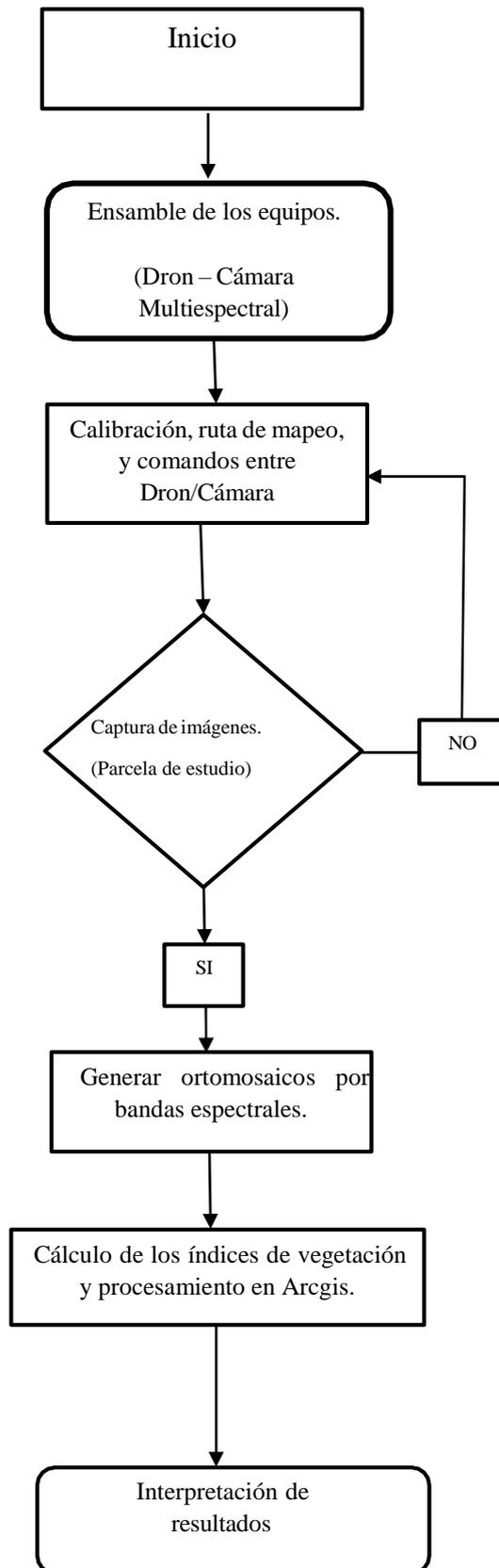


Ilustración 1-2: Diagrama de Chuveico

Fuente: (Chuveico, 2010).

Los datos meteorológicos que fueron tomados para el presente estudio se descargan de la estación meteorológica que forma parte del proyecto “PATFA”, ubicada en las instalaciones del INIAP. Para el procesamiento y análisis se hará uso del servidor libre colaboratory conocido como “Colab”, servicio que brinda Google para la ejecución de Python en el navegador.

La caracterización de cubiertas terrestres y análisis de condiciones meteorológicas son de gran importancia para conocer la distribución de las diferentes regiones dentro de una zona de estudio con propósitos de planificación para su intervención mediante la ejecución de proyectos de diferente índole dentro de las distintas áreas ya mencionadas. El avance tecnológico actual permite tener un conocimiento global de cualquier región de la superficie de la tierra a partir de imágenes provenientes de sensores a bordo de plataformas satelitales, que pueden ser accesibles a cualquier persona o institución, esto a su vez constituye una alternativa económicamente factible para proyectos con recursos limitados como generalmente ocurre en países en vías de desarrollo (Carnevale et al., 2007).

Es por ello que la integración de análisis basados en datos meteorológicos de satélites puede aumentar el valor actual de las aplicaciones agrícolas, así como resolver sus ciertas limitaciones actuales.

Mediante la ejecución del lenguaje arbitrario en el servidor Colab se realizará el procesamiento y análisis de los datos meteorológicos tomados en tiempo real, se generaron gráficas en representación a la temperatura y la humedad con respecto al tiempo, de igual manera el área que corresponda a los cambios de cobertura vegetal. Para el análisis entre las imágenes y los datos meteorológicos fue tomado el método de correlación pearson la cual mide la asociación estadística entre dos variables (Dagnino, n.d.)

1.6.3. Justificación Práctica

La presente investigación se justifica de manera práctica al contar con actividades de adquisición de datos en la zona de estudio utilizando equipos de capturas de imágenes multiespectrales como la de sensores de datos climáticos para el procesamiento, análisis e interpretación de resultados mismo que se está llevando a cabo dentro del proyecto denominado PATFA y para fundamentar los objetivos propuestos es necesario demostrar no solo de manera empírica si no práctica que el uso de la teledetección para sistemas agroambientales y adquisición de datos meteorológicos determina el estado de salud de cubiertas vegetales en general y así, con los resultados permitirán proponer mejoras para la conservación de los cultivos arbóreos, lo mencionado debido al avance

tecnológico de las últimas décadas brindan una gama más diversificada de técnicas y herramientas que van desde los microsensores meteorológicos y los sistemas de posicionamiento por satélite, hasta los equipos de medición terrestre (sensores de clorofila, área foliar, humedad del suelo, etc.) que permiten obtener datos sobre distintas variables de interés ambiental y que requieren ser procesadas y posteriormente convertirlos en información relevante.

1.7. Hipótesis

Los resultados del procesamiento y análisis de datos meteorológicos e imágenes multiespectrales no tendrán relación significativa para determinar la salud de las plantas.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de investigación

Balladares et al., (2021, p.2) manifiestan que en la Amazonía ecuatoriana, después de la explotación petrolera, la agricultura y la ganadería son las actividades socioeconómicas más importantes. Actualmente por problemas ambientales las enfermedades más comunes que afectan al cacao en Orellana se encuentran la escoba de bruja y Monaliasis, dando lugar a los problemas fitosanitarios (Suárez et al., 1994).

La conservación y uso sostenible de ecosistemas frágiles como los amazónicos implican un nuevo enfoque en el manejo de agroecosistemas, a través de la recuperación y diversificación de áreas degradadas, a través de sistemas productivos que sean menos invasivos y permitan la conservación de la diversidad de especies como lo propone el sistema agroforestal de cacao (Somoza et al., 2015, p.6).

Entonces, los antecedentes de investigación sobre análisis de cubiertas vegetales que aquí se realiza abarcan análisis de datos meteorológicos y el uso de la teledetección con tecnologías de última generación.

Veneros et al. (2020, p.2) determinaron la aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua, mediante las aplicaciones de imágenes satelitales en estudios de cobertura y el uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en estudios ambientales. Los resultados evidenciaron la realización de estudios sobre la cobertura boscosa, expansión urbana, índices de vegetación, cambio de coberturas vegetales, deforestación, entre otros, concluyendo que la aplicación de la teledetección brinda información real y precisa.

Gómez (2019, p.9) estableció el análisis de la variación espacio temporal de la cubierta vegetal en el estado de baja California sur por medio del análisis (NDVI). Utilizando la metodología a través de los datos MOD13Q1 con resolución espacial de 250m y temporal de 16 días, para calcular el NDVI para el periodo de 2001 al 2016, los resultados más considerables fueron en los años 2001, 2002, 2010 y 2011 en los cuales se presentó mayores anomalías de NDVI. Según (Días Batista et al., 2020) en el estudio tuvo como objetivo monitorear y analizar la dinámica espacio-temporal de la vegetación de Caatinga por teledetección orbital en la región semiárida de Pernambuco, Brasil, mediante datos meteorológicos instantáneos recopilados del Instituto Nacional de

Meteorología, e imágenes del satélite Landsat-8 procesadas con el algoritmo Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL). En los resultados se evidenció que la cobertura vegetal es con menor intensidad o incluso en una situación de suelo expuesto, hecho que también se evidenció en la estación seca.

Gallegos y Delgado (2016, p.4) enfocaron su estudio en el análisis de los patrones de vegetación en función de las condiciones ecológicas de su localización. La metodología fue desarrollada por medio de fotointerpretación de las imágenes mediante el software CAD cuya digitalización se importó en ArcGis información que fue completada en base a la tabla de datos de cada registro de vegetación. Los resultados evidenciaron la relación existente entre las características del suelo de la parcela de estudio y las diferentes especies que están presentes en ella.

García (2015, p.3) efectuó el análisis de series de datos de teledetección de índices de vegetación". El estudio fue efectuado mediante los datos de teledetección proporcionados por MODIS, que permitieron la extracción de características fenológicas de series de datos de índices de vegetación por medio de técnicas de suavizado y ajuste de modelos ocultos de Markov. Se llegó a la conclusión que en este trabajo, se aplicaron diferentes modelos HMM en dos tipos de vegetación en un área mediterránea para definir las características fenológicas a partir de datos de series derivados de NDVI obtenidos por teledetección.

Robin et al., (2011, p.6) proponen en su estudio el objetivo de presentar diferentes técnicas que pueden utilizarse para evaluar el cambio de la vegetación en relación con el cambio climático en las Islas Kerguelen. Se utilizó los datos meteorológicos registrados en Port- aux-Franc, ais e imágenes Spot tomadas en 1995, 2002, 2009 y 2010, cada imagen fue georreferenciada a la zona UTM 42 utilizando el datum WGS84. Los resultados evidenciaron que la pérdida de vegetación en áreas con alta cobertura vegetal se asocia con el cambio climático.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. *Sistemas de información geográfica*

A criterio de Olaya (2014, p.2) se define Sistema de Información Geográfico (SIG) a la información que permite asignar una posición geográfica y que dicha información está acompañada de otra adicional relativa a su localización. Por otro lado, Sendra (1994) manifiesta que por medio del desarrollo tecnológico de la humanidad en las últimas décadas, se representa a los SIG como una tecnología que permite obtener una resolución de problemas territoriales, puesto que ayuda a

añadir valor a la información.

Asimismo, Felicísimo (2003) define al SIG como el “conjunto de software de ordenador, hardware y periféricos que transforman datos referenciales geográficamente de información sobre localizaciones, interacciones espaciales y relaciones geográficas de las entidades fijas o dinámicas que ocupan un espacio en los entornos naturales construidos”.

2.2.1.1. Componentes de los SIG

De acuerdo a Muñoz (2008, , p.7) la tecnología informática es el primer elemento que forma los sistemas, posteriormente se encuentran la información georreferenciada, mismos que ocupan los sistemas informáticos que permitan generar algún tipo de estudio, considerando así una interrelación entre ellos. De esta manera se puede mencionar tres subsistemas principales como:

- Subsistema de datos.- Se responsabiliza de las operaciones de entrada y salida de datos, así como también de la gestión de datos en GIS, permitiendo que otros subsistemas accedan a los datos y realicen sus funciones basándose en esos datos.
- Subsistema de visualización y creación cartográfica.- Dicho subsistema permite generar representaciones basadas en datos (mapas, leyendas, etc.), con lo cual se produce la interrelación entre ellos.
- Subsistema de análisis.- El mismo que contiene métodos y procesos que colaboran con el análisis de datos geográficos.

En base a lo anterior se presenta los cinco principales factores del SIG:

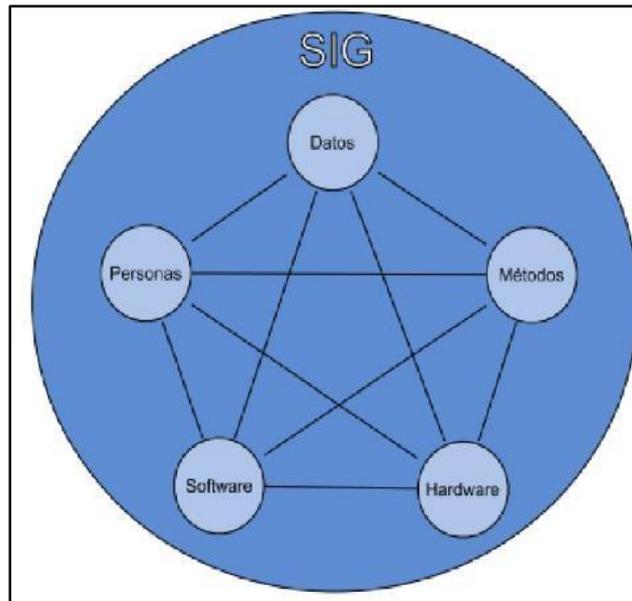


Ilustración 2-1: Elementos de un SIG

Fuente: (Muñoz, 2008).

- Datos.- Son los elementos principales para realizar el trabajo de un SIG, siendo que contiene la información geográfica importante para existencia de los SIG
- Métodos.- Son considerados el conjunto de fórmulas y metodologías para la aplicación sistemática sobre los datos.
- Software.- Es primordial para la aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- Hardware.- Es el implemento necesario para ejecutar el software
- Personas.- Son consideradas las encargadas de diseñar y utilizar el software siendo el motor del sistema SIG (Muñoz, 2008).

Los sistemas de información geográfica son útiles porque pueden analizar los datos geográficos que definen el problema a tratar, resolver la planificación espacial y medioambiental. Facilitan la cartografía de diferentes aspectos, permiten combinar datos e información mediante superposiciones y otras formas de manipulación de la información (Bosque et al., 2000, p.6).

2.2.2. Teledetección

Los sensores remotos pueden ser definidos como la ciencia y el arte de obtener información de un objeto, área o fenómeno, a través del análisis de datos adquiridos mediante un dispositivo, el cual no está en contacto directo con el objeto (Cumba, 2015, p.4). Por ende la teledetección tiene por finalidad identificar y caracterizar los materiales de la superficie terrestre y los procesos que en

ella ocurren a partir de la radiación electromagnética procedente de la emisión de la propia superficie terrestre como la reflejada del sol (Gilbert et al., 1997, p.12).

La teledetección puede utilizarse en diversos campos como la agricultura, el medio ambiente, la planificación urbana, la geología, la oceanografía, la minería, el petróleo y el gas, la vulcanología, la silvicultura y la deforestación, utilizando cámaras que captan imágenes aéreas en una o varias bandas espectrales sobre la zona estudiada (Vásquez y Sevilla, 2018, p. 9).

2.2.2.1. Tipos de teledetección

Existen dos clases de teledetección: pasiva y activa.

