

**APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA ANALISIS DEL ESTADO  
VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE POR MEDIO DEL ÍNDICE  
DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) Y FIRMAS  
ESPECTRALES MEDIANTE FOTOGRAFÍAS AÉREAS**



Ingeniero Agrícola  
Juan Manuel Zúñiga López

Universidad Militar Nueva Granada  
Especialización en Geomática  
Bogotá D.C  
2018

Artículo de investigación para optar al título de Especialista en Geomática

# APLICACIÓN DE SENSORES REMOTOS PARA ANALISIS DEL ESTADO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE POR MEDIO DEL ÍNDICE DE VEGETACION DE DIFERENCIA NORMALIZADA (NDVI) Y FIRMAS ESPECTRALES MEDIANTE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

## RESUMEN

La disponibilidad de herramientas de teledetección hace posible la determinación y la clasificación de cultivos, lo que hace más fácil la detección de problemas fitosanitarios en la vegetación a través de las firmas espectrales y de uno de sus índices de vegetación como lo es el NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada). Sin embargo, la obtención y el análisis de las firmas espectrales dependen de las propiedades físicas de las plantas que están en función con la especie, las características de las hojas, el contenido de pigmentos principales como la clorofila y las condiciones de radiación. En este estudio, con ayuda de algunos sistemas de información geográfica como QGIS y SCP, ArcGIS y Erdas Imagine se realiza el cálculo del NDVI y el análisis de las firmas espectrales del cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en un lote experimental ubicado en la zona rural de Aracataca, Magdalena mediante una fotografía aérea tomada con un vehículo aéreo no tripulado (UAVs) con el fin de obtener las características de la radiación electromagnética de la planta y detectar el estado vegetal del cultivo.

**Palabras claves:** Agricultura de precisión, teledetección, NDVI, firmas espectrales, UAVs

## ABSTRACT

The availability of remote sensing tools makes it possible to determine and classify crops, which makes it easier to detect phytosanitary problems in vegetation through spectral signatures and one of their vegetation indexes, such as the NDVI (Index of vegetation of normalized difference). However, obtaining and analyzing the spectral signatures depend on the physical properties of the plants that are in function, with the species, the characteristics of the leaves, the content of main pigments such as chlorophyll and the radiation conditions. In this study, with the help of some geographic information systems such as QGIS and SCP, ArcGIS and Erdas Imagine, the calculation of the NDVI and the analysis of the spectral signatures of the oil palm cultivation (*Elaeis guineensis*) in an experimental lot located in the rural area of Aracataca, Magdalena by means of an aerial image taken with an unmanned aerial vehicle in order to obtain the characteristics of the electromagnetic radiation of the plant and detect the vegetable state of the crop.

**Keywords:** Precision agriculture, remote sensing, NDVI, spectral signatures, UAVs.

## INTRODUCCIÓN

Existe un problema en el cultivo de palma de aceite, el cual es uno de los de mayor proyección a nivel nacional, pero es amenazado por enfermedades catastróficas que afectan el cultivo. Se realiza monitoreo manual del estado fitosanitario de los cultivos palma de aceite, en la mayoría de los casos los cultivos comprenden grandes extensiones de área y al realizarse el control manual los riesgos de accidentalidad aumentan por parte de los que hace el control y que, además, en algunas ocasiones reportan palmas afectadas sin asistir al cultivo. Al identificar por medio de fotografías aéreas y/o sensores remotos es más eficiente la identificación de enfermedades o del estado vegetal en el cual se encuentra el cultivo y se tendrá más control de ésta. Además, los alcances y beneficios que tiene la inclusión de estas tecnologías de captura se reflejan en la cosecha y rendimientos, también beneficios económicos ya que la palma de aceite es una de las mayores economías de la zona de estudio.

El objetivo de éste estudio es detectar plantas en mal estado vegetativo en el cultivo de palma de aceite mediante las herramientas de teledetección. Para esto, se calculó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con el fin de detectar el estado vegetativo de las plantas y calcular las firmas espectrales de las dos zonas detectadas (vegetación sana y enferma).

