

GENERACIÓN DE CURVAS ESPECTRALES DE VEGETACIÓN, SUELO Y AGUA, A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES, COMO HERRAMIENTA INDIRECTA DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL HUMEDAL “EL OCHO” Y PARAMO DE LETRAS.

NICOL ANDREA CETINA CACERES

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
INGENIERIA AMBIENTAL
MANIZALES, CALDAS
2017

GENERACIÓN DE CURVAS ESPECTRALES DE VEGETACIÓN, SUELO Y AGUA, A PARTIR DEL ANÁLISIS DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES, COMO HERRAMIENTA INDIRECTA DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL HUMEDAL “EL OCHO” Y PARAMO DE LETRAS.

NICOL ANDREA CETINA CACERES

ASISTENCIA DE INVESTIGACIÓN

ASESOR:
OMAR ENRIQUE PELAEZ MARTINEZ
INGENIERO FORESTAL

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
INGENIERIA AMBIENTAL
MANIZALES, CALDAS
2017

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	10
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivo Específico.....	15
3. MARCO CONCEPTUAL.....	16
3.1. Humedal	16
3.1.1 Presencia de humedales en las regiones de Colombia:	19
3.2. Equipos	24
2.2.1 RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems	24
2.2.3 Cámara fotográfica.....	29
2.2.4 Cámara Multiespectral	32
2.2.5 Targets.....	35
2.2.6 GPS	36
2.3 Software	36
2.3.1 ArcGIS	36
2.3.2 Mission Planner.....	37
2.3.3 Demo ENVI gratuito	37
2.3.4 PixelWrench2	37
2.3.5 OceanView.....	38
2.4 Espectro Electromagnético	38
2.5 La Teledetección	40
2.5.3 Teledetección pasiva.....	41
2.5.4 Teledetección activa.....	41
2.6 Espectrometría.	43
2.6.3 Respuesta espectral del suelo	45
2.6.4 Respuesta espectral del agua	48
2.7 Índices espectrales	50

2.7.3	Índice vegetal	51
2.7.4	Índice de suelo	52
2.7.5	Índice de agua.....	53
3	ESTADO DEL ARTE	54
4	METODOLOGIA.....	56
4.2	Área de estudio.....	56
4.3	Selección de equipos.....	57
4.3.3	RPA.....	58
4.3.4	Cámara multispectral Tetracam micro	59
4.3.5	Canales.....	60
4.3.6	Índices a Utilizar	60
4.4	Recorrido de campo:	65
4.4.3	Planificación De Vuelos.....	65
4.4.4	Toma de Imágenes	65
4.4.5	Geo-referenciación de los puntos de las coberturas.....	67
4.4.6	Procesamiento:	68
5	ANALISIS Y RESULTADO	78
6	CONCLUSIONES.....	94
7	BIBLIOGRAFÍA.....	96

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Partes de una RPA	25
Ilustración 2 Chasis de fibra de carbono	28
Ilustración 3 Partes de una cámara fotográfica	30
Ilustración 4 Relación del ojo y la cámara con la captura de una imagen.	32
Ilustración 5 Proceso de cámara multiespectral.....	33
Ilustración 6 Firma espectral en bandas visibles y NIR	35
Ilustración 7 Longitudes de onda del espectro electromagnético.	39
Ilustración 8 Esquema del camino de propagación de la radiación en un sistema de teledetección.	42
Ilustración 9 Espectro visible por el ojo humano.	44
Ilustración 10 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.	46
Ilustración 11 Firma espectral del suelo en espectro visible e infrarrojo cercano. .	47
Ilustración 12 Curva espectral del agua en espectro visible e infrarrojo cercano. .	48
Ilustración 13 Proceso de captura de información por medio de la Teledetección utilizando un RPA	51
Ilustración 14 Comportamiento de la energía al contacto de vegetación.....	52
Ilustración 15 Target, RPAS y GPS utilizados en campo.	67
Ilustración 16 Cuerpo de agua y vegetación presente en el área de estudio	68
Ilustración 17 Cobertura vegetal y suelo expuesto en el área de estudio.....	68
Ilustración 18 Visualización de la pestaña File en selección de la opción Open....	70
Ilustración 19 Ventana para elegir la imagen.	70
Ilustración 20 Visualización de la pestaña View y selección de la opción Index Tools.....	71
Ilustración 21 Visualización de la ventana de Inder Tools.....	72
Ilustración 22 Visualización Software Envi, pestaña Fie.	73
Ilustración 23 Visualización de la ventana emergente para seleccionar la imagen en formato TIF.	73

Ilustración 24 Visualización de la imagen al subirse	74
Ilustración 25 Visualización de la opción de Change RGB Bands.....	74
Ilustración 26 Visualización para el cambio de la composición de las bandas.	75
Ilustración 27 Visualización de resultado del cambio en la composición de las bandas.....	75
Ilustración 28 Visualización de la herramienta Arbitrary profile.	76
Ilustración 29 Visualización del trazo de la herramienta Arbitrary Profile	76
Ilustración 30 Visualización de la gráfica que muestra los tres cañones.	77
Ilustración 31 Visualización de la curva espectral por la Herramienta Spectral profile.....	77
Ilustración 32 TTC02809.....	78
Ilustración 33 TTC02785.....	82
Ilustración 34 TTC03236.....	85
Ilustración 35 TTC02949.....	87
Ilustración 36 TTC02603.....	90

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación general de los humedales.	17
Tabla 2 Longitud de onda de bandas del satélite Landsat 5	34
Tabla 3 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2809	79
Tabla 4 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2809.....	79
Tabla 5 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2785	83
Tabla 6 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2785.....	83
Tabla 7 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 3236	85
Tabla 8 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 3236.....	86
Tabla 9 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2949	88
Tabla 10 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2949.....	88
Tabla 11 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2603	90
Tabla 12 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2603.....	91
Tabla 13 Resultados generales de las imágenes.....	93

TABLA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Índice de Vegetación Normalizada	61
Ecuación 2 Índice de vegetación ajustada al suelo	62
Ecuación 3 Índice justado al suelo transformado (TSAVI).....	63
Ecuación 4 Índice de Vegetación Ajustado de Suelo Optimizado Verde	64
Ecuación 5 Índices de estrés de la enfermedad y el agua (DSWI).....	64

TABLA DE GRAFICAS

Grafica 1 Curva de agua de la imagen TTC02809	79
Grafica 2 Curva de suelo de la imagen TTC02809	79
Grafica 3 Curva de agua, Imagen TTC02785	83
Grafica 4 Curva de suelo, Imagen TTC02785	83
Grafica 5 Curva agua, Imagen TTC03236	85
Grafica 6 Curva suelo, Imagen TTC03236	86
Grafica 7 Curva de agua, Imagen TTC02949	88
Grafica 8 Curva de suelo, TTC02949	88
Grafica 9 Curva espectral agua, imagen TTC02603	90
Grafica 10 Curva espectral del suelo, Imagen TTC02603	91

RESUMEN

Este proyecto de grado se desarrolló en la modalidad de asistente de investigación, teniendo como objetivo: “Analizar las curvas espectrales obtenidas a partir de cámaras multiespectrales de bajo costo. Aplicabilidad de índices espectrales para la evaluación del estado de los humedales altoandinos empleando una cámara multiespectral soportada por un vehículo aéreo no tripulado. Caso de estudio complejo de humedales “El Ocho” y paramo de Letras” adscrito al grupo de investigación GIDTA de la Universidad Católica de Manizales.

Para ello se utilizó como fuente de información 5 imágenes obtenidas en el Humedal “El Ocho” a partir de una cámara multiespectral Tetracam Micro, estas imágenes se procesaron con el criterio de imágenes individuales para la obtención de curvas espectrales a partir de un procesamiento por medio de softwares realizando el siguiente proceso:

1. Planeación del vuelo
2. Toma de Imágenes
3. Descarga de Imágenes
4. Procesamiento primario de las imágenes
5. Georreferenciación
6. Análisis espectral

Dando como resultado la identificación de cuerpos de agua y suelo expuesto mediante los valores digitales y el comportamiento de las curvas espectrales pesar que se evidencio presencia de vegetación presente en ambos recursos, lo que representa un indicador positivo del estado de conservación y resiliencia del humedal.

Palabras clave: Cámara multiespectral, imágenes en mosaico, espectrometría de imágenes, Teledetección, Complejo de humedales.

Abstract

This degree project was developed as a research assistant, with the following objective: "Analyze the spectral curves obtained from low-cost multispectral cameras. Applicability of spectral indices for the assessment of the state of high Andean wetlands using a multispectral camera supported by an unmanned aerial vehicle. Case study complex of wetlands "El Ocho" and "Paramo de Letras" assigned to the GIDTA research group of the Catholic University of Manizales.

For this purpose, 5 images obtained in the "El Ocho" Wetland were used as a source of information from a Tetracam Micro multispectral camera, these images were processed with the criterion of individual images to obtain spectral curves from a processing by means of software doing the following process:

1. Flight planning
2. Taking Images
3. Download of Images
4. Primary processing of images
5. Georeferencing
6. Spectral analysis

Resulting in the identification of bodies of water and soil exposed by digital values and the behavior of the spectral curves, despite the presence of present vegetation in both resources, which represents a positive indicator of the state of conservation and resilience of the wetland.

Key words: Multispectral camera, mosaic images, image spectrometry, Remote sensing, Wetland complex.

INTRODUCCIÓN

La teledetección ofrece una gran aplicabilidad y técnicas para procesamiento de datos. Para este trabajo es de suma importancia indagar en nuevas técnicas de exploración en zonas del Ocho para el estudio de la cobertura vegetal, agua y suelo. Por esta razón se realiza una investigación aplicando un subtipo de tecnología geomática, por medio de imágenes captadas por aeronaves no tripuladas. Existen diferentes métodos para la captación de información en los humedales, los cuales se dividen tradicionalmente en dos tipos: directos e indirectos. Los primeros como lo dice su nombre se realizan por contacto directo, por medio de recorridos, los cuales pueden llegar a afectar el área, generando perturbación por daño físico a la vegetación, fuentes de agua y la morfología del suelo.

Por lo cual nosotros utilizaremos una técnica indirecta con el fin de que requiere un menor grupo de personas y ahorra tiempo. Por medio de fotografías captadas se abarca una mayor parte de cobertura en el área de estudio, sometidos a las limitaciones climáticas características del sector.

Las características medioambientales del humedal “El Ocho”, como son el clima y la nubosidad son un obstáculo considerable para la toma de imágenes aéreas en este tipo de áreas, por esto se busca el uso de nuevas tecnologías que nos permitan el acceso a áreas poco estudiadas evitando crear un impacto negativo pero que permitan obtener información clara y concisa del humedal.

El objetivo de esta investigación se apoyó inicialmente en factores determinantes como: la identificación de información sobre los humedales presentes en el sector, la adecuada interpretación de esta información y verificaciones con vuelos por un RPAS, además de establecer un análisis de las curvas espectrales de cuerpos de agua y suelo expuestas adquiridas por una cámara multispectral transportada por un RPAS en el complejo de humedales “El Ocho” y Paramo de letras.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los humedales alto andinos se consideran ecosistemas estratégicos debido a su capacidad de almacenar y regular el recurso hídrico necesario para la realización de diversas actividades humanas; estos humedales son de gran importancia para el equilibrio eco-sistémico ya que la vegetación cuentan con una provisión importante de agua, permitiéndoles continuar su desarrollo fisiológico, y las especies de fauna pueden encontrar un suministro casi permanente de alimento y refugio en la vegetación en épocas de verano, lo que resulta en una gran biodiversidad, a pesar de las condiciones medio ambientales.

En las últimas décadas este importante ecosistema se ha venido deteriorando, tanto por causas naturales como antrópicas, entre los procesos naturales que genera el deterioro se destacan el calentamiento global y el cambio climático y las actividades negativas realizadas por el hombre se destacan la agricultura, el sobrepastoreo, la minería, la extracción excesiva de aguas de cuencas y el turismo no regulado.

Basando en lo anterior los humedales tienen cierta fragilidad ante las actividades directas que se desarrollan sobre él, causando deterioro a este importante ecosistema. Con ello se crea la necesidad de conocer el estado actual en el que se encuentra, considerando que este humedal alberga gran cantidad de especies de fauna y flora (algunos de ellos registrados en el libro rojo).

Para poder conocer el estado en el que se encuentran los humedales se emplean diversos métodos de estudio los cuales se basan en la recolección de información, para lo cual se requiere realizar monitoreo continuo, intervenciones constantes y toma de muestras de los elementos que se consideren relevantes en el humedal, para ello existen dos tipos de métodos en los cuales se puede determinar el estado de los humedales, ya sea por método directo o indirecto.

Este primero trata de las mediciones o recorridos que se pueden realizar mediante diversas tomas por medio de caminatas implementando equipos y adecuándolos en el lugar para realizar tomas directas en el área a estudiar, aunque puede ser un método bastante exacto genera afectaciones al equilibrio eco sistémico y deterioro a los recursos presentes en el área por el tiempo de invasión que se requiere para todas las tomas.

El método indirecto se caracteriza por la obtención de información sin tener contacto directo con el área a estudiar, mediante la medición de una variable con la cual se puede calcular otra distinta y así sucesivamente, siendo el más utilizado durante el tiempo, este mismo método ha traído consigo ciertos problemas y limitaciones en el momento de realizar el estudio, ya sea por condiciones del mismo terreno, zonas extensas, peligro en la zona, etc.

Por ello se plantea que la teledetección puede ser una herramienta muy útil a la hora de trabajar en el complejo de humedales El Ocho-letras mediante la utilización método indirecto, la cual consta de la captación de información de una zona determinada a partir de imágenes de sensores remotos (fotografías aéreas) por una cámara multispectral transportada por una Aeronave Tripulada Remotamente (RPA) , el cual nos permite el acceso a hábitats poco estudiadas, además de evitar el impacto negativo que se le da a la zona y a la obtención de gran información que se le brinda a la investigación, ya sea en topografía, exploración de lugares con difícil acceso, control medioambiental, etc. Estas imágenes nos darán a conocer el estado actual del humedal que estamos estudiando sin tener contacto directo sobre la zona y logrando alcances de área extensa en un corto tiempo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar una recopilación de información referente a los índices espectrales existente para suelo y agua que permita el análisis de las curvas espectrales provenientes de imágenes, adquiridas por una cámara multiespectral transportada en un RPAS.

2.2. Objetivo Específico.

- Recopilar información existente donde se identifiquen diferentes tipos de indicadores espectrales para suelo y agua.
- Generar curvas espectrales con las bandas G-R-NIR para agua y suelo.
- Identificar diferentes coberturas de suelo y agua según su firma espectral.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. Humedal

Los humedales son zonas de tierras generalmente planas cuya superficie se inunda de manera permanente o intermitente, esto causa que el suelo se sature quedando desprovisto de oxígeno y dando lugar a un ecosistema híbrido entre lo acuático y lo terrestre. Este ecosistema tiene diversas funciones tanto a nivel cultural como ecológico; a nivel cultural la principal función que caracteriza estos ecosistemas es el ecoturismo, el cual trata de actividades turísticas que no generan alteraciones al equilibrio del medio ambiente y evita daños a la naturaleza. Dentro de las principales funciones ecológicas encontramos: los corredores ecológicos y los servicios ecológicos, estos implican una conectividad entre áreas protegidas con una biodiversidad importante, que pretende unir sin solución de continuidad, espacios con paisajes, ecosistemas y hábitats naturales o modificados, contribuyendo con la mitigación de los impactos ambientales causados en los hábitats naturales por actividades industriales, de agricultura y obras de infraestructura.

Los humedales son el resultado de diferentes condiciones geomorfológicas ocurridas en la superficie terrestre, las cuales lo han convertido en ecosistemas únicos y de gran importancia debido a su capacidad de proveer diferentes servicios eco sistémico tanto para la naturaleza como para la sociedad, ya que estos regulan el clima local por el almacenamiento de carbono, brindando un amplio flujo fluvial, (almacenamiento de agua, asimilación de contaminantes, control de inundaciones y erosión), y posee incontables especies endémicas de flora y fauna. (Melissa Cárdenas Garcés, 2016)

Según la convención RAMSAR, existen cinco tipos de humedales naturales conocidos: marinos, estuarios, lacustres, ribereños y palustres, además de los

humedales artificiales creados por el hombre para el cultivo de peces, camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas, piletas de aguas residuales y canales. (RAMSAR, 2006).

Tabla 1 Clasificación general de los humedales.

ORIGEN	TIPO	DESCRIPCION
NATURALES	DULCECUICOLAS	
	RIVEREÑOS	Conformados por ríos, arroyos, cascadas Y demás corrientes de agua que existen de manera permanente, así como aquellos que se crean de forma temporal o intermitente.
	LACUSTRES	A el corresponde los lagos y lagunas de carácter temporal o permanente e incluso toda el área de influencia que ellos puedan alcanzar durante los periodos de inundaciones.
	PALUSTRES	Ambientes comprendidos por manantiales, oasis, ojos de agua, bosques pantanosos, ciénagas, caños y pantanos permanentes o estacionales. Se destacan por actuar como filtros naturales de sedimentos y contaminantes en el agua y reguladores de los niveles de los ríos, almacenando el agua que traen cuando aumenta su nivel en temporada de lluvias y dejándola salir a través de los caños cuando el nivel disminuye en temporada seca.

SALADOS O SALOBRES	
MARINO	Incluye desde las aguas marinas someras, el lecho marino y los arrecifes de coral, hasta playas de arena y grava.
ESTUARIO	Áreas de manglares, pantanos salados, aguas estearinas y pantanos lodosos intermareales. Brindan protección y barrera al amortiguar y minimizar el impacto de mareas y corrientes marinas cuando hay tormentas o huracanes.
PALUSTRE	Lagunas y lagos costeros salinos y salobres.
ARTIFICIALES	Todo tipo de obra construida por el hombre, cuyo fin sea almacenar o controlar el agua, entre estos está los embalses, represas y charcas. Dentro de esta categoría también se han considerado las tierras arables que se afectan por las inundaciones.

