

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO PARA OPTENER EL TITULO DE INGENIERA AMBIENTAL DE
LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES.

Comparación de la respuesta de diferentes índices de vegetación del frailejón a partir de diferentes metodologías (índices) como indicador indirecto del estado de conservación del humedal.

Autora / Jimena Aristizábal Trujillo

Tutor / Omar E. Peláez Martínez

2017

UNIVERSIDAD CATOLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO PARA OPTENER EL TITULO DE INGENIERA AMBIENTAL DE
LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES.

Generación de índices de vegetación del frailejón como indicador del estado de conservación
del Humedal.

Autora / Jimena Aristizábal Trujillo

Tutor / Omar E. Peláez Martínez

1. Dedicatoria

Este trabajo de grado se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no renunciar en los problemas que se presentaban, desfallecer en el intento.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Por enseñarme todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

Gracias también al mi tutor de trabajo de grado por la paciencia y todas las enseñanzas que me dio no solo como persona sino como futura profesional.

Jimena Aristizábal Trujillo

2. Contenido

Introducción	9
1. Planteamiento del problema	11
2. Objetivo general	13
3. ECOSISTEMAS.....	14
3.2. ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS	15
3.3. ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS DE CALDAS.....	15
3.4. Páramos	17
3.5. Humedales.....	18
3.5.1. Tipos de humedales en mundo	18
3.5.2. Tipos de humedales en Colombia.....	19
3.6. Humedal alto andino	19
3.6.1. Servicios ecosistémicos de los humedales Altoandinos	19
3.6.2. Vegetación en los humedales alto andinos	20
3.7. Estudios directos e indirectos revisado.....	20
3.7.1. Estudio directo revisado	21
3.7.2. Estudio Indirecto.	21
4. Técnicas de análisis de imágenes	22
4.2. Análisis visual:	22
4.3. Clasificación digital:.....	23
5. Teledetección.....	24
5.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO – EM	25
5.2.1. Las ondas electromagnéticas:	25
5.2.2. Las radiaciones electromagnéticas	26
5.2. Espectrometría.....	26
5.3. Índices espectrales	27
5.3.1. Índices espectrales basados en la pendiente	28
5.3.2. Basados en la distancia.....	28
5.3.3. Basados en Transformaciones Ortogonales:.....	29
5.4. Índices de vegetación	29
5.4.1. Aplicaciones de los índices de vegetación	29
5.4.2. Ventajas y Desventajas de los índices de vegetación	30

5.4.3.	Índices Vegetales basados en la pendiente	31
5.5.	Sistemas sensores de teledetección.	33
5.6.	Sensores activos	37
5.6.1.	Radars:	37
5.6.2.	Lidar:	38
5.7.	Sensores pasivos.....	38
5.7.1.	Clasificación de los sensores pasivos por la tecnología	39
5.7.2.	Clasificación de los sensores pasivos por el número de bandas.....	40
5.8.	Cámara multiespectral.....	41
5.9.	Qué hacen las cámaras multiespectrales.....	41
5.10.	Plataformas, satelitales, aerotransportadas, drones	41
5.10.1.	Satélites artificiales:	42
5.10.2.	Aerotransportados	42
5.10.3.	Definición del RPAS	43
6.	Antecedentes metodología	45
6.1.	Antecedentes de estudios de humedales nacionales	46
a.	Estudio “Índices e indicadores de sostenibilidad para humedales alto andinos”	46
b.	Estudio evaluativo descriptivo de los humedales Juan Amarillo Córdoba y Jaboque como mitigadores del cambio climático y planteamiento de una estrategia de fortalecimiento para este potencial. (Bogotá-Colombia).....	46
6.2.	Antecedentes de Estudios de teledetección para análisis de vegetación	48
a.	Estudio “Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales para análisis de Coberturas Vegetales en la Provincia de Loja, Ecuador las variaciones temporales y espaciales de coberturas vegetales son un importante indicador de las dinámicas de los ecosistemas.”	48
6.3.	Estudios en el trópico con teledetección.	49
a.	Estudio Teledetección aplicada al estudio de fenómenos oceanográficos superficiales	49
6.4.	Antecedentes de estudios de un ecosistema.	51
a.	Estudio Índices Espectrales de Vegetación	51
6.3.1	Ejemplos de estudios de espectrometría en vegetación (terrestre o aérea o satelital)	52
7.	Desarrollo metodológico	55
7.1.	Área de estudio.....	55
7.2.	Selección de equipos para el estudio.	55
7.3.	Software	61

7.4.	Planificaciones y desarrollo del vuelo.....	62
7.4.1.	Alistamientos del vuelo, ubicación targets georreferenciación de los targets revisión de condiciones atmosféricas.....	63
7.4.2.	Alistamientos del dron ubicación de cámara espectral.....	64
7.4.3.	Ejecuciones del vuelo.....	64
8.	Procesamiento de imágenes.....	65
8.1.	Desarrollo del proceso.....	66
8.1.1	tabla de información frente a la posición y el serial de la imagen utilizada.....	66
8.2.	Gráficas y cálculos de índices de vegetación.....	68
8.2.1.	Análisis de imagen de frailejón TTCO33306.....	68
8.2.2.	Análisis de imagen de frailejón TTCO33307.....	71
8.2.3.	Análisis de imagen de frailejón TTCO33308.....	72
8.2.4.	Análisis de imagen de frailejón TTCO33310.....	74
8.2.5.	Análisis de imagen de frailejón TTCO33311.....	75
Trabajos citados		¡Error! Marcador no definido.

3. Resumen

La teledetección ofrece una gran aplicabilidad y técnicas para procesamiento de los datos en diferente software y aplicaciones relacionadas con trabajos específicos como en toma de muestras en campo.

Para este trabajo fue de suma importancia indagar en nuevas técnicas de exploración preliminar en zonas del OCHO ya previamente identificadas, para el estudio sobre la cobertura vegetación. Por esta razón se realizó una investigación aplicando sistemas de información geográfica por medio de imágenes captadas por aeronaves no tripuladas, para la interpretación y conocimientos de manera espacial la zona donde se realizó el proyecto y los tipos de vegetación que existen y en el estado que se encuentran los humedales alto andinos.

Luego de que se realizaron los estudios necesarios y por medio de una cámara multiespectral soportada por un vehículo aéreo no tripulado. En el sector del páramo de Letras a partir de la información tomada y analizada por diferentes medios, se aplicaron técnicas que ayudaron a la toma decisiones que favorecieron el desarrollo del proyecto, desde todos sus aspectos; también se buscó mejorar los sistemas de toma y muestra de las imágenes por medio de aeronaves no tripuladas para la extracción e identificación de las zonas donde se realizan las fotografías de la superficie que permitan optimizar los métodos para la toma de datos, después de realizar todos los procesos de evaluación y de análisis posibles por los cuales se pueda determinar zonas potenciales de restauración o conservación del páramo .

Dentro de este estudio se encamina a mostrar la utilidad en la captura de imágenes a través de los RPAS, para realizar estudios de la vegetación y su curva espectral por medio de la teledetección. Por ello realizamos estudios de las imágenes tomadas a través de las cámaras multiespectral la cual permitieron capturar imágenes de manera simultaneas en diferentes áreas estudiadas, lo que nos permite la identificación de las curvas de vegetación sino también poder realizar un inventario de especies de mayor importancia en el sector.

A demás del análisis de vegetación y los cambios que en este surgen, son claves para el estudio y seguimiento la vegetación verde; constituye una de las mejores aplicaciones de la percepción remota. Los índices muestran el estado de abundancia de la cobertura vegetal y de la biomasa, comprende la combinación de diferentes lecturas de valores digitales del RI y de rojo, que dan origen al mismo índice.

El proceso de captura de imágenes multitemporales se realizó por medio de sobre vuelos por las diferentes aéreas delimitadas con targets, en las cuales se hace la toma y captura de la vegetación, que nos generan curvas de vegetación.

Para este proyecto se esperó como resultado la generación metodológica a partir de las imágenes multiespectral en las cuales se realizaron curvas de la vegetación, con el objetivo de obtener un monitoreo y seguimiento de las zonas a investigadas que se encuentran ubicadas en, Villamaria, y Manizales

4. Introducción

La teledetección está basada en la adquisición de información procedente de un objeto lejano sin mediación de contacto físico con él. En la teledetección clásica, la caracterización de la superficie se lleva a cabo midiendo la energía electromagnética que procede de ella y alcanza el sensor. Esta energía puede estar generada por el propio objeto a partir de otras formas de energía, o ser meramente la que refleja por su superficie. (Pinilla, 1985)

Esa energía nos permite identificar características, físicas, químicas y estructurales en la vegetación, a partir de la lectura del espectro electromagnético, en forma de firma espectral. Esta firma nos ofrece información indirecta a partir de la cual podemos realizar estudios que permiten identificar el estado de la vegetación.

En la actualidad el avance tecnológico nos ha permitido desarrollar nuevos sensores, que pueden ser equipados en una nueva generación de plataformas, y hacer uso de ellos como en este caso fue utilizado RSPA con una cámara multi espectral adaptada con la cual se realiza la captura de imágenes dentro del humedal las cuales serán procesadas y analizadas con el fin de identificar las especies dominantes y que tipo de cobertura vegetal tiene

Los humedales proporcionan gran variedad de bienes, servicios, uso y funciones de valor como lo son los frailejones para el equilibrio ecológico y ambiental jugando un papel de especie sombrilla la cual es una especie de gran rango y que está rodeada de muchas especies la cual por sus características y altitud ofrece una protección a otras especies las cuales comparten su mismo hábitat

De esta forma, ante la inminente necesidad de conocer el estado de vegetación en el que se encuentra el frailejón y las condiciones evolutivas de los páramos, se destaca el uso de imágenes de sensores remotos como una herramienta propicia para monitorear la evolución de los frailejones y cuantificar los cambios ocurridos en determinado proceso. De este modo, la información captada dentro del estudio resulta de gran importancia en la gestión del ecosistema permitiendo localizar

la ubicación y el estado de los frailejones si se encuentra en condiciones óptimas de vegetación o el grado de afectación en la misma y las posibles causas que lo generan, lo cual posteriormente servirá como insumo en el desarrollo del trabajo lo que nos llevará a la conservación encaminada a la protección y al manejo sostenible del Humedal.

5. Planteamiento del problema

La transformación que sufre la vegetación es un indicador de gran importancia el cual nos muestra el estado de subsistencia en que se encuentra el área de interés o ecosistema estudiado. La degradación de la capa vegetal es un fenómeno complejo y en muchas ocasiones difícil de caracterizar, en la actualidad la evaluación de la cobertura se realiza mediante estudios directos los cuales acelera el proceso degenerativo en el ecosistema, debido a que este método requiere un contacto directo con el ecosistema ocasionando daños al mismo, por medio de la extracción de muestras vegetales, para determinar el tipo y/o estado de la vegetación en que se encuentra el humedal. Adicionalmente la sola presencia del ser humana genera perturbación en el ecosistema.

Uno de los efectos más visibles con la pérdida de la vegetación en los humedales, es la disminución de su valor ambiental, por la degradación de las características y componentes ambientales, los cuales se evidencian en los cambios y pérdidas de la biodiversidad, en términos de cantidad y variedad de especies e importancia ecológica de las mismas. Con la consecuente afectación directa o indirecta de los factores naturales y antrópicos, a nivel de ecosistema.

Una de las características principales en los sistemas de humedales son los espejos de agua que resultan ser el factor físico predominante, además de desarrollar una gran cantidad de funciones y actividades de sistemas ecológicos, potenciando la variedad de servicios ecosistémicos. Una de las definiciones académicas más aceptadas de humedal es la que lo define como: “Un área de la superficie terrestre que está temporal o permanentemente inundada, regulada por factores climáticos y en constante interrelación con los seres vivos que la habitan” (Ramsar, 1971). Esta característica genera que los humedales desarrollen un papel muy importante en el ecosistema, al ser el hogar de una gran variedad de flora y fauna, y constituirse como cunas de fuentes de agua.

La diversidad de la vegetación esta dinamizada por los diferentes sustratos de desarrollo que se presentan, los cuales van desde suelo orgánico hasta agua, pasando por distintos niveles de acumulación de turberas. Los humedales son claves en ambientes naturales, su importancia es determinante por la variedad de servicios y beneficios que generan plantas flotantes, plantas arraigadas en el fondo del agua, juncos, y algunas especies de árboles y arbustos. El tipo de

planta que domina depende del tipo de humedal y del proceso de regeneración natural en que se encuentre el ecosistema.

Cada uno de estos seres que habitan o visitan los humedales cumple un rol en lo que es definido como Medio, donde en un entorno determinado cada una de estas especies conforma lo que es su Hábitat Natural, teniendo no solo resguardo para sus descendencias, sino garantizándose una buena cantidad de Alimento y Recursos que puede utilizar, en el momento que lo requiera teniendo un equilibrio ambiental.

Los cambios presentados en la biodiversidad y en los humedales, son espacios apropiados para la investigación debido a que por su gran ecosistema se presta para diversos análisis por medio de la observación y el seguimiento a los factores bióticos y el desarrollo de los suelos, sustento de la vegetación, responden a fenómenos ecológicos complejos que son integraciones de varios procesos biológicos, químicos y físicos que requieren años, y aun siglos a veces, para manifestarse, ESPACIO-TIEMPO, (FAO, 2017)

Uno de los principales protagonistas del páramo son los frailejones son una planta alargada y con hojas peludas y flores amarillas y de las cuales se estima que crecen en abundancia en el páramo su función es atrapar la humedad de la neblina y tratar de conservarla su crecimiento no es muy significativo ya que solo crece un centímetro cada año. Siendo una de las plantas más característica de los páramos donde domina por su porte y abundancia por lo cual se denomina como una especie sombrilla. Tradicionalmente a los frailejones han sido clasificados en el género *espetia* dentro de los análisis de la cobertura vegetal y comprendiendo las diferentes etapas, la estandarización de las fuentes de información frente a la identificación de variables que afectan y generan cambios.

6. Objetivo general

Realizar un estudio comparativo de la respuesta de diferentes índices de vegetación del frailejón a partir de diferentes metodologías (índices) como indicador indirecto del estado de conservación del humedal.

Objetivos específicos

- Compilar los conceptos necesarios para poder desarrollar un proceso metodológico por medio del cual se pueda evaluar el comportamiento espectral del frailejón.
- Apoyar los procesos de captura de imágenes multiespectrales por medio de un vehículo aéreo no tripulado en los ecosistemas del humedal
- Obtener la información necesaria para la generación de las curvas espectrales del frailejón a partir de los niveles digitales obtenidos por un sensor multiespectral

7. ECOSISTEMAS

Un ecosistema es el conjunto formado por los seres vivos y los elementos no vivos del ambiente y la relación vital que se establece entre ellos. La ciencia encargada de estudiar los ecosistemas y estas relaciones es la llamada ecología. Los ecosistemas pueden ser de dos tipos: terrestres (bosques, selvas, sabanas, desiertos, polos, etc.) y acuáticos (comprenden desde un charco hasta los océanos, mares, lagos, lagunas, manglares, arrecifes coralinos, etc.) (definición de ecosistema, 2015).

Todo ecosistema se caracteriza por la presencia de componentes vivos o bióticos (plantas, animales, bacterias, algas y hongos) y de componentes no vivos o abióticos (luz, temperatura, agua, humedad, aire, suelo, presión, viento y pH.) para Mantener las funciones de los ecosistemas y la biodiversidad es vital para garantizar el bienestar y la sostenibilidad de los recursos naturales para futuras generaciones. Los servicios ecosistémicos son la multitud de beneficios que la naturaleza aporta a la sociedad.