Teledetección pasiva: Los sensores pasivos sólo miden la radiación electromagnética procedente de fuentes externas. Fuentes externas: energía reflejada por la radiación solar o emitida por la superficie de la Tierra (Chuvienco, 2007, p.6).



Ilustración 2-2: Sensores Pasivos

Fuente: (Aglac, 2019).

Teledetección activa: El sensor emite radiación dirigida hacia el objetivo a ser estudiado, la radiación reflejada de ese objeto es detectada y medida por el sensor (Bravo Morales, 2017, p.2), tienen la capacidad de generar pulsos de energía y recogerlos después de que el objetivo de la superficie los refleje. El radar es el sistema de sensores activos más conocido (Chuvienco y Huete, 2009, p.1).



Ilustración 2-3: Sensores activos

Fuente: (Aglae, 2019).

2.2.2.2. Elementos de la teledetección

Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos según (Chuvieco, 1990, p.23).

- Fuente de Energía: Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar) (Chuvieco, 2010, p.1).
- Cubierta terrestre: Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor (Chuvieco, 2010, p.4).
- Sistema sensor: Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción (Chuvieco, 2010, p.1).
- Sistema de recepción-comercialización: Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.
- Interprete: quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales (Chuvieco, 2010, p.3).
- Usuario final: Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven (Chuvieco, 2010, p.2).

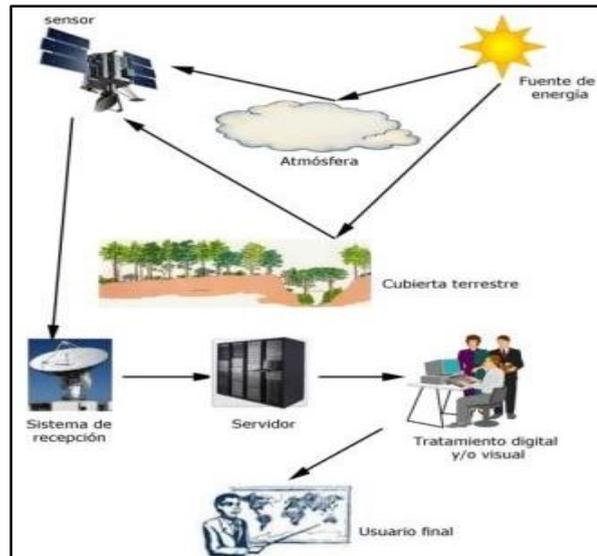


Ilustración 2-4: Elementos de la teledetección

Fuente: (Aglae, 2019).

2.2.2.3. Fundamentos de la teledetección

Los tres componentes necesarios de un sistema de teledetección son: El sensor, el objeto observado y el flujo de energía. Es esta última es la que pone en contacto la superficie y el sensor, por lo que muchos principios de la teledetección están directamente relacionados con las características de esta radiación, ya que es la fuente de información que utiliza el sensor. De las distintas formas que esta radiación puede tomar se utilizan principalmente dos: la reflexión y la emisión.

Cualquier objeto cuya temperatura este por encima del 0 absoluto (-273°C) emite energía, y la intensidad de esta emisión es función de la temperatura. Se define como emisor perfecto a aquel objeto que absorbe t emite toda la energía que recibe. La reflexión se deriva directamente de la luz solar, principal fuente de energía en nuestro planeta y constituye por tanto la forma más importante de teledetección (Castaño et al., 1996).

Los cuerpos más frecuentes en la naturaleza son los radiadores selectivos, es decir, aquellos que absorben o reflejan la energía incidente en función de su longitud de onda (Mecánica et al., 2015, p.2).

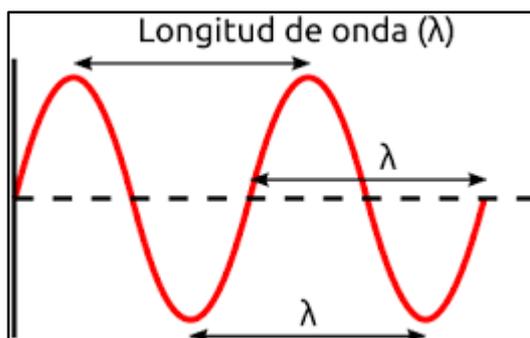


Ilustración 2-5: Longitud de onda

Fuente: (World-Micro, 2019).

La Ilustración (2-6) muestra una representación de la onda electromagnética polarizada en el plano, desplazándose en la dirección y . El campo eléctrico está representado por el vector E y está oscilando en la dirección z (ó $-z$) (Fontal, 2005, p.8).

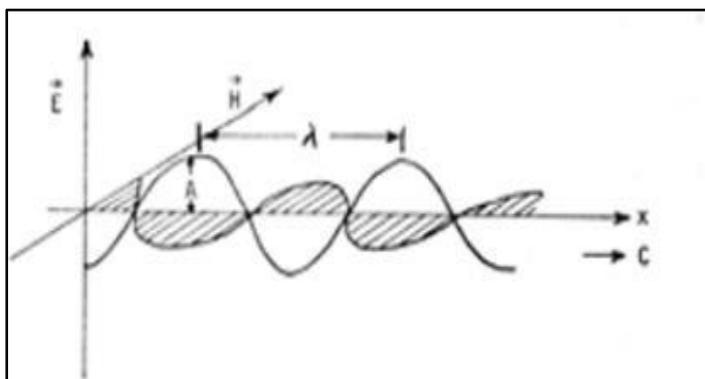


Ilustración 2-6: Onda electromagnética polarizada en el plano

Fuente: (Ikastaroak, 2019).

2.2.3. Índices de vegetación

Al hablar de índices se hace referencia a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los píxeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena (Muñoz, 2013, p.8), para realizar evaluaciones tanto cuantitativas y cualitativas de la cobertura vegetal (Xue y Su, 2017, p.2). Cuando la luz incide en una superficie, una parte se refleja, otra se transmite y el resto se absorbe, en la vegetación, la mayor parte de la luz en las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) se transmite y se refleja, y se absorbe poco, en contraste con las longitudes de onda visibles, en las que predomina la absorción, con algo de reflejada y poca transmitida (Jackson y Huete, 1991).

2.2.3.1. Índices de vegetación de diferencia normalizada

El índice normalizado de vegetación (NDVI, por su sigla en inglés), diseñado por Tucker (1979) para el monitoreo de coberturas vegetales a través de la siguiente ecuación (NDVI) (Ji y Peters, 2003, p.8). Por otra parte el NDVI dispone de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes (Muñoz, 2013, p.9). Los valores del índice NDVI cercanos a 0,1 indican zonas desérticas con vegetación escasa y los valores cercanos a 0,9 caracterizan zonas con alta densidad de vegetación (Ariza et al., 2018, p.4).

2.2.3.2. Formula del NDVI

Para calcular este índice o NDVI se utilizan dos bandas, la del infrarrojo cercano (NIR) y la del rojo (RED). (En las bandas NIR y RED, el número de banda difiere según el sensor (Torres y Vivanco, 2018, p.4).

A continuación, se muestra la formula como se anuncia en (Bahadur, 2018, p.4).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

2.2.3.3. Valores NDVI

Existe un sinnúmero de clasificaciones de rangos para distinguir las diferentes coberturas así se tiene valores de referencia los propuestos por (ESCOBAR, 2015) como se puede observar en la tabla (2-1)

Tabla 2-1: Valores NDVI

Valor	Clasificación
-1-0	Objeto inanimado/vegetación muerta
0-0.33	Vegetación enferma
0.33-0.66	Vegetación mediamente sana
0.66-1	Vegetación sana

Fuente: (Escobar, 2015).

2.2.3.4. Teledetección aplicada en UAV

La teledetección a partir de sensores montados en drones presenta varias ventajas respecto a la fotografía aérea convencional, e incluso frente a las imágenes captadas desde plataformas satelitales en aplicaciones agrícolas que requieran escalas de detalle; pero no así para estudios zonales o regionales. Estas ventajas se circunscriben a tres aspectos fundamentales:

- Mayor resolución espacial.
- Mayor resolución temporal
- Favorable relación entre el nivel de detalle y el costo por unidad de área relevada

2.2.3.5. Radiación electromagnética

El espectro electromagnético suele subdividirse en regiones dependiendo de su frecuencia o longitud de onda, sin embargo éstos intervalos no están bien definidos, y pueden estar uno sobre otro; dichas regiones son Rayos Gamma, Rayos X, Ultravioleta, Luz Visible, Infrarrojo, Microondas, y ondas de radio tal como se muestra en la Ilustración (2-7) (Cárdenas, 2014, p.3).

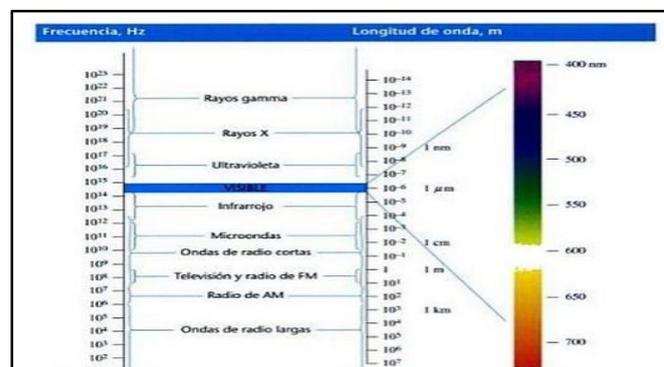


Ilustración 2-7: Espectro electromagnético

Fuente: (Shutterstock, 2020).

El ojo humano es el sensor natural con el que percibimos la información de la superficie terrestre. Sin embargo, éste se encuentra limitado a la región espectral de la visible Ilustración (2-8) Por el contrario, los sensores de las cámaras multispectrales e, incluso, hiperespectrales son capaces de registrar el comportamiento de los objetos de la superficie terrestre en diversas longitudes de onda o bandas del espectro electromagnético, desde la región del visible hasta las distintas bandas del infrarrojo (Vega et al., 2010, p.5).

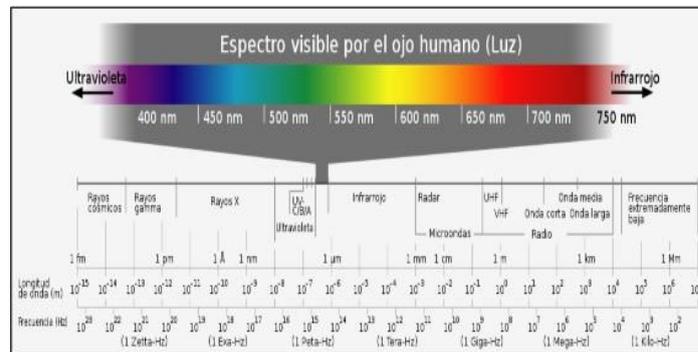


Ilustración 2-8: Espectro visible para el ojo humano

Fuente: (Hannainst, 2019).

2.2.3.6. Firma espectral

Básicamente, todos los objetos del entorno físico interactúan con fuentes de energía propia o externa, y estos objetos tienen la capacidad de emitir o reflejar radiación electromagnética. Por lo tanto, cada objeto tiene su propia respuesta espectral, llamada firma espectral. Las firmas espectrales, es decir, las energías reflejadas y emitidas, muestran el patrón característico de la radiación emitida por diferentes elementos en la superficie de la Tierra (Castaño et al., 1996).

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

La superficie mantiene una relación recíproca con la radiación de manera distinta, unas veces absorbe ciertas longitudes de onda y reflejando otras (Mecánica et al., 2015, p.3).

2.2.3.7. Reflectancia espectral

El comportamiento espectral de la vegetación, es decir, la cantidad de energía reflectante medida en cada individuo o planta a lo largo del espectro, depende de la naturaleza de esta misma, de sus interacciones con la radiación solar y otros factores climáticos, y de la disposición de nutrientes y agua en su medio ambiente (Merchant, 2000, p.2).

2.2.3.8. Reflectividad de la vegetación

La luz que incide sobre la estructura de la vegetación produce una reacción llamada reflectancia, que es la relación entre la luz reflejada y la luz incidente (Management, 2005, p.8).

Las plantas verdes y sanas tienen una firma espectral muy característica. La clorofila presente absorbe la luz visible, sobre todo la roja, para utilizarla en el proceso de fotosíntesis, mientras que la luz infrarroja cercana se refleja de forma efectiva, ya que no es útil para la planta. En las bandas del infrarrojo cercano y del rojo visible, la vegetación tiene una reflectancia alta y baja, respectivamente, por lo que podemos identificar las zonas con vegetación de las zonas secas del suelo desnudo (Jacob, 2022, p.13).

La vegetación tiene un comportamiento espectral muy específico que viene determinado en gran medida por las hojas que forman el dosel, en función de su estado fenológico, el contenido de humedad y la densidad de la cobertura. La Ilustración (...) muestra el comportamiento espectral de la vegetación cuando está en un estado óptimo de crecimiento y libre de problemas de estrés (Manzo y Meave, 2003, p.2).

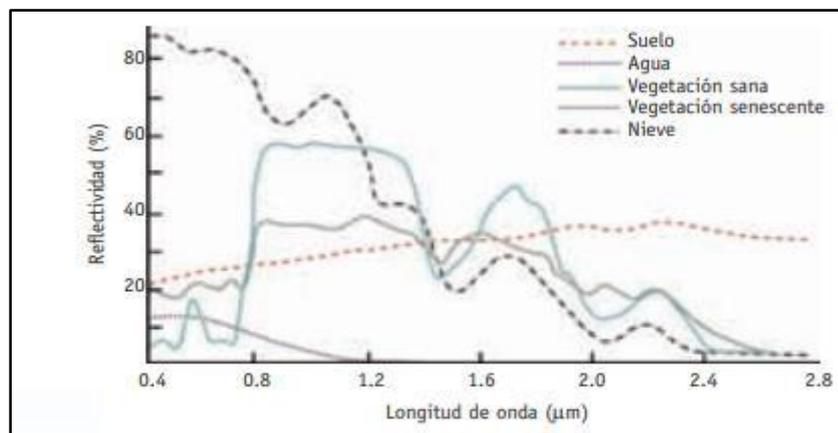


Ilustración 2-9: Comportamiento espectral de la vegetación

Fuente: (Manzo y Meave, 2003).

2.2.3.9. Absorción de pigmentos

Las plantas contienen cuatro pigmentos principales, la clorofila a y b, caroteno y xantofila, todos los cuales absorben la energía en el visible para realizar los procesos de fotosíntesis, teniendo una baja reflectividad de la vegetación en las zonas del espectro visible correspondientes al azul (0,445 μm) y al rojo (0,645 μm) dada por la presencia de clorofila a y b, las cuales son responsables de la absorción en estas longitudes de onda.