Fuente 1 Los ecosistemas de humedales en Colombia. MODIFICADO: Autor

Colombia se puede considerar un país anfibio como lo evidenció la cartografía entregada por el instituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt y el Fondo Adaptación, en el cual se muestra que el país posee 31.702 humedales en total, que se traduce a aproximadamente 30 millones de hectáreas de humedales que ocupan el 20% del territorio nacional. (Instituto Humboldt, 2015)

3.1.1 Presencia de humedales en las regiones de Colombia:

3.1.1.1. Región de la Amazonia:

En la región Amazónica predominan los humedales de tipo ribereño con sus franjas de inundación y pantanos debido a los principales ríos que recorren cada uno de los departamentos de Amazonas, Putumayo, Vaupés, Guaviare y Caquetá. Esta región se caracteriza por poseer una topografía ondulada y una superficie de 154.139.2 km². (M., 2006)

3.1.1.2. Región de la Orinoquia:

En la Orinoquia colombiana, compuesto por departamentos de Arauca, Casanare, Meta y Vichada, se identifica humedales de tipo ribereño en donde se aprecia una compleja trama boscosa que da paso a las selvas y sabanas inundables delimitadas por los ríos Arauca y Casanare que cubre una extensión de 154.193.2 km². (M., 2006)

3.1.1.3. Región Pacifico:

En la región de la costa pacífica se encuentra dos tipos importantes de humedales: los marinos y los estuarios. Esta región posee un área de 131.246 km² comprendidos entre la costa y las estribaciones de la cordillera Occidental la cual presenta formaciones de fondos lodosos y cenagosos. Los departamentos pertenecientes son el Valle, Cauca, Choco y Nariño. (M., 2006)

3.1.1.4. Región Caribe:

La Región Costa del Caribe está compuesta por departamentos como Guajira, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba y Antioquía. En esta región se presentan los 5 tipos de humedales (marinos, estuarios, lacustres, ribereños y palustres) gracias a que sus departamentos se caracterizan por poseer ambientes de aguas saladas, amplias playas arenosas y fondos lodosos. La extensión de esta región es de aproximadamente 142.000 km² que va desde los límites con Panamá hasta los límites de Venezuela. (M., 2006)

3.1.1.5. Región Andina:

En la región andina se encuentra la mayor cantidad del sistema de cordilleras que atraviesa el país de sur a norte lo que permite dar lugar a múltiples paisajes originados por la diferenciación altitudinal topográfica. Esta región sustenta la mayor viabilidad en cuanto a sistemas de humedales dulceacuícolas encontrándose con ambientes lacustres de paramo y ambientes palustres que varían entre 1.000 msnm hasta 3.800 msnm. (M., 2006)

Estos datos demuestran que existe una gran diversidad de ecosistemas presentes en todo el territorio colombiano, ya que posee los cinco diferentes tipos de humedales que existen. Además, la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) mediante el diagnóstico realizado en el año 2007 brindó un aporte más específico en la cantidad de humedales presentes en el departamento de Caldas ubicado en la región andina del país. En este aporte de nombre "Diagnostico de los humedales alto andinos de Caldas", se encontraron que entre los 27 municipios que conforma el departamento de Caldas existen 6 complejos de

humedales en jurisdicción de los municipios de Manizales, Manzanares, Marulanda, Neira, Pensilvania y Villamaría. (Corpocaldas, 2016)

2.1.1.5.1 Complejo de Humedales en Caldas

➤ *Complejo de humedales Potosí:*

El complejo de humedales Potosí es uno de los seis complejos existentes en el departamento de Caldas, este complejo está en jurisdicción del municipio de Villamaría a una altitud entre los 3.600 y 4.000 m en zona limítrofe con el PNNN. En este COMPLEJO se referenciaron un total de trece humedales, de los cuales tres hacen parte directa del área PNNN; once pantanos y dos lagunas, una de las cuales es artificial. (Corpocaldas, 2016)

➤ *Complejo de humedales Playa Larga:*

Este complejo de humedales se encuentra en jurisdicción de la vereda Playalarga del municipio de Villamaría a una altitud entre 3.600 msnm a 4.000 msnm. Allí se encuentra un total de cuatro humedales de características pantanosos, es decir de tipo palustres. Este complejo descarga sus aguas sobre el Río Claro. (Corpocaldas, 2016)

➤ *Complejo de humedales sector La Laguna-Romerales:*

Este complejo corresponde a las veredas La laguna, Romerales y Termalés en jurisdicción al municipio de Villamaría. Se encuentran en total nueve humedales siendo ocho palustres y uno lacustre; teniendo influencia sobre diferentes fuentes hídricas como las quebradas, La Oliva, La Negra, La Virginia y Romerales, que aportan sus aguas a la cuenca del río Chinchiná; Santa Cecilia, Aguas Muertas y río Azufrado, tienen influencia sobre la cuenca del río Molinos. (Corpocaldas, 2016)

➤ *Complejo de humedales el Desquite- San Pablo:*

Este complejo se encuentra entre las veredas El Desquite, Barcelona, Buenos Aires y San Pablo, en Jurisdicción de los municipios de Neira y Manizales, que poseen pendientes suaves y largas lo que facilita las actividades agropecuarias y de monocultivo de papa. Se encuentran tres humedales, dos de tipo palustre y uno de tipo lacustre. (Corpocaldas, 2016)

➤ *Complejo de humedales Marulanda:*

Este complejo comprende la vereda el Páramo, el sector del Valle Alto en jurisdicción de los municipios de Marulanda y Pensilvania a una altitud entre los 3.500 y 4.000 metros de altitud siendo una importante zona de recarga de agua para la alimentación de cuencas hidrográficas de importancia departamental localizadas entre los municipios de Marulanda y Pensilvania. Este complejo está conformado por ocho humedales de tipo lacustre y palustre, siendo este último tipo de humedal el más abundante en la zona.

➤ *Complejo de humedales El Ocho-Letras:*

Este complejo es el de mayor interés en el que se enfoca este trabajo ya que fue en él donde se realizó el estudio del estado del humedal; El complejo de humedal El Ocho-Letras, el cual comprende humedales localizados en las Haciendas La Esperanza, La Virginia, Santa Teresa, El Bosque, El Nueve y La Favorita, en jurisdicción de los municipios de Manizales y Villamaría a una altitud entre los 3.000 y 3.500 metros. En este humedal se referencio un total de 14 humedales, de los cuales 13 son palustres y una de tipo lacustre, descargando sus aguas sobre la quebrada El Bosque y sobre el río Chinchiná. (HENAO, 2015) (Corpocaldas, 2016)

Por medio de este complejo se han realizado diferentes estudios realizados por docentes de universidades interesados en la preservación del humedal, entre esos se encuentra: “Participación comunitaria para la construcción de lineamientos de uso y conservación de humedales alto andinos. Experiencia piloto en el sector el ocho y páramo de letras” (Yepes, Álvarez, & Santamaría., Participacion comunitaria para la construccion de lineamientos de uso y conservacion de humedales altoandinos. Experiencia piloto en el sector el ocho y paramo de letras., 2014), él tuvo como objetivo la construcción participativa de los lineamientos de uso y conservación de humedales en el sector El Ocho y Páramo de Letras, a partir de información suministrada por los habitantes del área. “Servicios eco sistémicos y variables socio ambientales determinantes en ecosistemas de humedales alto andinos. Sector El Ocho y paramo de letras Manizales Colombia” (Yepes G. Y., 2015), estudio que abarca temas sobre la intervención humana a través de las prácticas tradicionales que se han desarrollado en sistemas productivos como el cultivo de la papa y la ganadería determinando que los agroquímicos utilizados en estas actividades han causado afectaciones directas al ecosistema. (HENAO, 2015) (Corpocaldas, 2016)

También encontramos artículos como “Visión social del ecoturismo como servicio eco sistémico que prestan los humedales alto andino. Zona piloto sector el ocho y páramo de letras, Manizales, Colombia” (Yepes G. Y., Vision social del ecoturismo como servicio ecosistemico que prestan los humedales altoandinos., 2014), en el cual se analiza la visión que se han tenido los productores de la parte alta de la cuenca del rio Chinchiná con respecto a los servicios eco sistémicos que representan los humedales al ecoturismo.

Estos estudios enfocados al humedal además de la información ya brindada por Corpocaldas, dan a entender que los complejos de humedales de Caldas representan una influencia significativa al ser parte de un área que realiza funciones amortiguadoras del Parque Nacional Natural Los nevados PNNN.

3.2. Equipos

2.2.1 RPAS: Remotely Piloted Aircraft Systems

Los RPAS es el término que se le da a todo el sistema necesario para la operación y recolección de información de forma remota desde la estación de control el cual lo conforma la aeronave, el enlace de comunicaciones, estación de mando y el control remoto de los vehículos aéreos no tripulados. (Muñoz, 2006)

Este sistema principalmente fue utilizado para usos militares, pero a medida que fue evolucionando se prestó para fines civiles debido a sus potenciales aplicaciones, utilizado por entidades del sector académico, industrial y audiovisual.

3.2.1.1. RPA: Remotely Piloted Aircraft

Las siglas RPA significan en español “Aeronave pilotada remotamente” lo cual trata de un vehículo aéreo tripulado por una estación remota. Este pilotaje remoto no es equivalente al modo de vuelo manual de los tradicionales aparatos radio/control, se diferencia de este, al poder hacer uso de sistemas de vuelo asistido o pilotos automáticos, pero siempre debe ser operado por una persona capaz de ejercer un vuelo manual sobre el RPA en cualquier momento del vuelo. En el libro “Piloto de Dron-RPAS” se define aeronave como “Cualquier maquina pilotada por control remoto que pueda sostenerse en la atmosfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.” (Muñoz, 2006)

Los RPA han traído consigo grandes descubrimientos para la investigación por el método de desarrollo y facilidades que brinda al realizar vuelos, ya que los RPA pueden sustituir al ser humano en la ejecución de labores riesgosas al poder

sobrevolar zonas de difícil acceso, por estar contaminadas o por su densidad vegetal en el terreno; esto mediante capturas fotográficas que realiza en el aire para dar una vista de las condiciones del área. (Muñoz, 2006)

No obstante, para que un RPA realice un excelente vuelo deben contar con ciertas características estructurales básicas que permitan la estabilidad en el aire facilitando la recolección de información (Ver Ilustración 1)

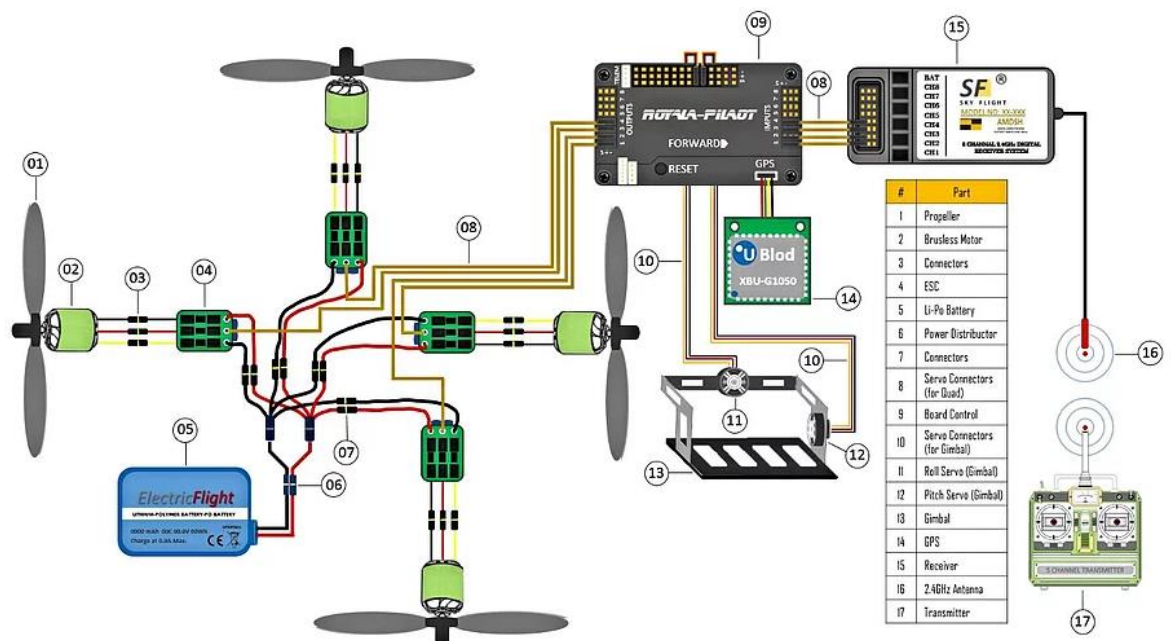


Ilustración 1 Partes de una RPA

Fuente 2 <http://quadsforfun.wixsite.com> Modificado: Autor propio.

3.2.1.2. Motores

Para el equipamiento de los RPA existe dos clases de motores, los brushed y los brushless; los primeros utilizan corriente continua y para darles más potencia se usa una resistencia variable y se invierte el sentido de rotación cambiando la polaridad. Utilizan escobillas para cerrar el circuito entre el

estator y el rotor. Estos motores cada vez son menos utilizados en los RPA debido a su peso. (Muñoz, 2006)

Por el contrario, los motores brushless no poseen escobillas, pero son alimentados por corriente alterna trifásica. Están compuestos por una parte móvil que es el rotor, que es donde se encuentran los imanes permanentes y una parte fija, denominada estator o carcasa, sobre la cual van dispuestos los bobinados de hilo conductor. (Muñoz, 2006)

3.2.1.3. La tarjeta controladora:

El componente que se conoce como el corazón de todo el RPAS es la tarjeta controladora, la cual reúne todos los componentes electrónicos que rigen el debido funcionamiento del RPAS. Estos controladores generalmente cuentan con:

- Acelerómetro: mide la inercia de los movimientos.
- Giróscopo: Mide la velocidad angular de los cambios de posición
- GPS: brinda las coordenadas exactas en el espacio del RPAS (incluyendo la altura) y poder desplazar de forma autónoma.
- Magnetómetro: permite saber la dirección a la que apunta el RPAS
- Sensor barométrico: Brinda la precisión de altura real del vuelo.
- Procesador: realiza las lecturas y operaciones por segundo en base a todos los datos que recibe.

3.2.1.4. ESC (Electronic Speed Controller):

Para controlar la velocidad de los motores que elevan al RPAS, este debe de poseer un componente esencial conocido como un ESC (Electronic Speed Controller) o variador; Se trata de un sistema capaz de definir la

velocidad de giro de un motor brushless mediante la generación de pulsos compatibles con este tipo de motores. (Muñoz, 2006)

Los ESC están compuestos por dos cables para la entrada de la alimentación de la batería, tres cables que se conectan al motor para proveerlo de alimentación mediante pulsos y un conector dos o tres cables el cual está conectado a la controladora, la cual recibe los datos para mover el motor. (Muñoz, 2006)

3.2.1.5. Batería

Las baterías son sistemas de almacenamiento químico de energía y corriente de salida que entrega una corriente continua a todo lo que alimenta. Estas baterías son las encargadas de suministrar energía eléctrica a todo el conjunto de equipos que cuenta el RPA para funcionar. La mayoría de estas son baterías recargables, ya que permiten ser reutilizadas utilizando los cargadores específicos de cada tipo. (Muñoz, 2006)

Las baterías Li-Po son las más moderas y livianas del mercado. Estas baterías utilizan un polímero que les permite ser fabricadas en una mayor variedad de formas y tamaños que las baterías de litio comunes y superan la capacidad de las demás baterías, aunque necesitan de más tiempo de carga. (Muñoz, 2006)

Dentro de las ventajas de la utilización de esta batería se encuentra que no posee el efecto memoria el cual se produce cuando se cargan las baterías sin haberlas descargado completamente antes. Esto causa unos cristales en el interior de las baterías que impiden que se vuelvan a cargar en su mayor capacidad para el resto de vida útil, por el contrario, las baterías de

Polímero de Litio tienen una baja descarga cuando no se utilizan. (Muñoz, 2006)

3.2.1.6. Chasis:

El chasis es la estructura principal o esqueleto de soporte del RPA en el cual se ensamblan todos los elementos hablados anteriormente (motores, tarjeta controladora, ESC, batería, gimbal y cámara). (Muñoz, 2006)

Dependiendo del número de motores que se tienen establecidos para realizar el vuelo se obtiene el diseño del RPA y el puente de aterrizaje que se necesita.

Existen diferentes tipos de materiales en los que se fabrican los chasis como son de fibra de carbono, vidrio, titanio, aluminio aeronáutico, entre otros, buscando siempre que sean materiales ligeros y resistentes para un adecuado vuelo. (Muñoz, 2006)



Ilustración 2 Chasis de fibra de carbono

Fuente 3 Piloto de Dron-RPAS

3.2.1.7. Gimbal

El gimbal es un componente que se le adiciona al RPA, directamente al puente de aterrizaje, el cual funciona para estabilizar la cámara multiespectral durante el vuelo; así en el momento en que se realiza giros con considerable inclinación, el gimbal asegure que la cámara permanezca siempre en posición horizontal. (Muñoz, 2006)

Los gimbals más actuales son los gimbal busheles; estos gimbal usan motores busheles que maneja la controladora. Además, llevan una unidad de medición inicial en el mismo soporte que la cámara, permitiendo controlar la posición al presentarse inclinación, mandando una señal a los motores para mantener estabilizado el sistema. (Muñoz, 2006)

2.2.3 Cámara fotográfica.

Las cámaras fotográficas tienen como objetivo la toma de imágenes de objetos o fenómenos con el fin de mantener memorias físicas o virtuales de los acontecimientos que se vive, que por medio de ellas produjo el nacimiento de ciencias como el cine y la fotografía. (DefinicionABC, s.f.)

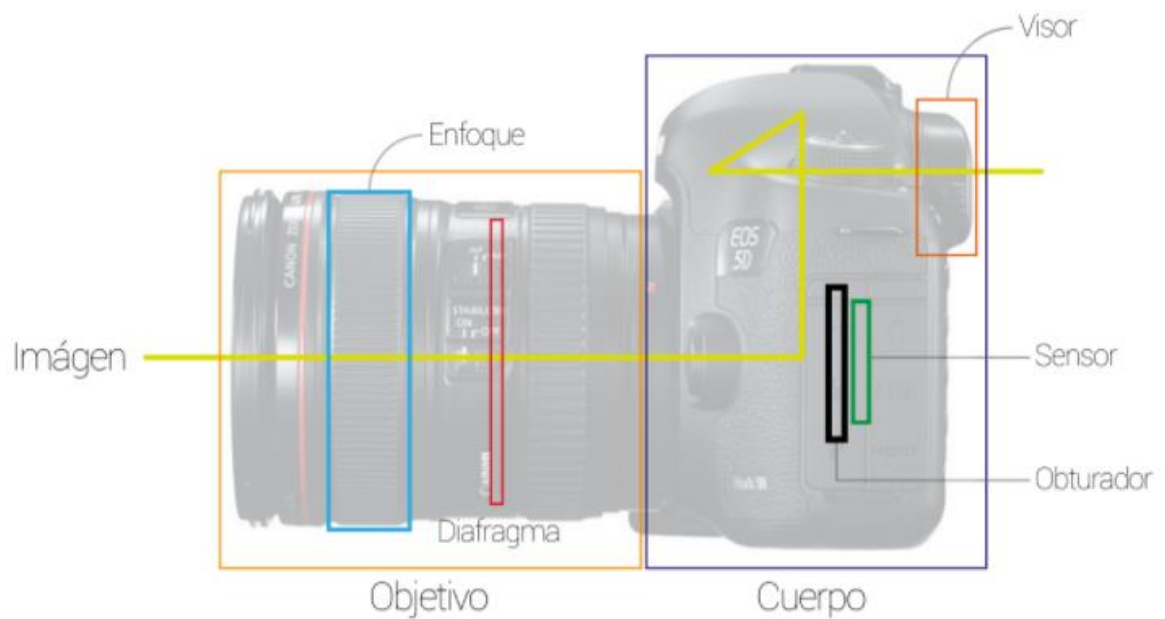


Ilustración 3 Partes de una cámara fotográfica

Fuente 4<https://mayinbaez.wordpress.com/2014/06/10/partes-de-una-camara/>

Como se muestra en la ilustración 3, la cámara fotográfica está compuesta por dos cambios, dentro de ellos existen diversos elementos explicados a continuación:

Objeto:

- Objetivo: Es el conjunto de lentes que dirigen la luz del sensor para conseguir la mayor cantidad de información de la escena que se observa.
- Diafragma: Se encuentra situado dentro del objetivo. Es el conjunto de aspas que conforman el orificio por donde entra la luz las cuales regulan la cantidad que entra.

- Mecanismo de enfoque: Este elemento se encuentra en el objetivo, que permite la acomodación de lentes para brindar una mejor nitidez del objetivo que se está enfocando.

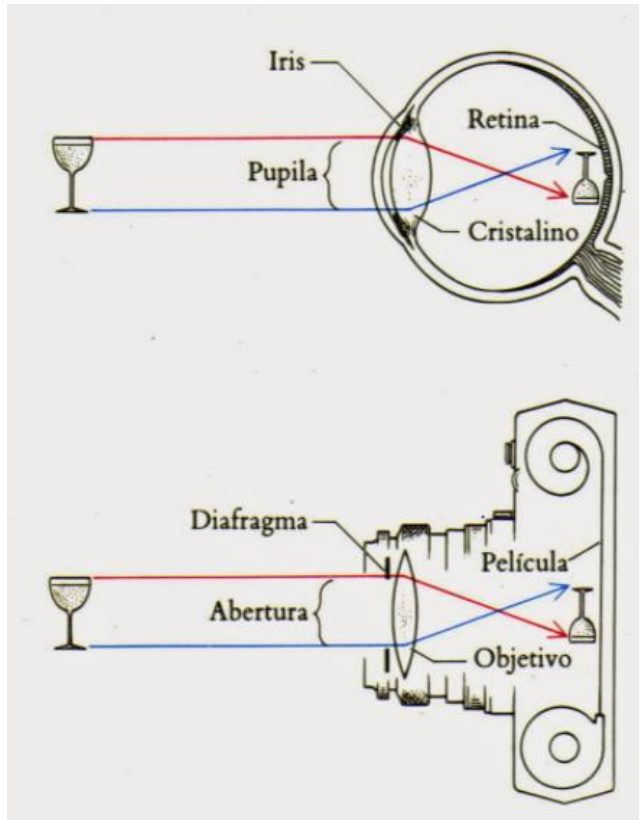
Cuerpo:

- Obturador: Este elemento se ocupa de controlar la cantidad de luz que llega al sensor mediante una serie de cortinillas que se abren y cierran
- Visor: Es la parte de la cámara que no permite observar lo que se está enfocando, es decir, el objeto o fenómeno que queremos fotografiar.
- Sensor: Este elemento se ocupa de captar toda la información posible de la escena en forma de píxeles sensibles a la luz, así determinando la calidad y resolución que se obtuvo.