Estos servicios ecosistémicos se caracterizan por mantener equilibrios y procesos ecológicos básicos tales como la regulación de climas, del agua, realizar la función de depuradores del aire, agua y suelos; la conservación de la biodiversidad. En la figura 1 se muestran los servicios ecosistémicos



Ilustración Ecosistemas fuente: Ecosistemas fuente metrovancouver.org

7.2. ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS

Los ecosistemas estratégicos son aquellas unidades ambientales específicas de la naturaleza (bosques, ríos o cuencas, entre otros) que, debido a su formación biológica, características físicas, estructuras y procesos, proveen de bienes y/o servicios vitales para el desarrollo sostenible de una sociedad. Los ecosistemas estratégicos de Colombia son: Páramos, Humedales, Manglares y Zonas Secas. Los ecosistemas estratégicos garantizan la oferta de bienes y servicios ambientales esenciales para el desarrollo y la sostenibilidad.

7.3. ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS DE CALDAS.

En el departamento de Caldas existe una riqueza ecosistémica, reflejada en áreas naturales protegidas y ecosistemas estratégicos, que a pesar de no estar declarados, son fuente importante de biodiversidad y mantenimiento de las actividades productivas de los habitantes del departamento.

7.3.1. Ecosistema estratégico de Páramo:

Los páramos se consideran ecosistemas estratégicos porque prestan importantes servicios ecosistémicos, dentro de estos el agua es el servicio ambiental más importante. Se caracterizan por tener alta humedad y viento seco. Son considerados fábricas de agua. La vegetación predominante son los frailejones, guardarocíos, macollas, musgos, entre otros. (fronteras, 2015)
Revisado

7.3.2. Ecosistema estratégico de humedales altoandinos:

El valor estratégico de los humedales altoandinos como reguladores y fuentes de agua y como ecosistemas de alta biodiversidad, hábitat de especies de fauna y flora, siendo estos humedales reguladores de fuentes de agua para diversas actividades humanas, son ecosistemas de alta biodiversidad y hábitat de especies de flora y fauna, los humedales proveen fibras vegetales, alimentos y recursos genéticos, almacenan y regulan caudales, capturan carbono y representan un invaluable patrimonio cultural por su significado espiritual y religioso. Los ecosistemas altoandinos son importantes espacios de vida y de riqueza cultural, fecundos en simbolismos, mitologías y valore (Mora, 2011).



Ilustración 2 Ecosistemas estratégicos del departamento de caldas

7.4. Páramos

El páramo es un ecosistema tropical de montaña único por los servicios ambientales que presta, dentro de los que se destacan la regulación y conservación del recurso hídrico. En ellos nace un gran número de quebradas y ríos. Son pocos los países que tienen el privilegio de contar con biomas tan valiosos, y se localizan en el continente americano. Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú y Costa Rica son los países que tienen páramos tropicales, de los cuales la mayoría se ubican sobre la cordillera de los Andes.

Los páramos se sitúan aproximadamente entre los 3.100 y 4.000 msnm. Sus temperaturas son bajas y su clima es generalmente muy húmedo, debido a las frecuentes lluvias y neblinas. Es el ecosistema con mayor irradiación solar del mundo, Colombia es un país privilegiado al tener una gran diversidad de ecosistemas a lo largo y ancho del territorio nacional. Entre ellos, se destacan los páramos, por ser sistemas que brindan una de las mayores ofertas hídricas y que son responsables de mantener de forma directa, múltiples procesos sociales, económicos y ecológicos que sostienen a las comunidades de la alta montaña. Además, resulta ser corredor biológico para la fauna de la región (el oso andino, el cóndor, el puma entre otras especies). (Humboldt, 2012)

En Caldas, los ecosistemas de páramo comprenden una superficie de 10.546 ha ubicadas en la Cordillera Central a partir de los 2.600 msnm, en los municipios de Villamaria, Manizales, Marulanda, Neira, Aranzazu, Salamina y Aguadas. Este ecosistema se considera estratégico para la regulación hídrica, ya que allí nacen las principales fuentes hídricas del departamento, como son el Río Chinchina, Río Tapias, Río Guarino, Río Chambery, Río Pozo y Río Arma, propiciando el desarrollo económico de Caldas y departamento aledaños, este ecosistema se caracteriza por las bajas temperaturas en promedio de 8,1° C, precipitaciones promedio entre 1.354 y 1.736 mm con abundantes neblinas, lo cual lleva a la formación de humedales y zonas de vegetación arbustiva baja que han evolucionado para adaptarse a las condiciones climáticas de estas zonas, que permiten la captura de las precipitaciones horizontales y regula los caudales que descienden por la Cordillera Central. (Corpocaldas, 2013- 2015)

7.5. Humedales

Los humedales figuran entre los ecosistemas más productivos del mundo, son fuente de diversidad biológica y suministro de agua y productividad de las que innumerables especies vegetales y animales dependen para su existencia y conservación.

Se entiende como humedales a la, “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. (Ramsar, 2004)

De este modo, los humedales se clasifican en: humedales marinos y costeros - HMC, humedales continentales – HC, y humedales artificiales - HA. En Colombia, la extensión de humedales es de aproximadamente 2.589.839 Hectáreas, representadas en áreas de cobertura de cuerpos de agua naturales continentales, hidrófitas continentales, lagunas costeras y manglares (Ramsar, 2004) .

7.5.1. Tipos de humedales en mundo

Los humedales en general, son sistemas intermedios entre ambientes permanentemente inundados y ambientes normalmente secos. Muestran una enorme diversidad de acuerdo con su origen, localización geográfica, su régimen acuático y químico, vegetación dominante y características del suelo o sedimentos. Puede existir una variación considerable en un mismo humedal y entre diferentes de humedales próximos unos a otros, formando no sólo ecosistemas distintos, sino paisajes totalmente diferentes. (Finlayson & Moser, 1991)

Por lo tanto la clasificación de humedales se ha gestado con dificultad, debido en parte a la enorme variedad de tipos de humedales y a su carácter altamente dinámico, por la dificultad de definir sus límites con cierta precisión. Generalmente, los tres tipos de humedales se clasifican en cinco sistemas principales de humedales:

- Marino (HCM): Son humedales costeros, incluyendo costas rocosas y arrecifes de coral.
- Estuarino (HCM): Incluye deltas, marismas de marea y pantanos de manglar.
- Lacustre (HC): Se refieren a lagos.
- Ribereño (HC): Son humedales asociados a ríos y arroyos.

- Palustre (HC): Son lodazales, marismas, pantanos y ciénagas.
- Adicionalmente, existen los humedales construidos por el ser humano (HA), como los estanques o piletas para cría de peces o camarones, estanques o represas con fines agrícolas, tierras agrícolas irrigadas, depresiones inundadas salinas, reservorios, estanques de grava, piletas de aguas residuales, y canales.

7.5.2. Tipos de humedales en Colombia

Los Humedales Continentales Colombianos, se encuentran dentro de los sistemas Lacustres, Ribereños y Palustres, lo que demuestra la gran variedad existente, pero a nivel nacional se han categorizado dentro de las coberturas de cuerpos de agua naturales, definiéndose como:

- Laguna: Presentan espejo de agua. Son muy productivos debido al mayor contacto de sedimentos con la superficie del agua, causada por su baja profundidad.
- Pantano: Tienen el suelo encharcado, pero no presentan espejos de agua. Contienen vegetación única, que se adapta a las condiciones de estos ecosistemas.
- Turbera: Están situados en suelos formados gracias a la descomposición de materia orgánica.

7.6. Humedal alto andino

La Convención Ramsar, reconoce a los humedales altoandinos como ecosistemas estratégicos debido a que regulan y son fuentes de agua para diversas actividades humanas, son ecosistemas de alta biodiversidad y hábitat de especies de flora y fauna. Estos humedales y complejos de humedales mantienen una diversidad biológica única y se caracterizan por un alto nivel de endemismo de plantas y animales.

7.6.1. Servicios ecosistémicos de los humedales Altoandinos

Los humedales altoandinos proveen a la sociedad bienes y servicios que se basan en la estructura y función de los ecosistemas; es decir, servicios ecosistémicos, que son: de soporte (el funcionamiento del ecosistema), de regulación (los procesos que lo mantienen en la escala del

paisaje), de provisión (los bienes que la humanidad deriva) y de valores culturales asociados (MEA, 2005). El acceso de las comunidades humanas a los servicios ecosistémicos está mediado por normas y reglas, formales o no formales (Adger, 1999).

Adicionalmente a los servicios ambientales antes mencionados deben añadirse los beneficios de estabilización de suelos, prevención de deslizamientos y derrumbes, fijación de carbono, purificación atmosférica, permitir la sobrevivencia de especies singulares de flora y fauna, y en general el mantenimiento del equilibrio ambiental. (castellanos, 2006)

7.6.2. Vegetación en los humedales alto andinos

La vegetación de los humedales incluye plantas flotantes, plantas arraigadas en el fondo del agua, hierbas de orilla como los juncos, y algunas especies de árboles y arbustos. La dominancia de los distintos tipos de plantas depende del tipo de humedal.

Algunos lagos de alta montaña predominan la vegetación sumergida, sobresalen las algas, los juncos (Juncaceae), las totoras (Typhaceae), algunas especies de pastos y ciperáceas, los helechos (incluyendo las especies flotantes de los géneros *Azolla* y *Salvinia*), varias Araceae, las lentejas de agua (Lemnaceae), las chiras (Potamogetonaceae), los buchones y afines (Pontederiaceae), los barbascoas (*Polygonum*), las Hydrocharitaceae y los lirios de agua (Nymphaeaceae.). (Naranjo & de Leon E.P, 1999)

7.7. Estudios directos e indirectos revisado

La vegetación es uno de los elementos más perceptibles del medio físico y también más significativos debido a las múltiples relaciones que mantiene con otros elementos del medio; influyente en los procesos morfológicos y por tanto en el modelo del relieve, en los flujos hídricos, es uno de los elementos más diferenciadores del paisaje como indicador expresivo (martinez de pison, 1987)

7.7.1. Estudio directo revisado

Los estudios por interacciones a través del método directo son utilizados en investigaciones como una condición específica, puesto que este estudio requiere de un contacto continuo, el cual generan marcas imborrable en las áreas de estudio, debido a que se considera como una intervención que interactúan de manera directa con el ecosistema, y por ende genera Impactos de una forma directa que afecta y debilita el área de estudio, por lo que se considera como un impacto ambiental negativo, debido a que se ejerce una intervención por la actividad humana sobre el medio ambiente. En determinada área, por su extracción y daño en el entorno natural, los elementos que se requiere para la investigación deben garantizar unas condiciones de trabajo en las cuales se deberán involucrar elementos tales como: campamentos, herramientas de extracción, personal, generación ruidos, residuos de material olvidado y/o abandonado, daños en el ecosistema por la rastro y el daño que dejan el en territorio estudiado.

7.7.2. Estudio Indirecto.

Los avances tecnológicos han posibilitado la obtención indirecta de muchas zonas de la Tierra donde existe vegetación, la mayor parte de áreas, presenta importantes limitaciones que la hacen imposible estudiar por sus condiciones o distancias. Para solventarlas, los investigadores han desarrollado métodos de estudio indirectos, de manera que hay transformación del terreno estudiado sin causar a la vegetación ningún tipo de daño.

Esto se lo corrobora Cabello, en su artículo “La teledetección en estudios ecológicos”, donde establece que la utilización de las técnicas de Teledetección en el análisis ecológico se incrementó entre un 9% y un 20%, en los artículos de investigación publicados entre el 2002 y 2007. (Una tasa de incremento aproximado del 15%, en 5 años.)

8. Técnicas de análisis de imágenes

Las técnicas de análisis e interpretación de imágenes tienen como misión examinar los objetos contenidos en las mismas, con el propósito de identificarlos y deducir su significado. Los sensores remotos son útiles en una infinidad de campos (ecología, geología, hidrología, oceanografía, forestación, etc.) estos sistemas ofrecen la posibilidad de conocer las características de áreas determinadas, en forma rápida y continua, relacionando los diversos aspectos que presenta la superficie terrestre de forma simultánea (suelo, vegetación, hidrografía, morfología, etc.). (Barrera Zuñiga, 2015)

Las imágenes de satélite y las fotografías aéreas, son muy diferentes de las imágenes a las que se estamos acostumbrados, porque muestran los datos desde una perspectiva elevada y a menudo no familiar, adicionalmente nos pueden ofrecer longitudes de onda fuera de la porción visible del espectro electromagnético, (mostrándonos información que nuestros ojos normalmente no ven) y presentan escalas y resoluciones de la superficie de la Tierra no familiares. Estas diferencias pueden suponer un desafío importante para el analista de imágenes, por lo cual tradicionalmente se ha dividido el análisis de imágenes en 2 fases, la primera es el análisis visual y la segunda lo conforma el análisis digital.

8.2. Análisis visual:

La forma más intuitiva de extraer información de imágenes de satélite es mediante la interpretación visual, que está basada en la habilidad que presentan los humanos para relacionar tonos, colores y patrones espaciales que aparecen en una imagen con elementos del mundo real. Este tipo de interpretación se lleva a cabo mediante el trazado de estructuras vectoriales que delimitan los elementos y áreas de interés para la interpretación (unidades de vegetación, de usos del suelo, geomorfológicas, litológicas, etc.).

En una imagen de satélite o una fotografía aérea, se ven varios objetos de diferentes tamaños y formas, algunos de ellos se identifican correctamente mientras que otros no, dependiendo de las percepciones individuales y de la experiencia del intérprete. Cuando podemos identificar lo que vemos en imágenes, y comunicar esa información a otros estamos realizando un proceso llamado fotointerpretación.

La Fotointerpretación se divide en dos etapas, la primera está conformada por el Reconocimiento directo y espontáneo de un objeto o fenómeno. Y la segunda, por la utilización de un proceso de razonamiento en el que se utiliza el conocimiento profesional y la experiencia para identificar un objeto. Cuando estas dos etapas no son suficientes es necesario el trabajo de campo.

Las técnicas del análisis visual de imágenes, normalmente se desarrollan siguiendo un método sistemáticos, conformado por cuatro reglas: (Barrera Zuñiga, 2015)

- Primera regla: El análisis se realiza de forma metódica, en pasos sucesivos dependiendo de la disciplina o tema de estudio y aplicación.
- Segunda regla: La interpretación debe ir de lo general a lo específico (desde el reconocimiento del área o región de interés, al detalle del objeto o fenómeno estudiado).
- Tercera regla: La interpretación parte desde las características conocidas a las desconocidas.
- Cuarta regla: La imagen se debe analizar inicialmente a partir de sólo sus propias cualidades. Y posteriormente la clasificación final se enriquece a partir de la inclusión de otras fuentes de datos que no nos proporcionan las imágenes.

8.3. Clasificación digital:

El Tratamiento Digital de Imágenes, se desarrolla a partir del uso de algoritmos informáticos, que permiten la segmentación de la información contenida. Este procesamiento se puede realizar a imágenes capturadas de forma análoga o digital, pero en las imágenes análogas se presentan problemas como la acumulación de ruido, la distorsión, entre otros.

El procesamiento de la información parte de la resolución radiométrica de la imagen, la cual está establecida a partir de las características del sensor que captura la información. Al ser un proceso electro-óptico acoplado a un sistema electrónico digital, presenta entre sus principales ventajas, la rapidez de captura y transmisión de la información, permitiendo el análisis de grandes extensiones de terreno.

El Procesamiento digital de Imágenes, se debe realizar de una forma metodológica y normalmente comprende las siguientes etapas:

- Primera etapa: Captura u obtención de la imagen digital.
- Segunda etapa: Tratamientos previos (Radiométricos y geométricos).
- Tercera etapa: Mejoras de la imagen. (Filtros de proceso).
- Cuarta etapa: Sistemas de extracción de información.