Se puede definir como agricultura de precisión a la gestión de parcelas de forma eficiente a partir de las herramientas de teledetección. Por lo tanto, su objetivo es la optimización de cultivos desde el punto de vista agronómico, lo que quiere decir, que se debe ajustar todas las actuaciones que se analizan durante una producción en base a las necesidades reales que muestran las plantas, por ejemplo, en el caso de los fertilizantes se podría tomar la decisión de disminuir la cantidad de fertilizantes que se aplican en una producción. Un segundo punto de vista para la optimización de los cultivos es el que corresponde al medio ambiente y es uno de los principales objetivos de la agricultura de precisión y por último es la optimización económica que se traduce en un ahorro por parte del agricultor. La agricultura de precisión tiene una relación muy fuerte con la teledetección ya que ésta utiliza la información que ofrece las herramientas de teledetección para aportar soluciones prácticas al cliente. (Rodríguez Utrilla , 2017)

Un concepto muy importante que se puede obtener mediante la agricultura de precisión es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Se sabe que la radiación solar es la fuente de energía para la fotosíntesis, lo que quiere decir que las plantas utilizan la radiación solar como mecanismo de energía para procesar la fotosíntesis. Lo que ocurre es que las plantas absorben la radiación solar pero

no en su totalidad, gran parte es emitida porque de lo contrario se quemarían. La radiación que mas se dispersa en las plantas es el infrarrojo cercano (IRC) la cual tiene una longitud de onda amplia. Sabiendo esto, a partir de la banda del rojo y del IRC se calcula el NDVI el cual indica una medida de la vigorosidad de las plantas en una escala de valores que va desde el -1 a 1 que corresponde a vegetación enferma y sana respectivamente

El índice NDVI nos permite tener información sobre el contenido en clorofila, el contenido de agua de la hoja, la productividad neta, el índice de área foliar y aplicando el índice a la agricultura de precisión resalta la zona de mayor vegetación y la de los suelos desnudos o vegetación con estrés hídrico.

## **1. MARCO TEORICO**

### **1.1 SISTEMAS DE INFORMACION**

Desde tiempos antiguos el hombre se ha visto en la necesidad de crear, inventar e innovar, en herramientas que permitan facilitar el estudio de grandes áreas de la superficie terrestre, es por ello que nacieron los sensores remotos que son artefactos que el hombre ha enviado a la órbita espacial para capturar información de la tierra, y a través de estos datos capturados tomar decisiones ya sean políticas, administrativas, de infraestructura, y de prevención y mitigación de riesgos ecológicos, ecosistémicos, humanos entre otros. Gracias a ello, existen en la

actualidad técnicas para la interpretación de imágenes satelitales que permiten realizar cientos de estudios al uso del suelo, asentamientos humanos y de infraestructura. (Aya & Nieves, 2015). También se puede definir a SIG como una tecnología de manejo de información geográfica, formada por equipos de computo (hardware) que son programados adecuadamente (software), que permiten manejar una serie de datos espaciales y realizar análisis complejos siguiendo criterios impuestos por equipo científico para apoyar la toma de decisiones, permitiéndoles compartir información. (Burrough & McDonnell, 1998).

Para el estudio de la detección de la Pudrición del Cogollo (PC) mediante sensores remotos, las necesidades científicas particulares pueden ser direccionadas por las capacidades de la tecnología de los SIG. Esta tecnología ayuda a resolver y analizar interrogantes como ¿Dónde están ubicadas las plantas afectadas con la enfermedad?

### **1.2 SENSORES REMOTOS.**

La percepción remota se define como el proceso de adquirir información acerca de un objeto, área o fenómeno desde la distancia. Esta amplia definición cubre prácticamente todo, desde los ojos hasta los radiotelescopios. Los sensores remotos (SR) se pueden categorizar como activos o pasivos, diferenciándose por la fuente

de energía de la cual se obtiene la información. Los sensores activos generan su propia energía, mientras que los pasivos dependen de energía ambiental de una fuente externa, que en la tierra proviene principalmente del sol. Los más usados son los sensores pasivos, que permiten medir la magnitud de la radiación electromagnética reflejada e irradiada desde la superficie de la tierra y de la atmósfera y, así mismo, derivar información sobre las condiciones de la superficie. (Hay, Tatem, Graham, Goetz, & Rogers, 2006).