Este proceso es similar al funcionamiento que tiene el ojo humano, el cual captura la imagen por medio de la luz que reflejan todos los cuerpos u objetos en todas las direcciones, estos rayos entran por nuestros ojos y pasan al cerebro que se encarga de procesar la información recibida para formar la imagen.

En las cámaras este proceso comienza cuando los rayos de luz que emite todo objeto u cuerpo entran a la cámara por medio del lente que se encarga de agrupar en un solo punto y según la distancia a la que esté ubicado el objeto, la imagen resultante tendrá un tamaño diferente más grande o pequeña.

En la siguiente imagen se puede visualizar el esquema de captura y procesamiento de imagen en el ojo humano y en la cámara fotográfica.



Fuente 5 <http://boywithaidea.blogspot.com.co/2012/09/relacion-entre-el-ojo-y-la-camara.html>

Ilustración 4 Relación del ojo y la cámara con la captura de una imagen.

2.2.4 Cámara Multiespectral

Las cámaras multiespectrales están compuestas por sensores que registran bandas del espectro electromagnético (normalmente entre 3 y 20) generando imágenes del objeto (área estudiada) con varias mediciones de secciones de longitudes de onda simultáneamente permitiendo captar incluso bandas no visibles por el ojo humano.

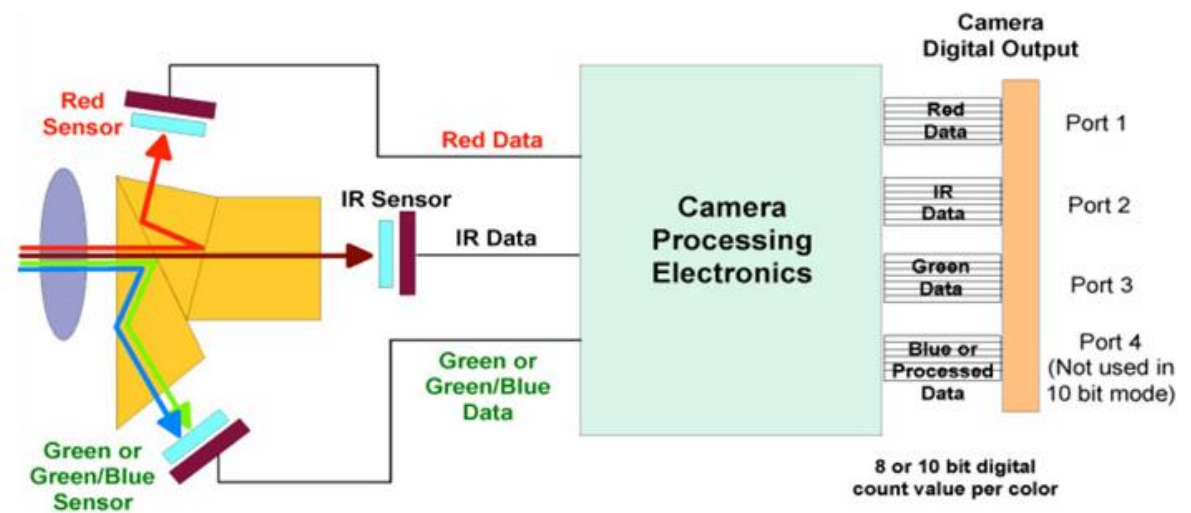


Ilustración 5 Proceso de cámara multispectral

Fuente 6 <http://heliboss.co>

Estas cámaras son sensores pasivos los cuales recogen simultáneamente datos de diferentes bandas espectrales por medio de diferentes tomas sobre una zona, permitiendo que el espectro electromagnético aporte una amplia información sobre distintos aspectos del medio ambiente obteniendo lecturas matriciales en forma de imágenes multispectrales donde cada una de las matrices corresponde a la lectura de un pixel perteneciente a un área específica. (Heliboss Colombia, 2015)

Las imágenes capturas permiten usos en aplicaciones colorimétricas en el sector industrial o científico, de igual manera la información aportada por las cámaras multispectrales permite ver con claridad pequeños cambios en la vegetación, agua y suelo, presentes en el área tomada, por medio de los cambios de color en los espectros visibles (Azul, verde, rojo) y los no visible (infrarrojo cercano).

El satélite landsat es un sistema multispectral que se caracteriza por poseer un número adecuado de bandas espectrales que van desde bandas del espectro visible hasta las bandas térmicas (swir) con una resolución espacial media.

El Landsat 5 el cual posee un sensor TM (The Thematic Mapper o mapeador temático traducido al español) tiene como principales aplicaciones la identificación y clasificación de las distintas cubiertas que existen en la superficie terrestre, determinación de humedad del suelo, clasificación de la vegetación y estudios multitemporales. (Heliboss Colombia, 2015)

Tabla 2 Longitud de onda de bandas del satélite Landsat 5

BANDA	LONGITUD DE ONDA	ZONA DE ESPECTRO
1	450-520 nm	Luz visible, azul
2	520-600 nm	Luz visible, verde
3	630-690 nm	Luz visible, roja
4	760-900 nm	Infrarrojo cercano
5	1550-1750 nm	Infrarrojo cercano
6	10400-12500 nm	Infrarrojo térmico
7	2080-2350 nm	Infrarrojo medio

En este estudio solo se utilizaron tres bandas; dele espectro visible se trabajó con la banda verde y la banda roja y por parte de los infrarrojos solo se utilizó el infrarrojo cercano.

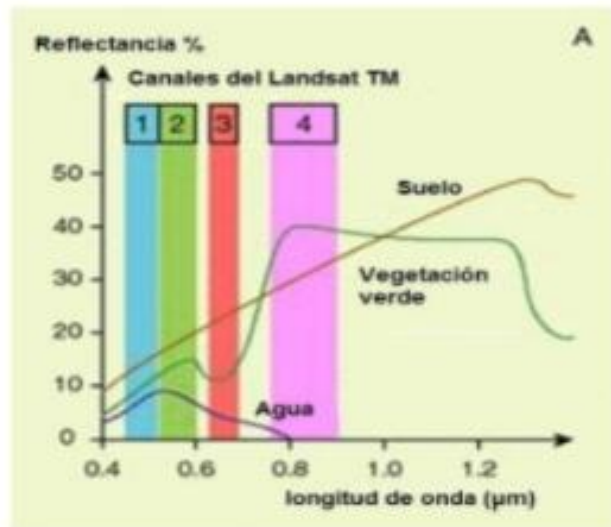


Ilustración 6 Firma espectral en bandas visibles y NIR

Fuente 7 <https://es.slideshare.net>

2.2.5 Targets

Existen dos tipos de target, el target de georreferenciación y el target de calibración:

El primero es el target de tipo Geo referencial que trata de “puntos de control” geo referenciados con los cuales se realiza la comparación de muestras de puntos tomados de las ortofotos del área a estudiar sobre una selección de imágenes de todas las zonas adquiridas para los vuelos altos como los bajos.

Los targets espectrales o “blancos de calibración” son escalas de grises entre blanco y negro que brindan un coeficiente de calibrado, estos sirven para corregir la saturación de luz que se presenta en las imágenes evitando que la respuesta electrónica de los componentes del sensor cambie los valores reales y entregando

valores de niveles digitales con coeficientes conocidos que permitan la conversión a unidades de reflectancia a nivel del suelo.

2.2.6 GPS

El sistema de posicionamiento global-GPS (Global Positioning System) es un sistema que permite determinar en toda la tierra la posición de un objeto con una precisión hasta centímetros a partir de la red de satélites NAVSTAR-GPS. Este sistema funciona por medio de los satélites que circulan sobre toda la órbita terrestre (24 en operación permanente y 3 de respaldo) funcionan las 24 horas del día transmitiendo señales a la tierra que indican su ubicación y la hora que les proporciona un reloj atómico que traen a bordo. Todos los satélites están sincronizados, de tal manera que las señales transmitidas se efectúan en el mismo instante. Los receptores de GPS reciben esta información y la utilizan para triangular y calcular la localización exacta del receptor.

2.3 Software

2.3.1 ArcGIS

Como lo describe ArcGIS Resources “ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Como la plataforma líder mundial para crear y utilizar sistemas de información geográfica (SIG), ArcGIS es utilizada por personas de todo el mundo para poner el conocimiento geográfico al servicio de los sectores del gobierno, la empresa, la ciencia, la educación y los medios. ArcGIS permite publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario.” (ArcGIS Resources, 2017)

2.3.2 Mission Planner

El programa Misión Planner lo describe la página DRONES.MX como “una estación de control de tierra para APM: Plano, APM: Helicóptero y APM: Rover. Es compatible sólo con Windows. Misión Planner se puede utilizar como una utilidad de configuración o como complemento de control dinámico de un vehículo autónomo.” (Drones .MX, 2017)

2.3.3 Demo ENVI gratuito

Se describe el Software Demo ENVI gratuito como un “Software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales utilizado por profesionales GIS, científicos, investigadores y analistas de todo el mundo.

ENVI soporta imágenes obtenidas de numerosos tipos de satélites y sensores aerotransportados, incluyendo pancromáticos, multiespectrales, hiperespectrales, radar, lidar, térmico y más. ENVI proporciona herramientas de pre-proceso automático que permiten obtener información fácil y rápida, a través de sencillos flujos de trabajo.

Puede desplegar grandes conjuntos de datos y metadatos, comparar visualmente cada una de las imágenes, crear representaciones 3D, generar gráficos de dispersión, explorar firmas espectrales y más.” (SIG S.A, 2017)

2.3.4 PixelWrench2

EL software PIXELWRENCH2 es un Software de edición de imágenes multiespectrales. Como lo describe la misma paguina de Tetracam “PixelWrench2 es un potente programa de edición de imágenes que incluye herramientas específicas para imágenes multiespectrales. El programa acepta NIR / Green /

Red u otras bandas de imágenes capturadas de la familia ADC o MCA de los sistemas de detección Tetracam y alinea los registros y los vuelve a combinar de acuerdo con algoritmos estándar definidos por el usuario para producir nuevas imágenes que pueden usarse para indicar condiciones tales como el estrés de la planta o la presencia o abundancia relativa de compuestos monitoreados específicos.” (Tetracam , 2017)

2.3.5 OceanView

EL software Ocean View proporciona herramientas de software en múltiples niveles de potencia, complejidad y programabilidad para cumplir con un "espectro completo" de análisis espectroscópico y necesidades de automatización.

2.4 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético se compone del flujo saliente de energética de una fuente en forma de ondas electromagnéticas, siendo de origen natural o artificial. (Casanova, 2012). Las ondas electromagnéticas se generan por el movimiento de los electrones generando variaciones en los campos eléctricos y magnéticos en forma de ondas a un nivel microscópico.

Ordoñez (2011) define el espectro electromagnético como “el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética” (p.17). Generalmente, la radiación electromagnética se clasifica por la longitud de onda: ondas de radio, microondas, infrarroja y región visible (que percibimos como luz), rayos ultravioletas, rayos X y rayos gamma.

Este comportamiento se caracteriza por dos parámetros particulares que son la frecuencia y la longitud de onda, las cuales identifican el número de ciclos por las que pasa la onda por un punto fijo en una unidad de tiempo y la distancia entre

dos picos sucesivos de una onda respectivamente, refiriéndonos a un ciclo a la parte de la onda que hay entre dos crestas sucesivas. Ambos elementos están inversamente relacionados. (Fontal, 2005), es decir que las frecuencias más altas tienen longitudes de onda más cortas mientras que las frecuencias más bajas tienen longitudes de onda más largas.

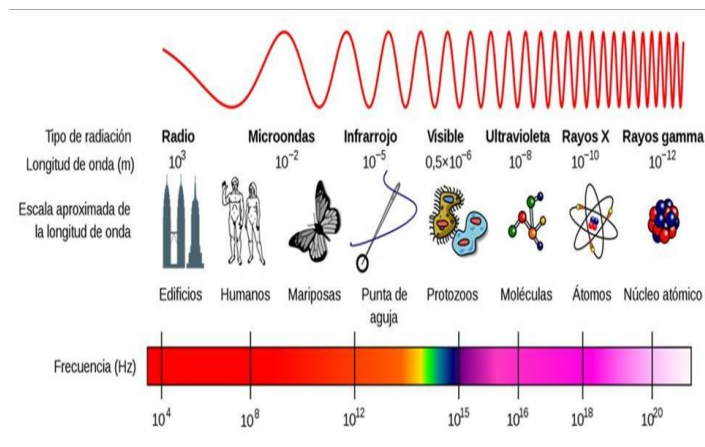


Ilustración 7 Longitudes de onda del espectro electromagnético.

Fuente 8 <http://www.escolares.net>

Aunque el esquema de clasificación suele ser preciso, en realidad existe algo de transposición entre tipos de energías electromagnéticas.

2.5 La Teledetección

La tecnología Geomática comprende la ciencia, ingeniería y arte que se emplea en la captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográficamente referenciada. Es decir que se trata del estudio de la superficie terrestre a través de la informática siendo reconocido actualmente como una nueva disciplina de la era geoespacial

La información geográfica ayuda a recoger información para la realización de actividades dentro del monitoreo ambiental, manejo de recursos terrestres y marinos, monitoreo de presas, campos petrolíferos y minas, navegación de embarcaciones y aeronaves, oceanografía y turismo.

La teledetección es un subtipo de la tecnología geomática; Licett (2011) afirma que “La Teledetección estudia las variaciones espectrales, espaciales y temporales de las ondas electromagnéticas, y pone de manifiesto las correlaciones existentes entre éstas y las características de los diferentes materiales terrestres. Su objetivo esencial se centra en la identificación de los materiales de la superficie terrestre y los fenómenos que en ella se operan a través de su signatura espectral (p.39). Esto quiere decir que la teledetección consiste en la adquisición de datos a distancia sobre la biosfera registrando e interpretando la información por medio de las propiedades de la radiación electromagnética interactuando con los materiales en la superficie, la cual se presenta en forma de luz, calor y ondas de radio [2] (Bognanni, 2010)

Este sup tipo de tecnología geomática nació de la necesidad del ser humano en recolectar información en áreas de difícil acceso debido a las limitaciones de alcance por alturas, extensiones, terrenos, entre otros; Buscando de igual modo un rendimiento en tiempo por los recorridos que se dan en áreas de investigación, generando un conocimiento más amplio del estado de los recursos y demás

consideraciones que se tomen, facilitando la toma de decisiones sobre los resultados. (Licett., 2011)

Los avances en tecnología han permitido contar con instrumentos cada vez más precisos basados en electrónica y experimentación con materiales que permiten obtener información cada vez más completa contenida en imágenes satelitales.

El principio de la teledetección es similar al de la vista humana

Dentro de este proceso podemos considerar que existen dos tipos de fuentes de energía denominadas teledetección activa y teledetección pasiva.

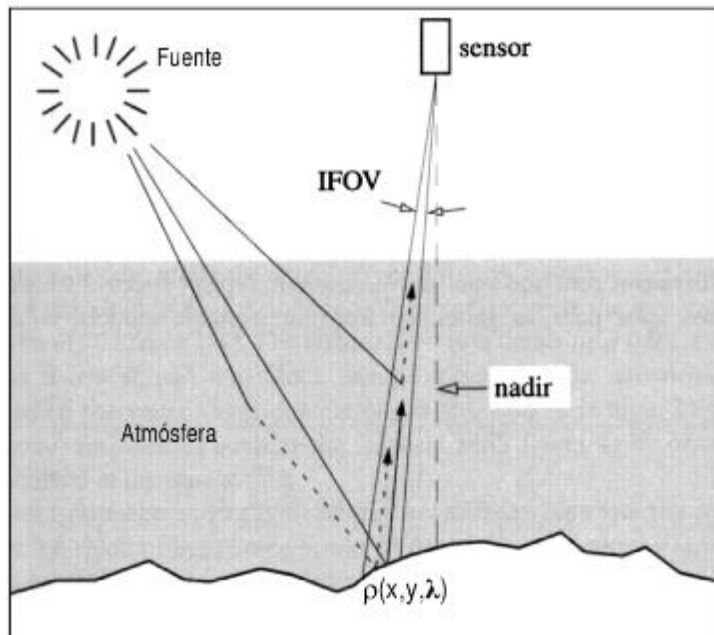
2.5.3 Teledetección pasiva

En el caso de la teledetección pasiva se refiere a que la fuente de energía es el sol y el captador solo mide la radiación reflejada esta actividad solo se realiza en horas diurnas ya que en horas de la noche no se presenta iluminación solar. Tampoco se recomienda cuando el área a estudiar presenta nubes ya que estas pueden interferir en la visibilidad de toda la zona.

2.5.4 Teledetección activa

Por otra parte, la teledetección activa tiene como fuente de energía un foco artificial emitida por el mismo sensor (Raúl López Romero, 2010) es decir, que el satélite que va en la obtención de información está equipado con una fuente emisora de energía (radar) el cual atraviesa la cobertura de nubes que se interponen con el objeto y mide el eco producido. Este tipo de teledetección facilita la recolección de información en áreas donde las condiciones meteorológicas y el tiempo del día no limitan la obtención de datos en el área que se quiera estudiar.

El proceso en el que se desarrolla la teledetección es muy sencillo, solo se cuenta con una fuente de energía (sea pasiva o activa), un objetivo (cualquier superficie terrestre), una plataforma (satélite, avión, helicóptero o RPA) y un sensor (CMOS, CCD, etc) (Ver Ilustración 8)



Fuente 9 Tomado del libro "Teledetección: Nociones y aplicaciones."

Ilustración 8 Esquema del camino de propagación de la radiación en un sistema de teledetección.

El proceso comienza desde la fuente de energía, siendo esta pasiva o activa que se emite a la corteza de la tierra. Esta energía tiene que atravesar la atmósfera lo cual a su paso se convierte en energía electromagnética que se comienza a propagar por todo el espacio libre de la superficie logrando tener contacto con la escena. Posteriormente se refleja y se capta por el sensor el cual recolecta y almacena toda la información que se encuentre sobre la escena. Una vez se

termine la captación de información esta se descarga en un sistema receptor por medio del cual se puede codificar la información para ser visualizada.

Una vez terminado el proceso, pasara a la interpretación y análisis de los resultados obtenidos para así dictaminar el estado del área de interes y poder realizar mapas de variables meteorológicas, de la vegetación, de cuerpos de agua y/o de suelo expuesto, que se localicen en la zona. (Huayaney, Teledeteccion, Pincipios y Aplicaciones., 2012)

2.6 Espectrometría.

Todos los sensores destinados para la teledetección capturan energía que se refleja en un rango distinto del espectro electromagnético pudiéndose distinguir cada uno según sean las características dominantes del objeto estudiado. Estos rangos tienen el nombre de banda espectral, las cuales llegan con información espectral a los sensores donde captan los distintos valores de energía en un mismo pixel. (Scanterra)

La signatura o firma espectral es el resultado de la respuesta de las bandas espectrales que son frecuentemente utilizadas con la tecnología actual, identificando niveles digitales o valores de reflectancia por medio del comportamiento de las radiaciones electromagnéticas según su longitud de onda.

- Región Visible del espectro electromagnético:

El espectro visible es un tipo especial de radiación electromagnética que tiene una longitud de onda en el intervalo de 400 a 800 nanómetros a semejante al ojo humano representando bandas de colores azul, verde y roja. En este estudio se utilizaron dos tipos de rangos de este espectro, siendo la banda verde y la banda roja.

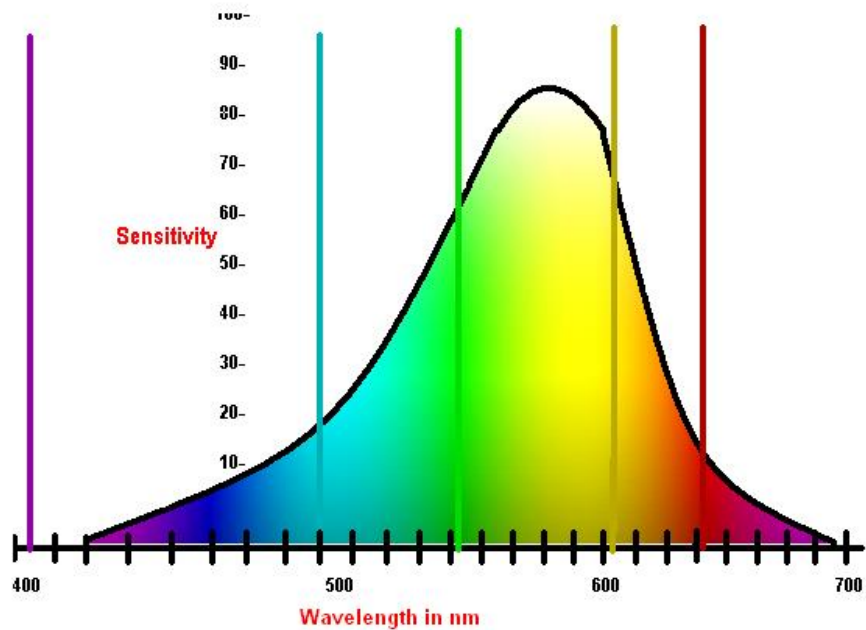


Ilustración 9 Espectro visible por el ojo humano.