9. Teledetección

La teledetección puede ser definida de forma general como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, en donde, debe existir una interacción energética entre la tierra y el sensor ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial; a su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor se transmita a la superficie terrestre, donde la señal detectada pueda almacenarse y, en última instancia, ser interpretada por una determinada aplicación. De esta manera, las imágenes que se adquieren varían dependiendo del sensor, en donde existen varios tipos, entre las que se encuentran las fotografías aéreas, las imágenes de satélite (ópticas) e imágenes de radar. (E., 1995)

Representa un enfoque estructural amplio a la ecología, permitiendo la evaluación de fragmentación de hábitats, o cambios en la estructura vegetal además de brindar la posibilidad de describir los aspectos funcionales de los sistemas ecológicos involucrando los intercambios de

materia y energía de la biota con el medio físico, por medio de los índices espectrales, las cuales permiten interpretar las imágenes provenientes de sensores remotos. (cabello, 2008)

5.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO – EM

La radiación electromagnética comprende una amplia variedad de frecuencias o de longitudes de onda que abarcan desde los rayos gamma a las ondas de radio. Todas estas emisiones constituyen el denominado espectro electromagnético como se muestra en la figura 3

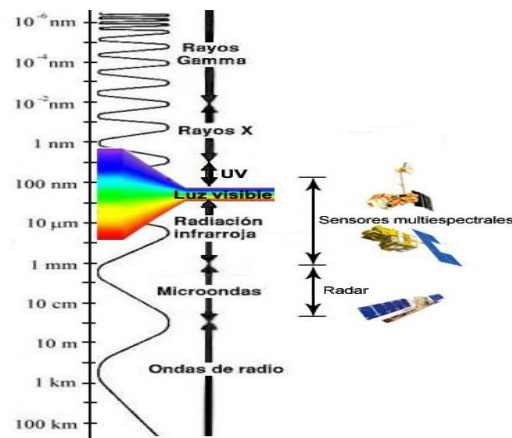


Figura 3 espectro electromagnético y de las radiaciones usadas en teledetección fuente <http://concurso.cnice.mec.es>

9.2.1. Las ondas electromagnéticas:

Estas ondas se originan por la perturbación de campos eléctricos y magnéticos perpendiculares entre sí que pueden propagarse en el vacío, este conjunto de radiaciones electromagnéticas se puede ordenar en un espectro que se extiende desde ondas de frecuencias muy elevadas y longitudes de onda pequeñas, hasta frecuencias muy bajas y longitudes de onda altas. La región de la luz visible es sólo una pequeña parte del espectro electromagnético que se extiende desde 400 nm hasta los 700 nm.

9.2.2. Las radiaciones electromagnéticas

La radiación electromagnética está formada por la combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se propagan a través del espacio en forma de ondas portadoras de energía. Las ondas electromagnéticas tienen las vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación de la onda. Por tal motivo, se las clasifica entre las ondas transversales. (<http://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>)

5.2. Espectrometría

La espectrometría se divide en tres tipos de técnicas las cuales son: Reflectancia, transmitancia, absorbancia

- **Reflectancia** o albedo, ρ es la parte de la irradiación que refleja la superficie receptora, se mide en tantos por uno y se considera por tanto adimensional, es diferente para cada superficie receptora y para cada cuerpo. La medida de la reflectancia puede hacerse teniendo en cuenta toda la semiesfera superior de una determinada superficie, se habla en este caso de reflectividad hemisférica (ρ_h) que se calcula como:

$$\rho_h = \frac{L}{E}$$
$$\rho_{h\tau} = \frac{L\tau}{E\tau}$$

Siendo E la irradiancia que llega a la superficie terrestre procedente del sol y L la parte de esta que abandona la Tierra como irradiancia.

- **Transmitancia**, τ es la parte de la irradiancia que transmite la superficie receptora, se mide en tantos por uno. Lógicamente $\rho + \alpha + \tau = 1$

Las radiancias espectrales que son reflejadas desde la superficie terrestre hacia el sensor dependen de muchos factores, destacando las variaciones de la irradiancia solar, las condiciones atmosféricas y meteorológicas, las propiedades reflectivas de la superficie y las condiciones del sensor

- **Absorbancia:** Medida de la cantidad de luz absorbida por una solución. Se mide con un colorímetro o con un espectrómetro. Los valores de la absorbancia se usan para detectar el crecimiento de bacterias en cultivos en suspensión y para determinar la concentración de moléculas en solución

α es la parte de la irradiancia que absorbe la superficie receptora, se mide en tantos por uno (geograf/teledet)

9.3. Índices espectrales

Los índices de espectrales son combinaciones de las bandas registradas por los sensores, cuya función es realzar los estados de la cobertura vegetal en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, etc.

Los índices espectrales, son datos calculados a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales. El resultado de estas operaciones permite obtener una nueva imagen donde se destacan gráficamente determinados píxeles relacionados con parámetros de las coberturas vegetales (Alonso, 2017)

Los Métodos de cuantificación en índices de vegetación en general se dividen en tres grupos.

- Basados en la Pendiente.
- Basados en la distancia.
- Basados en Transformaciones Ortogonales.

9.3.1. Índices espectrales basados en la pendiente

Estos índices son combinaciones aritméticas simples que se enfocan en la respuesta espectral del elemento de estudio, a partir del análisis de segmentos del espectro electromagnético (Bandas), donde presenta respuestas opuestas. Son llamados así porque cualquier valor particular del índice puede ser producido por un conjunto de valores de reflectancia de las bandas de una imagen. Estos valores, usando un modo bi-espectral (el eje X es el infrarrojo y el Y el rojo), forman una línea que emana del origen tal como se muestra en la figura (S.D & Colma , A, 1982).

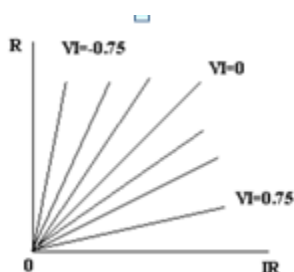


Ilustración 4 espectros del índice vegetal (S.D & Colma , A, 1982)

En la figura 4, cada una de las líneas del gráfico, (con diferente pendiente), corresponde a una ecuación diferente, la cual se obtiene de la combinación de diferentes valores en dos bandas espectrales.

9.3.2. Basados en la distancia

Este se obtiene a través de una regresión lineal de la banda infrarroja cercana en contra de la banda roja para una muestra de píxeles de suelo desnudo. Los píxeles que se hallan cerca de la línea del suelo son interpretados como suelos mientras que aquellos lejos de ésta se interpretan como vegetación. Los índices de vegetación basados en la distancia que usan la línea del suelo requieren la pendiente (b) y la ordenada al origen (a) de la línea como entradas para el cálculo. Desafortunadamente, ha habido una inconsistencia importante en la lógica con la cual se ha desarrollado esta línea del suelo para índices de vegetación específicos. Un grupo requiere la

banda roja como la variable dependiente y el otro requiere la banda infrarroja cercana como la variable independiente para la regresión.

9.3.3. Basados en Transformaciones Ortogonales:

Consiste en la transformación de bandas espectrales disponibles para formar un nuevo conjunto de bandas no correlacionadas, dentro de las cuales una imagen de índices de vegetación verde puede ser definida.

9.4. Índices de vegetación

Los índices de vegetación muestran el estado y la abundancia de la cobertura vegetal y de la biomasa. Se generan a partir de la utilización de datos espectrales más simples, que son sumados, divididos, o multiplicados en una forma diseñada para producir un valor que indique la cantidad o vigor de vegetación dentro de un píxel. Altos valores de índices de vegetación identifican píxeles cubiertos por proporciones substanciales de vegetación saludable. Al existir diferencias espectrales notables entre la vegetación y otros componentes de la superficie terrestre esas diferencias en respuesta espectral aumentan a medida que la vegetación se hace más densa o más productiva. Desafortunadamente al ser generados a partir de bandas espectrales, son susceptibles a problemas de iluminación debidos a la topografía.

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)

9.4.1. Aplicaciones de los índices de vegetación

Los índices de vegetación han sido empleados en dos clases.

- Las primeras utilizan estos índices como indicadores, mediante comparaciones entre los mismos, para monitorear el crecimiento y la productividad de específicos cultivos, o de fluctuaciones estacionales o anuales en productividad, frecuentes valores del índice de vegetación han sido comparados con medidas in situ del LAI (área de la superficie de la hoja por unidad del área de superficie del suelo). El LAI es una importante consideración en los estudios de agronomía porque esta medida es significativa en estudios de fotosíntesis.
- Una segunda categoría de aplicaciones usa los índices de vegetación como un dispositivo de mapeo. En tal caso se usan los índices de vegetación para asistir en la clasificación de imágenes, distinguir áreas con vegetación de aquellas sin vegetación, para distinguir entre diferentes tipos y densidades de vegetación y para monitorear variaciones estacionales en el vigor del vegetativo, abundancia y distribución.

9.4.2. Ventajas y Desventajas de los índices de vegetación

Ventajas operativas de los índices de vegetación

- Simplicidad de implementación
- Bajo costo computacional.
- Reducción en el volumen de datos originales.
- Rápida estimación con un software de imágenes apropiado.

Desventajas de un índice de vegetación

- Sensibilidad frente a otros elementos variables (ejemplo dispersión por aerosol atmosférico, cambio en el resplandor del suelo según su humedad).
- Sensibilidad frente a las condiciones geométricas de iluminación y de observación.

- Sensibilidad frente al sensor particular usado.
- No tiene un significado claro único, depende de varios factores. Uno de ellos es el porcentaje de suelo descubierto.

9.4.3. Índices Vegetales basados en la pendiente

El término ‘basado en la pendiente’ se refiere a que, al analizar los valores resultantes del índice de vegetación, se comparan esencialmente las pendientes de las líneas que pasan a través del origen y de los píxeles representados en un gráfico, con la reflectancia de una banda en el eje de las X y la reflectancia de la otra en el eje Y.

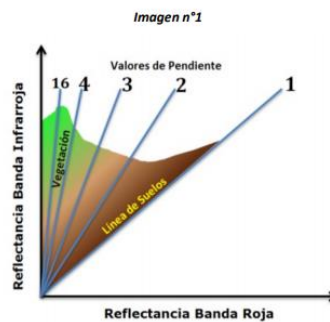


Figura 5 Reflectancia (S.D & Colma , A, 1982)

Este gráfico, muestra las líneas que convergen en el origen y que representan diversas concentraciones de vegetación o niveles de vigor de la misma. La línea que representa el suelo es muy importante. Este diagrama, grafica en el eje X los valores de reflectancia de la banda roja y el eje Y los valores de la banda infrarroja. En la medida que los valores se alejan de la línea de suelos, los valores graficados, corresponden cada vez más vegetación (aguayo, 2013)

Matteucci, S. D., & Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación* (No. 581.5 MAT). Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.

9.4.3.1. Índice de Vegetación Normalizado (NDVI): Es un índice que permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial. Se calcula como la diferencia normalizada entre la banda del rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR). Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI) es el más utilizado, la normalización que realiza reduce el efecto de degradación de calibración del sensor y la influencia de los efectos atmosféricos presenta una gran sencillez matemática (Diaz garcia - cervigón, 2015) revisado

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

Dónde:NDVI: Índice de vegetación de diferencia Normalizada

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja.

9.4.3.2. Índice de Vegetación ajustado con el suelo (SAVI): Entre los factores que modifican el comportamiento del NDVI está la proporción de vegetación/suelo observada por el sensor. Para incluir explícitamente el factor suelo, clave cuando se trabaja en zonas áridas, Huete y sus colaboradores proponen incluir en la fórmula del NDVI un parámetro “L”, que ajuste el índice a una reflectividad promedio del fondo (Huete, 1988; Huete et al., 1992). Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre la banda roja (R) y la banda del infrarrojo cercano (NIR) ajustado con un factor “L”, que es la componente de brillo del suelo que se define con un valor de 0.5, ya que se ajusta mejor a todo tipo de cobertura. revisado

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

Dónde: SAVI: índice de suelo ajustado

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja.

L= 1,6

El factor L oxila en valores 0,9 y 1,96 pero según el estudio el artículo A Soil – adjusted vegetation index (SAVI) de A.R Huete publicado en la revista remote sensing of environment ,

1988 el factor de 1,6 es el factor que mejor se ajusta a distintos niveles de brillo en el suelo y solo es recomendable variar este valor cuando se han hecho los estudios pertinentes en el suelo . (Esta actividad estaba fuera de los estudios del suelo)

9.4.3.3. Índice de Vegetación ajustado modificado (MSAVI): Este índice se calcula como la diferencia normalizada entre la banda roja (R) y la banda del infrarrojo cercano (NIR) donde se aplica una función que determina el valor “L” para reducir el efecto del suelo en la señal de la vegetación. (Diaz garcia - cervigón, 2015) revisado

$$MSAVI = \frac{(2 * NIR + 1 - \sqrt{((2 * NIR + 1)^2 - 8 + (NIR - R))})}{2}$$

Dónde: MSAVI: índice de suelo ajustado modificado

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja.

9.5. Sistemas sensores de teledetección.

Los sensores son un el elemento clave en la tecnología de teledetección, ya que es el encargado de detectar y grabar cuantitativamente la radiación electromagnética de un objeto de estudio. Para que un objeto sea identificado por un sensor, debe radiar energía. Esta radiación puede ser el resultado de reflejar la radiación impactada sobre este, o ser emitida por sí mismo, a partir de este concepto se clasifican los sensores en dos tipos:

- **Los sensores activos:** son capaces de emitir su propio haz de energía.
- **Los sensores pasivos:** se limitan a recibir energía proveniente de un foco exterior a ellos.

Ambos tipos de sensores tienen como objetivo la observación de la superficie terrestre en toda su extensión y se los puede clasificar como (Rabili & Gulich, 2005):

10. Bibliografía

.CHUVIECO, E. (2010).

definición de ecosistema. (27 de junio de 2015). Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/ecosistema/>.

a, D. G. ((1,2006; EA,2005b).). Recuperado el 2017

Adger. (1999). *Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam*. *World Development* 27 (2): 249-269. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37018/43842>

aguayo, p. m. (abril de 2013). *Apuntes de teledeteccion Indices de vegetacion*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.ciren.cl>.

Aguilar, C. (2008). *aplicaciones de indices de vegetacion derivados de imagenes satelitales para analisis* . Recuperado el 20017 , de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1

Aguilar, I. A. (2014). *Tesis de Maestría* . Recuperado el 2017

al, D. G. ((,2006;2005).). Recuperado el 2017

Alonso, D. (2017). *MmappingGIS*. Recuperado el septiembre de 2015, de Formacion GIS .difusión tecnologica : <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis>

alzate, B. e. (2005). *CAPITULO II inindices de vegetacion* . Recuperado el 2017

Barrera Zuñiga, R. A. (2015). *Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales* .