Los datos adquiridos en una resolución espacial fina (alta), como las fotografías aéreas a partir de aviones no tripulados o desde plataformas espaciales como IKONOS o Quick Bird, cuentan con resoluciones espaciales de menos de 5m (0,25, 0,5 y 1m); son frecuentemente empleados para definir parámetros por árbol o las estructuras de la cobertura de los bosques (Levesque & King, 1999).

### **1.3 SENSORES REMOTOS EN APLICACIONES DE DETECCION DE ENFERMEDADES.**

El crecimiento de los cultivos puede ser afectado por el estrés causado por la deficiencia de fertilizantes, y el ataque de pestes y enfermedades. La respuesta de la vegetación a este estrés puede ocasionar cambios bioquímicos a nivel celular y de hoja, que tiene influencia sobre los sistemas de pigmento y el contenido de humedad. Por otro lado, el estrés

puede causar cambios biofísicos en la estructura de la cobertura, el índice de área foliar (IAF) o la biomasa (Chuvieco, Teledeteccion Ambiental, 2002).

Se han realizado estudios de las propiedades espectrales de las hojas de cebada atacadas por el mildew polvoso (powdery mildew), que es una enfermedad que ataca a un gran número de cultivos en los que el aumento de la reflectancia en el espectro visible fue observado después de la inoculación (Lorenzen & Jensen, 1989)

En otro estudio se empleó espectroradiometría para investigar la reflectancia de un campo de frijol infectado por *Botrytis fabae*; se observó un incremento de reflectancia en la región del visible y un decrecimiento en la región del infrarrojo cercano. Tales cambios fueron atribuidos al colapso en la estructura celular de la hoja con la enfermedad. (Malthus & Madeira, 1993).

Las propiedades de la superficie de los cultivos hacen posible el seguimiento de la dinámica de la vegetación y su variabilidad espaciotemporal usando varias plataformas de sensores remotos. Los datos satelitales basados en la detección de la sanidad de la vegetación dependen de la relación fuerte entre simples transformaciones de reflectancia del rojo e infrarrojo y la absorción de la radiación fotosintéticamente

activa de la superficie de la vegetación (Meer & Jong, 2002).

Varias de estas transformaciones referidas como índices de vegetación se basan en firmas espectrales únicas de la vegetación verde en las porciones de rojo e infrarrojo del espectro y forman la base para cuantificar el estado de la vegetación usando datos de sensores remotos. Para este estudio se utilizará el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) para conocer el comportamiento espectral de las plantas con estado vegetal sano y plantas con estado vegetal enfermo. Este índice es un descriptor de la vegetación ya que integra dos aspectos claves del comportamiento espectral de los tejidos fotosintéticos; la baja reflectancia en longitudes de onda correspondientes al rojo (debido a la absorción por parte de la clorofila) y la alta reflectancia en la parcial del infrarrojo cercado (debido a la estructura del mesófilo e las hojas) (Tucker, 1979).

Los daños de las enfermedades y las plagas se pueden medir por variaciones en el contenido de clorofila de las plantas, las cuales pueden ser analizadas por cambios en los patrones de las imágenes espectrales tomadas por los satélites o UAVSES. Estas técnicas usan imágenes multiespectrales para detectar las áreas bajo estrés (Abdullah & Umer, 2004).

Se han realizado estudios en los que, con imágenes multiespectrales, es posible identificar condiciones particulares del follaje como hojas quebradas o ataques de plagas y enfermedades. (Lukman & Poeloengan, 1996). Recientemente se plantea una metodología para el mapeo de infección de enfermedades en plantaciones de palma de aceite usando índices de vegetación y técnicas de Red Edge.

#### **1.4 ENFERMEDADES EN EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE.**

La palma de aceite representa una economía considerable en Colombia, por eso es importante identificar de manera tecnificada uno de los factores que limitan el desarrollo de la actividad palmera en el país, como es la Pudrición del cogollo (PC). (Sarria, y otros, 2008)

La producción de Palma de aceite ha venido creciendo de manera significativa en los últimos años a nivel mundial y, en el caso de Latinoamérica, Colombia ha tomado el liderazgo con cerca de 350.000 hectáreas sembradas y un potencial de área apta para el cultivo que supera los 3'000.000 de hectáreas (Sarria, y otros, 2008).

Uno de los casos más conocidos de la PC en Colombia fue el de la plantación La Arenosa, de Coldesa S.A., en Urabá, en la zona limítrofe entre Colombia y Panamá, en la década de 1960 (De Rojas & Ruiz, 1972).