Fuente 10 <http://physics.tutorvista.com/light/light-measurement.html>

- Región del infrarrojo cercano del espectro electromagnético:

Se utilizó el infrarrojo cercano por su capacidad de discriminar masas vegetales y concentraciones de humedad el cual está dentro de las ondas infrarrojas, las cuales están en el rango de 0,7 a 100 micrómetros, esta radiación se asocia generalmente con el calor.

Onda	Longitud de onda
Infrarrojo cercano	760-900 nm
Infrarrojo medio	1550-1750 nm
Infrarrojo lejano	10400-12500 nm

2.6.3 Respuesta espectral del suelo

La respuesta espectral del suelo es compleja de obtener por medio de sensores espectrales debido al efecto pantalla que provoca la cubierta vegetal, es por ello que para obtener información de este recurso se debe analizar las anomalías que se puedan detectar en la cubierta vegetal, ya que cuando se presenta suelo desnudo, tiende a tener un comportamiento espectral mucho más uniforme dando como resultado una curva espectral más plana.

Los principales factores que intervienen en este caso son la composición química del suelo, su textura, estructura y el contenido en humedad los cuales terminan estando altamente relacionados en la respuesta espectral de este recurso.

- **Composición química:** Es la causa del color dominante con el que se percibe el suelo. Los suelos que representan una alta reflectividad en todas las bandas suelen ser los suelos calcáreos que tienden a verse de un color blanco, pero a diferencia de esto los suelos arcillosos ofrecen una mayor reflectividad en la banda roja, mientras que los suelos que contienen humus se caracterizan por tener un color más oscuro, dando un resultado espectral bajo especialmente en torno a 0,70-0-075 μm .
- **Características físicas:** según las características físicas que presente el suelo dependerá el comportamiento de la curva espectral mostrándose en con mayor pico o menor, es decir, que según sea la clase de suelo y la textura que presente absorberá o reflejará mayor energía electromagnética. Por ejemplo, en suelos finos y compactos se muestra mayor reflectividad que en suelos fangosos.

- **Contenido de Humedad:** Este componente es uno de los más destacados dentro de la reflectividad del suelo para las longitudes de onda, ya que la alta absorción que caracteriza el agua influye en las bandas de manera inversamente en la reflectividad del espectro visible y el infrarrojo cercano en torno a 1,45 y 1,192 μm con mayor intensidad en las bandas azul e infrarrojo cercano

En la siguiente Ilustración se muestra la comparación de una curva espectral de un suelo húmedo a la curva espectral de un suelo con poca humedad. (Ilustración 10)

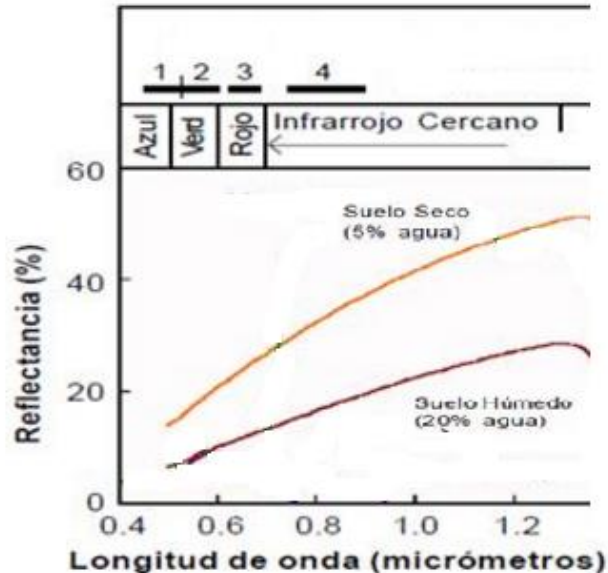


Ilustración 10 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.

Fuente 11 <http://www.monografias.com>. Modificado: Autor propio.

El Doctor Emilio Chuvieco Salinero, en su libro *“Teledetección Ambiental, La observación de la tierra desde el espacio”* da un ejemplo DE lo explicado anteriormente; *“Los suelos arcillosos tienen a retener mejor la humedad y posee*

una fuerte estructura y fina textura, lo que supone una baja reflectividad. EN contraste un suelo arenoso tiende a tener una débil estructura y bajo contenido de humedad, por lo que presentara una reflectividad más elevada. A ellos convendría añadir el efecto de materia orgánica en el suelo que tiene a oscurecerlo y en consecuencia a reducir su reflectividad.”

Estos comportamientos dan como resultado que la curva espectral tienda a ser bastante plana y de carácter ligeramente ascendente.

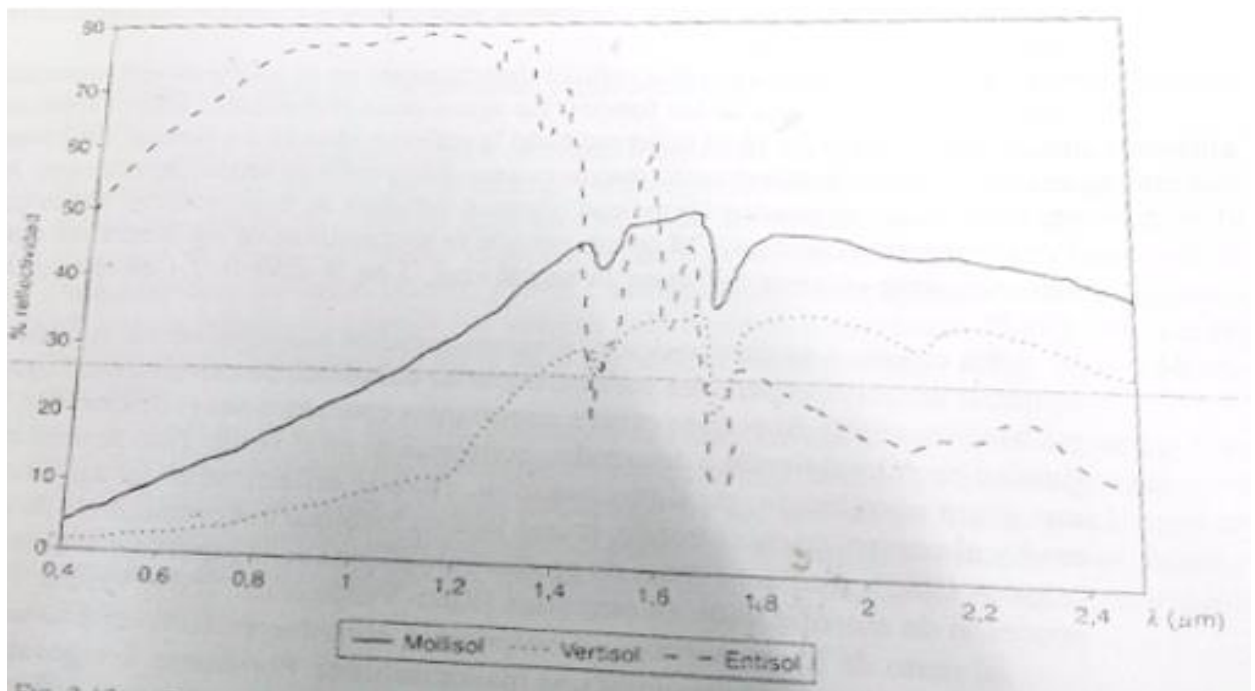


Ilustración 11 Firma espectral del suelo en espectro visible e infrarrojo cercano. "

2.6.4 Respuesta espectral del agua

Las superficies acuáticas absorben o transmiten la mayor parte de la radiación óptica que reciben, siendo mayor su absorptividad cuando mayor sea la longitud de onda dando un resultado espectral similar a la del suelo, aunque en sentido contrario, es decir que desde la banda azul comienza de manera descendente hasta el infrarrojo cercano donde es prácticamente nula.

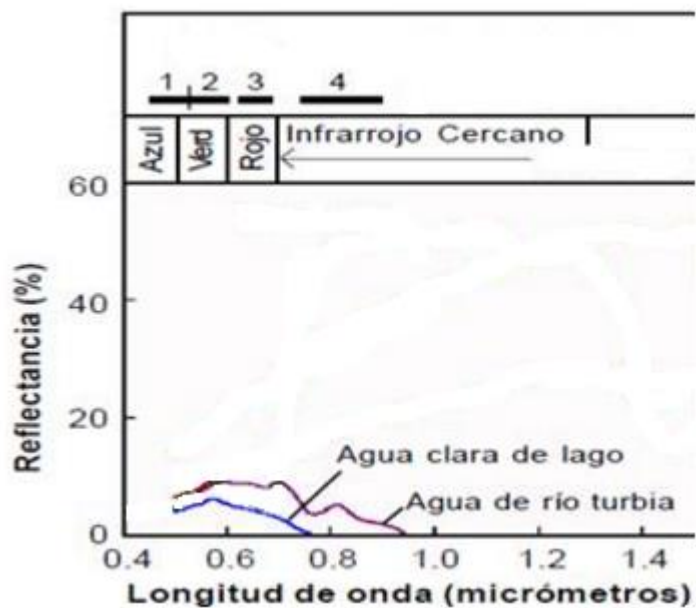


Ilustración 12 Curva espectral del agua en espectro visible e infrarrojo cercano.

Fuente 13 <http://www.monografias.com>. Modificado: Autor propio.

El Doctor Emilio Chuvieco Salinero, en su libro *“Teledetección Ambiental, La observación de la tierra desde el espacio”* brinda su aporte para la descripción de la respuesta espectral del agua la cual describe como *“La variabilidad del agua es más fácilmente detectable en las longitudes de onda más cortas (azul y verde), y*

se relaciona con u profundidad, contenido de materiales, en suspensión (Clorofila , sedimentos y nutrientes), y rugosidad de la superficie. La turbidez del agua, relacionada con su contenido de sedimentos, implica aumento de la reflectividad en todas las bandas visibles, para distintos diámetros de partícula.”

- **Turbidez:** mientras exista mayor contenido de sedimentos, habrá mayor aumento en la reflectividad en las bandas visibles para distintos diámetros de partículas
- **Profundidad:** Esta particularidad influye directamente en la reflectividad; si las aguas son poco profundas la reflectividad aumenta ya que se mezcla con el flujo recibido por la reflectividad del contenido que exista en el fondo, es decir que la reflectividad será mayor cuando más profunda sea la capa de agua; el agua puede contener concentraciones de clorofila lo que haría que la respuesta espectral descendiera en la banda azul y se incrementara en a banda verde.
- **Rugosidad:** la rugosidad de la superficie favorece la reflexión difusa, y en consecuencia una mayor reflectividad. En caso de aguas muy tranquilas, la superficie se comporta de modo especular, con mayores de reflectancia muy variados en función de la localización del sensor. En el caso de las medidas tomadas con sensores espaciales, los valores resultan extremadamente bajos.

Estas variables dan como resultado que el comportamiento de la curva espectral tienda a ser bastante plana y de carácter ligeramente descendente.

2.7 Índices espectrales

La combinación de imágenes satelitales nos permite analizar elementos específicos de la superficie terrestre mediante los sensores incorporados en las plataformas aéreas como espaciales, las cuales tienen una serie de detectores y cada uno de ellos especializado en captar longitudes de onda de un determinado intervalo.

Como se ha explicado anteriormente en el literal de Espectrometría, las imágenes espectrales son generadas a partir de distintas tomadas simultáneamente (una por cada banda), denominándose a este conjunto, imágenes multiespectrales. Esto significa que para cada pixel o porción de terreno se toman n número de datos a partir de los cuales se genera una curva espectral por medio del comportamiento multiespectral que genera cada uno de los elementos que compone la superficie terrestre según sean las características fisicoquímicas, permitiendo la identificación y diferenciación de unos con otros.

Para conseguir esto se han desarrollado numerosos índices para la identificación del estado de las principales cubiertas (Vegetal, suelo y agua) según sea la necesidad y del área tratada. (Muñoz, 2006)

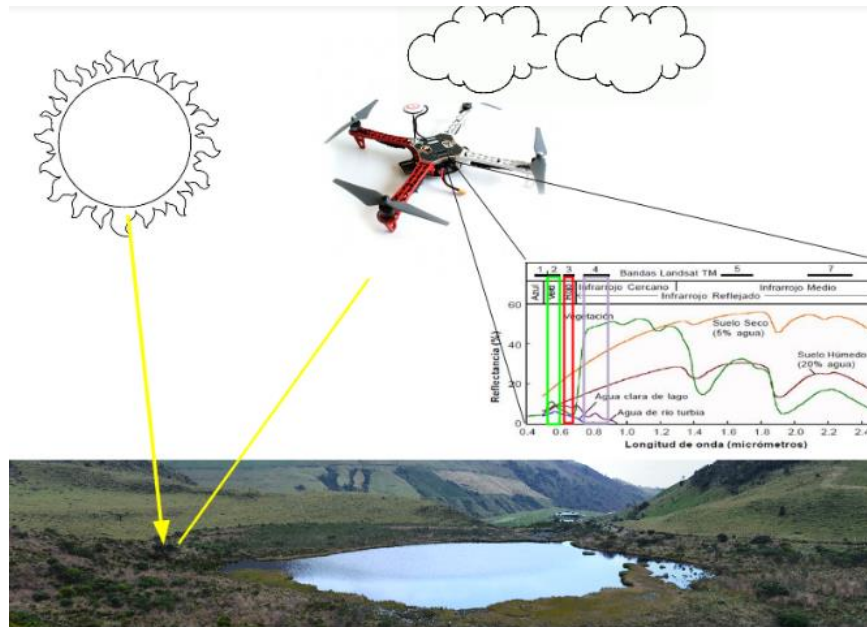


Ilustración 13 Proceso de captura de información por medio de la Teledetección utilizando un RPA

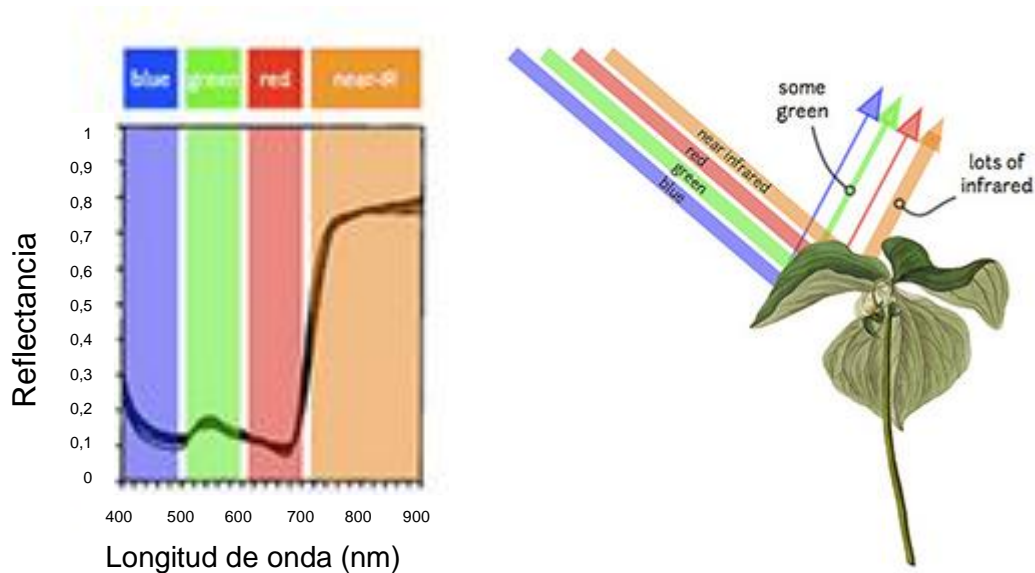
Fuente 14 Autoría propia.

2.7.3 Índice vegetal

Los índices de vegetación son medidas cuantitativas, basadas en los valores digitales, que tienen a medir la biomasa o vigor vegetal. Usualmente el índice de vegetación es producto de varios valores espectrales que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un simple valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un pixel. Altos valores de índices de vegetación identifican pixeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable.

Los índices de vegetación son parámetros calculados a partir de los valores de reflectividad a distintas longitudes de onda con el fin de obtener información relacionada con la vegetación, minimizando la influencia de otros factores externos como las propiedades ópticas del suelo, la irradiación solar, etc.

Evidentemente, el índice de vegetación ideal no existe, por lo que los índices documentados son aproximación al ideal, todo ellos basados en la utilización de las bandas rojas e infrarrojas, pues son las que contienen más del 90% de la información espectral de la cubierta vegetal. (alzate, 2005)



Fuente 15 <https://www.aeroeye.com.au/industries/agriculture/multispectral-imagery-and-vegetation-indices/>

Ilustración 14 Comportamiento de la energía al contacto de vegetación.

2.7.4 Índice de suelo

En la superficie terrestre el 70% está compuesta por vegetación, es por esto que las rocas y los suelos expuestos no son detectables directamente debido a la gran densidad vegetal que tapa esta superficie; es por ello que con el conocimiento de las curvas de reflectancia los suelos se diferencian de la vegetación por la presencia de materia orgánica y por el contenido de humedad que posee además de otros factores físicos como puede ser su textura y estructura. (Muñoz, 2006)

En rocas como en suelos la reflectancia aumenta según lo hace la longitud de onda desde el intervalo visible del espectro electromagnético al infrarrojo cercano. (Leon., 2016)

2.7.5 Índice de agua

La curva de reflectancia espectral característica del agua muestra una reducción general de la reflectancia de la longitud de onda donde las bandas visibles hasta desaparecer en su totalidad en el infrarrojo cercano siendo valor cero en agua clara y profunda.

La reflectancia del agua también se ve afecta por un fondo de arena clara proporcionando mayor reflectancia que otro cuerpo de agua compuesto por materia orgánica e inorgánica en disolución y en suspensión; este caso también se ve afectado por la profundidad del agua, pudiendo variar la curva anteriormente descrita. (Muñoz, 2006) es por esto que debido la escasa capacidad de penetración de la radiación, estas consideraciones sólo son válidas en aguas muy superficiales.

Este índice nos orienta para la identificación de la cantidad y extensiones de agua sean superficiales o profundas en un área en específica, utilizado fundamentalmente en los cultivos de precisión en las etapas intermedia y final del ciclo del cultivo. (Díaz García-Cervigón, 2015)

3 ESTADO DEL ARTE

Aunque la teledetección no es una herramienta común, diferentes áreas de investigación ha incorporado el uso de ella desde hace tiempo. Durante los últimos 5 años se han publicado revistas de ecología de alto impacto sobre la percepción remota, la mayoría utilizando información espectral para describir la variación en el espacio de la vegetación asumiendo una perspectiva holística de los sistemas ecológicos.

El uso más común de la teledetección suele estar asociado a las descripciones de tipos de cobertura de suelo inclinándose más en la cobertura vegetal ya que trae consigo un enorme impacto en el desarrollo de investigaciones ecológicas por la mejora en la caracterización de la heterogeneidad del paisaje y permite describir patrones espaciales de unidades eco sistémicas estructurales (distribución de tipos de vegetación, suelo, etc.)