Basado en “Imágenes de Satélite – Una Guía Objetiva” producida por el Business Image. (s.f.).

berrios, L. (2017). *inteligencia artificial* . Recuperado el 2017 , de lesterberrios.99@gmail.com

BRAND, J. F. (s.f.). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPECTRAL DE LAS COBERTURAS NATURALES A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT 8*. Recuperado el 2016

Business . (s.f.). *Basado en “Imágenes de Satélite – Una Guía Objetiva” producida por el Business Image*.

cabello, J. p. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*. *Ecosistemas* 17(3):1-3. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/77/74>

cabera, E. G., & Vargas D,M . (2011). *protocolo de procesamiento digital de imagenes para la cuantificacion de la deforestacion en Colombianivel nacional escala gruesa y fina*. Bogotá,

- Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM*. Recuperado el 2017
- Cabrera, E. G. (. (2011)). Recuperado el 2017, de . Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, nivel nacional escala gruesa y fina. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudi.
- castellanos, C. (2006). *los ecosistemas de humdales en colombia* . Obtenido de revista luna azul .
- chuvieco, E. (2010). MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CARTOGRAFÍA DEL TERRITORIO COLOMBIANO. *capitulo 3 Teledeteccion* .
- Corpocaldas. (2013- 2015). *DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS corporacion autonoma regional* . Obtenido de DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS: http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1257/Diagnostico_del_Plan_de_Accion_2013-2015.pdf
- cuestas, e. (2014-2017). Obtenido de <http://dronespain.pro/camaras-multiespectrales-en-drones/>
- curran, p. (2001). *Testing* . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co>
- diariodelaeromodelista.blogspot. (domingo, 17 de julio de 201).
- Diaz garcia - cervigón, j. j. (2015). *estudios de vegetacion a partir de imagenes aeres tomadas desde un UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura* .
- E., C. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial (2 ed.)*. Madrid.
- FAO. (11 de 09 de 2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Inventarios forestales y biodiversidad: <http://www.fao.org/3/a-x0963s/x0963s09.htm>
- Finlayson, & Moser. (1991). Obtenido de <http://www.grupolauca.com/pdf/22.pdf>
- flores. (2009). *Índices e indicadores de sostenibilidad par humedales alto andinos*.
- fronteras, C. (13 de julio de 2015). *crea fronteras ecosistemas estrategicos* .
- Gallo, T. G. (2000). Recuperado el 2017, de <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/los-beneficios-de-un-sensor-digital-aerotransportado>
- geograf/teledet. (s.f.). Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema01.pdf>
- <http://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>. (s.f.).
- Humboldt. (2012). *“El gran libro de los páramos”*. Recuperado el 2017, de <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/427-el-gran-libro-de-los-paramos-de-colombia>

- LIZARAZO, I. (2013). *Caracterización de la condición de*. Recuperado el 2017, de <http://comunidad.udistrital.edu.co/nide/files/2013/11/Articulo-Percepcion-Remota-de-la-Vegetacion-27-10-2013-ials.pdf>
- martinez de pison, E. (1987). Recuperado el 2017
- MEA. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment*. Obtenido de revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37018/43842
- Melo, J. (marzo de 2012). *TELEDETECCIÓN APLICADA AL ESTUDIO DE FENÓMENOS OCEANOGRÁFICOS*. Recuperado el 2017 , de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_11.pdf
- Mora, M. J. (02 de febrero de 2011). *BOFEDAL: HUMEDAL ALTOANDINO*. Obtenido de Cusco, 02 de febrero del 2011.: http://cebem.org/cmsfiles/articulos/Humedales_conservacion.pdf
- Naranjo, L. A., & de Leon E.P . (1999). *humedales interiores de colombia*. Obtenido de bases tecnicas para su conservacion y uso sostenible. instituto de recursos biologicos Alexander von Humboldt.
- Pinilla. (1985). <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/introduccion.htm#>. Recuperado el 2017, de <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/introduccion.htm#>
- Rabili, & Gulich. (2005). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Obtenido de UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID: http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf
- Ramsar, c. d. (2004). Recuperado el 2017
- Roque betancourt, L. (2017).
- S.D, m., & Colma , A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetacion*. Obtenido de Metodología para el estudio de la vegetación (No. 581.5 MAT). Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_59_185_24_508.pdf
- Sobrinó Navas, R. ((2016)). Obtenido de . Aplicación de la teledetección y modelos de regresión en la caracterización del Lago de Sanabria.
- Sobrinó, J. A. (s.f.). *Teledetección*. Universitat de València. Recuperado el . (2001).
- Tetraca, inc. (2017). *All rights reserved* . Obtenido de http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm
- Yepes1, G. Y. (28 de febrero de 2015). Índices e indicadores de sostenibilidad. 102,104.

10.2. Sensores activos

Los sensores activos se dividen en dos tipos:

10.2.1. Radares:

Radar (radio detection and ranging), es un sensor activo que opera en la región de las microondas, el cual utiliza ondas de radio para detectar la presencia de objetos y para determinar su rango (posición). Este proceso requiere transmitir pequeños pulsos de energía de microondas en la dirección de interés, y grabar la fuerza y el origen de los “ecos” o “reflexiones” recibidos desde objetos dentro del campo de visión del sistema. El poder de resolución del radar (su habilidad para diferenciar entre objetivos), está determinado por la longitud de onda transmitida por el radar. La transparencia de la atmósfera para las microondas o hiperfrecuencias le permite al radar adquirir datos independientemente de las condiciones del tiempo. Las microondas penetran nubes y no son dispersadas por neblina o lluvia.

El uso de longitudes de onda mayores, que no se encuentran en los espectros solar o terrestre, implica la necesidad de utilizar sensores activos, es decir aquellos que generan su propio flujo de radiación. Su mayor ventaja es que debido a su elevada longitud de onda (muy superior al tamaño de las gotas de agua en la atmósfera) no resulta absorbida por esta, además al ser un haz artificial puede manipularse la forma en que se emite para, así, obtener el máximo de información. Las principales propiedades objeto de manipulación son:

- Angulo de depresión, es el ángulo que forma la dirección de observación con la horizontal. Los valores varían en función de los objetivos, en estudios oceánicos y glaciológicos es menor que en trabajos sobre la superficie continental.
- Angulo de incidencia, es el ángulo que forma la dirección de observación con la perpendicular al objetivo, varía dentro de una misma imagen
- Polarización u orientación (horizontal o vertical) de la onda emitida por el sensor; la onda de vuelta también puede recibirse con polarización horizontal o vertical. De este modo aparecen

cuatro 40 posibles combinaciones (HH, HV, VH, VV) que pueden utilizarse como si fueran cuatro bandas ya que contienen diferente tipo de información.

10.2.2. Lidar:

El LiDAR (Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) es un sensor activo que emite y recibe luz en las longitudes de onda visible e infrarroja cercana. El LiDAR utiliza rayos laser para generar pulsos de luz cortos y de alto poder. En la medida que el pulso pasa a través de la atmósfera, la luz difusa que regresa es detectada por un sistema óptico y es electrónicamente analizada para proporcionar una medición de la intensidad de la luz reflejada por constituyentes del objetivo, en función de la distancia desde el sensor.

10.3. Sensores pasivos

Este tipo de sensores utiliza la radiación emitida o reflejada por la superficie observada, su principal limitación reside en la imposibilidad de su utilización en condiciones de falta de luz o nubosidad.

Para las aplicaciones de observación de la Tierra, los sensores pasivos se benefician de la radiación en las regiones del espectro: ultravioleta (300 a 400 nm), visible (400 a 700 nm), Infrarrojo cercano (700 a 1.500 nm), infrarrojo medio (1500 a nm) e infrarrojo lejano (12.500 nm). Como se muestra en la figura

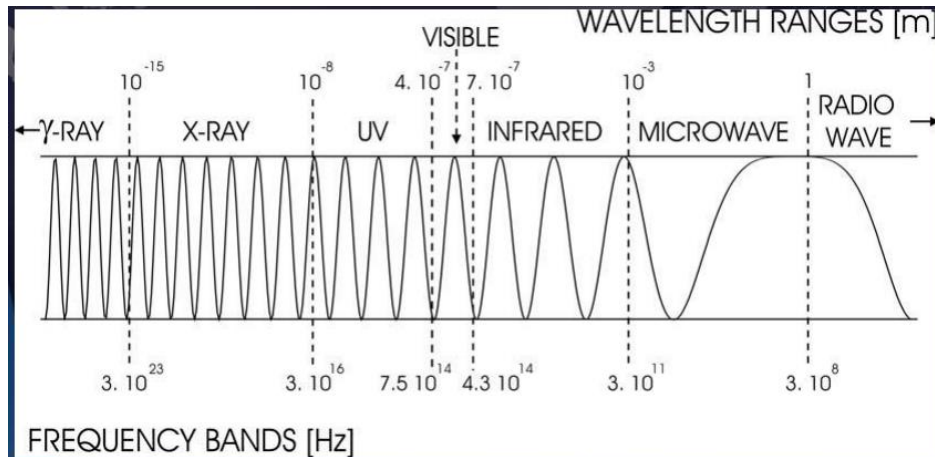


Ilustración 6 sensor pasivo Fabio Vélez Macías

10.3.1. Clasificación de los sensores pasivos por la tecnología

- **sensores fotográficos Análogos:**

Un sensor analógico es aquel que, como salida, emite una señal comprendida por un campo de valores instantáneos que varían en el tiempo, y son proporcionales a los efectos que se están midiendo.

Características de la fotografía análoga:

- Funciona sin necesidad de pilas ni baterías y aunque alguno de sus componentes pueda necesitarlas (fotómetro, flash) puede funcionar sin ellas.
- Hay que esperar al revelado para poder ver si las fotografías han salido bien.
- Se necesita un laboratorio para revelar los negativos y positivar

- **sensores óptico-electrónicos:** En un sistema óptico-electrónico la radiancia recibida por los componentes ópticos se descompone en varias longitudes de onda, cada una de ellas se envía a un conjunto de detectores sensibles a esa región del espectro que la

amplifican y la convierten en señal eléctrica y finalmente en un valor numérico conocido como Nivel Digital (ND). Estos valores numéricos pueden convertirse otra vez a valores de radiancia conociendo los coeficientes de calibrado. revisado

10.3.2. Clasificación de los sensores pasivos por el número de bandas

La adquisición de imágenes obtenidas en forma remota, se logra a través de la detección de las perturbaciones electromagnéticas que provoca un objeto en relación a su entorno, ya sean en forma de reflexión de la energía solar recibida o de un haz energético artificial o bien por su propia emisión.

- **Sensores Pancromáticos:** se captan mediante un sensor digital que mide la reflectancia de energía en una amplia parte del espectro electromagnético (con frecuencia, tales porciones del espectro reciben el nombre de bandas). Para los sensores pancromáticos más modernos, esta única banda suele abarcar lo parte visible y de infrarrojo cercano del espectro. Los datos pancromáticos se representan por medio de imágenes en blanco y negro. (Business)
- **Sensores Multiespectrales:** permiten la adquisición simultánea o en serie de datos de formación de imágenes, en dos o más bandas espectrales discretas. Son los valores de intensidad en las longitudes de onda discretas en las que el sistema capte radiación, mientras que con una imagen hiperespectral lo que obtenemos es el espectro continuo o firma espectral del objeto de análisis. (Business)
- **Hiperespectrales** se refieren a un sensor espectral que mide la reflectancia en muchas bandas, con frecuencia cientos. La teoría en lo que se apoya la detección hiperespectral es que la medida de la reflectancia en numerosas franjas estrechas del espectro permite detectar características y diferencias muy sutiles entre los rasgos de la superficie, especialmente en lo que se refiere a vegetación, suelo y rocas. (Business)

10.4. Cámara multispectral

Es una cámara que es capaz de captar varios espectros de luz. Las cámaras multispectrales que se montan en los drones son de pequeñas dimensiones y pueden llegar a tomar valores de hasta 6 bandas espectrales.

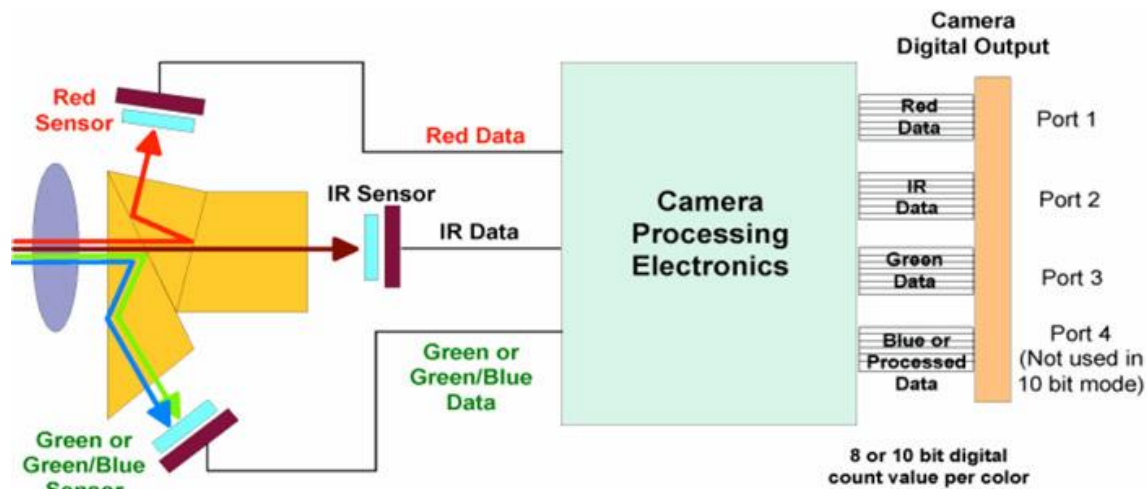


Ilustración 7 cámara multispectral <http://heliboss.co/mundodrone/camaras-multiespectrales-tetracam>

10.5. Qué hacen las cámaras multispectrales

La cámara a partir de la energía recibida, la divide en diferentes longitudes de onda, generando las imágenes multispectrales que captan, este tipo de sensores se pueden calcular diferentes índices de vegetación que nos indican la salud y el bienestar de la vegetación. Para calcular un índice de vegetación es necesario combinar varias bandas del espectro visible lo invisible de la cámara.

(cuestas, 2014-2017)

10.6. Plataformas, satelitales, aerotransportadas, drones

Por plataforma, se entiende a las estructuras que transportan al sensor y otros elementos necesarios para su funcionamiento. Las plataformas más conocidas son los satélites (eje: LANDSAT, METEOSAT, NOAA, SPOT) o aviones que transportan los aparatos necesarios para captar, almacenar y transmitir imágenes a distancia (sensores).



Figura 8 plataforma tomada de UNESCO rapca

10.6.1. Satélites artificiales:

los satélites artificiales son creados por el hombre el cual es puesto en órbita transformado en un cuerpo celeste tratando de imitar a un planeta (como la tierra) o a un satélite natural (como la luna), estos satélites están equipados de la mejor manera y alta tecnología , como lo son las telecomunicaciones tales como teléfonos celulares, internet, televisores), además de contar con GPS para la navegación, los cuales son utilizados para diferentes estudios astronómicos, como es el caso de las telescopios y estaciones espaciales y otro de sus usos es la seguridad militar.

10.6.2. Aerotransportados

Los sensores aerotransportados operan con mayor proximidad al terreno y por lo mismo siempre estarán en condiciones de superar las capacidades de sensibilidad espectral y relación señal/ruido de los sensores satelitales. La diferencia de velocidades entre las plataformas (60 m/seg aerotransportado, versus 6000 m/seg espacial) permite también un tiempo de integración más largo que contribuye a la reducción de la relación señal/ruido.

Otra ventaja del sensor aerotransportado sobre el espacial es la disponibilidad de datos según la demanda. Esto significa que la localidad, tiempo de adquisición, tipo de imagen y resolución están dictados por la aplicación. Por el contrario, las imágenes de satélite están disponibles con órbita y resolución fija. La mayoría de las imágenes de satélite están plagadas de nubosidad, lo que dificulta el mapeo de vegetación contigua. Para los casos en los que se deben cubrir grandes extensiones en corto tiempo se pueden comisionar varios sensores simultáneamente

Dentro de los sensores aerotransportados encontramos:

- los aviones
- los drones (Gallo, 2000)

10.6.3. Definición del RPAS

Es un pequeño tipo de aparato volador no tripulado y que puede ser controlado en forma remota; un dron puede ser usado en infinidad de tareas que el humano no puede o no quiere realizar, o simplemente son demasiado peligrosas, como por ejemplo, la exploración o la limpieza de residuos tóxicos, y como no podía ser de otro modo, para fines bélicos

Los Drones cuentan con un componente de conducción mediante radiocontrol, pero no se limitan solo a las instrucciones que reciben. Los drones pueden ejecutar actividades o tareas de forma autónoma, gracias a los sensores de nivel y de altura, al giroscopio y al GPS que poseen incorporados en su electrónica. Estos componentes les permiten a los vehículos aéreos no

tripulados, tomar decisiones sin la intervención de un ser humano, convirtiéndolos en aparatos con cierto nivel de autonomía. (berrios, 2017)

10.6.3.1. RPAS de ala fija

Los RPAS de ala fija, se caracterizan por poseer una estructura simple, con una eficiencia aerodinámica alta que permite a la aeronave tiempos de vuelo más largos a una velocidad constante.