Los carotenos y xantofilas lo hacen con las longitudes del verde (0,55 μm) donde el efecto absorbente es menor lo que ocasiona un pico relativo de reflectividad que al coincidir con la banda del verde causa el color con el que vemos a la vegetación vigorosa (Salinero, n.d.)

2.2.4. Dron o vehículo aéreo no tripulado

Un dron también conocido como UAV, por sus siglas en inglés Unmanned Aerial Vehicle, es un vehículo aéreo no tripulado que se guía de forma remota capaz de realizar una misión sin la necesidad de tener una tripulación embarcada, la aeronave es controlada desde el suelo por un piloto o tiene una preconfiguración de vuelo específica ofreciendo la posibilidad de adquirir datos a distancia con mayor rapidez y menor coste que los vehículos aéreos tripulados (Barrientos et al., 2014, p.7).

El uso de los UAVs ha sido importantes en varios campos de la investigación, presenta una disponibilidad de fotografías aéreas en tiempo real con alta resolución, utilidad para el uso en zonas geográficas de difícil acceso, adquisición de imágenes aéreas en cualquier momento, lo que ha hecho que su uso para la captación de imágenes sea más rápido, de menor costo y mayor precisión (Diaz, 2013, p.3).

En un sistema de teledetección los drones son capaces de transmitir información detallada a los satélites, que luego se transmite a un centro de control en tierra, todo ello en dos segmentos definidos con claridad (Redacción, 2014, p.2):

- Segmento de vuelo: lo compone el vehículo aéreo y los sistemas de recuperación (cables, tren de aterrizaje, etc.)
- Segmento de tierra: Lo compone una estación de control ubicada en la tierra, se encarga de recibir la información enviada por los drones y a su vez dar las ordenes al UAVs

2.2.4.1. Vehículos aéreos no tripulados usados en sistemas agroambientales.

Se espera que las imágenes de los drones y los datos de los sensores terrestres desempeñen un papel crucial en las cubiertas vegetales, proporcionando un amplio margen para la investigación y el desarrollo científicos. Además hay que tener en cuenta varios aspectos metrológicos para el desarrollo de estas plataformas, desde los sensores integrados en ellas hasta la instrumentación y los procedimientos de calibración para su comprobación (Daponte et al., 2019, p.10).

2.2.4.2. Tipos de drones

- Drones de ala fija

Esta aeronave consiste básicamente en un ala rígida que tiene un perfil aerodinámico predeterminado, se caracteriza principalmente por su alta velocidad de crucero y su gran resistencia, y se utiliza sobre todo para misiones de larga distancia, largo alcance y gran altitud. Difíciles de maniobrar y, por lo tanto, requieren un espacio considerable para el despegue y el aterrizaje (Mancha, 2019, p.5).



Ilustración 2-10: Dron ala fija

Fuente: (Rejón, 2018).

- Drones alas rotatorias.

Estas aeronaves tienen rotores compuestos por palas en constante movimiento, que producen el flujo de aire necesario para generar sustentación. Estas máquinas voladoras, que también se denominan aeronaves de rotor de despegue y aterrizaje vertical (VTOL), se utilizan normalmente para misiones que requieren un vuelo estacionario. Son muy precisos en los sobrevuelos pudiendo ser capaces de llevar cargas de tamaño considerable gracias a los multirrotores, un despegue y un aterrizaje más fáciles y una mejor maniobra que los vehículos aéreos no tripulados de ala fija (Mancha, 2019, p.11).



Ilustración 2-11: Drones alas rotatorias

Fuente: (Rejón, 2018).

Tabla 2-2: Diferencias entre vehículo UAV's ala fija y rotatoria

Característica	Ala Fija	Multirrotor
Peso total	3.5 Kg	3.5Kg
Carga de pago	1.0 Kg	1.0 Kg
Autonomía	2 h	40 min
Propulsión	Eléctrica	Eléctrica
Velocidad	50 km/h	40 km/h
Despegue	Catapulta	Vertical
Aterrizaje	En panza o paracaídas	Vertical
Máximo viento	15 m/s	10 m/s

Fuente: (Fernández, 2019).

El dron comercial de mayor distribución en Ecuador son de marca DJI (Vallejos Suarez, n.d.), las especificaciones técnicas más importantes de los drones que son mayormente utilizados en estudios de fotometría se presentan a continuación:

Tabla 2-3: Especificaciones técnicas de los drones de mayor comercialización en Ecuador

Marca	Modelo	AERONAVE							CONTROL REMOTO		BATERIA DE VUELO				APP		
		Peso (g)	Velocidad máxima de ascenso		Velocidad máxima de descenso (m7/s)		Velocidad máxima (m/s)	Altura máxima sobre el nivel del mar	Tiempo máximo de vuelo (min)	Rango de temperatura operativa (c)	Sistema de posicionamiento satelital	Distancia máxima de trasmisión	Batería	Soporte dispositivo móvil		Capacidad	Voltaje
Dji	Phantom 3	1216	5	3	16	6000	25	0° a 40°		1	2600	Tablets y smartrphone	4480	15	365	100	DJI GO
Dji	Phantom 4 pro	1380	6	4	72	6000	30	0° a 40°	GPS/GLONAS	7	6000	Tablets y smartrphone	5870	15	468	160	DJI GO 4
Dji	Mavic Pro	734	5	3	40	5000	27	0° a 40°	GPS/GLONS	4	2970	Tablets y smartrphone	3850	11	240	50	DJI GO 4

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

2.2.5. Datos meteorológicos

La agricultura tradicional se basa en su mayoría de recomendaciones generales para grandes extensiones de terrenos, de esta manera las labores para grandes regiones geográficas se generalizan según la especie vegetativa a cultivar y el tipo de suelo, esto sin tener en cuenta las características propias del sitio y del cultivo en sí. Este proceso de generalización en las labores agrícolas ha tenido como resultado una degradación ambiental y una ineficiencia del uso de los recursos disponibles teniendo como consecuencia un desarrollo limitado de la potencialidad del cultivo y aumentando los costos de producción (Leiva, 2003, p. 6).

Para poder enfrentar con las variaciones antes dichas primero deben de ser conocidas y para ello se deben de monitorear ciertas variables climatológicas y del suelo:

Variables climatológicas:

- Temperatura ambiente
- Presión atmosférica
- Humedad relativa ambiente
- Radiación solar global
- Radiación fotosintéticamente activa
- Radiación ultravioleta
- Velocidad y dirección del viento
- Volumen de precipitaciones pluviales

Variables de suelo

- Temperatura del suelo
- pH del suelo
- Conductividad eléctrica del suelo
- Contenido volumétrico de agua en el suelo

2.2.5.1. Temperatura ambiente

Esta variable suele utilizarse en casi todas las etapas fenológicas del cultivo, ya sea para detectar condiciones para que una enfermedad o plaga aparezca durante el crecimiento de la planta o para estimar el tiempo de maduración de un fruto y establecer la mejor fecha de cosecha para maximizar la productividad del campo de cultivo. Siendo una de las variables climatológicas de más importancia para el óptimo desarrollo de los cultivos que cuentan con una metodología a cielo abierto, junto con el volumen de precipitaciones pluviales y la radiación solar (Mora, 2020, p. 5).

La temperatura influye en el crecimiento de las plantas de tal manera que existe un concepto que relaciona la temperatura media por día y la tasa de crecimiento de las plantas, este concepto se trata de los grados de crecimiento diario (Growing Degree Days), el cual es un indicador basado en el clima para monitorear el desarrollo de las plantas, se utiliza tanto en el desarrollo de plagas como de las propias plantas (North Dakota State University, 2018).

Dentro de todo cultivo existen tres puntos o umbrales fundamentales de temperatura:

- Temperatura mínima de crecimiento: la cual es la mínima temperatura a la que un determinado cultivo comienza a activar sus procesos de crecimiento.
- Temperatura óptima de crecimiento: es la temperatura más ventajosa para el desarrollo de un determinado cultivo.
- Temperatura máxima de crecimiento: se trata de la temperatura a la cual el cultivo detiene sus procesos de crecimiento debido a la activación de sus mecanismos de defensa contra golpes de calor ya que esta temperatura suele estar por debajo del índice de mortandad térmica (Mora, 2020, p. 9).

2.2.5.2. Presión atmosférica

Es la presión que la atmosfera ejerce sobre la superficie terrestre, regula las masas de aire cálido y frío, también tiene un efecto directo en la tasa de crecimiento de las plantas ya que si la presión atmosférica disminuye las plantas no podrán absorber gases vitales para su desarrollo como lo son el oxígeno y el dióxido de carbono. Directamente una baja presión atmosférica no obstruye la absorción de estos gases si no que dispersa sus moléculas haciendo que la concentración no sea la adecuada (Mora, 2020, p.3).

2.2.5.3. Humedad relativa ambiente

Al igual que la temperatura ambiente la humedad relativa ambiente se trata de una variable crítica en todas las etapas fenológicas de la planta, ya que esta variable puede utilizarse para estimar la pérdida de agua de la planta a causa de la transpiración la cual en cantidades excesivas puede ocasionar un crecimiento deficiente de la planta. La humedad relativa ambiente también es utilizada para la previsión de las plagas y enfermedades de las plantas, las cuales causan pérdidas en la productividad del campo de cultivo (Mora, 2020, p. 7).

Los niveles de humedad fluctúan con los cambios en la temperatura del aire, además, las plantas con su proceso de transpiración agregan vapor de agua al medio ambiente, así mismo la cantidad de humedad en el aire contribuye al desarrollo y agravamiento de enfermedades en las raíces y en el follaje de los cultivos, estrés hídrico en las plantas y pérdida de calidad en frutos, esto ocasiona una pérdida en la productividad.

2.2.5.4. Radiación solar global

El sol es la principal fuente de energía radiante que incide en la planta, parte de esta energía es utilizada para la generación de carbohidratos a partir del dióxido de carbono mediante el proceso fotosintético y por lo tanto esta variable influye en el crecimiento adecuado de la planta, sin embargo un exceso de incidencia de radiación solar sobre la planta puede elevar su temperatura a un punto donde se presentan quemaduras en hojas y frutos, disminuyendo de esta manera la productividad de la planta y por consecuencia del campo (Mora, 2020, p.6).

2.2.5.5. Radiación fotosintéticamente activa

Es el componente de la radiación solar global integrada por las longitudes de onda entre los 400 y los 700 nanómetros las cuales son las responsables de activar el proceso fotosintético de la planta, una deficiencia de radiación fotosintéticamente activa en la planta puede ocasionar un crecimiento deficiente tanto de la planta como de los frutos afectando enormemente la productividad del campo agrícola.

El proceso fotosintético depende más del número de fotones que inciden en el cuerpo de la planta que de la energía de estos fotones incidentes, es por esta razón que para la cuantificación de la radiación fotosintéticamente activa se cuenta la cantidad de fotones en las longitudes de onda comprendidas entre los 400 y 700 nanómetros incidentes por unidad de área y en un tiempo específico, este concepto se conoce como PPFD (por sus siglas en inglés, Photosynthetic Photon Flux Density), sus unidades son los micro moles de fotones/m² * s (Mora, 2020, p. 14).

2.2.5.6. Radiación ultravioleta

Es el componente de la radiación solar comprendido entre las longitudes de onda de 200 a 400 nanómetros, la radiación ultravioleta se divide en tres categorías: UV-C (comprendida entre los 200 y los 280 nanómetros), UV-B (comprendida entre los 280 y los 320 nanómetros) y UV-A (comprendida entre los 320 y los 400 nanómetros), el efecto de la incidencia de la radiación ultravioleta sobre las plantas puede derivarse en una disminución en el área foliar afectando enormemente la producción de follaje y haciendo a las plantas más susceptibles a ataques de plagas (Mora, 2020, p. 15).

Al igual que en la radiación fotosintéticamente activa, esta radiación se mide a partir de la cantidad de fotones en las longitudes de onda comprendidas entre los 200 y 400 nanómetros incidentes por unidad de área y en un tiempo específico (Mora, 2020, p. 16).

2.2.5.7. Volumen de precipitaciones pluviales

El monitorear esta variable permite conocer la cantidad de agua que se ha precipitado sobre el campo ante un evento de lluvia, esta información puede ser usada para conocer si los requerimientos de agua del cultivo son cubiertos por la cantidad de agua depositada en el campo mediante las lluvias o se necesita un sistema de riego para completar estos requerimientos. Las precipitaciones pluviales en exceso también pueden afectar la productividad del cultivo lavando o retirando los nutrientes esenciales para la planta fuera del área de la raíz, de igual manera se pueden presentar afectaciones a las plantas debido a la saturación del suelo impidiendo la correcta aeración de las raíces de la planta (Mora, 2020, p. 17).

2.2.5.8. Temperatura del suelo

La temperatura es uno de los principales factores de los procesos bióticos y químicos que tienen lugar en el suelo agrícola, estos procesos pueden ir desde la absorción de nutrientes por la planta hasta la aparición de agentes patógenos que atacan la raíz de la planta. Las enfermedades en las raíces pueden llegar a ser mortales para la planta afectando enormemente la productividad del campo (Mora, 2020, p. 18).

2.2.5.9. Contenido volumétrico de agua en el suelo

Esta variable representa el volumen de agua contenida dentro de una unidad de volumen de suelo, el suelo agrícola se compone de tres principales componentes los cuales son: partículas de suelo, agua y aire, un suelo completamente seco o sin contenido volumétrico de agua tiene aire en todos los poros o espacios entre las partículas de suelo, un suelo completamente saturado tiene agua en todos estos espacios, el manejo de esta variable es sumamente importante para maximizar el rendimiento del campo ya que se relaciona con la correcta aeración de la raíz de la planta y del volumen de agua total disponible para ser aprovechado por los cultivos (Mora, 2020, p. 19).

2.2.5.10. *pH del suelo*

Es considerada como una de las variables más importantes en el suelo agrícola ya que es un indicador de la calidad de la absorción de los nutrientes por parte de la planta, el pH óptimo para los suelos agrícolas debe encontrarse entre 5.5 y 7.0 para obtener los mejores resultados y la mayor productividad posible (Prasad et al., 1997).