La identificación de estos tipos de cobertura es un punto básico en la elaboración de hipótesis acerca de los controles de procesos ecológicos, y en el seguimiento de los cambios y usos de cobertura del suelo y agua. (Díaz García-Cervigón, 2015)

Desde la década de los setenta se viene implementando estudios temporales de temas medioambientales enfocados a la hidrológica por medio de cartografía de humedales permitiendo la identificación de masas de aguas, posible contaminación en ella, extensión, intensidad y variabilidad de los procesos contaminantes

En el año 2015 se llevó a cabo el estudio de “Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión”. Este estudio demostró que el empleo de la teledetección se ha visto condicionado por las limitaciones en cuanto a resolución espacial, espectral y temporal de imágenes disponibles, es por esto que la llegada de los RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) junto con el avance de los desarrollos de

los microsensores han dado un nuevo concepto a la teledetección de alta resolución donde se facilita la obtención de información, siendo además una solución económicamente viable en áreas de diferentes tamaños. (Díaz García-Cervigón, 2015)

Los vehículos aéreos no tripulados (UAS/RPAS), se han desarrollado en los últimos años como una nueva plataforma tremendamente versátil para la adquisición de imágenes remotas con multitud de aplicaciones en cartografía, termografía y Agricultura de Precisión. (Díaz García-Cervigón, 2015)

En el caso del recurso agua, la teledetección ha demostrado ser una herramienta de gran utilidad para aspectos relacionados con la gestión del agua desde pequeñas masas de agua hasta cuencas hidrográficas de una región, proporcionando información de la disponibilidad del recurso, el grado de explotación, calidad o evaluación de riesgos. (TYCGIS, s.f.)

En los suelos la teledetección realiza un papel importante al ser una herramienta útil para el estudio de la degradación y cambios de uso del suelo, los cuales han contribuido con la alteración morfológica y a la invasión, a menudo irreversible, de cauces, vasos lagunares y zonas inundables, representando un grave problema medio ambiental el cual debe ser abordado mediante información espacial actualizada. (Díaz García-Cervigón, 2015)

Con base a lo anterior, gracias a las diferentes coberturas que existen en la superficie terrestre y con ayuda de las firmas espectrales se han llegado a desarrollar aplicaciones asociadas a eventos como son la detección de áreas afectadas, los análisis post evento, prevención y la caracterización de las condiciones predisponentes. (Díaz García-Cervigón, 2015)

4 METODOLOGIA

4.2 Área de estudio

En el municipio de Villamaría (Caldas), se encuentra el complejo de humedales “El Ocho” y paramo de letras, que representa un lugar ecoturístico en la región contribuyendo al desarrollo económico en las visitas ecoturísticas que presta el humedal por sus claros paisajes, vegetación verde, cuerpos de agua en su esplendor también genera un deterioro paulatino según la intensidad de actividad que se presente y a los cambios de clima que se vivan en el humedal.

Es por ello que el conocimiento del estado del humedal “El Ocho” es muy importante ya que de esa manera se entiende que sucede en nuestros ecosistemas para así poder realizar una labor preventiva y educativa al mismo tiempo que se tienen bases científicas para tomar mejores decisiones con respecto al manejo que se les da a este tipo de ecosistemas.

Estos humedales cumplen funciones de regulación hídrica, recarga, retención de nutrientes y contaminantes, además de servir de hábitat a un gran número de especies tanto endémicas como migratorias. Sin embargo, a pesar de su alto valor, se encuentran afectados por la acción humana quienes tratan de incorporar estas áreas a los sistemas productivos, a través de procesos de desecación, contaminación y establecimiento de cultivos, trayendo como consecuencias la disminución de los caudales de los ríos, mayor contaminación, pérdida de biodiversidad, disminución de bienes y servicios ambientales, que repercute en el crecimiento y desarrollo del departamento. (Corpocaldas, 2016)

4.3 Selección de equipos

En el momento de seleccionar los equipos y considerando que es una necesidad el hacer la investigación sin intervenir el ecosistema a estudiar, la mejor opción fue la utilización de un RPAS, ya que es un instrumento liviano, ágil, silencioso y no invasivo en la naturaleza, además de contar con que sus repuestos son económicos, requiere baterías de fácil alcance y es de fácil manejo y transporte al lugar en donde se realiza el estudio.

Se comenzo con la identificacion de las características del humedal y del sector que se iba a estudiar, teniendo como objetivo conocer el estado del humedal mediante un metodo poco invasivo al ecosistema mediante la utilizacion de teledeteccion pasiva con el fin de no crear alteraciones a la flora y fauna.

Posterior a ello se debio considerar las características climaticas presentes en el área ya que durante el desenlace de los vuelos, los fuertes vientos y precipitaciones cortas pueden llegar a desestabilizar el RPA y obtener datos borrosos del lugar ademas de poder causar una colision en el piso que dañe algun elemento que lo compone.

Dado que la utilizacion de los RPA en la actualidad ha aumentado y es mucho mas accequible en costos y tamaños, ademas de utilizaciones comerciales, estos equipos pueden ser utilizados para fines mas importantes medio ambientalmente identificado estados de recursos naturales como son el agua, el suelo y la vegetacion identificando los cambios que pueden suceder en las diferentes áreas o transformaciones del ecosistema, como puede ser la transformación de las fuentes hídricas y los cambios significativos que pueda tener el suelo.

4.3.3 RPA

En el sector “El Ocho” se encuentran diversos cuerpos de agua y suelo expuesto, en el cual se pretende realizar estudios con la ayuda de RPA buscando preservar y mantener las áreas en su estado natural sin alterar su ecosistema, adquiriendo un monitoreo completo del aérea con imágenes espectrales, con el fin de identificar el comportamiento de estos compuestos por medio de las firmas espectrales sin tener contacto directo sobre él.

Para ello se utilizó un RPA F450 con controlador APM 2.6 de tipo cuadricoptero, para generar la sustentación necesaria. Este tipo de RPA brinda mayor estabilidad de vuelo y sus elementos mecánicos son más sencillos que los del tipo helicóptero (menor mantenimiento y menores posibilidades de averías) con las siguientes especificaciones.

Especificaciones:

- Peso del chasis F450: 282 g
- Distancia Diagonal entre ejes: 450 mm
- Peso máximo al despegue: de 800 g a 1600 g
- Hélices utilizadas: de 10 × 4.5"
- Batería: Turnigy de 3 Cell 11.1V, Litio-polímero (2200 mAh)
- Motor: 1000 kv
- ESC: 30A
- APM 2.6 controladora de vuelo 3DR
- GPS + Soporte
- 1 gimbal alex mos 2 ejes
- Telemetría: Radios 3DR 915 mhz

4.3.4 Cámara multispectral Tetracam micro

La cámara multispectral Tetracam micro permite la proyección de imágenes multispectrales a pequeños sistemas de RPAS, debido a su diseño compacto y su peso de 90 gramos; con estas características es ideal para ser transportada por un RPA y por tal motivo se implementó en la investigación

La cámara Tetracam ADC Micro cuenta con un almacenamiento estándar de 16 GB, procesamiento rápido en paralelo, bajo consumo de energía y configuración, control organizados por el menú sencillo. Además, que capturan longitudes de onda de luz visible de más de 520 nm y longitudes de onda cercanas al infrarrojo hasta 920 nm. Incluido dentro de la parte inferior de la unidad, la ADC Micro posee una lente de alta calidad de 8,43 mm. El objetivo enfoca la luz que entra en la cámara al sensor de imagen multi-espectral del sistema.

De esta manera la tecnología de espectrometría multi-espectral más pequeña de Tetracam hace que esta poderosa tecnología resulte práctica para uso de usuarios agrícolas, industriales y científicos de todo el mundo.

Las imágenes en el espectro infrarrojo, junto con las del espectro visible, son particularmente útiles en la evaluación de vegetación, dado que visualizan las concentraciones de clorofila en las hojas o tasas de actividad fotosintética, detectando procesos en los individuos tales como el stress en la vegetación producido por la presencia de plagas y enfermedades, falta de agua, problemas de suelos o baja de nutrientes (stress nutricional). (Díaz García-Cervigón, 2015)

4.3.5 Canales

En la tabla número 2 del Ítem Cámara Multiespectral se presentan las bandas espectrales con su longitud y color; cada una de estas bandas tiene un enfoque específico el cual se describe a continuación: (RS-GEOIMAGE , 2016)

- **Banda Verde:** Corresponde a la reflectancia del verde de la vegetación vigorosa o saludable. También es usada para la identificación de centros poblados.
- **Banda Rojo:** Es usada para la discriminación de tipos de vegetación ya que la absorbe la clorofila. Esta banda también determina los límites de suelos y delineaciones geológicas, así como modelos culturales.
- **Infrarrojo Cercano:** Determina la cantidad de biomasa presente en un área, enfatiza el contraste de zonas de agua-tierra, suelo-vegetación.

En la superficie terrestre donde se realizó la investigación por medio de la captura de información en forma de imágenes espectrales, las bandas y la combinación entre ellas ayudan en la identificación y estado de cada recurso expuesto en la zona. (Huayaney, Scrib, 2014)

4.3.6 Índices a Utilizar

Entre las técnicas derivadas del uso de datos satelitales multiespectral, se destacan el empleo de los índices espectrales. Estos índices están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las diferentes coberturas que existen en la superficie terrestre tanto así que sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espacio-temporales del comportamiento de los recursos.

Estos descubrimientos han permitido el desarrollo de diversas ecuaciones empíricas, en el caso de este estudio se utilizan los siguientes índices para la identificación de los cubiertos suelo y agua.

4.3.6.1 Índice de Vegetación Normalizada (NDVI)

El NDVI es un índice que permite la identificación de vegetación presente en la superficie junto con su distribución espacial. Para ello requiere el uso de la banda roja y la banda del infrarrojo cercano **la cual reduce la** (Díaz García-Cervigón, 2015)

Ecuación 1 Índice de Vegetación Normalizada.

$$NDVI = \frac{\text{Infrarrojo Cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Rojo}}$$

Dónde:

NDVI= Índice de vegetación de diferencia Normalizada

Infrarrojo Cercano= Infrarrojo cercano.

Rojo= Banda Roja

4.3.6.2 Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

El SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) es índice de los suelos, la cual observa la reflectividad en las bandas roja e infrarroja cercana que suelen cambiar simultáneamente cuando cambia las condiciones del suelo aumentando o disminuyendo, es decir, cuando un suelo este húmedo

refleja menos en el rojo, pero también menos en el Infrarrojo cercano y un suelo seco refleja más en ambas bandas. (Aguilar., 2014) (Díaz García-Cervigón, 2015)

SAVI nació de la necesidad de disminuir las alteraciones del valor del NDVI en aplicaciones en zonas áridas, ya que el mismo valor de NDVI puede corresponder a cubiertas vigorosas, pero poco densas, o a cubiertas densas, pero con poca vitalidad (INIA, 2010). Este Índice de vegetación ajustado al suelo se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 2 Índice de vegetación ajustada al suelo.

$$SAVI = \frac{\text{Infrarrojo Cercano} - \text{Rojo}}{\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Rojo} + L} (1 + L)$$

Dónde:

SAVI = Índice de vegetación ajustado al suelo

Infrarrojo Cercano = Infrarrojo cercano.

Rojo = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente a la banda roja

L = es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación, para densidades intermedias se toma 0,5 (Cosero., et al. 1998)

4.3.6.3 Índice justado al suelo transformado (TSAVI)

TSAVI es un indicador que fue diseñado para minimizar el efecto de fondo del suelo.

El concepto del TSAVI se basa en que el punto de convergencia está más cerca del origen que el de la SAVI. La mejora de la TSAVI sobre la SAVI fue tomar en cuenta la pendiente de la línea del suelo (X) e interceptar (i), mientras que la SAVI asumió que eran 1 y 0, respectivamente. (J. Qi, 1994)

Ecuación 3 Índice justado al suelo transformado (TSAVI)

$$TSAVI = a * \frac{\text{Infrarrojo Cercano} - (a * \text{Rojo}) - b}{(\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Rojo} - a * b + X(1 + a^2))}$$

Donde:

TSAVI= Índice de Vegetación Ajustado de Suelo Optimizado Verde

Infrarrojo cercano= Infrarrojo cercano.

Rojo= Banda roja.

a= 1,22

b=0,03

X= 0,08

4.3.6.4 Índice de Vegetación Ajustado de Suelo Optimizado Verde (OSAVI)

Este índice se basa en el índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI). **Utiliza un valor estándar de 0,16.** Roudeaux, determina que este calor proporciona mayor variación del suelo que salvado para

una cubierta de vegetación baja, mientras que demostrar la mayor sensibilidad a la vegetación cubrirá más del 50%. Este índice se utiliza mejor en áreas con vegetación realmente poca donde el suelo es visible. (Harris Geospatial, 2017)

Ecuación 4 Índice de Vegetación Ajustado de Suelo Optimizado Verde

$$OSAVI = \frac{\text{Infrarrojo Cercano} - \text{Verde}}{\text{Infrarrojo Cercano} + \text{Verde} + Y}$$

Donde:

Infrarrojo cercano= Infrarrojo cercano.

Verde= Banda verde.

Y= Constante 0,16

4.3.6.5 Índices de estrés de la enfermedad y el agua (DSWI)

Este índice se creó para proporcionar un marco sistemático en la formulación y la evaluación de la detección de enfermedades en la vegetación.

Ecuación 5 Índices de estrés de la enfermedad y el agua (DSWI).

$$DSWI = \frac{\text{Verde}}{\text{Rojo}}$$

Dónde:

DSWI = índice de estrés de la enfermedad y el agua.

Verde = Banda verde.

Rojo= Banda Roja.

4.4 Recorrido de campo:

El recorrido de campo se realizó en las siguientes etapas.

4.4.3 Planificación De Vuelos

Previo a la planificación de los vuelos se analizaron los equipos y herramientas necesarias para desempeñar la actividad en el complejo de humedales “El Ocho”, para ello se requirió el uso de un RPAS, un computador portátil dotado del software desempeñado para la labor, un sistema GPS, repuestos en baterías, hélices, targets, etc.

Una vez identificados todos los equipos a utilizar se dirige a la zona de la realización de este trabajo de grado a primera hora del día, se instala en la zona y se comienza con los vuelos en el área que por medio y con ayuda de los programas instalados en el computador, se indica los puntos de barrido que el RPA volara en busca de la captura de información.

4.4.4 Toma de Imágenes

Para la realización de la toma de las imágenes se utilizan un RPA, targets, GPS; y se realizó la siguiente secuencia:

1. Ubicar los dos tipos de targets (radiométrico y geo-referenciación) estratégicamente sobre la zona por donde el RPA realizara el barrido;
2. Posteriormente se procede a ubicar el RPA con la cámara multiespectral Tetracam micro y el sistema GPS especial para la navegación de la aeronave previamente instalada, la sobre una superficie sin inclinaciones y sin vegetación elevada.

3. Se procede a elevar el RPA mediante vuelo manual el cual le dará un mejor control sobre los movimientos del aparato hasta que alcance la altitud deseada
4. Una vez así, desde el computador se cambia a modo automático, donde comenzara el barrido de los puntos establecidos anteriormente tomando capturas de imágenes cada 3-5 segundos almacenando la información en la misma cámara.
5. Una vez se finalice el recorrido hasta el último punto geo referenciado, desde la computadora se cambiara de modo automático a manual para permitir que el piloto tenga un mejor cuidado en el momento de aterrizar el aparato, garantizando un mejor aterrizaje.
6. Estos vuelos se pueden realizar más de una vez según sean las condiciones climáticas del lugar, las condiciones del terreno o la batería del RPA lo permitan.



Ilustración 15 Target, RPAS y GPS utilizados en campo.

4.4.5 Geo-referenciación de los puntos de las coberturas.

En la zona a estudiar, el complejo de humedales “El Ocho” se sobrevoló el RPA equipado con la cámara multiespectra, la cual pudo detectar presencia de agua (Ilustración 16) y suelo expuesto (Ilustración 17) que se encontraba en el área.



Ilustración 16 Cuerpo de agua y vegetación presente en el área de estudio



Ilustración 17 Cobertura vegetal y suelo expuesto en el área de estudio.

4.4.6 Procesamiento:

El proceso seleccionado para la realización de las curvas espectrales se basa en la utilización de software los cuales nos ayudaran en la conversión y traficación de los niveles espectrales como lo muestra el siguiente diagrama:

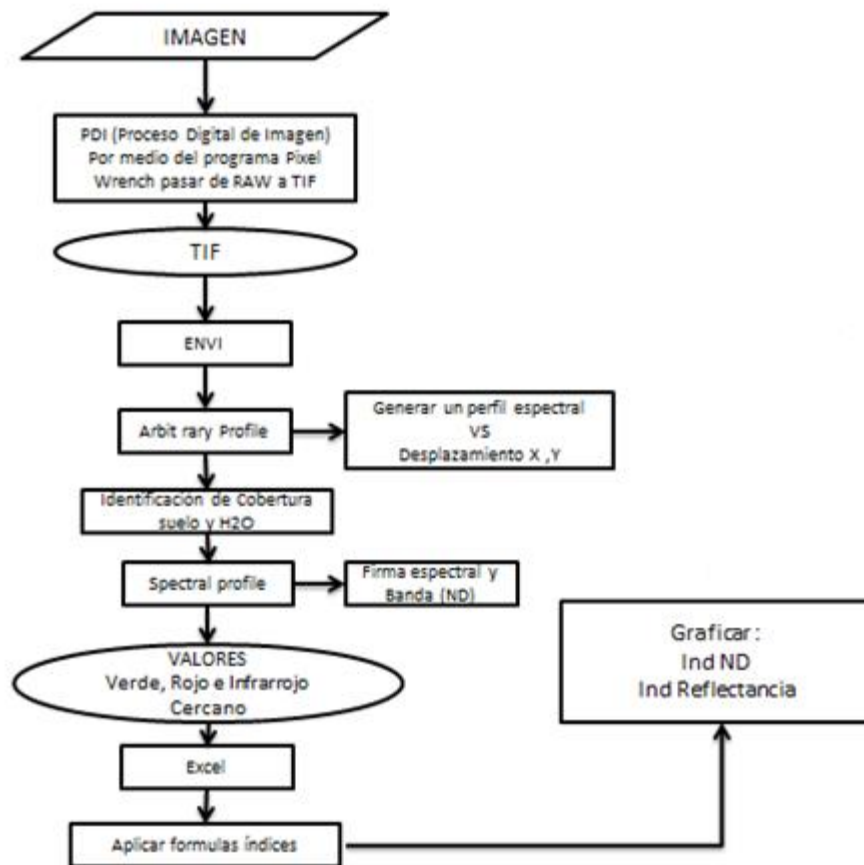


Diagrama 1 Flujo grama del trabajo con Software.

PixelWrench2

Una vez con las imágenes descargadas desde la Cámara Tetracam Micro, las cuales se encuentran en formato RAW, al computador ingresamos al software de

Tetracam PixelWrench2 para pasarlas a formato TIF. Este proceso se realizó de la siguiente manera:

- a. Una vez dentro del programa nos dirigimos a la parte superior izquierda, se entra a la pestaña de *File (Fila)* y se da click en *Open (Abrir)*.

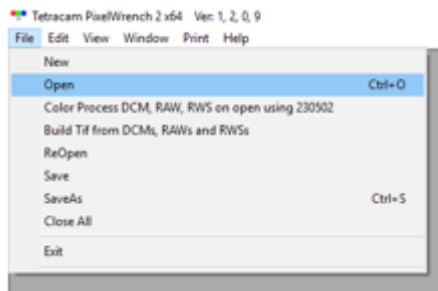


Ilustración 18 Visualización de la pestaña File en selección de la opción Open.

- b. Posterior a ello se abre una pestaña donde se da a elegir la selección de archivos en formato RAW. Se selecciona una de las imágenes tomadas en las subidas de campo y se da aceptar.

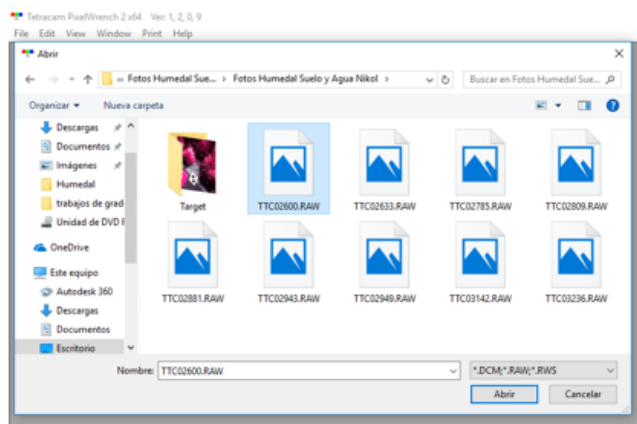


Ilustración 19 Ventana para elegir la imagen.