Poseen una autonomía de entorno a una hora de vuelo con velocidades que puedan llegar a alcanzar hasta los 100 km/h por lo que son capaces de cubrir grandes extensiones de terreno.

Esta es la razón por la cual son utilizados en aplicaciones de reconocimiento aéreo de grandes zonas de terreno, ya que permiten la captura de imágenes geo-referenciadas a gran escala.

10.6.3.2. RPAS de ala rotativa:

Son aquellos que giran alrededor de un eje, consiguiendo de este modo la sustentación Aeronave de alas giratorias en los cuales el rotor está impulsado mediante un motor y está articulado de tal modo que produce sustentación y propulsión. Una aeronave de ala rotativa, comúnmente conocido como “**helicóptero o autogiro**” Los RPAS pueden elevarse y descender verticalmente y permanecer en una posición determinada y moverse hacia adelante, hacia atrás o hacia los lados. Este fenómeno se realiza gracias a las palas del rotor que proporciona sustentación cuando giran en el eje vertical y al rotor. (diariodelaeromodelista.blogspot, domingo, 17 de julio de 201)

11. Antecedentes metodología

El diseño metodológico implementado en esta investigación parte de la articulación y triangulación de diferentes métodos cualitativos y cuantitativos, para determinar las fortalezas, vacíos y tendencias de la información que posee Caldas frente a los humedales.

La investigación facilita desarrollar las competencias básicas para la elaboración de trabajos de grado, la participación en proyectos docentes a través de la elaboración de documentos de investigación que, si bien se relaciona con el proyecto, Índices espectral para la evaluación del estado de los humedales altoandinos empleando una cámara multiespectral soportada por un vehículo aéreo no tripulado. Elaboración de documentos de investigación que si bien se relaciona con el proyecto.

El área de estudio COMPLEJO DE HUMEDALES EL OCHO – LETRAS que da contexto al problema en estudio.

La delimitación arroja características propias para la recopilación de información correspondiente a la descripción del área de estudio, en el cual se buscó que fuera un área apta para el desarrollo de la actividad investigativa. Además de que cumpliera con una línea base entre la cobertura vegetal y características principales en los humedales, En tanto, el área de influencia corresponde a los límites dentro de los cuales el proyecto fue constituir una solución real al problema detectado y queda definido principalmente por la ubicación de la cobertura vegetal afectada.

Eventualmente, las áreas de estudio e influencia coincidió con antecedentes que fueron recopilados para ambas áreas de estudio son los de la distribución espacial en el área de influencia. La tecnología de información ha evolucionado constantemente en el desarrollo, implementación y distribución de la información en almacenamientos de datos.

11.1. Antecedentes de estudios de humedales nacionales

Entre los estudios más representativo encontramos:

a. Estudio “Índices e indicadores de sostenibilidad para humedales alto andinos”

El estudio la autora lo dividió en los siguientes bloques:

- **Geoindicadores:** Se han considerado además otros indicadores para evaluar la calidad ambiental tal es el caso de los indicadores Geológicos y geomorfológicos; los cuales se agrupan bajo el término de geoindicadores dentro de los que se encuentran la actividad de suelos congelados (permafost) los cuales influyen en ecosistemas naturales como los humedales y su sistema hidrológico; la calidad del suelo y la erosión también hacen parte de este grupo de indicadores. (Flores, 2009).
- **Indicadores climáticos:** Se han considerado también los indicadores climáticos los cuales están asociados a los meteorológicos, dentro de los cuales se agrupan en precipitación, humedad relativa y punto de rocío. (flores, 2009). Ahora bien para determinar un índice ambiental éste debe estar Enfocado a determinar una categorización numérica o descriptiva de una gran cantidad de información ambiental con el propósito de simplificar los datos y hacer más fácil la labor de decisión ambiental (flores, 2009), es decir, con la información que se obtenga de cada uno de los tipos de indicadores será posible construir el índice ambiente para los humedales altoandinos. (Yepes1, 28 de febrero de 2015)

b. Estudio evaluativo descriptivo de los humedales Juan Amarillo Córdoba y Jaboque como mitigadores del cambio climático y planteamiento de una estrategia de fortalecimiento para este potencial. (Bogotá-Colombia)

La ciudad de Bogotá abarca un potencial ecosistémico que va desde los 3.490 msnm hasta los 2.600 msnm, pasando por el páramo de Sumapaz y por los valles aluviales del río Bogotá. Al

interior de esta franja latitudinal se encuentran los humedales, los cuales por encontrarse en un amplio gradiente altitudinal, son altamente importantes dentro de la dinámica hidrológica que caracteriza esta zona del país; así mismo, estos sirven como grandes corredores biológicos para la gran diversidad biológica tanto local como migratoria, constituyendo de esta manera un eje importante dentro de la Estructura Ecológica Principal (DAMA, 2000).

Bogotá actualmente cuenta con 13 humedales distribuidos a lo largo y ancho de su territorio, que forman parte del más importante centro de reproducción de aves de los Andes; estos se encuentran en diferentes estados de degradación y conservación. (DAMA, 2000) En términos generales, los humedales de la ciudad se han visto afectados por el desarrollo de obras de infraestructura urbana (entre las cuales se destacan las vías y las urbanizaciones) que reducen el área de estos; así mismo, por los diferentes tipos de desechos y vertimientos que son depositados en estas zonas, la entrada constante de perros y gatos quienes prenda a las especies que albergan estos ecosistemas, la práctica de ganadería extensiva, rellenos con escombros provenientes de excavaciones, entre otros.

Sin embargo, de ser correctamente incluidos los humedales en el proceso de planeación y Ordenamiento del territorio, proveen a los ciudadanos los siguientes servicios ambientales (Camargo, G. en EAAB, 2003):

- a. Conservación de la biodiversidad, especialmente la endémica y migratoria.
- b. Mantenimiento de la conectividad ecológica entre los cerros y el río Bogotá.
- c. Diversidad paisajística y embellecimiento de la ciudad.
- d. Amortiguación de las crecientes en épocas de lluvias.
- e. Recarga de aguas subterráneas de la Sabana.
- f. Trampa de materiales escurridos al río Bogotá.

Los humedales que se trabajaron en la presente investigación son Juan Amarillo, Córdoba y Jaboque, los cuales son de Planicie; su origen es fluviolacustre y se caracterizan por tener un espejo único múltiple, con áreas inundables no niformes. Se encuentran por debajo de los 2.700 metros sobre el nivel del mar. (DAMA *et. al*, 2006) Para trabajar en la recuperación de estos

humedales es necesario entender el proceso histórico del que han sido testigos activos; este proceso comienza desde la implementación de la agricultura indígena, posteriormente por la demanda de terreno para la plantación de pastos con fines ganaderos y finalmente la creciente urbanización debido al crecimiento demográfico de la población capitalina por diferentes causas sociales. (DAMA *et. al*, 2006)

11.2. Antecedentes de Estudios de teledetección para análisis de vegetación

a. Estudio “Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales para análisis de Coberturas Vegetales en la Provincia de Loja, Ecuador las variaciones temporales y espaciales de coberturas vegetales son un importante indicador de las dinámicas de los ecosistemas.”

Entre las técnicas de empleo de datos satelitales multiespectrales se destacan los índices de vegetación. El presente estudio evaluó tres índices de vegetación, como estimadores de tipos de vegetación. Los índices empleados fueron: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI, Índice de Estrés Hídrico MSI y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI, aplicados a imágenes Landsat 7 ETM+ y ASTER. Además se analizó la relación entre los índices con precipitación y temperatura. Los resultados muestran que los índices permitieron discriminar tipos de vegetación, no hubo diferencias significativas entre estos en las dos imágenes. (Aguilar I. A., 2014)

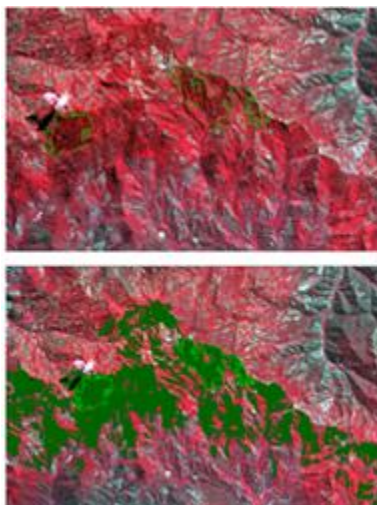


Figura 9 polígonos de imágenes y mapas de cobertura (Aguilar I,A 2014)

11.3. Estudios en el trópico con teledetección.

a. Estudio Teledetección aplicada al estudio de fenómenos oceanográficos superficiales

Entre las tecnologías de avanzada, hoy día se encuentra la teledetección, que se define como el grupo de técnicas de colección de información confiable sobre las propiedades físicas de superficie y su alrededor desde cualquier distancia sin contacto físico. Su desarrollo a escala mundial ha permitido contar con herramientas en el proceso de adquisición, almacenamiento y análisis de los datos sobre extensos territorios de manera eficiente, rápida y exacta. Por ello, es importante realizar el estudio y seguimiento de procesos oceánicos tales como físicos y biogeoquímicos marinos; pues estos juegan un papel importante en el clima mundial, son parte esencial en el ecosistema planetario e influyen en el desarrollo de gran parte de las actividades humanas. En el sistema climático, los océanos influyen en el balance energético y el plancton juega un significativo papel en los procesos de intercambio océano-atmósfera de gases de vital importancia, como el CO₂ (segundo contribuyente al efecto invernadero (Najjar, 1995) y el dimetilsulfido (principal fuente de núcleos de condensación de nubes en la atmósfera marina (Kéller, Bellower & Guillard, 1989)). Por lo anterior, el seguimiento y estudio de los procesos oceánicos, además de servir de elemento importante para conocer mejor el funcionamiento del sistema climático y el comportamiento del medio ambiente en general, es una herramienta importante para identificar el potencial socioeconómico y ambiental de diferentes regiones del océano, así como la planificación de las actividades que allí se desarrollan.

Medición a través de percepción remota La medición de la clorofila a se puede realizar mediante la utilización de sensores remotos, los cuales permiten la obtención de datos del color del océano, entre los que podemos destacar la clorofila a. Este, se basa en que las propiedades ópticas son controladas por la concentración de las partículas biogénicas y la materia disuelta, el fitoplancton, las bacterias y sus productos de biodegradación (Lewis, 1992). Por ello, las variaciones en las propiedades ópticas modifican la distribución espectral y geométrica del campo de luz en el agua, permitiendo así la alteración en el color del mar. (Aguilar C. , 2008)

Como se muestran en las figuras 10 Y 11

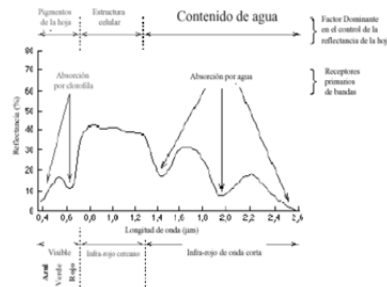


Figura 10 componente celular y sus comportamientos de reflectancia copyright multispectral remoto sensing

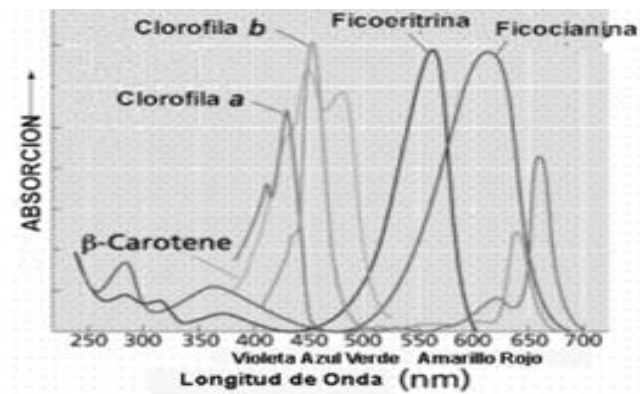


Figura 11 muestra de rango de absorción copyright multispectral remoto sensin

Los cambios dependientes del tiempo en la dinámica del fitoplancton son inducidos por un juego interno entre los procesos físicos, químicos y biológicos de manera compleja. En los trópicos donde existe disponibilidad de luz durante todo el año, la dinámica del fitoplancton es controlada

dentro de un rango en el cual los nutrientes de las plantas son suministrados a las capas oceánicas más superficiales.

Esto influenciado por los vientos superficiales, permite que las aguas sub-superficiales ricas en nutrientes suban a la superficie incrementando rápidamente la biomasa del fitoplancton conocida como afloramientos.

Al contrario de las aguas tropicales, los mares templados y polares, tienen la concentración de nutrientes apropiada para el crecimiento del fitoplancton, pero su intensidad lumínica varía constantemente durante la época de estaciones: en invierno por tener una intensidad muy baja no permite un crecimiento adecuado del fitoplancton; en primavera la productividad del fitoplancton presenta un rápido desarrollo, constituyéndose en un evento importante para el Atlántico Norte, los mares polares y las aguas costeras. (Melo, 2012)

Fitoplancton característico de las aguas marinas colombianas / teledetección aplicada al estudio de fenómenos oceanográficos

11.4. Antecedentes de estudios de un ecosistema.

a. Estudio Índices Espectrales de Vegetación

Análisis comparativo de índices de vegetación para la identificación de la variación espectral de las coberturas naturales a partir de imágenes Landsat (BRAND)

Es un cociente o ratio implica efectuar una división, pixel a pixel, entre los ND almacenados en dos o más bandas de la misma imagen. Los índices espectrales se utilizan ampliamente en dos situaciones:

1) para mejorar la discriminación entre coberturas con comportamiento reflectivo muy distinto en esas bandas, por ejemplo para realzar suelos y vegetación en el VIS e IRC, y 2) para reducir el efecto del relieve (pendiente y orientación) en la caracterización espectral de distintas coberturas, sin embargo resulta más recomendable aplicar correcciones del sombreado topográfico,

centrando el interés de estos índices en mejorar la discriminación de las coberturas vegetales y estimar algunas de sus variables biofísicas. El empleo de cocientes para discriminar masas vegetales se deriva del peculiar comportamiento radiométrico de la vegetación (figura 19).

La vegetación sana muestra un claro contraste entre las bandas del VIS –y especialmente la banda roja ($0,6 - 0,7 \mu m$)– y el IRC ($0,7 - 1,1 \mu m$). Mientras en el VIS los pigmentos de la hoja absorben la mayor parte de la energía que reciben, estas sustancias apenas afectan al IRC. Por esta razón, se produce un notable contraste espectral entre la banda reflectividad de la banda R del espectro y la del IRC, lo que permite separar, con relativa claridad, la vegetación sana de otras de otras coberturas ((E., 1995) (chuvieco, 2010)

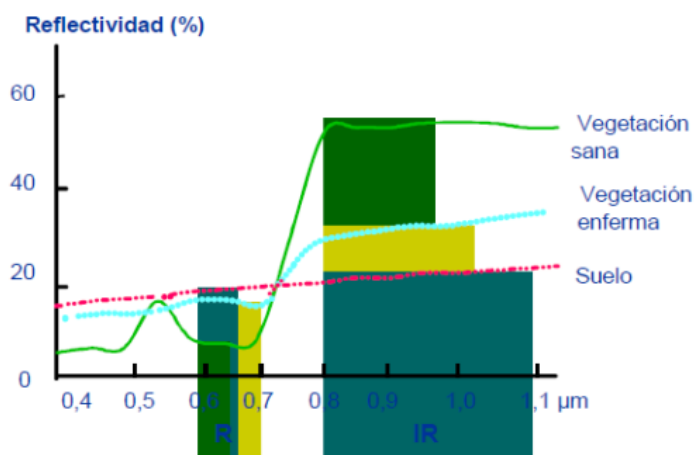


Figura 12 Comportamiento de la vegetación en el espectro electromagnético. Fuente: (Gonzaga Aguilar, 2014)

6.3.1 Ejemplos de estudios de espectrometría en vegetación (terrestre o aérea o satelital)

Caracterización de la condición de la vegetación usando sensores próximos y remotos

La técnica espectroscópica más utilizada para realizar la caracterización espectral de la vegetación se enfoca en la medición de la reflectancia, variable que como se ha indicado, está directamente relacionada con las propiedades bioquímicas. En los últimos años, sin embargo, ha ganado importancia la medición de la fluorescencia clorofílica.