El pH se mide mediante una escala logarítmica que consta del 0 al 14, el nivel 7 se denomina neutro, del 7 al 0 ácido y del 7 al 14 base o alcalino, una sustancia ácida tiende a liberar iones de hidrogeno, por su parte las sustancias base tienden a liberar iones de hidroxilo. El pH óptimo de crecimiento depende del tipo de cultivo, mientras que unos cultivos como la alfalfa tiende a tener un pH óptimo de crecimiento neutro (6.5 a 7) el de las bayas y las papas suele ser un poco ácido (5.0 a 5.5) (Mora, 2020, p. 21).

2.2.5.11. *Conductividad eléctrica del suelo*

La importancia del monitoreo de la conductividad eléctrica en el suelo agrícola es que a partir de esta puede ser estimada la concentración de sales en el medio, también puede llegar a ser un indicador de los eventos de fertilización ya que todos los fertilizantes inorgánicos son sales, las altas concentraciones de sales en el campo agrícola puede afectar a la absorción de nutrientes y agua por la planta y como consecuencia generando un desarrollo deficiente lo cual termina afectando el rendimiento cultivo (Mora, 2020, p. 22).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de investigación

En relación a las actividades presentadas en el proyecto PATFA, comprobación de la hipótesis previamente establecida, y los objetivos trazados con una revisión bibliográfica para el procesamiento de imágenes multiespectrales y tratado de datos meteorológicos.

El presente trabajo fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo para fijar de manera fácil los parámetros que se van a observar (Hernández, 2008, p. 2) adoptándose de mejor manera a las características y necesidades de la investigación.

3.2. Nivel de investigación

El estudio presentado corresponde a un nivel de investigación correlacional, basándose al enunciado de Moshinsky, (1959) el cual lo menciona como: “Un tipo de investigación que se utiliza para determinar el grado en que dos o más variables se relacionan entre sí. Se trata de averiguar como el cambio de una variable afecta el valor o característica de otra variable”, mismo nivel que será empleado en la investigación.

3.3. Diseño de la investigación

Según la manipulación o no de la variable independiente

El proyecto de investigación se desarrolla en campo abierto durante un periodo de tiempo mismo que se lo representa de manera experimental. Tomando como referencia el concepto dicho por (Agudelo et al., 2008, p.6) la cual describe a un estudio experimental como una investigación en la cual el investigador manipula y controla una o más variables independientes y observa la o las variables dependientes para medir las variaciones concomitantes.

Según las intervenciones en el trabajo de campo (transversal, longitudinal)

La intervención longitudinal corresponde al estudio de variables que son medidas a lo largo del tiempo aportando estimaciones de cambio en función del mismo (Ware & Liang, 1996, p.3) , es

por ello que la adquisición de los datos multitemporales desarrollados en el campo corresponde a un estudio de trabajo longitudinal concurrendo a estimación de cambio de las mismas.

3.4. Tipo de estudio

Este capítulo presenta el desarrollo de un estudio exploratorio de campo con un problema tratado con poca frecuencia a nivel nacional y regional, que bajo revisiones bibliográficas no se encuentran antecedentes de estudios al tema propuesto dando como estímulo a esta investigación ser pionera para futuros estudios locales y/o regionales.

Por otra parte, se obtendrán datos meteorológicos adquiridos de la estación del proyecto PATFA instalada en el INIAP perteneciente a la zona de estudio, junto a los datos un análisis del índice de vegetación de diferencia normalizada obtenidas a partir de los barridos multiespectrales, para la caracterización de la cubierta vegetal.

3.5. Población y planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra

Zona de estudio

La parcela de experimentación del INIAP donde realiza las actividades el proyecto PATFA se localiza al sur del cantón la Joya De los Sachas, Provincia de Orellana, a 3km del centro poblado de San Carlos para mayor punto de ubicación se encuentra en las coordenadas X= 290461 Y= 9958006 (Holguín, 2019). La parcela se encuentra ubicada en las coordenadas: 0°34'29.89"S 76°87'26.92"O, a una altitud de 284 m.s.n.m, el lugar presenta una temperatura promedio de 29°C y una precipitación anual de 2650 a 4500 mm. (AME, n.d.).

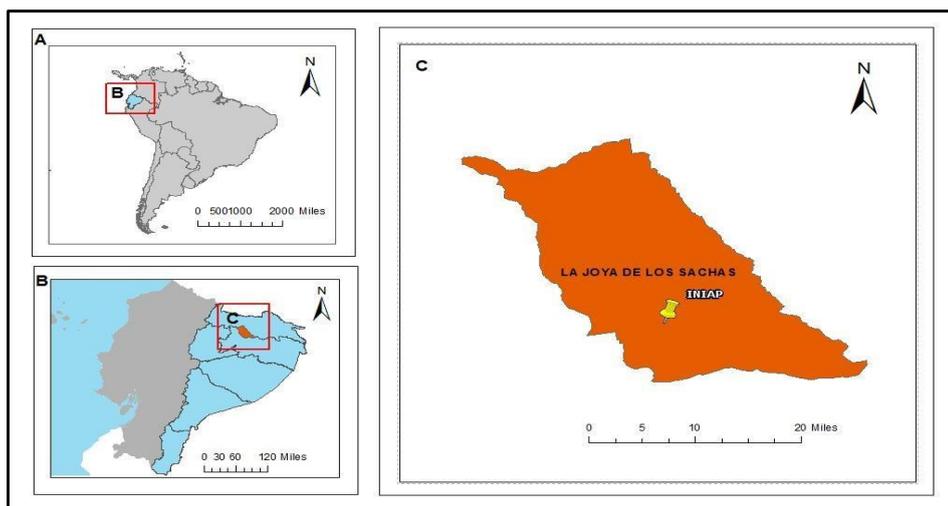


Ilustración 3-1: Mapa de Ubicación

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

El método experimental implica en la determinación en el cambio entre dos variables (independiente-dependiente), conlleva un desarrollo controlado para posteriormente describir cómo o por qué ocurrió un evento o situación en particular. El método experimental tiene mayor aceptación para probar hipótesis (Especial Profesor et al., 2015, p.5).

La técnica de la teledetección implica la obtención de imágenes a distancia de la superficie de la tierra, su tratamiento e interpretación siendo posible entre otros aspectos obtener información necesaria de procesos ambientales (Santana, 2016, p.7).

Se realizó una revisión bibliográfica para contar con un respaldo documentado necesarios para el tratado de las imágenes multiespectrales y los datos meteorológicos.

Parte del estudio se basa en la técnica fotogramétrica con equipos de precisión y adquisición de datos para el posterior procesamiento en el software GIS y métodos meteorológicos para la obtención de los datos meteorológicos.

3.6.1. Estructura del sistema de adquisición de imágenes

La estructura la constituyen el dron dji phantom 4 pro V2 y la cámara multiespectral MicaSense RedEdge-MX.

El dron está constituido por los siguientes elementos:

- 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.
- Sensores de Posicionamiento.

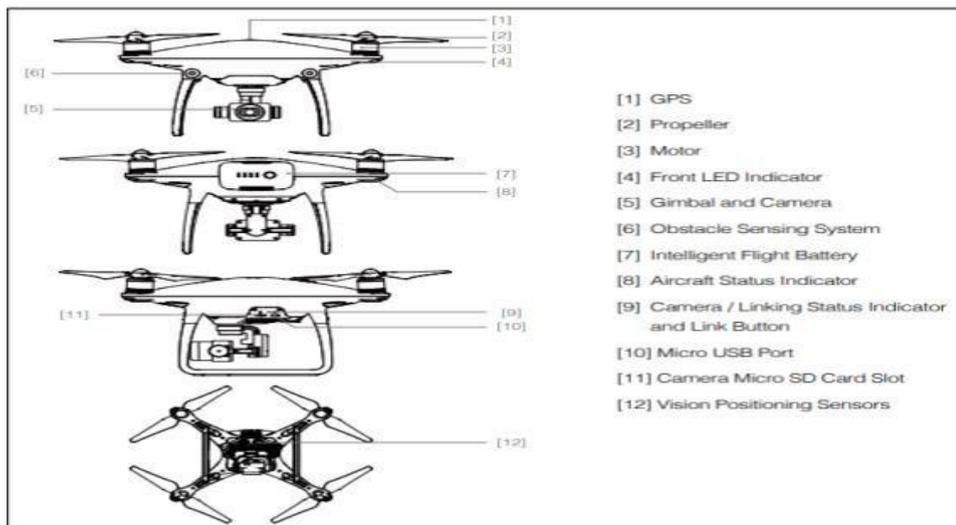


Ilustración 3-2: Componentes del dron

Fuente: (Cedex, 2019).

3.6.2. Cámara multiespectral

La cámara está constituida de la siguiente manera:

- Botón de activación manual.
- Cinco bandas espectrales.
- Tarjeta SD.
- Wi-Fi Remomible.

- Múltiples interfaces para una fácil integración.
- DLS con GPS integrado.

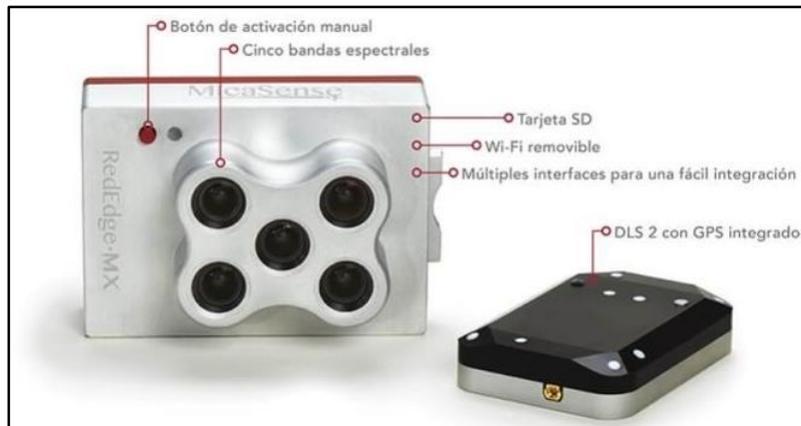


Ilustración 3-3: Cámara multispectral

Fuente: (Holguín, 2019).

Tabla 3-1: Información lente y cámara

Tamaño de pixel	3.75 micras
Resolución	1280 x 960 (1.2 MP x 5 reproductores de imágenes)
Relación de aspecto	4:3
Tamaño del sensor	4.8 mm x 3.6 mm
Longitud focal	5.4 mm
Campo de visión	47.2 grados horizontales, 35.4 grados verticales
Profundidad de bit de salida	12 bits
GSD a 120 m (-400 pies)	8 cm/pixel por banda
GSD a 60 m(-200 pies)	4 cm/pixel por banda

Fuente: (Micasense, 2019).



Ilustración 3-4: Panel de calibración

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Para formar el sistema de adquisición de imágenes con el uso conjunto del dron y la cámara multiespectral se realiza con el acople de 3 piezas obtenidas con la ayuda del modelado e impresión en 3D.

3.6.2.1. Las piezas 3D ensambladas

Placa de fijación de la cámara a base rígida y resistente que será adherida al dron.

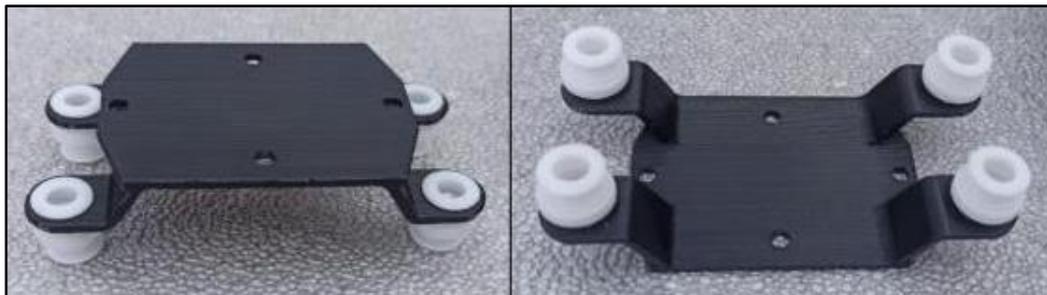


Ilustración 3-5: Base rígida y resistente para cámara MicaSense RedEdge-MX

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

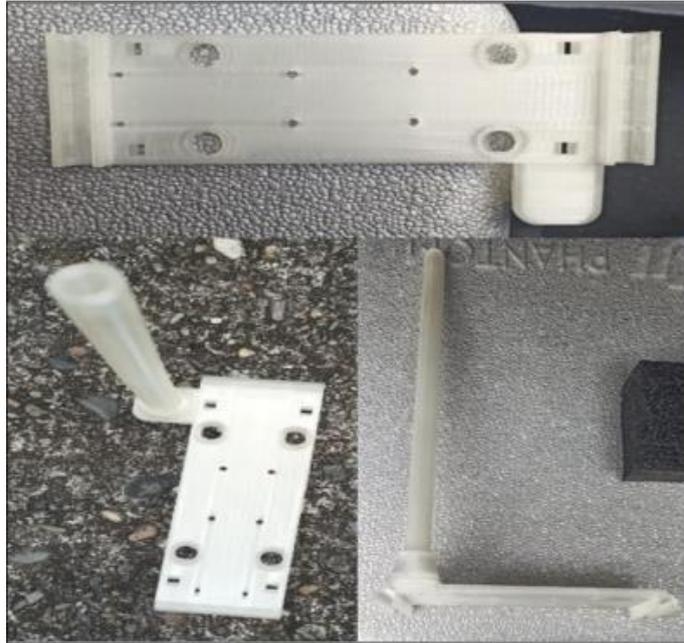


Ilustración 3-6: Placa utilizada para la adhesión de la cámara multispectral al tren de aterrizaje del dron, de la misma manera como soporte para el DSL/GPS

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.2.2. Soporte para la batería de la cámara micasense

Soporte que sujeta la fuente de alimentación energética de la cámara multispectral y es adherida al dron.



Ilustración 3-7: Soporte para la batería de la cámara MicaSense RedEdge-MX

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Es así como los acoples de piezas en 3D permiten formar la estructura correspondiente para el uso conjunto de la cámara MicaSense RedEdge-MX con sus elementos y el dron Phantom 4, en la Ilustración 3-8 se observa la estructura final para la adquisición de datos.