- c. La imagen abre en colores de grises, lo cual es normal. Una vez allí se dirige a la pestaña View(vista) y se da click Index Tools (herramienta de índices)

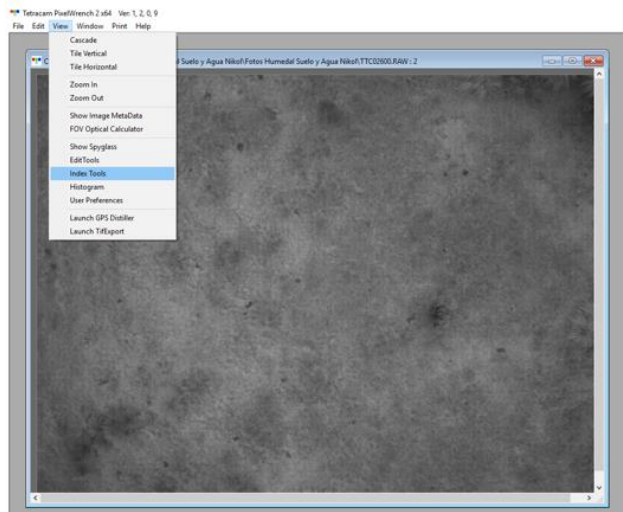


Ilustración 20 Visualización de la pestaña View y selección de la opción Index Tools

- d. Allí se abre una nueva ventana donde en ella nos dirigimos a la pestaña Batch (lote) y seleccionamos en tipo de imágenes a salvar imágenes originales porque no la queremos cambiar, solo se cambiara el forma y se guarda en la carpeta que se seleccione.

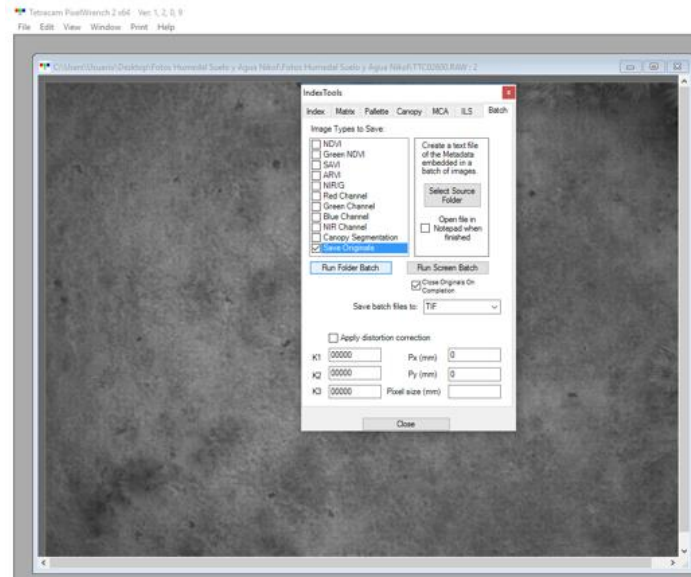


Ilustración 21 Visualización de la ventana de Inder Tools

Este primero proceso se realizó a cada una de las fotos que se analizaron en el para el estudio.

Demo Envi Gratuito

Una vez se pasen las fotos de formato Raw a Tif se abre el software Demo Envi Gratioto.

- a. Una vez abierto el Software Envi nos dirigimos a la parte superior izquierda, seleccionamos la pestaña *File* y damos click en la opción de *Open*.

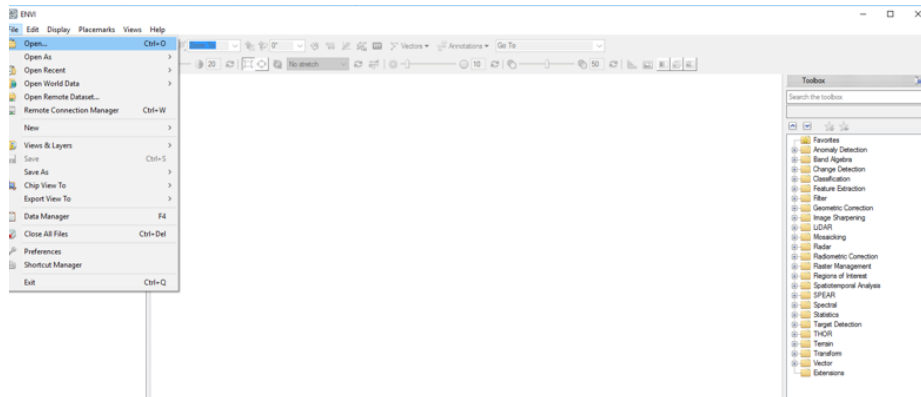


Ilustración 22 Visualización Software Envi, pestaña Fie.

- b. Posterior a ello se abre una pestaña donde se busca la carpeta donde quedaron guardadas las imágenes convertidas en formato TIF, se selecciona una y se da *Abrir*.

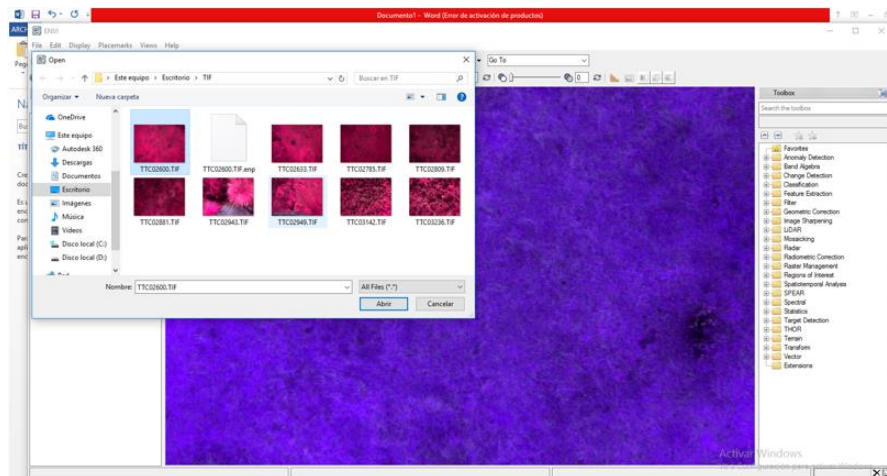


Ilustración 23 Visualización de la ventana emergente para seleccionar la imagen en formato TIF.

- c. Cuando la imagen se abre se muestra en tonos azules, esto se debe a que el software la abre en que la Banda 3 la toma como Banda roja, la Banda 2 en Banda azul y la Banda 1 como Banda verde.

Es en este punto donde es muy importante reconocer que banda pertenece en cada cañón de las especificaciones de la cámara Tetracam.

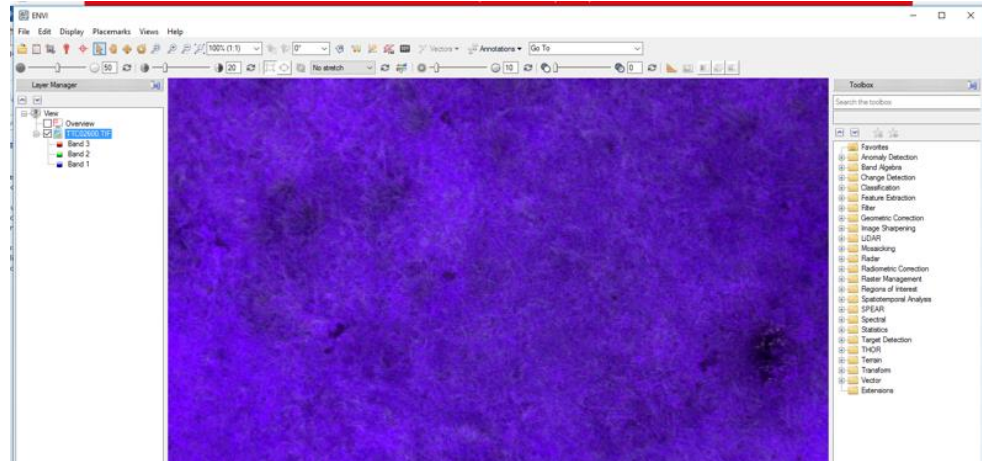


Ilustración 24 Visualización de la imagen al subirse

- d. Para seleccionar en el debido orden se dirige a la imagen, click derecho y se despliega una lista donde se selecciona *Change RGB Bands...* (Cambiar RGB bandas)

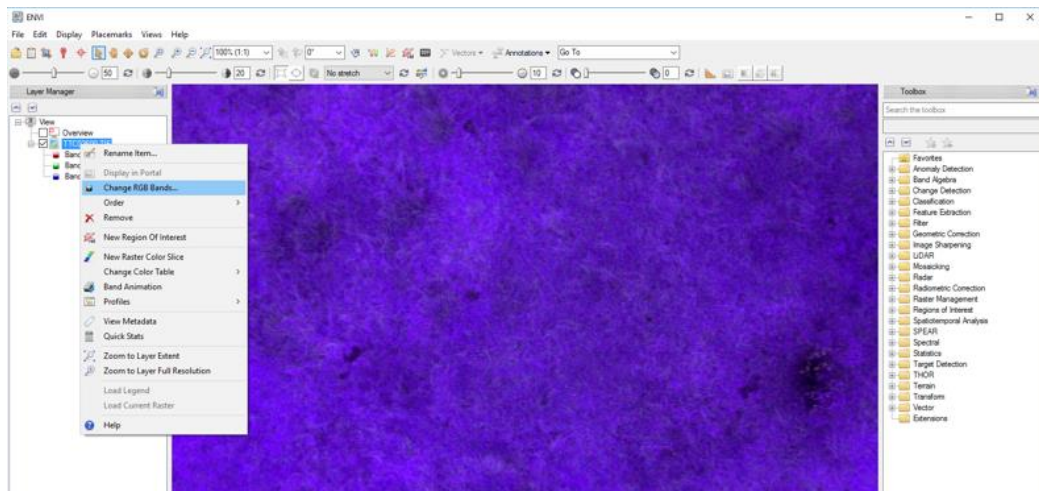


Ilustración 25 Visualización de la opción de Change RGB Bands...

- e. Una vez se haga click se abrirá una ventana nueva, en la cual se da la opción de cambiar la composición del orden de las bandas que se muestran. Se conoce que la imagen va a aparecer en 3-2-1, por ello se acomoda las bandas; donde da como resultado que el Infrarrojo cercano queda en la Banda 1, la Banda roja queda en la banda 2 y la Banda verde queda en la banda 3, dándole un color rojizo a la imagen.

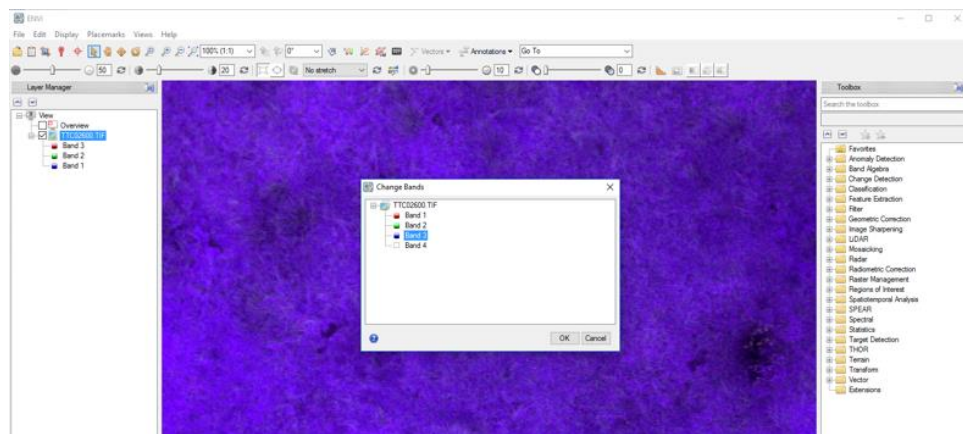


Ilustración 26 Visualización para el cambio de la composición de las bandas.

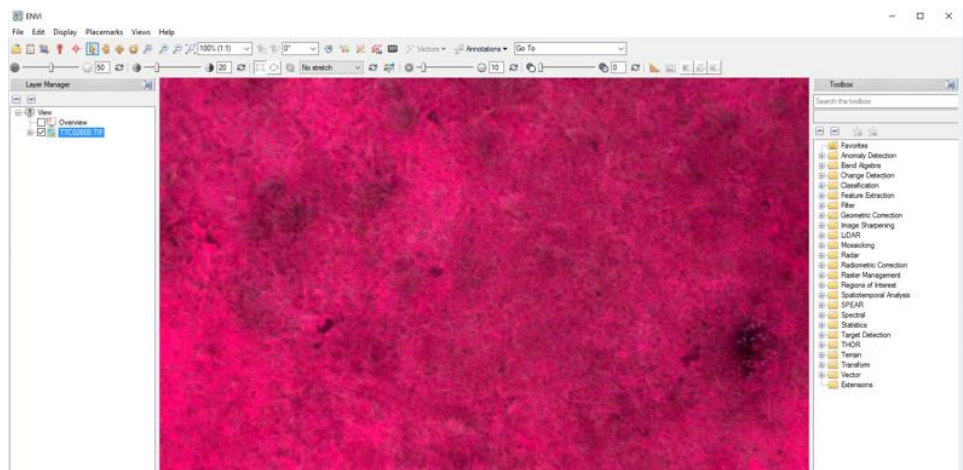


Ilustración 27 Visualización de resultado del cambio en la composición de las bandas

- f. Posterior a eso, nos dirigimos a la herramienta *Arbitrary Profile* de la parte superior central de la ventana y se selecciona.



Ilustración 28 Visualización de la herramienta Arbitrary profile.

- g. Esta herramienta nos permite realizar un trazo sobre la imagen, realizando un recorrido en las partes donde se considere que se puede encontrar agua o suelo.

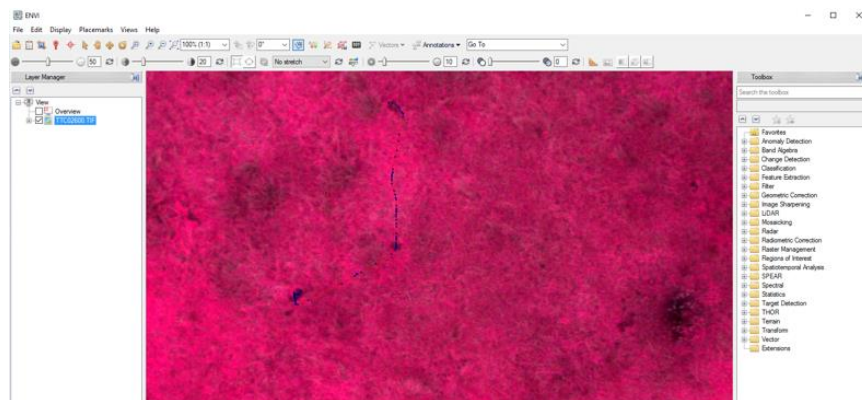


Ilustración 29 Visualización del trazo de la herramienta Arbitrary Profile

- h. Una vez se termine el trazo se hace doble click y se abre una ventana donde se muestra los tres cañones (Infrarrojo, rojo y verde). Los elementos agua y suelo representan una baja reflectividad más bajos son los de entrar en la identificación.

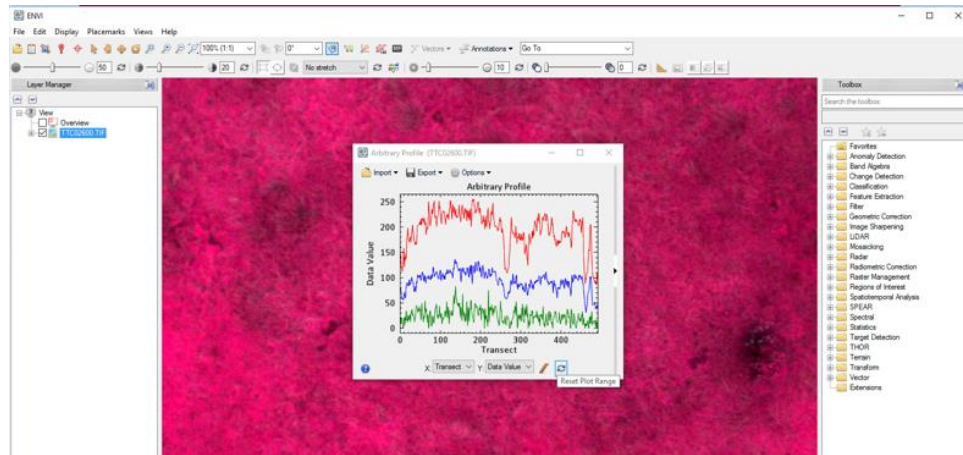


Ilustración 30 Visualización de la gráfica que muestra los tres cañones.

- i. Para mayor ayuda en la identificación, se abre la herramienta *Spectro profile*, esta herramienta muestra la curva espectral que tiene cada banda en el punto o pico que se halla en la primera gráfica.

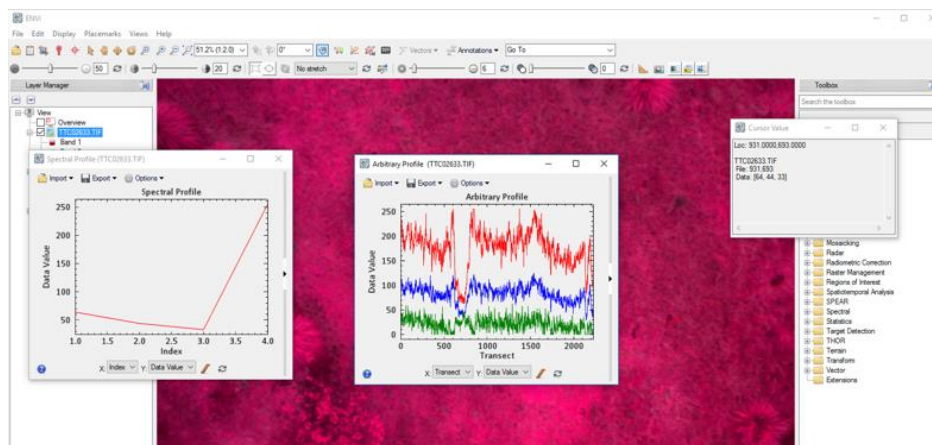


Ilustración 31 Visualización de la curva espectral por la Herramienta Spectral profile

5 ANALISIS Y RESULTADO

En este capítulo se realizara los análisis y resultados obtenidos de la salida de campos, por medio de los niveles digitales se analizara la firma espectral de cinco imágenes seleccionadas donde se identificara un cuerpo agua y un suelo expuesto por cada una de ellas mediante el software ENVI.