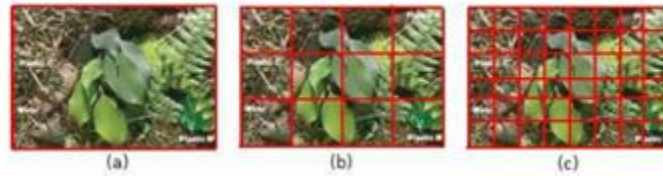


Figura 13 La técnica de análisis es función de la resolución espacial de la imagen: (a) sub-píxel; (b) píxeles; (c) grupos de píxeles (objetos de imagen)

La energía solar que es absorbida por una hoja excita los electrones en las moléculas de clorofila: (a) Buena parte de dicha energía se puede convertir en energía química para realizar la fotosíntesis; (b) el exceso de energía se puede liberar en forma de calor; o (c) dicho exceso se puede re-emitir en forma de fluorescencia. Los tres procesos mencionados compiten permanentemente entre sí, lo cual significa que la intensidad de la fluorescencia es mayor cuando se ha liberado menos energía calórica o cuando la fotosíntesis utiliza menos energía química. Por consiguiente, la medición de la fluorescencia clorofílica permite evaluar la eficiencia de los procesos fotoquímicos y no fotoquímicos.

La fluorescencia emitida por una hoja tiene una longitud de onda mayor que la de la luz que se absorbe. En general, la fluorescencia se mide iluminando la hoja en un rango espectral determinado y midiendo la intensidad de la luz emitida en una longitud de onda mayor. Los autores de establecieron que existe una relación lineal entre la fluorescencia clorofílica medida en 735 nm y 705 nm y el contenido de clorofila. Estudios más recientes sugieren que existe una correlación significativa entre los valores de fluorescencia y el contenido de nitrógeno, y que esa correlación es más fuerte que la existente entre reflectancia espectral y nitrógeno. Imágenes disponibles La mayoría de las investigaciones usan imágenes adquiridas con sensores ópticos pasivos los cuales usan la luz solar como fuente de energía y permiten registrar la respuesta espectral en el rango entre 400 y 2500 nm. Una imagen pancromática permite obtener la respuesta espectral del objeto de interés en una sola banda. Dependiendo del número de bandas y del ancho espectral de cada banda, las imágenes se pueden clasificar en las categorías multi, super, hiper o ultra espectrales. Entre menor sea el ancho de cada banda, mejor es la resolución espectral, debido a que se obtienen espectros de reflectancia que son prácticamente continuos.

La Figura ilustra la diferencia entre la respuesta registrada en un sensor multi-espectral (línea en color azul) y la respuesta captada por un sensor hiperespectral (líneas en colores verde y rojo)

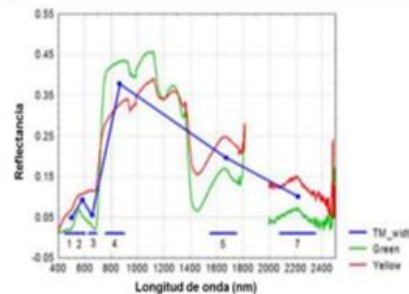


Figura 14 comparación entre la respuesta espectral captada por un sensor multispectral (azul) y la respuesta híper espectral (Línea color verde y rojo) Iván Lizarazo Universidad Distrital

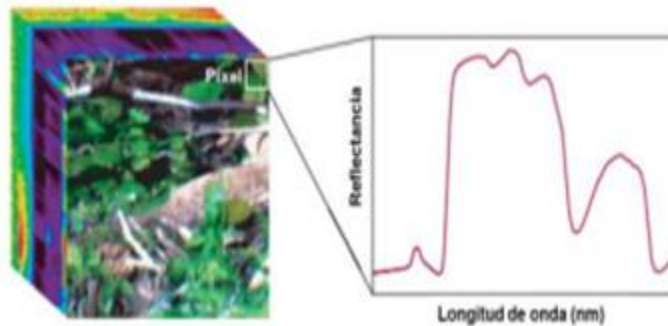


Figura 15 respuestas híper espectral casi continuo/ Iván Lizarazo Universidad Distrital

Otra característica importante de una imagen es la relación existente entre el tamaño de cada pixel y el tamaño de los objetos de interés. La Figura No. 22 ilustra las tres situaciones básicas: (a) el tamaño del pixel es mayor que el tamaño de los objetos de interés (resolución espacial baja), (b) el tamaño del pixel es similar al tamaño de los objetos de interés (resolución espacial media), (c) el tamaño del pixel es menor que el tamaño de los objetos de interés (resolución espacial alta)

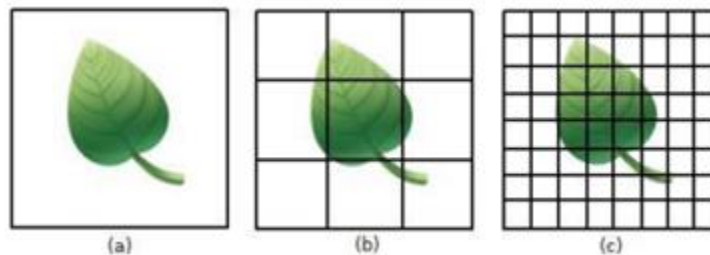


Figura 16 La resolución espacial de una imagen ser (a)baja (b) media (c)alta/ Iván Lizarazo Universidad Distrital

La resolución temporal de una imagen, por otra parte, hace referencia a la frecuencia de adquisición de una imagen. Esta resolución depende fundamentalmente del tipo de plataforma en la cual se instala el sensor y, en el caso de satélites, ella puede variar desde 30 minutos hasta un cierto número de meses (LIZARAZO, 2013) Iván Lizarazo Universidad Distrital Facultad de Ingeniería ilizarazo@udistrital.edu.co

12. Desarrollo metodológico

7.1. Área de estudio

Para el área de estudio se escogido Los municipios de Manizales y Villamaría. Altitudinalmente se localiza entre los 3.000 y 3.500 metros. En este sector se ubica el área que ejerce una influencia directa sobre los humedales presentes en Estos sitios.



Ilustración 16 Área de estudio (tomada desde mi celular)

7.2. Selección de equipos para el estudio.

Los equipos utilizados en la investigación fueron suministrados por la Universidad Católica de Manizales tales como:

- a. El RPAS o sistema de aeronave pilotado remotamente, tiene las siguientes características
 - 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
- Gimbal alex mos 2 ejes
- Telemetría: Radios 3DR 915 mhz



Foto 17 de material de estudio (tomada desde mi celular)

b. El GPS utilizado se describe a continuación

DISPLAY	
Technology	TFT active matrix
LCD Technology	Transflective
Diagonal Size	3.5 in
Diagonal Size (metric)	8.9 cm
Output Type	Color
Native Resolution	240 x 320
GENERAL	
Operating System	Microsoft Windows Mobile for Pocket PC 2003

Manufacturer	TRIMBLE NAVIGATION LTD
MISCELLANEOUS	
Compliant Standards	MIL-STD 810F, IEC 60529 IP67
Features	water-resistant
Included Handheld Accessories	hand strap, stylus
PROCESSOR	
Type	XScale PXA255
Manufacturer	Intel
Clock Speed	400 MHz
MEMORY	
ROM	128 MB – flash
128 MB - flash	AUDIO
AUDIO	
Type	speaker(s)
INPUT DEVICE	Type
Type	Touchscreen
ENVIRONMENTAL PARAMETERS	
Min Operating Temperature	-22 °F
Max Operating Temperature	140 °F
MULTIMEDIA	
Audio	Speaker
BATTERY	
Run Time (Up To)	15 sec
HEADER	
Brand	Trimble
Product Line	TDS Recon
Model	400
Packaged Quantity	1

Compatibility	PC
SYSTEM	
Platform	Windows
Handheld Type	Handheld
EXPANSION AND CONNECTIVITY	
Expansion Slots	1 x CompactFlash Card - type I 1 x CompactFlash Card - type II
Interfaces	1 x serial RS-232
ROM	
Installed Size	128 MB
RAM	
Technology	SDRAM
Installed Size	64 MB
CARD READER	
Supported Flash Memory Cards	CompactFlash (type I)
AUDIO OUTPUT	
Type	Speaker
AUDIO INPUT	
Type	None
OS PROVIDED	
Type	Microsoft Windows Mobile for Pocket PC 2003
POWER DEVICE	
Type	power adapter
GPS SYSTEM	
Navigation	None
EXPANSION SLOTS	
Type	CompactFlash Card
Form Factor	type I, type II

INTERFACE PROVIDED	
Interface	serial RS-232
CABLE DETAILS	
Type	USB cable
PDA SOFTWARE	
Type	Calculator, Calendar, Tasks, Windows Media Player 9.0 for Pocket PC, Contacts, Microsoft ActiveSync 3.7, Microsoft Outlook 2002, Notes, Pictures, Pocket Excel, Pocket Outlook, Pocket Word
DIMENSIONS & WEIGHT	
Width	3.7 in
Depth	1.8 in
Height	6.5 in
Weight	17.28 oz
SERVICE & SUPPORT	
Type	1 year warranty
SERVICE & SUPPORT DETAILS	
Type	limited warranty
Full Contract Period	1 year
GENERAL	
Manufacturer	TRIMBLE NAVIGATION LTD

- c. Targets de calibración: Consta de una tela que se divide en 4 colores los cuales son: negro, gris oscuro, gris claro y blanco
- d. Targets de georreferenciación: Fue realizado con material reciclable en forma de ajedrez que consta de dos cuadros blancos y dos negros.
- e. Cámara que fue ubicada en el RPAS:
Características de la cámara

- 90 gramos 3.2 MPEL multiespectral
- Sistema RG-NIR diseñado principalmente para operar a bordo de aeronaves no tripuladas.
- Bandas multiespectrales 3-Fixed Green, Red, NIR (Equivalente a Landsat TM2, TM3, TM4)
- Indicadores (Estado o LED ocupado) El LED ADC Micro Busy está ubicado en el lado inferior derecho de la parte frontal de la cámara. Rojo indica una condición de Ocupado. Verde, una condición no ocupada. Cuando este indicador se ilumina en verde, la cámara está lista para capturar una nueva imagen.
- Memoria Tarjeta de memoria Micro SD de 16 GB provista de serie con equipamientos
- Puertos predeterminados Video (NTSC o Pal), USB, serial RS232, obturador remoto (disparador externo)

Video (NTSC o PAL): Se utiliza para ver los menús del sistema para la configuración del sistema o para actuar como visor de la cámara. El formato de video y el modo de visualización (menús del sistema o visor) son seleccionables por el usuario.

- USB :USB 2.0 utilizado para conectar la cámara a una computadora para la configuración del sistema
- RS232 serie: Se usa principalmente para conectar dispositivos que transmiten coordenadas GP continuas u otra información de ubicación en oraciones NMEA estándar a la cámara a través de sus pines de interconexión 7 y 8. Estos pines se pueden conectar al conjunto de prueba y caja de control para conectarlos a través de un teléfono estéreo de 3,5 mm conéctelo a un dispositivo externo o conéctelo directamente al dispositivo externo a través de un cable de integración del sistema sin terminación incluido.

- Obturador remoto: Se usa como un disparador externo para iniciar la captura de imágenes a través del pin 5 de interconexión de ADC Micro.
- Poder :+ 9 VDC a + 14.7 VDC (160 mA); Dos vatios nominales
- Sensor Micro ADC Distancia 520 nm a 920 nm Dimensiones
- 6.55 mm x 4.92 mm Tamaño de pixel 3.2 micras
- Óptica : Longitud focal Lente fija de 8.43 mm Abertura f / 3.2
- Medio de almacenamiento de imagen predeterminado
- ADC Micro almacena todas las imágenes y metadatos en una tarjeta de memoria Micro SD estándar de 16 GB que se inserta en la ranura de la tarjeta de memoria debajo del indicador de ocupado.
- Tipos de archivos de imagen predeterminados
- Las imágenes se capturan en formatos de archivo nativos Tetracam (es decir, 10 bit DCM sin pérdida, 8 bit RAW y 10 bit RAW). Se pueden traducir a través de Pixel-Wrench2 a otros tipos de archivos de imágenes comunes, como BMP, JPEG, TIFF, PNG, etc.

7.3. Software

El software que se utilizaron son:

- a. **PixelWrench2:** Es un potente programa de edición de imágenes que incluye herramientas específicas para imágenes multispectrales. El programa acepta NIR / Green / Red u otras bandas de imágenes capturadas de la familia ADC o MCA de 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. (Tetraca, inc, 2017)

- b. **Software ArcGIS:** Es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. ArcGIS se agrupa en varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, de fotografía que contiene información geográfica.
- c. **ENVI:** Es el software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales utilizado por profesionales GIS, científicos, investigadores y analistas de todo el mundo.
- d. Ofrece una suite robusta de herramientas y flujos de trabajo automatizados, que pueden integrarse de manera sencilla a las soluciones ArcGIS de Esri.
- e. 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 <http://www.sigs.info/productos/envi>.
- f. Mission Planner: Es una aplicación de estación de tierra con todas las funciones para el proyecto piloto automático Misión Planner se puede utilizar como una utilidad de configuración o como complemento de control dinámico de su vehículo autónomo

12.4. Planificaciones y desarrollo del vuelo

Cuando se va a realizar el vuelo es necesario entregar al grupo de trabajo la información necesaria y básica del terreno y el área de estudio

- Descripción de la zona límites, características topografía, clima.
- Tipo de cámara, características del RPAS (dron), aérea en que se va a realizar el vuelo, tipo, distancia focal, tiempo de exposición, capacidad de almacenaje.
- RPAS (Dron) tipo y marca, velocidad de vuelo máxima y mínima.

Para la planificación y realizar los vuelos, se tuvieron en cuenta aspectos generales como: (alturas permitidas, obstáculos, vientos, puntos de lanzamiento y aterrizaje) y específicos del vuelo altura, velocidad, coordenadas, características de las cámaras y software para definición del polígono del área de influencia).

La tecnología actualmente nos brinda aplicaciones que nos van ayudar a planificar vuelos. Se realiza el recorrido programado, tomando las fotografías necesarias y de acuerdo al área estudiada.

12.4.1. Alistamientos del vuelo, ubicación targets georreferenciación de los targets revisión de condiciones atmosféricas.

Como se evidencia en la foto se realiza el alistamiento de todo el equipo de trabajo que va hacer utilizado tales como los drones con los que se realizaron el vuelo, los targets de georreferenciación y los targets de revisión de condición atmosférica, fueron ubicados en puntos estratégicos con el fin de identificar las áreas y georreferenciación.



Fotografía 19 de material utilizado en los vuelos(tomada desde mi celular)

12.4.2. Alistamientos del dron ubicación de cámara espectral

Como se evidencia en la fotografía se realiza la incorporación y la verificación del estado de las cámaras al dron, para luego proceder a realizar el montaje de la cámara espectral sobre el dron.



fotografia20 montaje de cámara espectral(tomada desde mi celular)

12.4.3. Ejecuciones del vuelo

Para el momento de Vuelo: se determina la ruta en el computador previamente, antes de realizar el vuelo y la Recuperación del mismo a través del control remoto por medio del aterrizaje ya sea manual o automático.