En la Zona Oriental colombiana, la PC se presentó con características epidémicas al final de la década de 1980 y principios de 1990, creando gran alarma entre los productores; pero, finalmente, se observó la recuperación espontánea de algunas palmas. Situación que se aprovechó para incentivar las investigaciones de Cenipalma relacionadas con los factores predisponentes (desbalance de nutrientes, problemas de drenaje interno y externo de los suelos) y el debilitamiento de la hipótesis del origen biótico de la enfermedad (Gomez, Acosta, Guevara, & Nieto, 1995).

### **1.5 INDICE DE VEGETACIÓN DIFERENCIAL NORMALIZADA (NDVI)**

Existen diversas metodologías para estudiar mediante imágenes satelitales o fotografías aéreas los cambios estacionales que ocurren en la vegetación; uno de ellos es la aplicación de índices vegetativos relacionados con el verdor (Chuvienco, 1998). El NDVI mide la relación entre la energía absorbida y emitida a las comunidades de plantas, el índice arroja valores de intensidad del verdor de la zona, y da cuenta de la cantidad de vegetación presente en una superficie y su estado de salud o vigor vegetativo. El NDVI es un índice no dimensional, y por lo tanto sus valores van de -1 a +1. (Meneses Tovar, 2012).

En la practica los valores que están por debajo de 0,1 corresponden a los cuerpos de agua y a la tierra desnuda, mientras que los valores mas

altos son indicadores de la actividad fotosintética de las zonas de actividades agrícolas (Meneses Tovar, 2012). En cuanto a los análisis de vegetación hay que indicar que para los valores de 0,1 la vegetación con dicho índice se considera en estado crítico, mientras que para 0,5 se considera densa y sana. (Holben , 1986).

Como lo mencionan (Verdin, Pedreros, & Eillerts, 2003), el índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI, es usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición, por medio de sensores remotos instalados comúnmente desde una plataforma espacial, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Así, el índice de NDVI cuantifica, a través de la reflectancia, áreas de alto vigor (densidad vegetal) que poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a que poseen un mayor índice NDVI.

Según (Esser , Ortega, & Santibañez, 2002) , el principio básico del NDVI se basa en el hecho de que las capas esponjosas de las hojas reflejan mucha luz en el infrarrojo cercano, en marcado contraste con la mayoría de los objetos no vegetales. Cuando la planta se deshidrata o estresa, la capa esponjosa colapsa y las hojas reflejan menos luz NIR, pero la misma cantidad

en el rango visible. La combinación matemática de estas dos señales puede ayudar a diferenciar las plantas de lo no vegetal y plantas saludables de plantas enfermas. Las áreas de alto vigor (densidad vegetal) poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a que poseen un mayor índice NDVI.

Hoy por hoy existen ya sensores remotos incluso de superficies o utilizados por UAVs y el software que calcula el NDVI es ya de uso comercial por lo que no hay recurrir regularmente a la fórmula según la reflexión. El índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI, se calcula a partir de estas medidas individuales de la siguiente manera:

$$\text{NDVI: } (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Donde R e NIR corresponden a la reflectancia en la porción roja e infrarroja del espectro respectivamente.

### **1.6 VEHÍCULOS AEREOS NO TRIPULADOS (UAVS) O DRONES PARA LA AGRICULTURA DE PRECISION.**

Los UAVS son aviones o multirotores controlados de forma remota o autónoma que siguen una línea de vuelo preprogramada (Torres Sanchez, 2013). El uso de UAVs es para la captura de imágenes aéreas de alta resolución y presenta diversas ventajas sobre el uso de

aviones tripulados y satélites con los mismos fines, ya que los UAV pueden proporcionar una calidad mejor en los mapas, operan en el ámbito local y logran penetrar áreas inaccesibles. (Krzystof, 2011).