Imagen 1

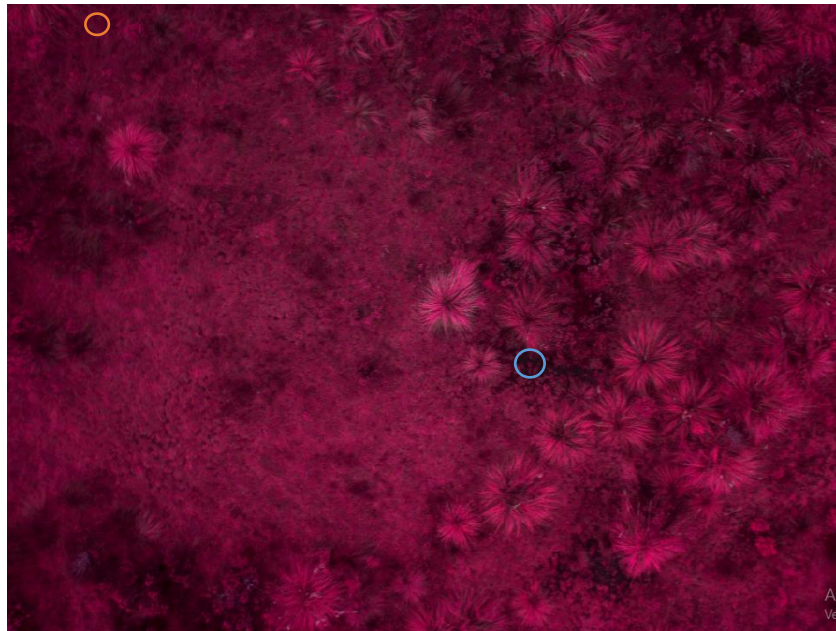
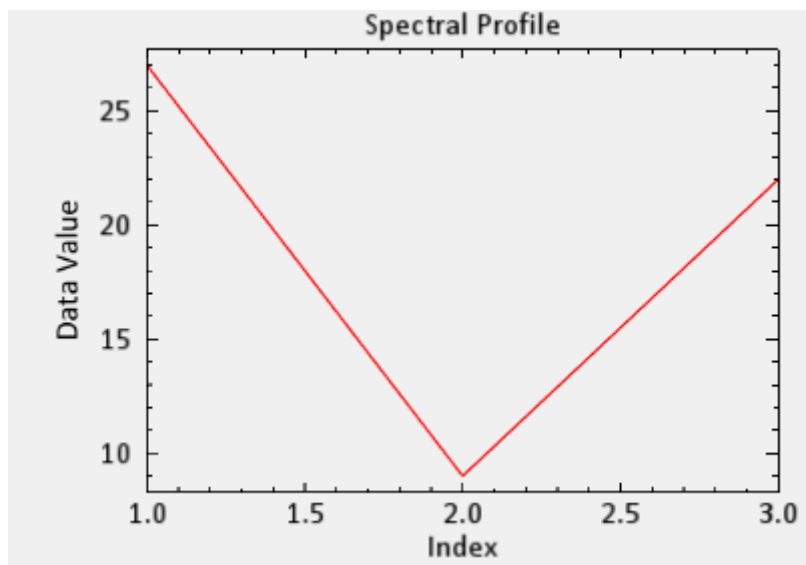


Ilustración 32 TTC02809

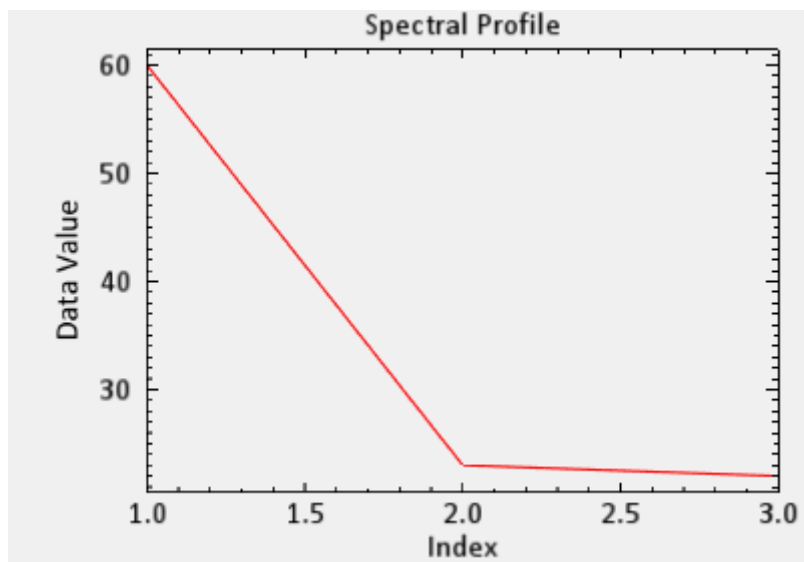


Grafica 1 Curva de agua de la imagen TTC02809

Tabla 3 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2809

IMAGEN		TTC02809
TIPO		Agua
FILA		1371
COLUMNA		898
INFRAROJO CERCANO		27
VERDE		9
ROJO		22
VEGETACION	NDVI	0,1
AGUA	DSWI	0,41

Tabla 4 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2809



Grafica 2 Curva de suelo de la imagen TTC02809

IMAGEN		TTC02809
TIPO		Suelo
FILA		381
COLUMNA		258
INFRAROJO CERCANO		60
VERDE		23
ROJO		22
VEGETACIÓN	NDVI	0,46
SUELO	SAVI	0,69
	TSAVI	0,49
	OSAVI	0,44

En la Ilustración 32 TTC02809 se visualiza una imagen a falso color (NIR 1.0, Verde 2.0, Rojo 3.0) donde se aprecian las coberturas típicas del humedal, después de realizar un proceso de espectro transec se ubicaron pixeles con características típicas de las curvas de suelo y agua, los pixeles seleccionados se visualizan por medio de los círculos (azul para agua y naranja para suelo).

Una vez extraída esta información de la imagen se procedió a aplicar los índices de suelo en el numeral “3, 3,6 *Índices a Utilizar*” estos índices nos dan valores consistentes con lo esperado:

NDVI: Este índice nos permite separa las coberturas de vegetación y no vegetación (agua y suelo) en la literatura se cita que cuando los valores son inferiores a 0 no existe presencia de vegetación.

SAVI: al igual que NDVI es un indicador de vegetación pero por ser resistente al suelo nos permite discriminar con facilidad cuando hay presencia de suelo por sus bajos valores.

TSAVI: Este indicador se basa en que el punto de convergencia está más cerca del origen que el de la SAVI, minimizando el efecto de fondo del suelo.

OSAVI: Este índice se utiliza mejor en áreas con vegetación realmente poca donde el suelo es visible.

GNDVI: mide la actividad fotosintética de la planta

DSWI: Proporciona un marco sistemático en la formulación y la evaluación de la detección de enfermedades en la vegetación.

- **AGUA:** La curva espectral de la Gráfica 1 referente a curva de agua, el ecosistema de paramo al ser un ecosistema que presenta gran cantidad de vida en sus especies vegetales no permite identificar pixeles puros de elementos sin respuesta espectral de clorofila, un ejemplo de esto lo

encontramos al analizar los pixeles de agua donde el agua tiene una respuesta espectral imitando la curva espectral de la vegetación pero se puede distinguir que no es vegetación pura a partir de los niveles de vegetación, ya que son muy bajos a comparación de la respuesta de vegetación adyacente, esta respuesta se puede generar porque el agua puede tener plantas acuáticas. Por esto el índice NDVI se acerca a 0 y los índices de GNDVI y DSWI nos muestran una respuesta baja. Rescatando la presencia de agua en las regiones de interés,

- **SUELO:** La curva espectral de la Gráfica 2 referente a curva de suelo se genera a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 32 TTC02809; la curva presenta un comportamiento típico de las curvas de suelo. (Ver Ilustración 11 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.)

Basado en los resultados de la Ilustración 32 TTC02809 como se había dicho en los párrafos anteriores entre más bajos sean los niveles del NDVI significa que existe poca vegetación presente en el área ya que dio valores de 0,46, lo que permite que el índice SAVI se mue

va a un nivel más superior en valores 0,69, logrando la identificación de un porcentaje de suelo expuesto en el área tomando la firma espectral correspondiente a este recurso.

Por medio de los índices también podemos deducir que es difícil encontrar áreas de suelo puro ya que la humedad existente en la región tan pronto el suelo es expuesto inicia proceso de colonización por individuos con respuesta de clorofila (Vegetales, musgos, algas, etc), por este motivo el infrarrojo

muestra en incremento en su curva pero su s niveles digitales siguen siendo bajos.

Imagen 2:

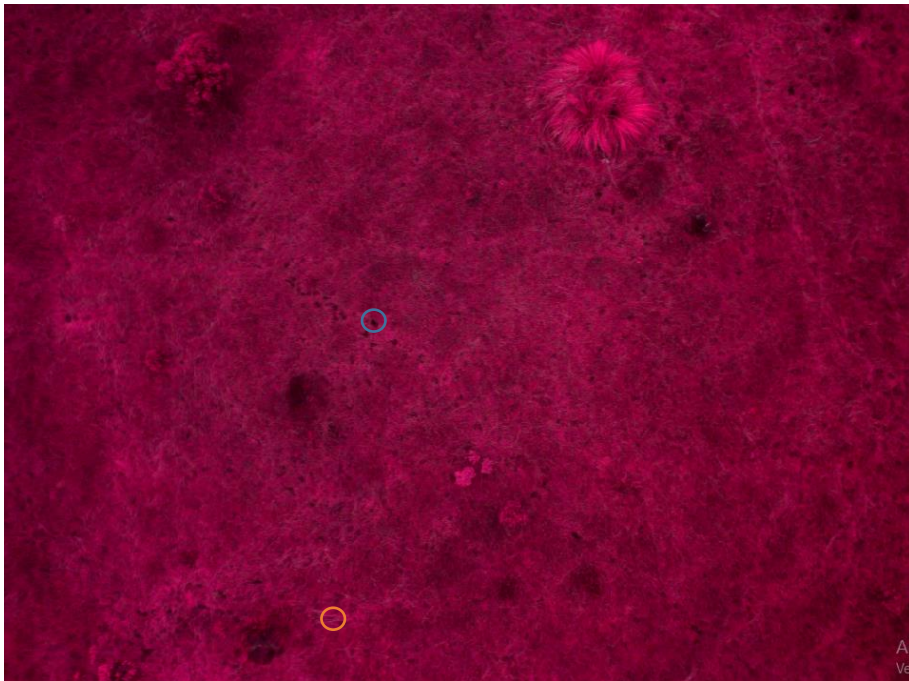
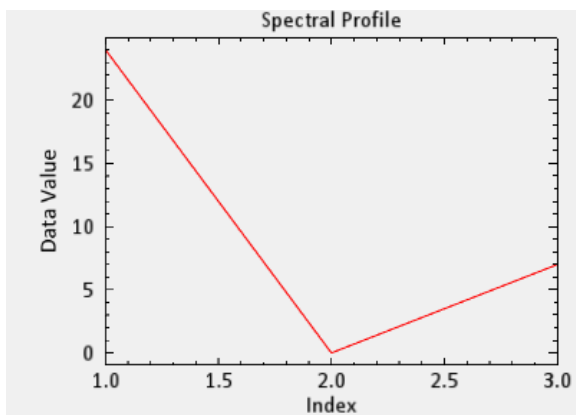


Ilustración 33 TTC02785

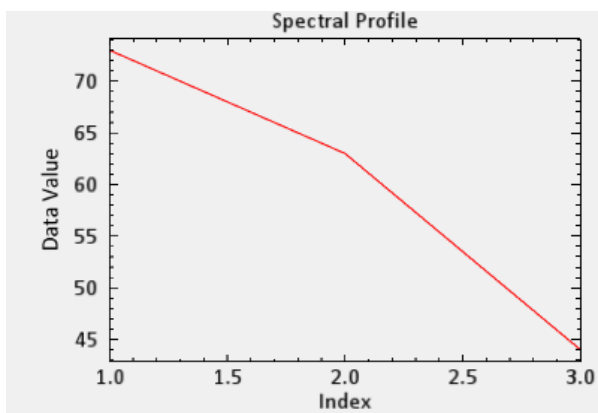
Tabla 5 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2785



Grafica 3 Curva de agua, Imagen TTC02785

IMAGEN		TTC02785
TIPO		Agua
FILA		834
COLUMNA		721
INFRAROJO CERCANO		24
VERDE		0
ROJO		7
VEGETACION	NDVI	0,55
AGUA	DSWI	0

Tabla 6 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2785



Grafica 4 Curva de suelo, Imagen TTC02785

IMAGEN		TTC02785
TIPO		Suelo
FILA		1563
COLUMNA		482
INFRAROJO CERCANO		73
VERDE		63
ROJO		44
VEGETACIÓN	NDVI	0,25
SUELO	SAVI	0,37
	TSAVI	0,20
	OSAVI	0,07

Aparentemente por tonalidades la imagen presenta pequeños cuerpos de agua en el área al igual que vegetación corta y dañada.

- **AGUA:** La curva espectral de la Grafica 3 referente a curva de agua identificada a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 33 TTC02785; la curva presenta un comportamiento atípico de las curvas de agua. (Ver Ilustración 12 Comparación de curva espectral de agua)

Al dar como resultado por el Índice NDVI 0,55 se identifica que existe gran cantidad de vegetación presente en el fondo del espejo de agua, lo que causa que el infrarrojo se incremente y se genere un resultado de 1.

- **SUELO:** La curva espectral de la Grafica 4 referente a curva de suelo se genera a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 33 TTC02785; la curva presenta un comportamiento típico de las curvas de suelo. (Ver Ilustración 11 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.)

Basado en los resultados de la Ilustración 33 TTC02785 los valores del NDVI dieron un resultado de 0,25 siendo este mucho menor al SAVI que da 0,37, esto significa que en la zona presenta escasa vegetación en el área, logrando identificar suelo expuesto generado a aparentemente por ser un sendero utilizado animales y/o personas.

Como se presentó en la imagen anterior por medio de los índices podemos deducir que el infrarrojo se muestra en incremento debido a que esta zona muy escasamente se encuentra suelo expuesto, ya que cualquier suelo que se encuentre expuesto es absorbido inmediatamente por la vegetación.

Imagen 3:

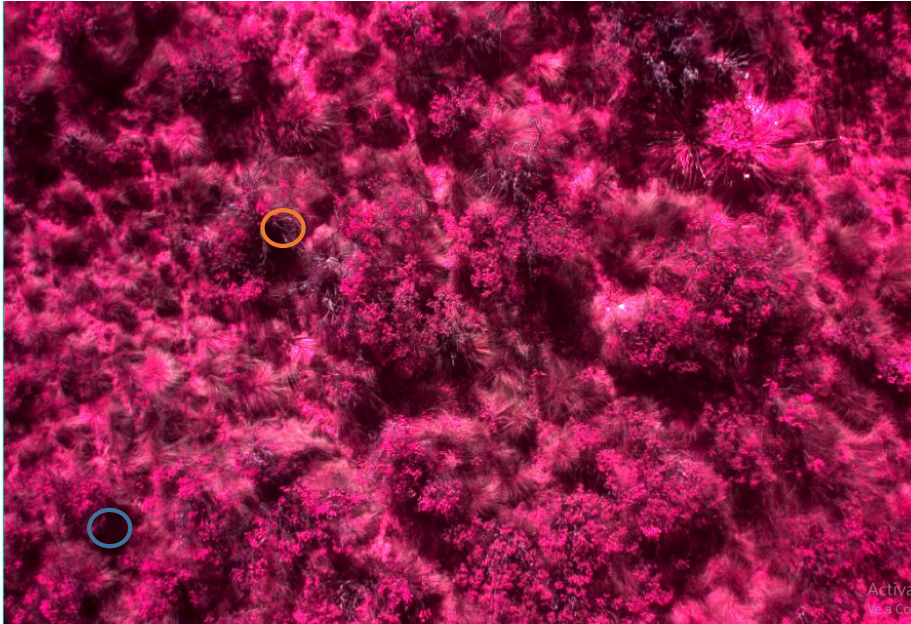
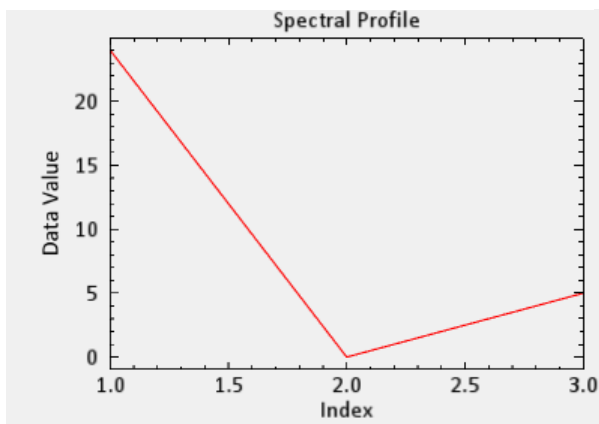


Ilustración 34 TTC03236

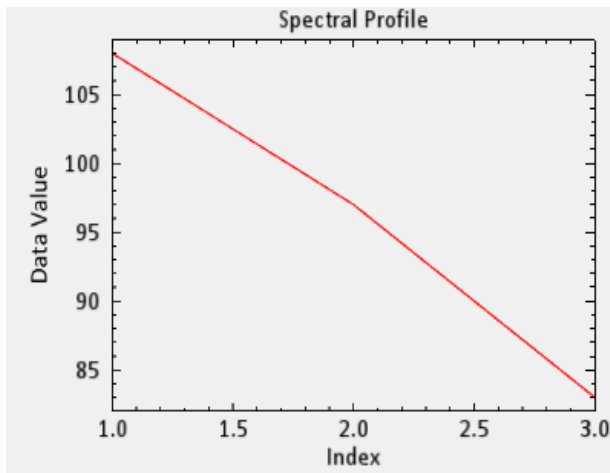


Grafica 5 Curva agua, Imagen TTC03236

Tabla 7 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 3236

IMAGEN	TTC03236	
TIPO	Agua	
FILA	806	
COLUMNA	1020	
INFRAROJO CERCANO	24	
VERDE	0	
ROJO	5	
VEGETACION	NDVI	0,66
AGUA	DSWI	0

Tabla 8 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 3236



Grafica 6 Curva suelo, Imagen TTC03236

IMAGEN		TTC03236
TIPO		Suelo
FILA		583
COLUMNA		682
INFRAROJO CERCANO		108
VERDE		97
ROJO		83
VEGETACIÓN	NDVI	0,13
SUELO	SAVI	0,20
	TSAVI	0,04
	OSAVI	0,05

Aparentemente por tonalidades la imagen presenta muy escasos cuerpos de agua pero se logran identificar por las tonalidades negras al lado de la vegetación la cual se muestra muy tupida y alta en el área.

- **AGUA:** La curva espectral de la Grafica 5 referente a curva de agua identificada a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 34 TTC03236; la curva presenta un comportamiento atípico de las curvas de agua. (Ver Ilustración 12 Comparación de curva espectral de agua)

Al dar como resultado por el Índice NDVI 0,66 se identifica que existe gran menor cantidad de vegetación presente en el fondo del espejo de agua, lo que causa que el infrarrojo se incremente.

- **SUELO:** La curva espectral de la Grafica 6 referente a curva de suelo se genera a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 34 TTC03236; la curva presenta un comportamiento atípico de las curvas de suelo. (Ver Ilustración 11 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.)

Basado en los resultados de la Ilustración 34 TTC03236 los valores del NDVI dieron un resultado de 0,13 mostrando de nuevo la poca vegetación que se identifica en el punto donde se encuentra suelo, aunque el infrarrojo tomo un comportamiento muy elevado se indaga sobre el tipo de suelo que puede tomar ese comportamiento y se determina que en ese punto existe suelo de tipo arena.

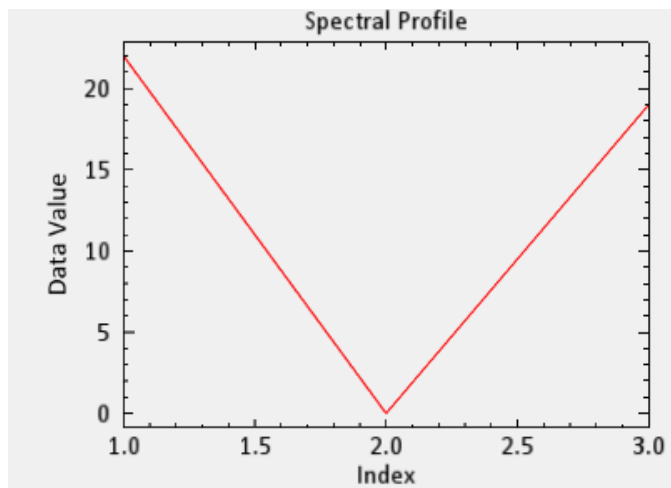
Como se presentó en la imagen anterior por medio de los índices podemos deducir que el infrarrojo se muestra en incremento debido a que esta zona muy escasamente se encuentra suelo expuesto, ya que cualquier suelo que se encuentre expuesto es absorbido inmediatamente por la vegetación.

Imagen 4:



Ilustración 35 TTC02949

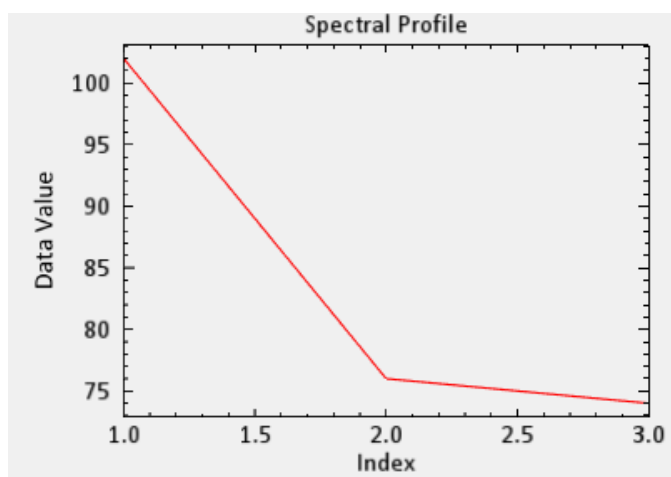
Tabla 9 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2949



Grafica 7 Curva de agua, Imagen TTC02949

IMAGEN		TTC02949
TIPO		Agua
FILA		530
COLUMNA		923
INFRAROJO CERCANO		22
VERDE		0
ROJO		19
VEGETACION	NDVI	0,07
AGUA	DSWI	0

Tabla 10 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2949



Grafica 8 Curva de suelo, TTC02949

IMAGEN		TTC02949
TIPO		Suelo
FILA		301
COLUMNA		1029
INFRAROJO CERCANO		102
VERDE		76
ROJO		74
VEGETACIÓN	NDVI	0,16
SUELO	SAVI	0,24
	TSAVI	0,08
	OSAVI	0,15

Aparentemente por tonalidades la imagen presenta muy escasos cuerpos de agua pero se logran identificar por las tonalidades negras al lado de la vegetación la cual se muestra muy vigorosa y densa en el área.