Momento de Tierra: Desarrollado en punto de Control establecido en tierra, se envía la información y a su vez les dan órdenes de recorrido de vuelo.

Como se muestra en la fotografía.



Fotografía 21 Ejecución del vuelo (tomada desde mi celular)

La observación aérea mediante UAS/RPAS conlleva la formación de cuatro conjuntos, necesarios para hacer posible la recogida de datos, repartidos entre la plataforma aérea y la estación terrestre.

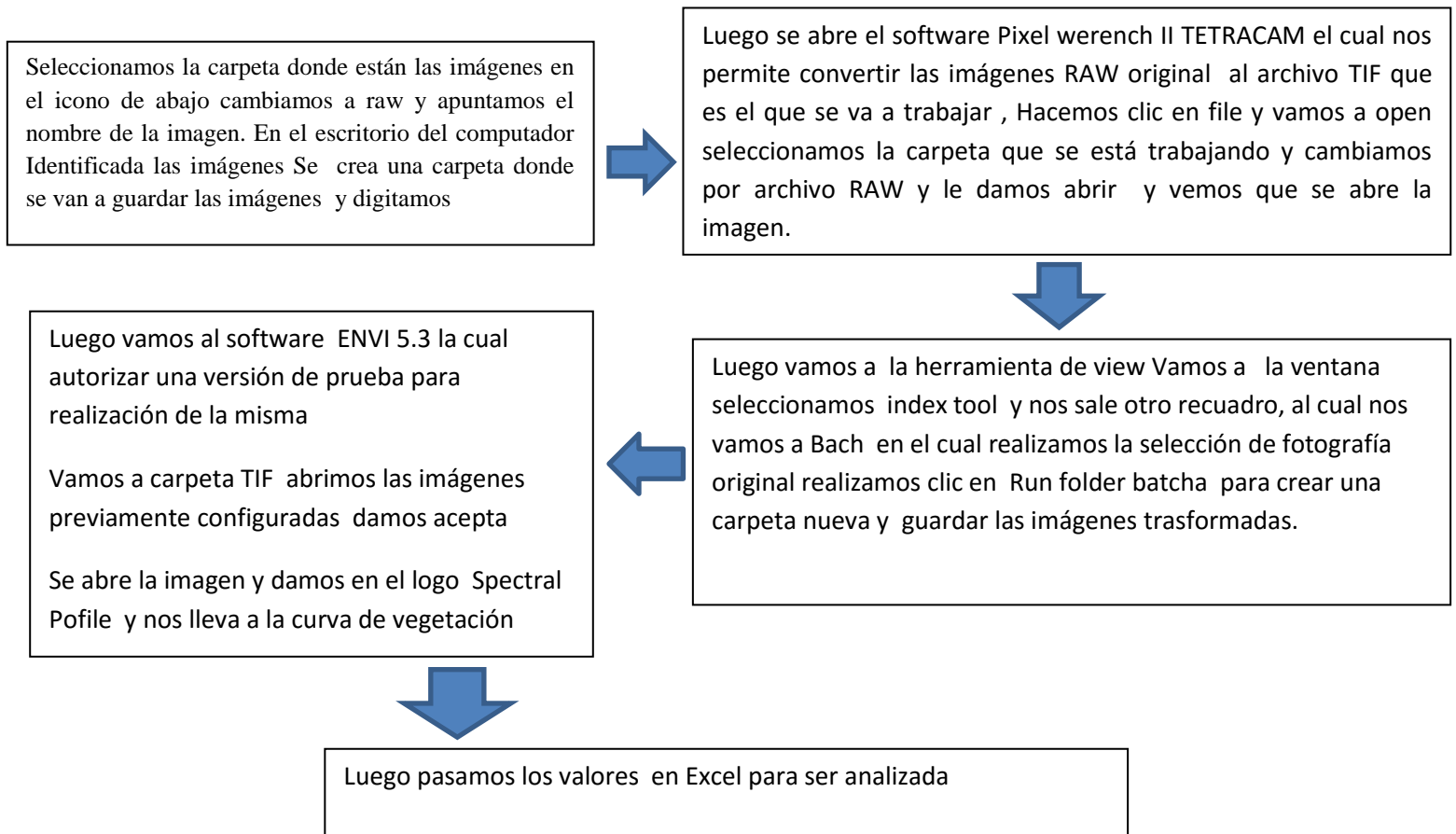
- Plataforma de Vuelo: la cámara fotográfica y otros sensores cámara de infrarrojo.
- Datos de Vuelo: información obtenida y controla el seguimiento del vehículo aéreo.
- Sistema de Lanzamiento y Recuperación: controla el despegue y el aterrizaje.
- Sistema de Comunicaciones: a través de la radio, comunica la estación de control con el UAS transmite la información adquirida durante el vuelo.

13. Procesamiento de imágenes

Procesamiento digital de las imágenes previamente pre-seleccionadas, para la generación de curvas de vegetación, distribución y cambios en las coberturas de los humedales, principalmente

vegetación. En este nivel de generación de información como parte del apoyo a las actividades y con el propósito de sacar el mayor provecho de la mayor resolución espacial de las imágenes, Esta información permite adicionalmente establecer análisis preliminares de las posibles causas o factores de la pérdida de vegetación en los humedales. (Cabrera, . (2011))

8.1. Desarrollo del proceso



Cuadro18 procesos de digitalización de imágenes

8.1.1 tabla de información frente a la posición y el serial de la imagen utilizada.

a. Tabla de posicionamiento

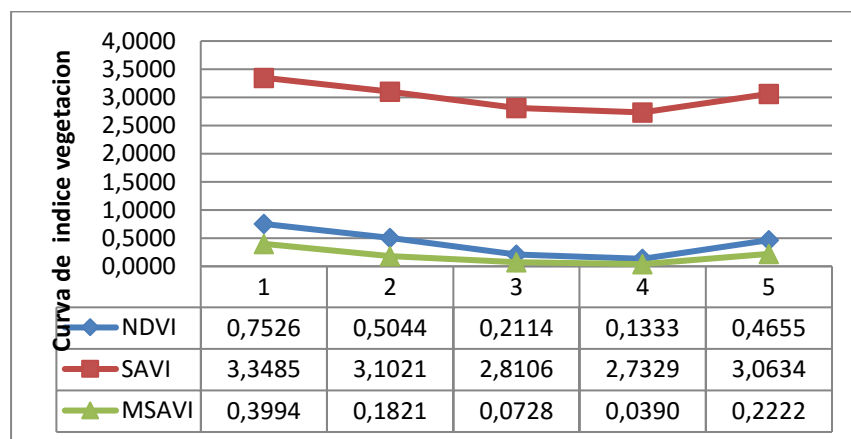
N° de imagen	loc	crosshair	ND NIR	ND RED	NDG
77co33306	1031	556	255	36	144
77co33307	1002	1002	255	84	199
77co33308	798	798	255	166	255
77co33310	1000	1000	255	195	248
77co33311	1430	12430	255	93	251

b. tabla de índices de vegetación

NDVI	SAVI	MSAVI
0,7526	3,3485	0,3994
0,5044	3,1021	0,1821
0,2114	2,8106	0,0728
0,1333	2,7329	0,0390
0,4655	3,0634	0,2222

Tabla 1 de resultados envi 5.3

C. Grafica índices de vegetación

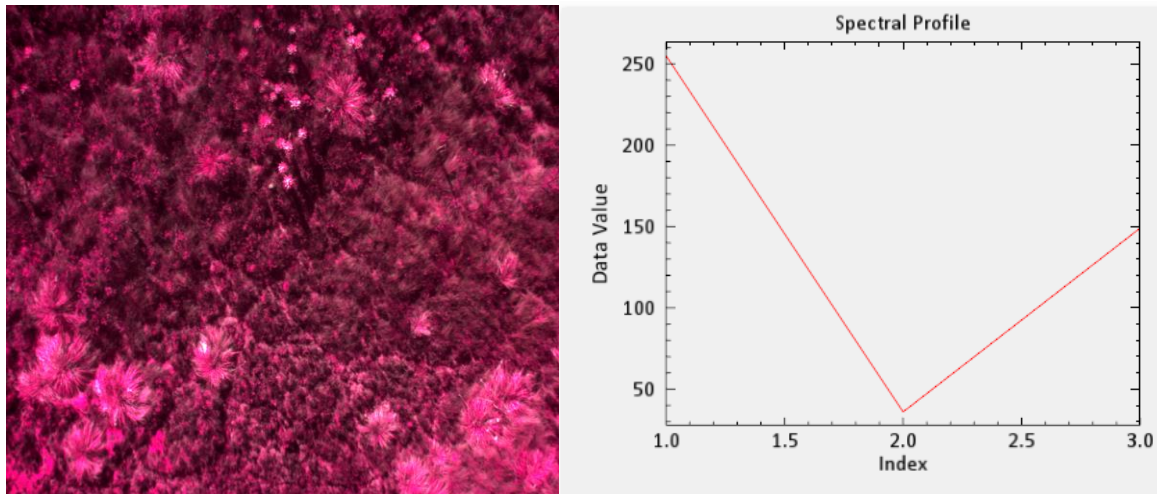


En la tabla podemos evidenciar dentro de los porcentajes que la vegetación encontrada dentro del are de interés del estudio COMPLEJO DE HUMEDALES EL OCHO – LETRAS cuenta con una cobertura vegetal abundante en relación a los suelos descubiertos evidenciando que la curva de vegetación está en un buen momento de conservación a pesar de que hay áreas que no tienen una buena cobertura vegetal las cuales pueden ser luganos más cercanos o con vías de acceso para la intervención del hombre el cual genera una huella de destrucción evidente .

13.2. Gráficas y cálculos de índices de vegetación

A continuación, se realiza el análisis de individuo por imagen, donde se aprecia la fuente de la información, los niveles digitales, la gráfica de la curva espectral, y los valores de los índices calculados.

13.2.1. Análisis de imagen de frailejón TTCO33306



N° de imagen	TTco33306
loc	1031

crosshair	556
ND NIR	255
ND RED	36
NDG	144
NDVI	0,7526
SAVI	3,3485
MSAVI	0,3994

Grafica 22 de cobertura vegetal TT033306

La grafía es la curva típica de vegetación donde sus niveles se deben encontrar en 150 verde, rojo por debajo de 50, de 250 el infrarrojo, como se puede apreciar la gráfica se encuentra invertida donde los canales serian de esta manera

- Canal 1 es el infrarrojo
- Canal 2 es rojo
- Canal 3 es el verde

Interpretación.

Los valores que nos representa en la investigación en el índice Normalizado de vegetación. Se realizan con la siguiente formula

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

Dónde:NDVI: Índice de vegetación de diferencia Normalizada

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja.

- El primer valor nos arroja un valor 0,7526 nos muestra que el individuo estudiado cuenta con presencia de vegetación, y cuanto mayor sea el valor más frondosa es su cobertura vegetal. Lo cual nos indica que la vegetación genera más fotosíntesis y normaliza entre los valores 1 y -1 en relación al suelo
- Para el segundo dato utilizamos la fórmula SAVI nos da un valor 3,3485 por lo cual se puede identificar que la reflectancia del coeficiente del individuo y su vigorosidad es mayor la fotosíntesis en cuanto la reflectancia del coeficiente del suelo

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

Dónde: SAVI: índice de suelo ajustado

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja.

L= 1,6

El factor L oscila en valores 0,9 y 1,96 pero según el estudio el artículo A Soil – adjusted vegetation index (SAVI) de A.R Huete publicado en la revista remote sensing of environment, 1988 el factor de 1,6 es el factor que mejor se ajusta a distintos niveles de brillo en el suelo y solo es recomendable variar ese valor cuando se han hecho los estudios pertinentes en el suelo. (Esta actividad estaba fuera de los estudios del suelo).

- Para el tercer valor obtenido por medio de MSAVI nos da 0,3994 lo que sería el valor de la diferencia normalizada entre la banda roja ® y la banda del infrarrojo cercano (NIR) lo cual reduce el efecto lo cual genera una correlación a partir de una constante que tiene el suelo en relación a la vegetación.

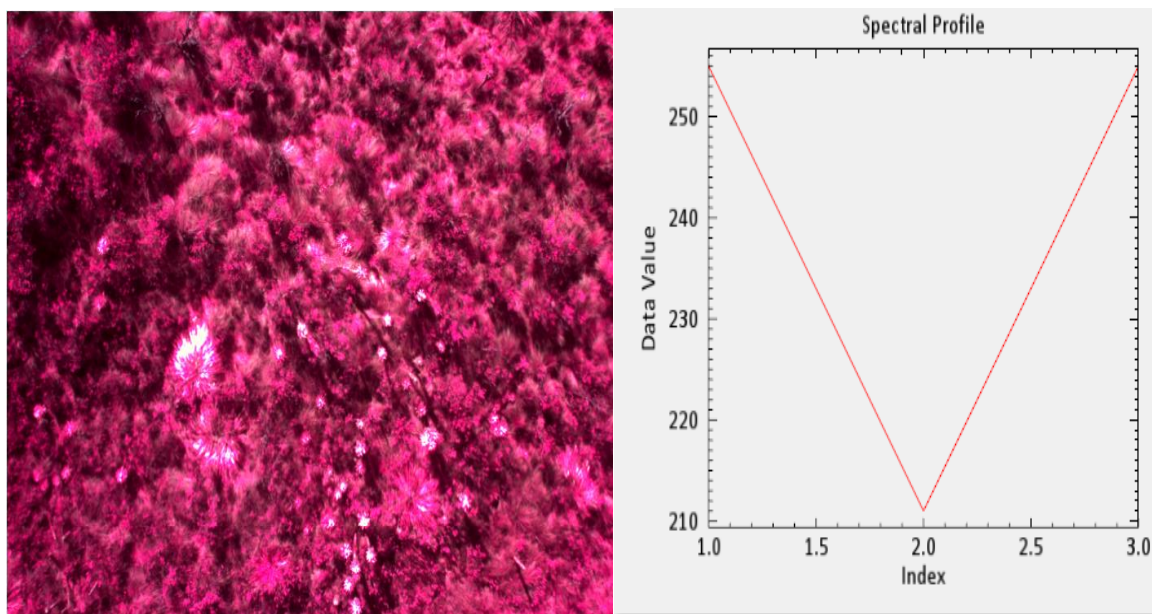
$$MSAVI = \frac{(2 * NIR + 1 - \sqrt{((2 * NIR + 1)^2 - 8 + (NIR - R))})}{2}$$

Dónde: MSAVI: índice de suelo ajustado modificado

NIR= Infrarrojo cercano.

R= Banda Roja

13.2.2. Análisis de imagen de frailejón TTCO33307



Grafica 23 de cobertura vegetal TT033307

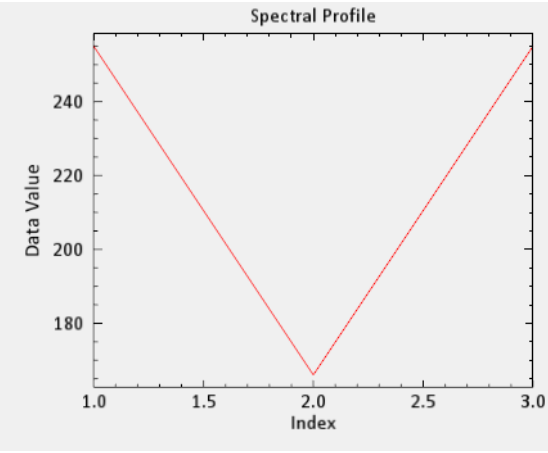
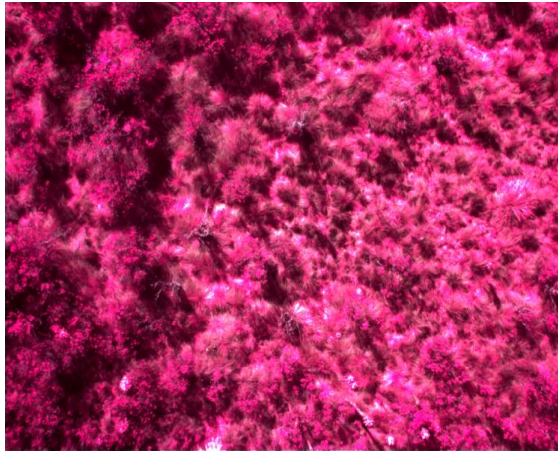
N° de imagen	TTco33307
loc	1002
crosshair	1002
ND NIR	255
ND RED	84

NDG	199
NDVI	0,5044
SAVI	3,1021
MSAVI	0,1821

La curva de vegetación se da en condiciones normales en los cuales nos muestra que se encuentra entre los valores dentro de la cantidad de energía que llega al sensor números entre 0 y 255.