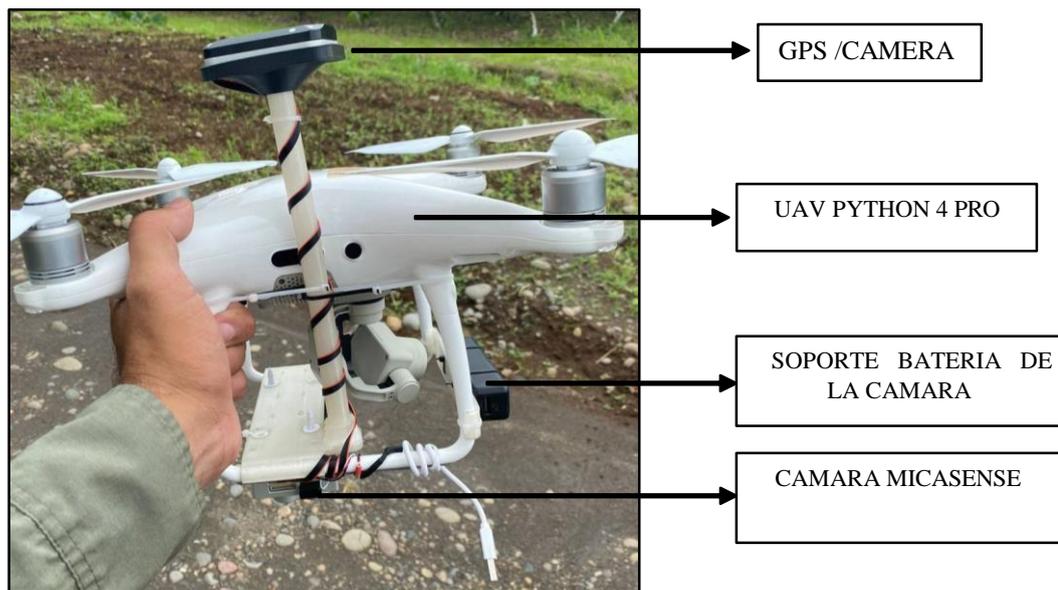


Ilustración 3-8: Estructura final UAVs y cámara

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.3. *Adquisición de los datos meteorológicos*

Los datos meteorológicos fueron obtenidos por la estación meteorológica ubicada dentro de las instalaciones del INIAP que pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Sede Orellena, los datos son recopilados por los sensores climatológicos instalados y almacenados en el datalogger (Ilustración 3-9).



Ilustración 3-9: Sensores climatológicos

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.3.1. Sensor de temperatura y humedad HMP-155.

El HMP-155 utiliza un sensor capacitivo de polímero de película fina HUMICAP180R para medir la humedad relativa y termómetro de resistencia de platino para medir la temperatura (Ilustración ...).



Ilustración 3-10: Sensor HMP-155 de temperatura y humedad

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.4. Adquisición de las imágenes multiespectrales

- Realizar de manera presencial un reconocimiento del área de estudio para determinar posibles obstáculos que impidan al dron realizar su vuelo, como por ejemplo: altura de los árboles, pendientes, etc.
- Se realiza un plan de vuelo tomando en cuenta todas las consideraciones, la misión de vuelo se la realiza con la aplicación de software “Pix4D Capture”, en donde se configuración los diferentes parámetros para que se genere el vuelo autónomo y la adquisición de imágenes, entre parámetros principales tenemos la zona de vuelo, velocidad y altura.
- Para procesar correctamente los datos de la cámara MicaSense RedEdge Mx, se calibra la cámara ubicándola sobre el panel de calibración sin hacer sombra o contra luz a una altura no mayor a un metro. Hecho esto se captura mayor a 3 imágenes con la finalidad de calibrar los valores de reflectancia de la cámara antes de la misión del vuelo.



Ilustración 3-11: Adquisición de imágenes multiespectrales

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Para determinar los parámetros en la cámara establecidos por el investigador, mediante 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” (Ilustración 3-12).

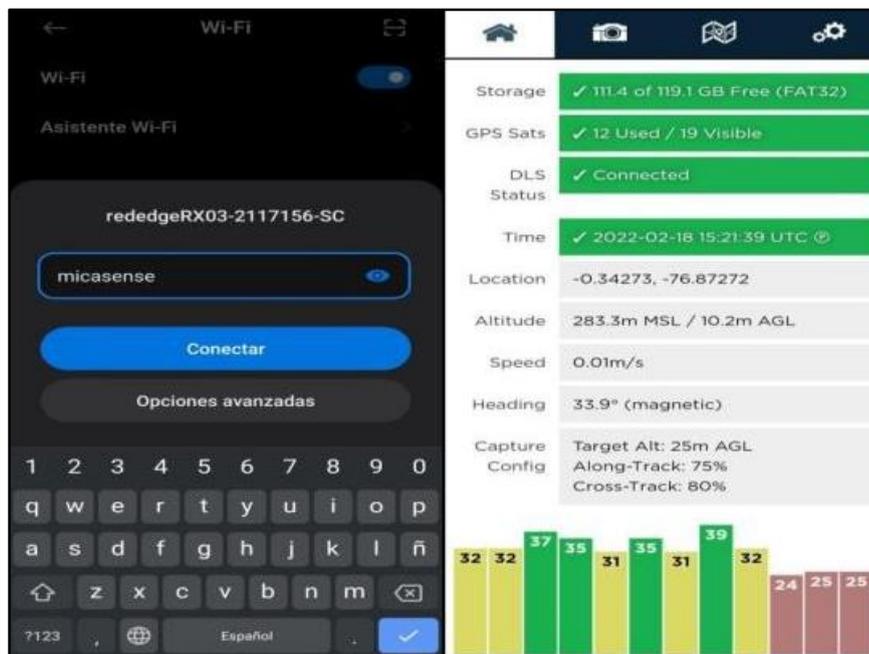


Ilustración 3-12: Determinación de parámetros

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

En el menú desplegado se realiza las configuraciones básicas señaladas por el investigador como son:

- En el Auto-Capture Mode se selecciona la opción “Overlap
- Along-Track Overlap colocar 75%
- “Target Alt” es la altura a la que volará el dron poniendo 25 metros.
- “Target Alt Tolerance” es la altura a la que la cámara empezara a capturar imágenes, se elige 25 metros

Dada la configuración, la guardamos.

Establecidos los parámetros en el dron y cámara, se ejecuta la misión de vuelo ya establecida para el barrido y adquisición de imágenes en la parcela de cultivo arbóreo.

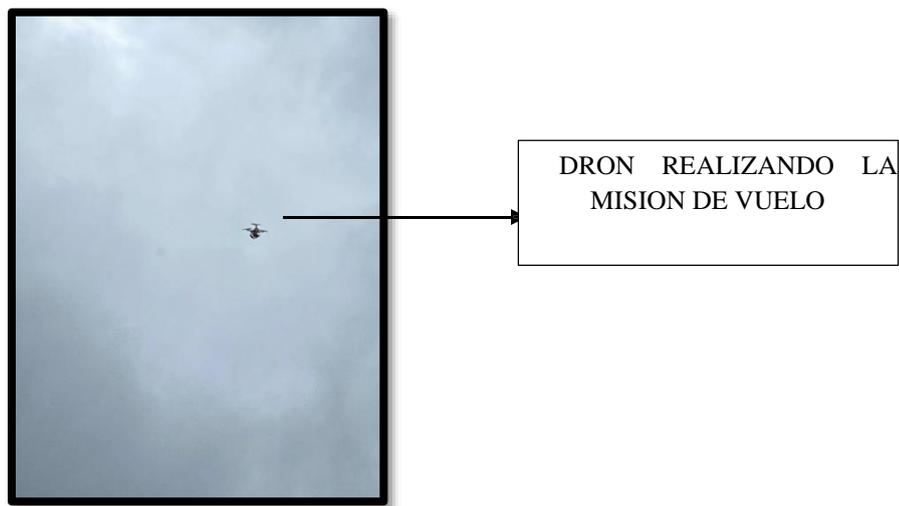
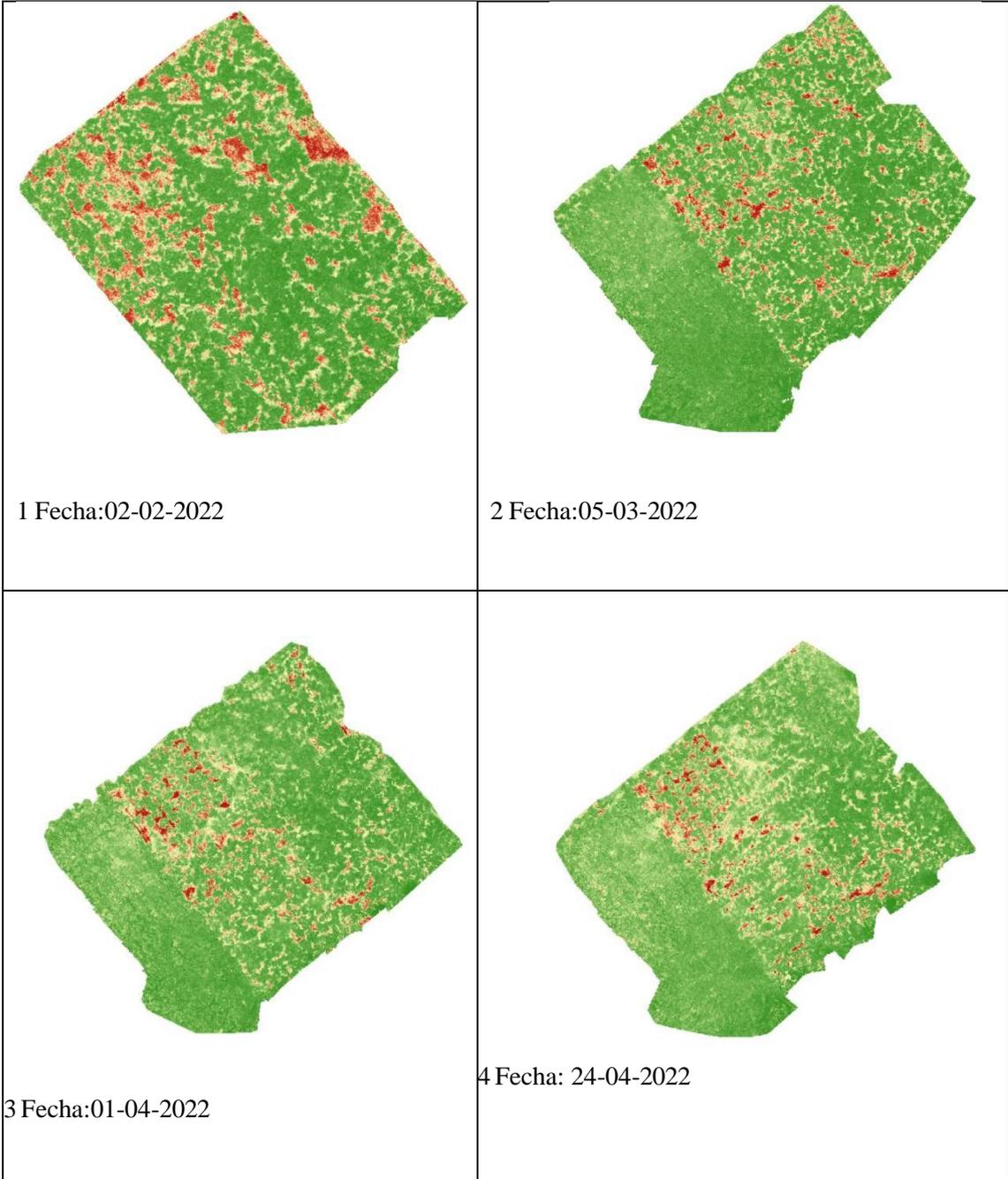


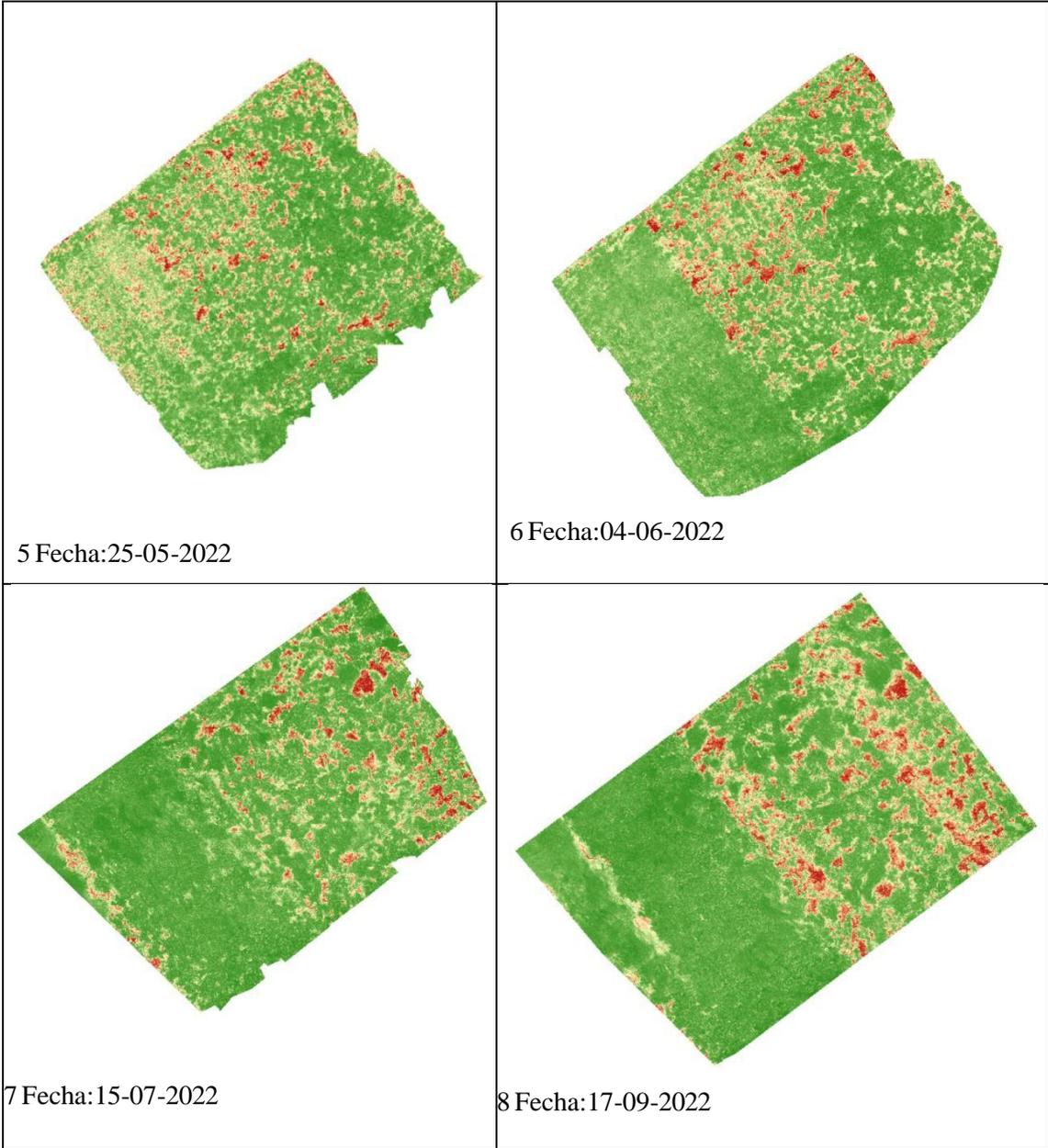
Ilustración 3-13: Dron realizando la misión de vuelo

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.5. Procesamiento de las imágenes

En la toma de imágenes temporales se generan orto mosaicos por cada banda espectral que la cámara presenta los cuales son cargados en el servidor del proyecto PATFA para su posterior descarga y procesamiento en ArcGis con el propósito de la obtención del NDVI con valores entre -1 a 1.