- **AGUA:** La curva espectral de la Grafica 7 referente a curva de agua identificada a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 35 TTC02949; la curva presenta un comportamiento atípico de las curvas de agua. (Ver Ilustración 12 Comparación de curva espectral de agua)

Al dar como resultado por el Índice NDVI 0,07 se identifica que existe gran menor cantidad de vegetación presente en el fondo del espejo de agua, lo que causa que el infrarrojo se incremente

- **SUELO:** La curva espectral de la Grafica 8 referente a curva de suelo se genera a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 35 TTC02949; la curva presenta un comportamiento típico de las curvas de suelo. (Ver Ilustración 11 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.)

Basado en los resultados de la Ilustración 35 TTC02949 los valores del NDVI dieron un resultado de 0,16 siendo este menor que el índice SAVE que identifica suelo en un valor de 0,24 esto significa que en la zona ahí escasa presencia de vegetación vigorosa, logrando identificar porcentaje de suelo expuesto en él un aparente sendero que ahí en el terreno.

Como se presentó en la imagen anterior por medio de los índices podemos deducir que el infrarrojo se muestra en incremento debido a que esta zona muy escasamente se encuentra suelo expuesto, ya que cualquier suelo que se encuentre expuesto es absorbido inmediatamente por la vegetación.

Imagen 5.

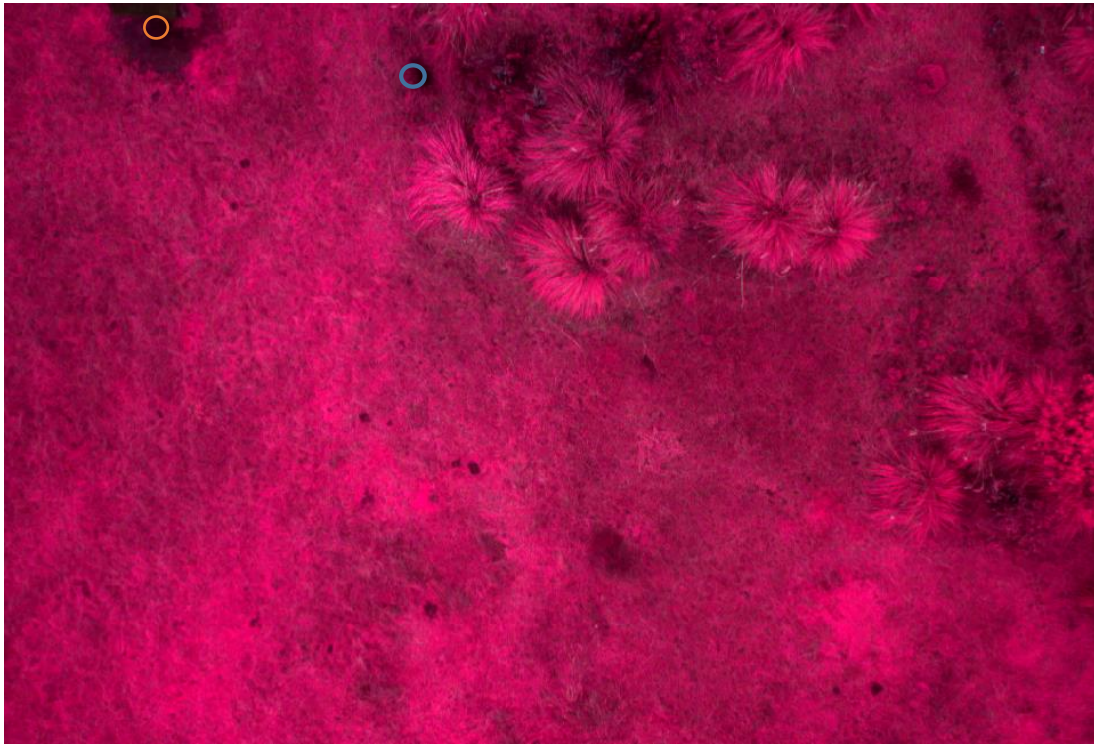
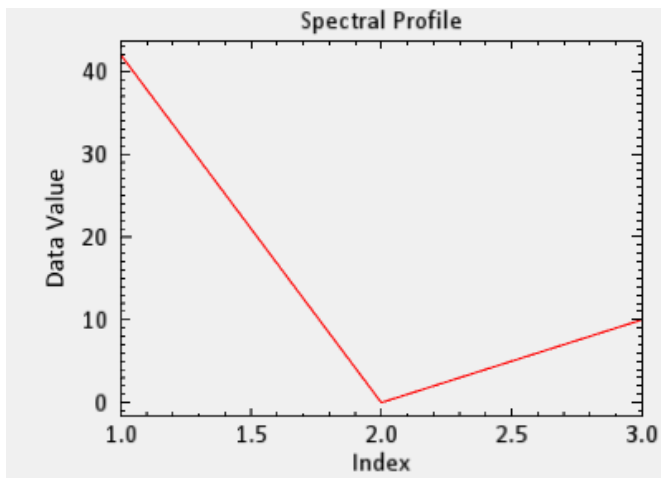


Ilustración 36 TTC02603

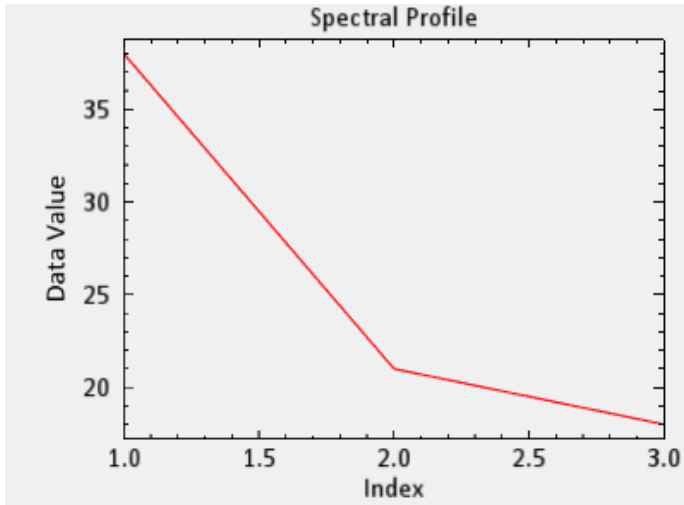
Tabla 11 Valores espectrales del agua, puntos en la Imagen 2603



Grafica 9 Curva espectral agua, imagen TTC02603

IMAGEN		TTC02603
TIPO		Agua
FILA		772
COLUMNA		127
INFRAROJO CERCANO		24
VERDE		0
ROJO		10
VEGETACION	NDVI	0,41
AGUA	DSWI	0

Tabla 12 Valores espectrales del suelo, puntos en la Imagen 2603



Grafica 10 Curva espectral del suelo, Imagen TTC02603

IMAGEN		TTC02603
TIPO		Suelo
FILA		242
COLUMNA		4
INFRAROJO CERCANO		35
VERDE		18
ROJO		14
VEGETACIÓN	NDVI	0,43
SUELO	SAVI	0,64
	TSAVI	0,44
	OSAVI	0,32

Aparentemente por tonalidades la imagen presenta muy escasos cuerpos de agua pero se logran identificar por las tonalidades negras al lado de la vegetación la cual se muestra escasa y poco densa en el área.

- **AGUA:** La curva espectral de la Grafica 9 referente a curva de agua identificada a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 36 TC02603; la curva presenta un comportamiento atípico de las curvas de agua. (Ver Ilustración 12 Comparación de curva espectral de agua)

Al dar como resultado por el Índice NDVI 0,07 se identifica que existe gran menor cantidad de vegetación presente en el fondo del espejo de agua, lo que causa que el infrarrojo se incremente y se genere un resultado de 1 en el índice GSVI lo que significa que.

- **SUELO:** La curva espectral de la Grafica 10 referente a curva de suelo se genera a partir de unos niveles digitales de la Ilustración 36 TTC02603; la

curva presenta un comportamiento típico de las curvas de suelo. (Ver Ilustración 11 Comparación de curva espectral de suelo húmedo a suelo con poca humedad.)

Basado en los resultados de la Ilustración 36 TTC02603 los valores del NDVI dieron un resultado de 0,43 siendo este menor que el índice SAVI que identifica suelo en un valor de 0,64 esto significa que en la zona ahí escasa presencia de vegetación vigorosa o densa en el área, logrando identificar porcentaje de suelo expuesto en él un aparente sendero que ahí en el terreno.

Como se presentó en la imagen anterior por medio de los índices podemos deducir que el infrarrojo se muestra en incremento debido a que esta zona muy escasamente se encuentra suelo expuesto, ya que cualquier suelo que se encuentre expuesto es absorbido inmediatamente por la vegetación.

Tabla 13 Resultados generales de las imágenes.

IMAGEN	TIPO	FILAS	COLUMNA	INFRAROJO CERCANO	VERDE	ROJO	SUELO			AGUA
							SAVI	TSAMI	OSAMI	DSWI
TTC02785	Suelo	1563	482	73	63	44	0,37	0,20	0,07	0,00
TTC03236	Suelo	583	682	108	97	83	0,20	0,04	0,05	0,00
TTC02809	Suelo	381	258	60	23	22	0,69	0,49	0,44	0,41
TTC02949	Suelo	301	1029	102	76	74	0,24	0,08	0,15	0,00
TTC02603	Suelo	242	4	35	18	14	0,64	0,44	0,32	0,00

El anterior cuadro es un comparativo de las 5 diferentes imágenes que se analizaron para determinar la presencia de cuerpos de agua y suelo expuesto, indicando que entre las 5 imágenes la imagen 2603 fue la que presentó una curva más típica de agua esto se corrobora al analizar el comportamiento de la curva ya que toma un comportamiento descendente desde la banda verde al infrarrojo cercano y al revisar los resultados los valores de niveles digitales de la longitud de onda del infrarrojo cercano con un valor de 35 siendo el menor valor de las cinco imágenes.

En la cobertura de suelo la mejor curva la presentó la imagen 3236 ya así la forma que tome parezca la de una curva de vegetación los valores digitales indican que existe la presencia de suelo expuesto pero con presencia de vegetación.

6 CONCLUSIONES

- Los índices utilizados para la identificación de suelo y agua son diseñados originalmente para medir la fortaleza de la vegetación y no ser afectados por otras coberturas, por ello durante el análisis se trabajaron datos extremos inferiores referentes a los resultados de los indicadores, esto quiere con el objeto de poder identificar la característica de interés agua y suelo y obviar la mayor cantidad de vegetación posible para determinar pixeles puros o casi puros.
- Del análisis de las cinco (5) imágenes y de los recorridos en campo se comprobó que a pesar que el humedal es afectado por el tránsito de los seres humanos y ocasional de rumiantes el suelo se mantiene durante periodos muy cortos de tiempo expuesto, por este motivo difícilmente en este ecosistema se encontraran suelo realmente expuesto ya que siempre va a tener asociado un gran número de individuos con reacción fotosintética lo que representa un indicador positivo del estado de conservación y resiliencia del humedal.
- Como se describió en los primeros capítulos un humedal es aquel ecosistema intermedio entre los ecosistemas de agua y ecosistemas terrestres, esto se comprueba por medio del análisis de los valores obtenidos de los índices de agua donde a pesar de encontrar sitios con cobertura de agua se presenta una respuesta fotosintética activa, indicando que estas zonas durante unos periodos de aguas se encuentran con un nivel bajo de agua permitiendo la presencia de suelo expuesto.
- Para este tipo de estudios la teledetección es una herramienta muy útil a la hora de trabajar en este ecosistema, el cual nos permite el acceso a hábitats poco estudiadas, además de evitar el impacto negativo que se le da a la zona y a la obtención de gran información que se le brinda a la

investigación, ya sea en topografía, exploración de lugares con difícil acceso, control medioambiental, etc.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Harris Geospatial. (11 de 11 de 2017). *Harris Geospatial*. Obtenido de <http://www.harrisgeospatial.com/docs/BroadbandGreenness.html#Optimize>
- Aeronautica Civil de Colombia. (Septiembre de 2016). *Requisitos Generales de Aereonavegabilidad y Operaciones para RPAS*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/Documents/CR-5100-082-002.pdf>
- AERONAUTICA CIVIL DE COLOMBIA. (18 de septiembre de 2016). *CIRCULAR REGLAMENTARIA N° 002*. Obtenido de <http://www.aerocivil.gov.co/Lists/Noticias%20Internet/Attachments/197/CIRCULAR%20REGLAMENTARIA%20%20002%20-%20RPAS.pdf>
- Aguilar., C. G. (2014). “*Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador*”. Ecuador: Universidad Nacional de la Plata.
- ALAVA Ingenieros. (2006). *¿Qué diferencia una imagen multiespectral de una hiperespectral?* Obtenido de <http://www.alava-ing.es/repositorio/5347/pdf/7468/2/articulo-tecnicomulti-e-hiper.pdf>
- ArcGIS Resources. (17 de Noviembre de 2017). *ArcGIS Resources*. Obtenido de <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>
- Avid Roman-Gonzalez, N. I.-C. (2013). Analisis de imágenes hiperespectrales. *Ingeniería & Desarrollo*, 14-17.
- Bognanni, F. (2010). La teledetección aplicada al estudio del pasado a una escala inter-regional. *Revista Española de Antropología Americana*, 77-93.
- Casanova, V. (28 de Junio de 2012). *Astrofísica y Física*. Obtenido de <http://www.astrofisicayfisica.com/2012/06/que-es-el-espectro-electromagnetico.html>
- Corpocaldas. (18 de septiembre de 2016). *COORPOCALDAS*. Obtenido de <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/640/Diagn%C3%B3stico%20Humedales%20Altonandinos.pdf>
- Corpocaldas. (Diciembre de 2016). *DIAGNOSTICO DE LOS HUMEDALES ALTOANDINOS DE CALDAS*. Obtenido de <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/640/Diagn%C3%B3stico%20Humedales%20Altonandinos.pdf>
- DefinicionABC. (s.f.). *DefinicionABC*. Recuperado el 23 de Octubre de 2017, de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/camara-fotografica.php>

- Díaz García-Cervigón, J. 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*. Madrid, España.: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID .
- Drones .MX. (17 de noviembre de 2017). *Drones.MX*. Obtenido de <https://drones.mx/soporte/mission-planner/>
- Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones*. Merida, Venezuela: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química .
- Fundacion Pangua. (enero de 2017). *Humedales*. Obtenido de <https://issuu.com/dianamarcelaa2/docs/humedales>
- García, J. J. (octubre de 2016). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión*. Obtenido de http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Gloria Yaneth Flórez Yepes, Á. M. (2 de enero de 2017). *PARTICIPACIÓN COMUNITARIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LINEAMIENTOS DE USO Y CONSERVACIÓN DE HUMEDALES ALTOANDINOS. EXPERIENCIA PILOTO EN EL SECTOR EL OCHO Y PÁRAMO DE LETRAS*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n38/n38a16.pdf>
- GUTIÉRREZ, N. M. (2016). *ESTUDIO MULTITEMPORAL PARA IDENTIFICAR LOS CAMBIOS EN LA COBERTURA VEGETAL DEL HUMEDAL DE TIBABUYES*. Obtenido de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13712/4/ESTUDIO%20MULTITEMPORAL%20PARA%20IDENTIFICAR%20LOS%20CAMBIOS%20EN%20LA%20COBERTURA%20VEGETAL%20DEL%20HUMEDAL%20DE%20TIBABUY.pdf>
- Heliboss Colombia. (6 de Octubre de 2015). *Heliboss Colombia*. Recuperado el 2017 de Octubre de 25, de <http://heliboss.co/mundodrone/camaras-multiespectrales-tetracam/>
- HENAO, S. H. (2015). *INDICADORES DE CALIDAD AMBIENTAL DE HUMEDALES*. Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1136/Santiago%20Hernandez%20Henoa.pdf?sequence=1>
- Huayaney, M. A. (2012). *Teledeteccion, Principios y Aplicaciones*. CCSS, 1-16.
- Huayaney, M. A. (2014). *Scrib*. Obtenido de Combinación Bandas TM - ETM+ : <https://es.scribd.com/doc/86702331/4-Combinacion-Bandas-TM-ETM>
- Instituto Humboldt. (23 de Septiembre de 2015). *Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt*. Obtenido de <http://www.humboldt.org.co/es/noticias/zona-prensa/item/778-colombia-anfibia>

- J. Qi, * A. (1994). A Modified Soil Adjusted Vegetation Index . *REMOTE SENS. ENVIRON.*
- Laguna Negra, Parque Tematico. (2 de enero de 2017). Obtenido de <http://www.parquelagunanegra.com/quienes-somos/#reserva>
- Leon., M. d. (octubre de 2016). *Utilizacion de la Teledeteccion y sistemas de informacion geografica en la cartografia de suelos.* Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo4/articulo95.pdf>
- Licett., A. V. (2011). La Teledeteccion Satelital y los Sistemas de Proteccion Ambiental. *Revistas de Informacion, Tecnologia y Sociedad.*, 39-42.
- M., C. A. (2006). *LOS ECOSISTEMAS DE HUMEDALES EN COLOMBIA.* Manizales: Universidad de Caldas.
- Melissa Cárdenas Garcés, Á. P. (18 de septiembre de 2016). *Repositorio UCM.* Obtenido de <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/778/Melissa%20Cardenas%20Garces.pdf?sequence=1>
- Muñoz, C. p.-A. (2006). *Teledeteccion: Nociones y aplicaciones.* Madrid: Universidad Salamanca.
- Ortega, M. P. (18 de septiembre de 2016). *APLICACIONES DE LA TELEDETECCIÓN Y SIG EN LA CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE LA MANCHA HÚMEDA .* Obtenido de http://eprints.ucm.es/13964/2/TFM_Maria_Perez.pdf
- RAMSAR. (2006). *Manual de la Convención de Ramsar, 4a. edición.* Obtenido de http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/lib_manual2006s.pdf
- Ramsar. (18 de septiembre de 2016). *Humedales: en peligro de desaparecer en todo el mundo.* Obtenido de ficha informativa: http://www.ramsar.org/sites/default/files/ramsar_factsheet_disappearing-act_3_sp.pdf
- Raúl López Romero, J. G. (2010). Experiencias de Teledeteccion Pasiva y Activa en el Estudio Arqueologico de la Ciudad Celtiberica de Segeda (Mara, Zaragoza). *VIII CIA- Sesion Teledeteccion.*, 239-248.
- RS-GEOIMAGE . (2016). *IMAGENES DE SATELITE EN LA EXPLORACION GEOLOGICA - MINERA.* RS-GEOIMAGE .
- Scanterra. (s.f.). *Scanterra consultora.* Obtenido de http://www.scanterra.com.ar/conozca_mas.html#banda
- SIG S.A. (17 de Noviembre de 2017). *SIGsa.* Obtenido de <http://www.sigsa.info/productos/envi>

- Tetracam . (17 de Noviembre de 2017). *Tetracam* . Obtenido de http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm
- TYCGIS. (s.f.). *TYCGIS*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2017, de <http://www.trabajosyclasesgis.com/index.php/teledeteccion-agua.html>
- Uriós, G. (18 de septiembre de 2016). *Teledetección aplicada al estudio de humedales*. Obtenido de http://sehumed.uv.es/revista/SEHUMED_04_P0401.PDF
- Yepes, G. Y. (2014). Vision social del ecoturismo como servicio ecosistemico que prestan los humedales altoandinos. *Asuntos*.
- Yepes, G. Y. (2015). Servicios eco sistémicos y variables socio ambientales determinantes en ecosistemas de humedales alto andinos. Sector El Ocho y paramo de letras Manizales Colombia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*.
- Yepes, G. Y., Álvarez, Á. M., & Santamaría., A. R. (2014). *Participacion comunitaria para la construccion de lineamientos de uso y conservacion de humedales altoandinos. Experiencia piloto en el sector el ocho y paramo de letras*. Manziales: Luna azul. Universidad de Caldas.
- Zegarra, A. (18 de septiembre de 2016). *¿Qué son los humedales?* Obtenido de <http://www.condesan.org/ppa/node/529>