- El primer valor nos arroja un valor 0,5044 lo determinamos por la fórmula NDVI la cual muestra que la presencia del individuo estudiado cuenta con un nivel aceptable de respuesta espectral, lo cual nos indica que el individuo tiene un adecuado nivel de fotosíntesis.
- Para el segundo dato utilizamos la fórmula SAVI nos da un valor 3,1021 por lo cual se puede identificar que la vegetación es más cuantiosa en relación a la reflectancia del suelo ya puede ser por sus características de reflectancia del suelo en correlación del suelo.
- Dentro del tercer valor obtenido por medio de MSAVI nos da 0,1821 en el cual se podría considerar que por su área de vegetación, por lo cual resalta y predomina sobre el suelo y de las plantas bajas generando un grado de reflectancia mayor por su vigorosidad.

13.2.3. Análisis de imagen de frailejón TTCO33308



Grafica 24

cobertura vegetal TTC033308

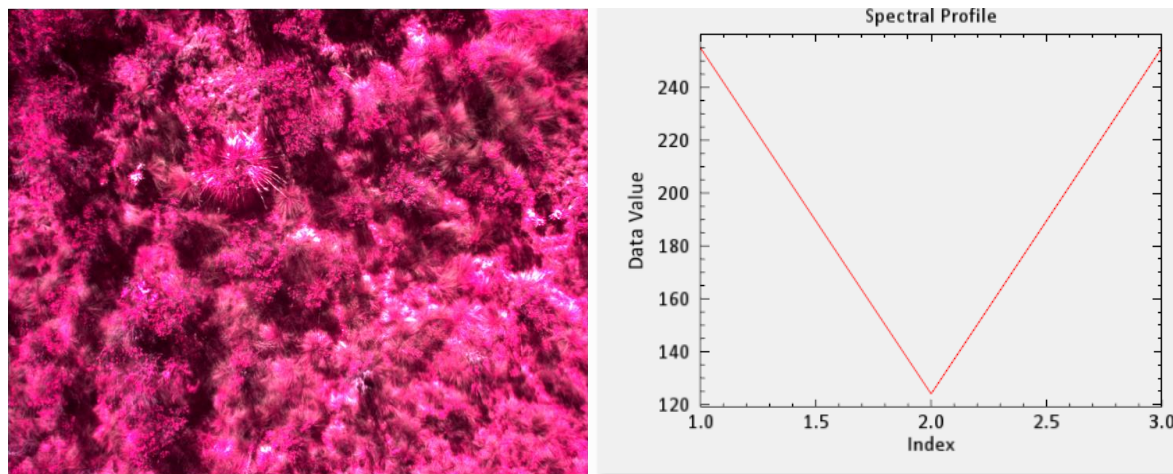
N° de imagen	TTC033308
loc	798
crosshair	798
ND NIR	255
ND RED	166
NDG	255
NDVI	0,2114
SAVI	2,8106
MSAVI	0,0728

- El primer valor realizado por la formula NDVI nos arroja un valor 0,21140143 nos muestra ese valor el individuo se encuentra dentro de los parámetros la presencia de vegetación del individuo que se identificó más abundancia cercano al suelo descubierto.
- Para el segundo dato utilizamos la fórmula SAVI nos da un valor por 0,2114 lo cual se puede identificar que la vegetación es más abundante en relación a la reflectancia del

suelo debido a que la diferencia entre la banda roja y la banda infra roja genera un componente de brillo en el suelo .

- para el tercer valor obtenido por medio de MSAVI 0,0728 en el cual se puede identificar que el individuo no cuenta con una representación significativa lo que podría determinar que el individuo no es muy grande o apenas está en proceso de crecimiento lo cual reduce el efecto que tiene el suelo en relación a la vegetación.

13.2.4. Análisis de imagen de frailejón TTCO33310



Grafica 25 cobertura vegetal TTCO33310

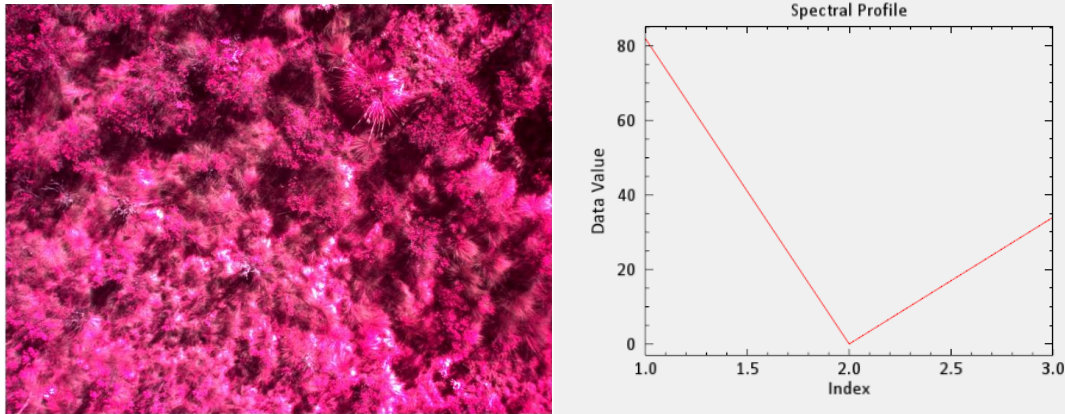
N° de TTco33310

imagen	
loc	1000
crosshair	1000
ND NIR	255
ND RED	195
NDG	248
NDVI	0,1333
SAVI	2,7329
MSAVI	0,0390

La grafica nos muestra que cumple con las características de una curva de vegetación y que los canales en los que esta ubicados cuenta con las características y loa valeros para generar una gráfica representativa de vegetación.

- El primer valor realizado por la formula NDVI nos arroja un valor 0,1333 nos muestra que su producción de fotosíntesis en el individuo es muy baja y que la presencia del suelo descubierto ya que su valor nos indica que la vegetación no es muy abundante
- Para el segundo dato utilizamos la fórmula SAVI nos da un valor por lo cual 2,7329 se puede identificar que la vegetación es más abundante en relación a la reflectancia del coeficiente del suelo.
- Para el tercer resultado obtenido por MSAVI nos arroja un valor por el 0,00390cual podemos identificar que la fotosíntesis del individuo encontrada no cuenta con la vegetación necesaria en correlación del suelo desnudo.

13.2.5. Análisis de imagen de frailejón TTCO33311



Grafica 26 cobertura vegetal TTC033311

N° de imagen	TTC033311
loc	1430
crosshair	12430
ND NIR	255
ND RED	93
NDG	251
NDVI	0,4655
SAVI	3,0634
MSAVI	0,2222

Grafica TTC033311 nos muestra las características típicas de una gráfica de vegetación a pesar de estar invertida cumple con los lineamientos y los canales requeridos para la cobertura vegetal.

El primer valor nos arroja un valor 0,4655 nos muestra hay abundancia del individuo y que vegetación genera la fotosíntesis representativa, y como podemos ver el este número representa un mayor valor que hace que sea más frondosa es la vegetación adquiriendo valores significativos de índices de cobertura vegetal.

Para el segundo dato utilizamos la fórmula SAVI nos da un valor 3,0634 por lo cual se puede identificar que el individuo estudiado cuenta con altos índices de vegetación en relación a la reflectancia generada por el suelo lo cual nos indica que es más abundante en relación de fotosíntesis a la reflectancia del suelo.

Para el tercer resultado obtenido por MSAVI nos arroja un valor 0,2222 por el cual podemos identificar esta entre los parámetros normales de índices de vegetación encontrada y aunque no sea abundante la vegetación en relación a la reflectancia del suelo desnudo con vegetación que no es muy dominante en el área.

Conclusiones Generales

- Al analizar la fotosíntesis en el individuo estudiado se estima que los valores de mayor reflectancia como los son los NDI (índice normalizado de vegetación) reflectancia por lo tanto no requiere el coeficiente de SAVI original. (Índice de vegetación ajustado)
- Los valores más altos van a indicar que el individuo tiene un proceso fotosintético adecuado a mayor valor fotosintético indican que la vegetación está sana y vigorosa.
- Vegetación. Las curvas de reflectancia espectral para la vegetación casi siempre se manifiestan en los picos más altos que se evidencian en las gráficas. Los picos más visibles se dan por los pigmentos de las hojas de los frailejones. Por lo cual se puede determinar como como vegetación sana.

Bibliografía

- .CHUVIECO, E. (2010). *definición de ecosistema*. (27 de junio de 2015). Obtenido de <http://conceptodefinicion.de/ecosistema/>.
- a, D. G. ((1,2006; EA,2005b).). Recuperado el 2017
- Adger. (1999). *Social Vulnerability to Climate Change and Extremes in Coastal Vietnam*. *World Development* 27 (2): 249-269. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37018/43842>
- aguayo, p. m. (abril de 2013). *Apuntes de teledeteccion Indices de vegetacion*. Obtenido de <http://bibliotecadigital.ciren.cl>.
- Aguilar, C. (2008). *aplicaciones de indices de vegetacion derivados de imagenes satelitales para analisis* . Recuperado el 20017 , de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/34487/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Aguilar, I. A. (2014). *Tesis de Maestría* . Recuperado el 2017
- al, D. G. ((,2006;2005).). Recuperado el 2017
- Alonso, D. (2017). *MmappingGIS*. Recuperado el septiembre de 2015, de Formacion GIS .difusión tecnologica : <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis>
- alzate, B. e. (2005). *CAPITULO II inindices de vegetacion* . Recuperado el 2017
- Barrera Zuñiga, R. A. (2015). *Procesamiento, interpretación y análisis de imágenes satelitales* . Basado en “*Imágenes de Satélite – Una Guía Objetiva*” producida por el Business Image. (s.f.).
- berrios, L. (2017). *inteligencia artificial* . Recuperado el 2017 , de lesterberrios.99@gmail.com
- BRAND, J. F. (s.f.). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA VARIACIÓN ESPECTRAL DE LAS COBERTURAS NATURALES A PARTIR DE IMÁGENES LANDSAT 8*. Recuperado el 2016
- Business . (s.f.). Basado en “*Imágenes de Satélite – Una Guía Objetiva*” producida por el Business Image.
- cabello, J. p. (2008). *La teledetección en estudios ecológicos*. *Ecosistemas* 17(3):1-3. Obtenido de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/77/74>
- cabera, E. G., & Vargas D,M . (2011). *protocolo de procesamiento digital de imagenes para la cuantificacion de la deforestacion en Colombianivel nacional escala gruesa y fina*. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales-IDEAM. Recuperado el 2017

Cabrera, E. G. (. (2011)). Recuperado el 2017, de . Protocolo de procesamiento digital de imágenes para la cuantificación de la deforestación en Colombia, nivel nacional escala gruesa y fina. Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudi.

castellanos, C. (2006). *los ecosistemas de humdales en colombia* . Obtenido de revista luna azul .

chuvieco, E. (2010). MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CARTOGRAFÍA DEL TERRITORIO COLOMBIANO. *capitulo 3 Teledeteccion* .

Corpocaldas. (2013- 2015). *DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS corporacion autonoma regional* . Obtenido de DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE CALDAS: http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1257/Diagnostico_del_Plan_de_Accion_2013-2015.pdf

cuestas, e. (2014-2017). Obtenido de <http://dronespain.pro/camaras-multiespectrales-en-drones/>

curran, p. (2001). *Testing* . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co>

diariodelaeromodelista.blogspot. (domingo, 17 de julio de 201).

Diaz garcia - cervigón, j. j. (2015). *estudios de vegetacion a partir de imagenes aeres tomadas desde un UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura* .

E., C. (1995). *Fundamentos de Teledetección Espacial (2 ed.)*. Madrid.

FAO. (11 de 09 de 2017). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Inventarios forestales y biodiversidad: <http://www.fao.org/3/a-x0963s/x0963s09.htm>

Finlayson, & Moser. (1991). Obtenido de <http://www.grupolauca.com/pdf/22.pdf>

flores. (2009). *Índices e indicadores de sostenibilidad par humedales alto andinos*.

fronteras, C. (13 de julio de 2015). *crea fronteras ecosistemas estrategicos* .

Gallo, T. G. (2000). Recuperado el 2017, de <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/los-beneficios-de-un-sensor-digital-aerotransportado>

geograf/teledet. (s.f.). Obtenido de <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema01.pdf>

<http://astrojem.com/radiacionelectromagnetica.html>. (s.f.).

Humboldt. (2012). *"El gran libro de los páramos"*. Recuperado el 2017, de <http://www.humboldt.org.co/es/test/item/427-el-gran-libro-de-los-paramos-de-colombia>

LIZARAZO, I. (2013). *Caracterización de la condición de*. Recuperado el 2017, de <http://comunidad.udistrital.edu.co/nide/files/2013/11/Articulo-Percepcion-Remota-de-la-Vegetacion-27-10-2013-ials.pdf>

martinez de pison, E. (1987). Recuperado el 2017

MEA. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment*. Obtenido de revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/37018/43842

Melo, J. (marzo de 2012). *TELEDETECCIÓN APLICADA AL ESTUDIO DE FENÓMENOS OCEANOGRÁFICOS*. Recuperado el 2017 , de http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero05/05_11.pdf

Mora, M. J. (02 de febrero de 2011). *BOFEDAL: HUMEDAL ALTOANDINO*. Obtenido de Cusco, 02 de febrero del 2011.: http://cebem.org/cmsfiles/articulos/Humedales_conservacion.pdf

Naranjo, L. A., & de Leon E.P . (1999). *humedales interiores de colombia*. Obtenido de bases tecnicas para su conservacion y uso sostenible. instituto de recursos biologicos Alexandrer von Humboldt.

Pinilla. (1985). <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/introduccion.htm#>. Recuperado el 2017, de <http://www.ujaen.es/huesped/pidoceps/telav/fundespec/introduccion.htm#>

Rabili, & Gulich. (2005). *Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes*. Obtenido de UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID: http://eprints.ucm.es/31423/1/TFM_Juan_Diaz_Cervignon.pdf

Ramsar, c. d. (2004). Recuperado el 2017

Roque betancourt, L. (2017).

S.D, m., & Colma , A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetacion*. Obtenido de Metodología para el estudio de la vegetación (No. 581.5 MAT). Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico.: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/BibVirUDEP/tesis/pdf/1_59_185_24_508.pdf

Sobrino Navas, R. ((2016)). Obtenido de . Aplicación de la teledetección y modelos de regresión en la caracterización del Lago de Sanabria.

Sobrino, J. A. (s.f.). *Teledetección. Universitat de València*. Recuperado el . (2001).

Tetraca, inc. (2017). *All rights reserved* . Obtenido de http://www.tetracam.com/Products_PixelWrench2.htm

Yepes1, G. Y. (28 de febrero de 2015). Índices e indicadores de sostenibilidad. 102,104.