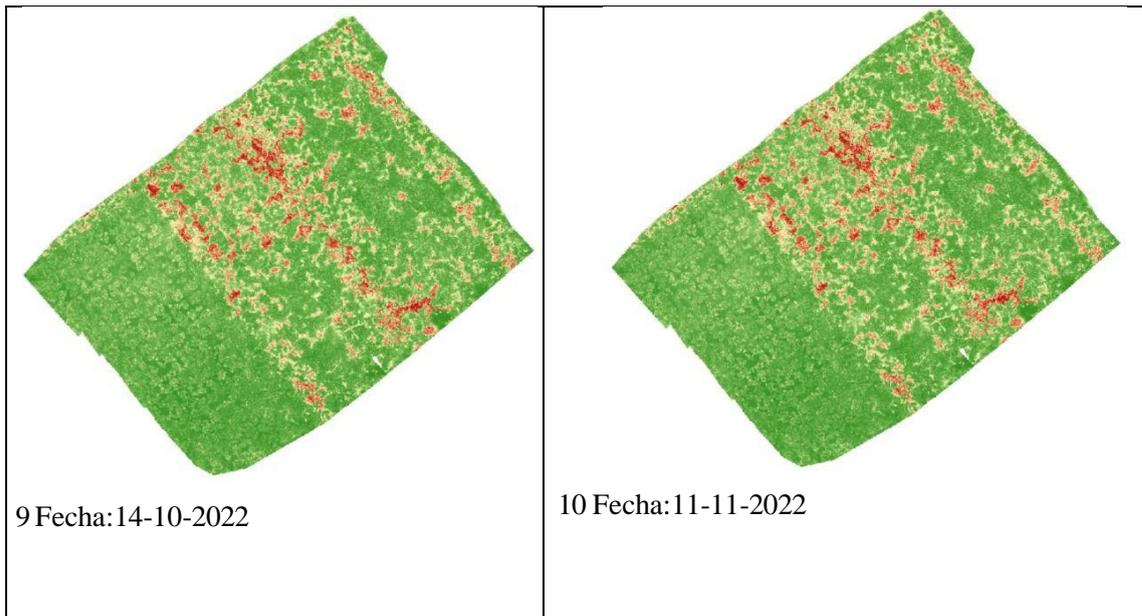


Ilustración 3-14: Procesamiento de las imágenes

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Obtenido el NDVI se calcula las áreas de la cubierta tomando en cuenta la valoración que determina la salud de la planta (Ilustración 3-15) para caracterizar las cubiertas vegetales obteniendo el cambio multitemporal de las mismas.

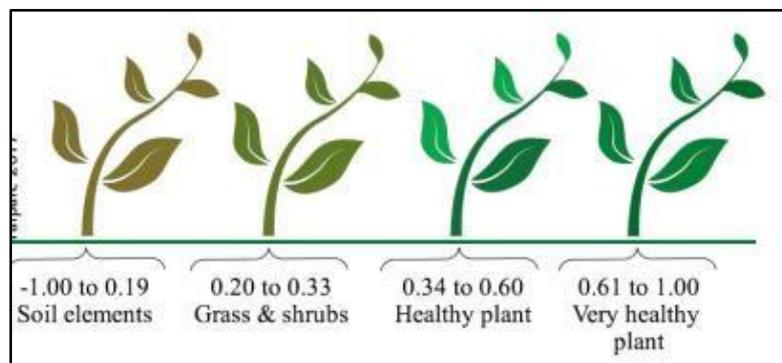


Ilustración 3-15: Valoración que determina la salud de la planta

Fuente: (Molina et al., 2019).

En base a las clases del NDVI Ilustración 3-16 se realiza el procesamiento de conversión a formato vectorial para el cálculo de áreas como se presenta en la tabla (3-2) de la fecha 25-05-2022.

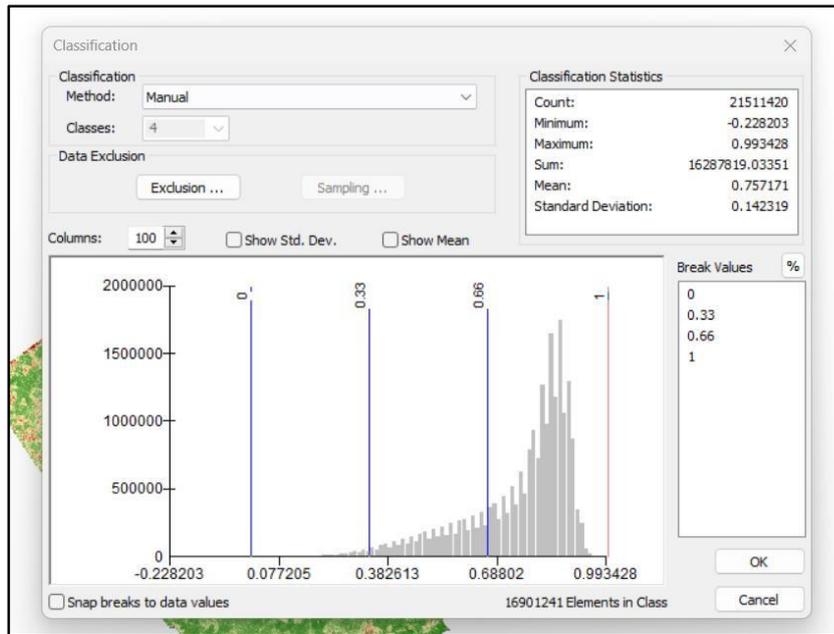


Ilustración 3-16: Clasificación NDVI 25-05-2023

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Tabla 3-2: Conversión formato vectorial del cálculo de las áreas

FID	SHAPE	GRIDCODE	AREA
0	Polygon	1	0.06015
1	Polygon	2	81.083683
2	Polygon	3	1574.81757
3	Polygon	4	6423.156728

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

3.6.6. Adquisición de datos meteorológicos

Una vez los sensores hayan adquirido los datos y almacenados en la memoria de datalogger, se envían por medio de la comunicación RS-232 a la Raspberry, los mismos que fueron descargados accediendo al servidor web con el que cuenta el proyecto PATFA, la distribución de datos se la realiza mediante llamadas HTML lo cual da facilidad al usuario solicitar datos por rangos de días que sean de interés, una vez solicitados se tendrá la opción de descarga para ser manejados en el presente estudio.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados detallan las características más representativas que hicieron posible alcanzar los objetivos propuestos y valorar la hipótesis planteada.

4.1. Prueba del correcto funcionamiento de la cámara multiespectral acoplada al sistema UAV's

La prueba de vuelo del UAV's se la realizó con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento de la estructura del sistema de adquisición de datos. El despegue, sobrevuelo y aterrizaje del UAV's en la parcela no presentaba ningún inconveniente.

4.2. Coberturas caracterizadas

Luego del procesamiento de las imágenes en ArcGis y la obtención del NDVI se caracteriza las coberturas de acuerdo al cambio temporal sucedido en la salud de las plantas (tabla 4-1).

Tabla 4-1: Cambio de cobertura en relación al tiempo

Fecha	Planta muerta (m2)	Planta enferma (m2)	Planta mediamente sana (m2)	Planta sana (m2)
02-02-2022	0,004845	26,517403	802,083494	2850,850422
05-03-2022	0	0,034742	600,080055	7260,92263
01-04-2022	0	0,000233	54,765741	7498,345089
24-04-2022	0,000489	2,6135	519,648731	7639,148313
25-05-2022	0,06015	81,083683	1574,81757	6423,156728
15-07-2022	0	2,94386	933,315417	6871,797164
17-09-2022	0,007906	9,434253	540,026775	4418,123543
14-10-2022	0	12,915895	698,370182	3825,980007
11-011-2022	0	1,580038	913,948184	7435,084702

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

El servidor libre Colab permitió generar las gráficas del cambio de la salud de las plantas en relación con el tiempo (Ilustración 4-1) así mismo una representación gráfica de la temperatura y humedad en relación al tiempo (Ilustración 4-2).

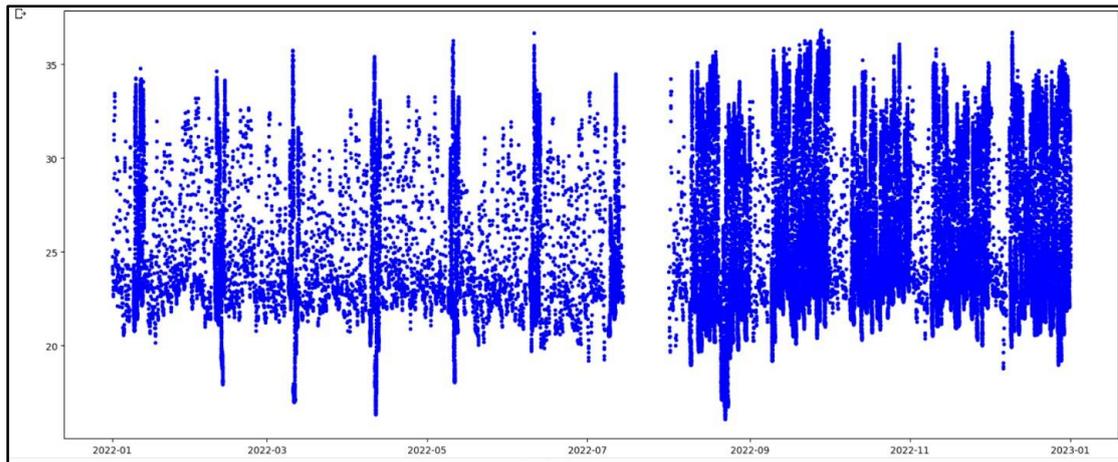


Ilustración 4-1: Temperatura en relación con el tiempo de estudio

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

En la (Ilustración 4-1) presenta el resultado gráfico de lo que compete a el cambio temporal de la temperatura en el tiempo de estudio, indicando temperaturas mayores a 35° en días del mes de mayo, junio, septiembre, y octubre , temperaturas más altas registradas desde el año 2020 en la Amazonía tomando primer lugar El Coca según (EL UNIVERSO, 2020).

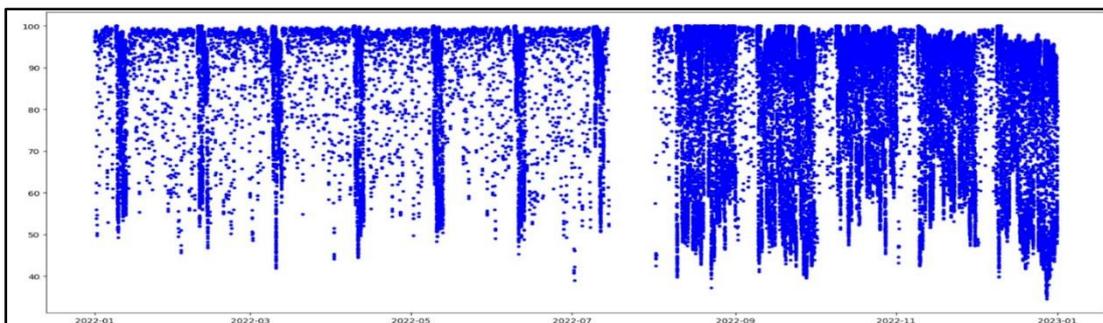


Ilustración 4-2: Humedad en relación al tiempo de estudio

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

La (Ilustración 4-2) presenta el cambio variable diario que tiene los datos de la humedad relativa en el tiempo de estudio una de las razones es el cambio eventual que tiene la temperatura, por otra parte (SARAH BROWNING, 2021) menciona: “El porcentaje optimo varía según la especie, pero generalmente el porcentaje adecuado esta entre el 70% y el 80%” valor que se cumple durante ciertos días de los meses en estudio.

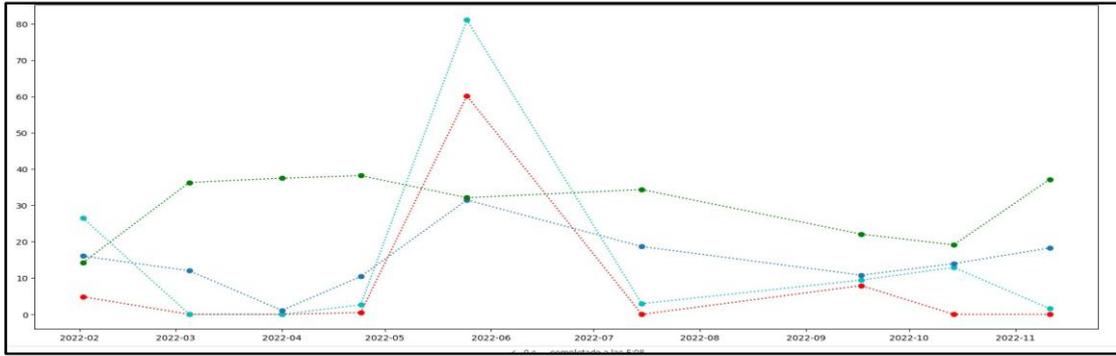


Ilustración 4-3: Graficas en relación con el cambio de cobertura

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

La representación gráfica de las áreas que pertenece a las coberturas, se realizó con escala ya que las diferencia entre una y las otras es muy significativa, la (Ilustración 4-3) se representa de la siguiente manera:

Tabla 4-2: Representación gráfica cambio de cobertura

Línea	Cobertura
	Planta sana
	Planta medianamente sana
	Planta enferma
	Planta muerta

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

La (Ilustración 4-3) presenta un cambio significativo entre los meses de mayo-2022 y julio- 2022 aumentando cobertura en las plantas muertas y enfermas, mientras que en los meses de septiembre-2022 y octubre-2022 existe una estabilidad entre la cobertura de planta medianamente sana y cobertura sana. El análisis para la correlación entre las variables, Salud de la planta por cobertura y condiciones climatológicas fue realizado mediante el método de Pearson dando como resultado lo siguiente.

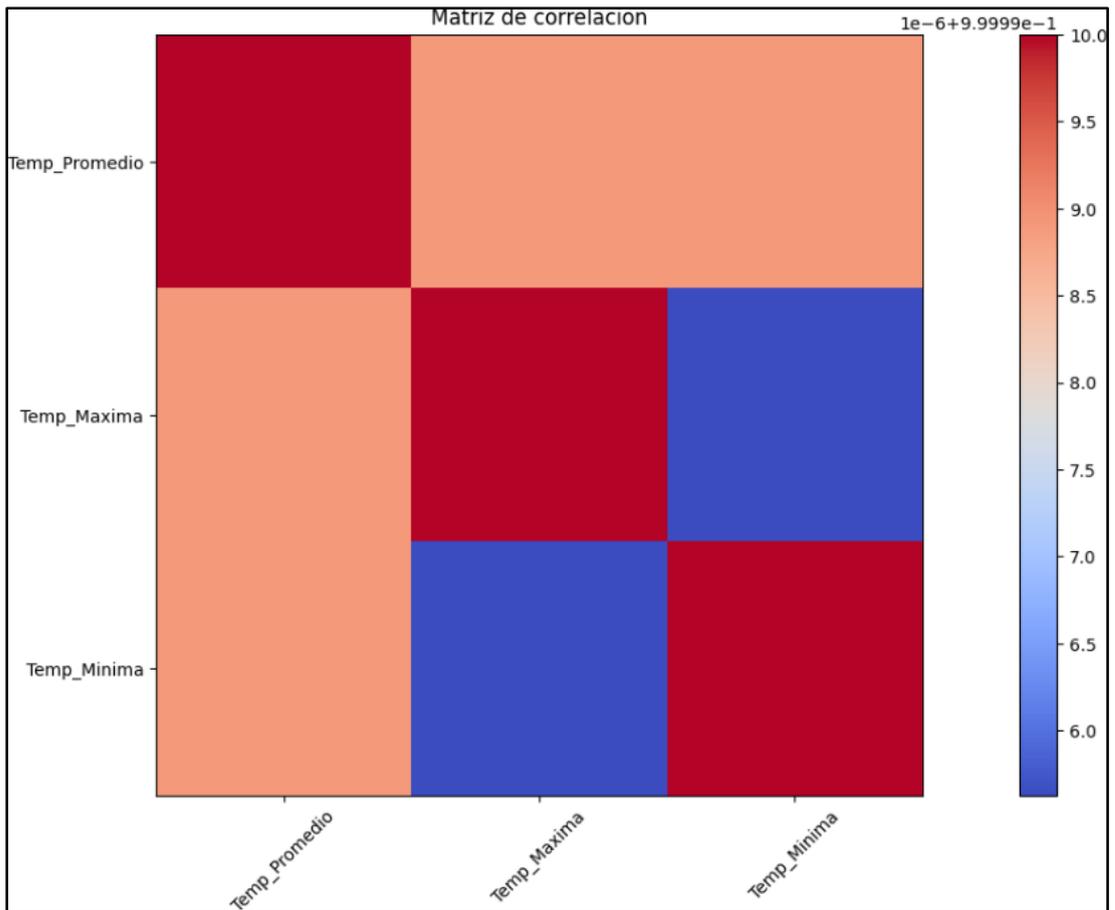


Ilustración 4-4: Correlación coberturas de la salud de la planta y la temperatura

- Coeficiente de correlación de Pearson: -0.3678521989241481
- Coeficiente de correlación de Pearson: 0.0027191487688242814
- Coeficiente de correlación de Pearson: 0.22885904276591498
- Coeficiente de correlación de Pearson: 0.09736582805671683

Resultados correlación entre la variable Salud de la planta – Humedad.

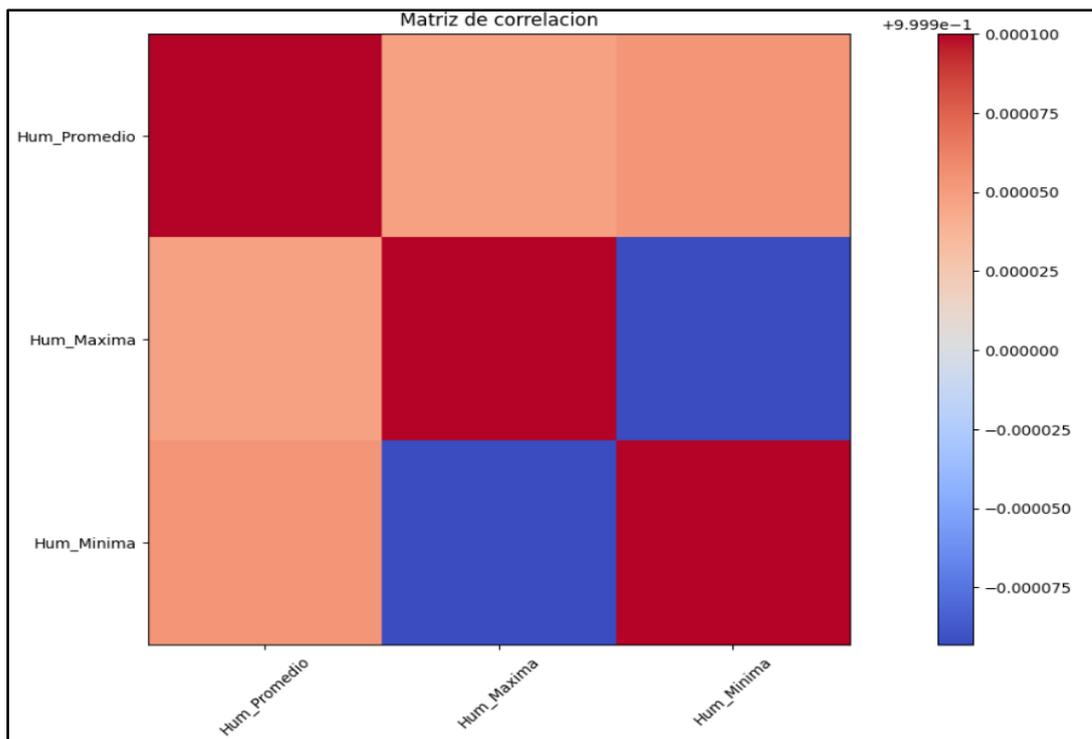


Ilustración 4-5: Correlación coberturas de la salud de la planta y la humedad

- Coeficiente de correlación de Pearson: 0.35079652046236687
- Coeficiente de correlación de Pearson: -0.13040392789865243
- Coeficiente de correlación de Pearson: -0.3421621413032904
- Coeficiente de correlación de Pearson: -0.20137818692706805

Fiallos, (2021, p.4) presenta el siguiente diagrama (Ilustración 4-5) en el que denota la fuerza de asociación con respecto a valor del coeficiente de Pearson.

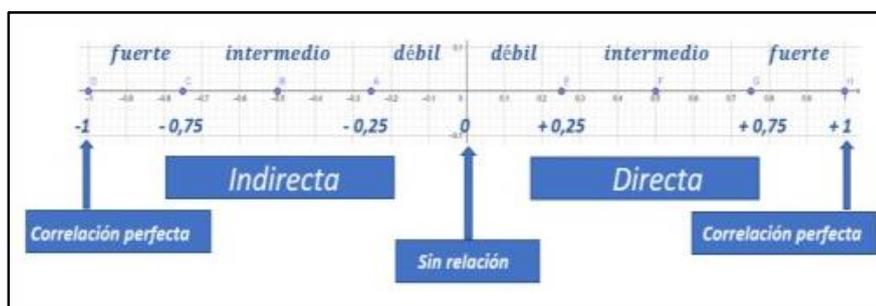


Ilustración 4-6: Relación con respecto al valor del coeficiente de Pearson

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

Los valores de correlación entre las coberturas y la temperatura son muy poco significativas únicamente teniendo una correlación indirecta entre la cobertura de las plantas sanas y la

temperatura promedio. Los valores arrojados en la variable humedad, mayormente son significativos, que tomando como referencia el diagrama mostrado anteriormente ese obtiene la siguiente tabla

Tabla 4-3: Correlación humedad-cambio cobertura

Cobertura	Correlación
Planta muerta	Directa
Planta enferma	Sin Relación
Planta mediamente sana	Indirecta
Planta Sana	Sin relación

Realizado por: Figueroa, Diego, 2024.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El Dron pythom 4 pro v2 es óptimo para el transporte de la cámara multiespectral (231.9 g) y realizar los barridos planificados previamente en software.
- El barrido multiespectral a una altura (25m) se obtiene resultados de 1.69 cm x pixel, lo cual permite mayor precisión para obtener el NDVI y poder caracterizar la cubierta vegetal de cacao teniendo como resultado un área de vegetación poco saludable entre los meses de mayo y julio del 2022.
- Los valores de correlación entre las coberturas y las temperaturas son muy poco significativos únicamente teniendo una correlación indirecta entre la cobertura de las plantas sanas y la temperatura promedio. Los valores arrojados en la variable humedad, tienen una correlación directa en la cobertura de la vegetación sana e indirecta en la cobertura de la vegetación enferma. La temperatura del INIAP en la Provincia de Orellana es variable, cuyos datos arrojados fueron de una temperatura máxima de 37°, temperatura mínima de 16°, humedad relativa máxima de 100% y humedad relativa mínima de 34.5% cuyo porcentaje no es óptimo para la vegetación.

5.2. Recomendaciones

- Antes de realizar la misión de vuelo verificar las condiciones climáticas que puedan interferir en la toma de las imágenes o sobre vuelo del dron, lo ideal es realizar el vuelo en días despejados.
- En la planificación del vuelo de la app pix4D verificar que el dron cuente con la cantidad mínima de satélites para contar una posición adecuada, de igual manera deshabilitar los sensores de colisión en la app DJI GO 4 , ya que el dron al contar con la estructura de la cámara acoplada haría perder orientación del dron y perdida de vuelo.
- Verificar que la estación meteorológica cuente con los sensores debidamente separados esto para no causar interferencia en los mismo, y toma de datos erróneos.
- Realizar un estudio de cobertura vegetal con un periodo de tiempo mínimo de dos años, considerando diferentes variables climáticas a las estudiadas en la investigación, por ejemplo humedad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

ABIODUN, A. “Impactos of climate change on rice agriculture in Nigeria”. *Tropical and Subtropical agroecosystems* vol.14, n°2, (2010), (Australia). pp. 616-622.

AGUDELO, G; et al. *Diseños de investigación experimental y no experimental*. Quito-Ecuador: Ediciones magistrales, 2008, pp. 1-46.

ALARCON HINCAPIE, J. & PABON CAICEDO, J. “El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia”. *Colombia Forestal*, vol. 16, n° 2, (2013), (Colombia). pp. 171-185.

ALPIZAR , E. ND. *Vulnerabilidad de bosques ante cambio climático puede simularse con sistema de zonas de vida*. S.l.: Ambientico. pp. 28-30.

AME. *Cantón Joya de los Sachas*. [blog] Orellana: AME, 2022. [Consulta: 14 enero 2024]. Disponible en: <https://ame.gob.ec/2010/05/20/canton-joya-de-los-sachas/>

ARIZA, A.; et al. “Uso de índices espectrales derivados de sensores remotos para la caracterización geomorfológica en zonas insulares del Caribe colombiano”. *Perspectiva Geográfica* [en línea], 2018, vol. 23 (1), pp. 105-122. [Consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01233769.5863>

ASABE. *Development of autonomous unmanned helicopter based agricultural remote sensing system*. EE.UU: Anual International AMeeting, 2019, p.2.

BAHADUR, L. *Ndvi, ndbi & ndwi* [en línea]. USA: Calculation Using Landat, 2018. [Consulta: 20 septiembre 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Tek-Kshetri/publication/327971920_NDVI_NDBI_NDWI_Calculation_Using_Landsat_7_8/links/62714c4f3a23744a72600a2c/NDVI-NDBI-NDWI-Calculation-Using-Landsat-7-8.pdf

BALLADARES, Carlos & LÓPEZ, Danny. Diseño e implementación de un prototipo de estación meteorológica agrícola autosustentable para el monitoreo de parámetros ambientales en cultivos de cacao mediante raspberry PI. Quito. (Trabajo de titulación) (Titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Pichincha. Quito-Ecuador. 2021. pp. 1-168

BARRIENTOS, A; et al. *Introducción a la meteorología en América latina*. Buenos Aires-Argentina: Nuevo Derecha, 2015, pp. 5-8.

BEAULIEU, J., et al. “Spline models of contemporary, 2030, 2060 and 2090 climates for Michoacán State, México. Impacts on the vegetation”. *Revista Fitotecnia Mexicana*, vol. 35, n° 4 (2012), pp. 333-345.

BONAN, G; et al. “A dynamic global vegetation model for use with climate models: Concepts and description of simulated vegetation dynamics”. *Global Change Biology*, Vol. 9, n° 3, (2019), (Estados Unidos de America). pp. 1543-1566.

BORJA, Arturo. *Índices De vegetación en la agricultura digital*. [blog]. Madrid: EOS data análisis, 2019. [consulta: 30 diciembre 2023]. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/indices-de-vegetacion/>.

BOSQUE, J. & GARCÍA, J. “El uso de los sistemas de Información Geográfica en la planificación territorial”. *Scielo*, vol. 20, n° 1, (2000), (Colombia). pp. 49- 67.

BRAVO, Morales. *Teledetección Espacial LANDSAT, SENTINEL-2 ASTER LIT Y MODIS*. Perú: LRS, Geomática ambiental. pp. 1-105.

CÁRDENAS CARRILLO, A. *Enseñanza de la radiación electromagnética a través de la metodología de aprendizaje activo*. Madrid-España: Imprenta UE, 2014, pp.45.

CARMO, F; et al. “Climate variations affect the growth period of young tectona gransis linn F in the Amazon”. *Communicatie y Identiteit Management*, vol. 36, n° 3, (2022), (Canada). pp. 1-11.

CARNEVALE, N; et al. *Estudio de la deforestación en la Cuña Boscosa santafesina mediante teledetección espacial*. Lima-Perú: Quebracho Rev Ciencias For. 2007. pp. 47-56.

CASTAÑO , S.; et al. La teledetección: sus bases. *In teledeteccion y sistemas de informacion geografica*, vol. 1, n°1 (1996). pp. 183-194.

CASTILLO ATOCHE, A; et al. “3D Printed mechatronic design for multispectral Camera mounting adaptr on UAVs”. *Scielo*, vol. 22, n° 3, (2018), (Ecuador). pp. 55-62.

CHUVIECO, E. *Mirar desde el espacio o mirar hacia otro lado: tendencias en teledetección y su situación en la geografía española.* Madrid-España: Editorial E&Y, 2011. pp. 75-85.

CHUVIECO, E. *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio.* Barcelona-España: Ariel, 2010. pp.1-4

CRAMER, W & LEEMANS, R. *Assessing Impacts of Climate Change on Vegetation Using Climate Classification Systems.* Madrid-España: Imprenta Nuñez, 1993, p.3.

CRUZ, Diego & CHIMBO, Darwin. 2015. *Mecánica.* Riobamba-Ecuador: Andes, 2015, p. 6.

DAGNINO, J. *Coeficiente de pearson.* Barcelona-España: Nuevo amanecer, 2020, p. 45.

DAPONTE, P; et al. “A review on the use of drones for precision agriculture”. *IOP Conference Series: Earth and environmental Science*, vol. 275, n° 3, (2019), (Canada). pp. 1-8.

DÍAZ BATISTA, P.; et al. “Spatial-temporal dynamics of Caatinga vegetation cover by remote sensing in the Brazilian semiarid región”. *Dyna*, vol. 87, n°215 (2020). pp. 109-117.

DIAZ CELIS, C. *Adquisición de imágenes de bajo costo aplicadas a la agricultura de precisión usando vehículos aéreos no tripulados.* Quito-Ecuador: Impresiones McBook, 2013, p.4.

DIAZ GARCÍA, J. 2015. *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.* Quito-Ecuador: Edmundo, 2015, p.34.

DUNN, G. & EVERIT, B. *Statistical analysis of medical data: new developments.* EE.UU: Mc Arnold. 1998, p.67.

ESCOBAR, M. 2015. *Introducción al GIS,* Quito-Ecuador: IGM, 2015, p.23.

EVERAERTS, J. “The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for remote sensing and mapping”. *The international archives of the photogrammetry remote sensing and spatial information sciences*, vol. 37, Part B1(2014), pp. 1187-1191.

FIALLOS, G. “La correlación de Pearson y el proceso de regresión por el método de mínimos cuadrados”. *Ciencia Latina*, vol. 5, n°3 (2021), pp. 2491-2509.

FONTAL, B. *The Electromagnetic Spectrum and its Applications*. EE.UU: Química - Ciencias ULA, 2005, pp. 1-51.

GALLEGOS, Antonio, & DELGADO, Jesús. “Aplicación de un sistema de información geográfica en el análisis de los patrones de vegetación en función de condiciones ecológicas de distribución en laderas experimentales”. *Revista IEA*, vol. 18, n° 3, (2016), (Ecuador). pp. 67-83.

GARCÍA, Miguel. Análisis de series de datos de teledetección de índices de vegetación. (Trabajo de titulación) (Titulación). Escuela Politécnica Nacional, Pichincha. Quito-Ecuador. 2019. págs. 1-142

GILBERT, M; et al. “Acerca de los índices de vegetación”. *Revista de teledetección*, vol, 8, n° 1, (1997), (Ecuador). pp. 1-10.

GÓMEZ, David. 2019. “Variación espacial y temporal de la vegetación en Baja California Sur, con énfasis en áreas naturales protegidas”. *Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste*, vol.3, n° 5, (2019), (España). p. 60.

GUIROLA MENENDEZ, C. 2018. “Detección de estrés nutricional con cámaras multiespectrales”. *Central Marta Abreu* , vol. 2, n° 4, (2018), (Argentina). pp.1-14.

HERNÁNDEZ LEÓN, R. *El paradigma cuantitativo de la investigación científica*. Ecuador: Editorial Universitaria, 2008, p.45.

HOLGUIN, M. 2019. *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Ilapo*. Ilapo-Ecuador: Impresiones públicas, 2019, p.7.

JACKSON, R. & HUETE, A. “Interpreting vegetation indices”. *Preventive Veterinary Medicine*, vol. 11, n°3 (1991), pp. 185-200.

JACOB C, Anthony. Análisis e implementación de un sistema de detección de la plaga monilla en cultivos de cacao basado en procesamiento de imágenes multiespectrales en la ciudad del Sacha. (Trabajo de titulación) (Titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,

Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-89.

JADAN, O.; et al. “Diversidad florística y estructura de cacaotales tradicionales y bosque natural”. *Revista Colombia Forestal*, vol.19, n°2 (2016). pp. 129-142.

JI, L. & PETERS, A. “Assessing vegetation reponse to drought in the northern great plains usuing vegetation and droigth indices”. *Remote sensing of environment*, vol. 8, n° 7, (2003), (Canadá). pp. 85-98.

JIMENEZ, F. Estación meteorológica de la Escuela Superior Naval Cmte. “Rafael Morán Valverde” y su incidencia en el aprendizaje de los guardiamarinas en la materia de meteorología. (Trabajo de titulación) (pregrado). Universidad de las Fuerzas Armadas, Salinas, Ecuador. 2020. pág. 105.

LEE, B., et al. “Detectin Vegetation Prhenoligy in various forest types using long-term MODIS vegetation indices”. *IEEE International Geoscience and Remote sensing symposium*, vol. 4, n° 2, (2018), (Estados Unidos de America). pp. 5243-5246.

LEIVA, F. *La agricultura de precisión: una producción más sostenible y competitiva con visión futurista*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2003.

LO VECCHIO, A.; et al. “Identificación y caracterización litológica mediante el uso del sensor ETM+ (Landsat 7). Caso de estudio: Entorno del glaciar Upsala. Argentina”. *Rev Teledetec*. Vol. 46, (2016). pp. 57-72.

MANCHA, C. Control and Navigation of Unmanned Aerial Vehicles Based on Computer Vision for Assistance Robotics (Trabajo de Titulación) (Doctorado). Universidad de la Castilla, Madrid, España. 2019. pp. 1-217.

MANZO DELGADO, L. & MEAVE, J. “La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de la percepción remota”. *Revista Ciencia AMC*, vol. 54, n°54 (2003). pp. 18-28.

MERCHANT, J. “Remote sensing of the environment: An earth resource perspective”. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 27, n° 4 (2000). pág. 311.

MOLINA MUÑOZ, A.; et al. *Valores NDVI*. S.l, Canada: Books Green, 2019, p.5.

MONTILLA, R.; et al. “Precision agriculture for rice crops with an emphasis in low health index areas”. *Revista Facultad nacional de Agronomía Medellín*, Vol. 74, n°1 (2021), pp. 9383-9393.

MORA, D. *Diseño de una red de sensores inalámbricos aplicada en la agricultura de precisión*. México: CIATEQ. 2020. p. 140.

MOSHINSKY, M. “Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación”. *Nucl Phys*, vol. 13, n° 1, (1959), (España). pp. 104-116.

MUÑOZ, D. “Metodología para la georreferenciación de elementos emisores y su implementación a través de un SIG”. *Tiempo y Espacio*, vol. 11, n° 4 (2008), pp. 24-46.

NIETO, C. & CAICEDO, C. *Análisis reflexivo para el desarrollo sostenible de la Amazonía Ecuatoriana Estación Experimental Central de la Amazonía*. Ecuador: Publicación Miscelánea. 2013. pp. 1-127.

NORTH DAKOTA STATE UNIVERSITY. Corn Growing Degree Days (GDD). *NDAWN center* [En línea] 2018. [Consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://ndawn.ndsu.nodak.edu/help-corn-growing-degree-days.html>

OLAYA, V. “Sistemas de Información Geográfica”. *Journal of Chemical*, vol. 53, n° 2 (2014), pp. 1689-1699.

PARGOT, M. *Método inductivo - deductivo en técnicas de teledetección*. S.l.: s.n. 2013, pp. 1-13.

PASSUCCI, V. Uso de técnicas de teledetección para la elección de potenciales sitios de instalación de estaciones de monitoreo ambiental. Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad Nacional Del Centro de la provincial de Buenos Aires, Tandil, Argentina. 2017. pp. 1-59.

PRASAD, R. & POWER, J. *Soil fertility management for sustainable agriculture*. S.l. : Lewis Publishers, 1997.

QUEZADA, C; et al. “Influencia de cubiertas vegetales en la disponibilidad de agua y rendimiento en viñedos de secano”. *Agro-Ciencia*, vol. 36, n° 4, (Chile). pp. 140- 150.

RAMÍREZ JUIDIAS, E. & YANEZ FIGUEROA, J. “Estudio medioambiental del municipio de almacén mediante teledetección”. *Interciencia*, vol. 42, n° 2, (2019), (Ecuador). pp. 157-162.

REDACCION. Los drones en la agricultura. *Pasión por volar* [En línea]. 2014. [Consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <https://www.pasionporvolar.com/los-drones-en-la-agricultura/>.

ROBIN, M.; et al. “Remote sensing of vegetation cover change in islands of the Kerguelen archipelago”. *Polar Biology*, vol. 34, n°11 (2011), pp. 1689-1700.

ROUSE, J.; et al. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation*. S.l.: NASA. 1974.

SACRISTAN ROMERO, F. “La teledetección satelital y los sistemas de protección ambiental”. *Civilizar Ciencias Sociales y Humanas*, vol. 29, n° 3 (2005). pp. 79-90.

SALINERO, E. *Teledetección ambiental*. España: Editorial Ariel, S.A. 2008.

SÁNCHEZ BERNABE, E. Proceso de imágenes hiperespectrales. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación, Madrid, España. 2016. pp. 1-96.

SÁNCHEZ RODRIGUEZ, L. Teledetección ambiental: La observación de la tierra desde el espacio. *Entorno Geográfico*, vol. 3, n°35 (2016).

SENDRA, J. *Sistema de información geográfica*. Madrid: Estudios Geográficos. 1994. p. 201.

SOLANO, G. Diseño e implementación de una estación meteorológica con acceso a internet para lugares remotos. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Universidad de Tecnología e Ingeniería Electrónica, Lima, Perú. 2021. pp. 1-75.

SOMARRIBA, Eduardo; et al. “Carbon stocks and cocoa yields in agroforestry systems of Central America”. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 173 (2019). pp. 46-57.

SOMOZA, A.; et al. *Conservación y uso sostenible de la biodiversidad en un establecimiento*

rural representativo del partido de Tandil. La Plata: Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA. 2014. pp. 1-6.

SUÁREZ, C.; et al. INIAP estación experimental Pichilingui. *INIAP*. vol. 52, n° 97 (1994), p.7.

TAVARES DE CARVALHO, L.; et al. “The assessment of vegetation seasonal dynamics using multitemporal NDVI and EVI images derived from modis”. *Cerne*, vol. 14, n° 2 (2008), pp. 177-184.

TORRES SAQUINGA, N. & VIVANCO PÉREZ, V. Comparación en la estimación de material particulado PM10 usando imágenes satélites LANDSAT 7, LANDSAT 8 YMODIS en Quito [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 2018. pp. 1-175. [Consulta: 2023-06-23]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16071/1/UPS%20-%20ST003738.pdf>

VÁSCONEZ, N. & SEVILLA, H. “Uso de los sensores remotos en mediciones forestales”. *European Scientific Journal*, vol. 14, n°15 (2018), p. 58.

VEGA, Isabel; et al. *Guía didáctica de teledetección y medio ambiente* [en línea]. Madrid: Red nacional de teledetección ambiental. 2010. [Consulta: 22 junio 2023]. Disponible en: <http://www.aet.org.es/?q=guia-didactica>

VENEROS, Jaris; et al. “Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua”. *IDESIA*, vol. 38, n° 4, (2020), (Ecuador). pp. 1-10.

VERA, Roy; et al. “Biodiversity, dynamics, and impact of chakras on the Ecuadorian Amazon”. *Journal of Plant Ecology*, vol. 12, n°1 (2019), pp. 34-44.

VERA, Roy; et al. “Cocoa agroforestry and tree diversity in relation to past land use in the Northern Ecuadorian Amazon”. *New Forests*, vol. 50, n° 1 (2019). pp. 891-910.

WANG, X; et al. “Impacts of the climate change on the vegetation in Maqu County in the upper reaches of yellow river”. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 10, n°1, (2020), (Canada). pp. 3412-3415.

WANG, Z. “The relationship of vegetation phenology and climate precipitation change in the

Nort South Transect of eastern China”. *International Conference on Biomedical Engineering and Biotechnology*, vol. 10, n° 1 (2010), pp. 618-621.

WARE, J. & LIANG, K. *The design and analysis of longitudinal studies: a historical perspective*. S.l.: Advances in Biometry, 1996. pp. 339-362.

XUE, J. & SU, B. “Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications”. *Journal of Sensors*, vol. 1, n°1 (2017), pp. 1-17.

ZHOU, L.; et al. “Response of vegetation coverage on climate change in arid mountain of Northwest China”. *IEEE International Geoscience and remote sensing symposium*, vol. 3, n°3 (2009).

Cristian Tenelanda.S.



Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.
0604686709



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 15/ 04 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Diego Andrés Figueroa Torres
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniero Ambiental
 Ing. Santiago Israel Logroño Naranjo, MSc. Firma del Director del Trabajo de Titulación
 Ing. Paúl Xavier Paguay Soxo, MSc. Firma del Asesor del Trabajo de Titulación