En el proceso de implementación de UAVs en la agricultura, es necesario aclarar aspectos tales como, espectro electromagnético, tipos de cámara y respuesta espectral de las plantas e índice NDVI (Martinez & Casterad, 2012). El espectro electromagnético hace referencia a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas que emite o absorbe un objeto y que sirve para su identificación, tal y como la huella dactilar permite identificar a las personas, dentro de una porción del espectro visible por el ojo humano y límite del infrarrojo. En cuanto a cámaras, en el uso de aplicaciones agrícolas se ha difundido el uso de cámaras en color o RGB usa el espectro visible por el ojo humano en rojo, verde y azul (RVA) o RGB – red, green, blue, por sus siglas en inglés y cámaras en infrarrojo cercano (NIR) a través de las cuales y, utilizando combinaciones e índices, se pueden apreciar características de los cultivos. El RGB se usa para inspección visual, modelos de elevación del terreno y conteo de plantas, mientras que el NIR es empleado para detectar propiedades de los suelos y análisis de humedad o estrés por deficiencia de nutrientes en el suelo de los cultivos, manejo del agua, balance hídrico, análisis de erosión y conteo de



plantas que permiten tomar decisiones adecuadas para su manejo. Dentro de las cámaras NIR se destacan las opciones NGB y NRG. Las cámaras NGB incluyen un filtro especial que bloquea la luz roja y a cambio permite el paso del infrarrojo cercano por encima de los 700nm. Adicionalmente, permite el paso de las ondas del Verde (G) y Azul (B) con lo cual tiene dos bandas del visible y una del infrarrojo cercano, que permiten realizar análisis básicos del estado fitosanitario de los cultivos: entre más oscuro e intenso el color verde, más densa y saludable es la vegetación. Por su lado, en las cámaras NRG, el infrarrojo cercano, el rojo y el verde se usan para componer una imagen que de manera similar permite realizar análisis básicos del estado fitosanitario de los cultivos: entre más oscuro e intenso el color rojo, más densa y saludable la vegetación. En cuanto a la respuesta espectral de las plantas, cabe mencionar que estas absorben radiación solar en la región espectral de radiación fotosintética activa, la cual es usada como fuente de energía en el proceso de fotosíntesis que, en el marco de un balance con la respiración, permite la producción de materia seca (Foyer & Matthew, 2001).

### **1.7 CAMARA MULTIESPECTRAL PARROT-SEQUOIA**

Los sensores espectrales se categorizan en base a la resolución espectral (número y anchura de las bandas de ondas), a la escala espacial y al

tipo de detector (sensores de imágenes o de no imágenes). (Trueba, 2017).

La reflectancia de la luz de las plantas es un fenómeno complejo que depende de múltiples interacciones biofísicas y bioquímicas. El rango visible (VIS 400 a 700 nm) está influenciado principalmente por el contenido de pigmentos foliares. La reflectancia del infrarrojo cercano (NIR 700 a 1,100 nm) depende de la estructura de las hojas, los procesos de dispersión interna y la absorción por el agua de las hojas. El infrarrojo de onda corta (1,100 a 2,500 nm) está influenciado por la composición química de las hojas y el agua. Existen sensores multiespectrales miniaturizados para usarlos en vehículos aéreos no tripulados. Estos sensores están diseñados para el uso de parámetros relativos a la vegetación, por lo que las bandas suelen estar entre los rangos del verde, rojo e infrarrojo cercano, donde la vegetación presenta su mayor respuesta de absorbancia y reflectancia. El tratamiento de estas imágenes no solo precisa de corrección geométrica, sino que son necesarias operaciones de calibración radiométrica y correcciones atmosféricas (necesarias para la obtención de datos validados de reflectancia y temperatura de superficie). (Trueba, 2017)

Trueba, 2017 analizó varias técnicas de posible detección de enfermedades, para esto, utilizó una cámara multiespectral llamada Parrot-

Sequoia, fabricada para uso en labores relacionadas con la agricultura de precisión. El sistema está compuesto por dos elementos. Por un lado, está la cámara multiespectral que inspecciona el terreno, y por otro lado está un sensor solar que mide y registra, mientras se realiza el vuelo, las condiciones solares en las mismas bandas del espectro del sensor multiespectral. Esto permite que los datos sobre la luz solar puedan confirmar los valores de los datos espectrales. (Auto calibrado). Además, incluye una cámara RGB de 16 megapíxeles. (Parrot Sequoia, 2018)

El sensor multiespectral, el cual está ubicado frente a las plantas, capta la luz que reflejan las plantas en cuatro canales espectrales diferentes: el verde (centrado en 550 nm, con banda de paso de 40 nm), el rojo (centrado en 660 nm y banda de paso 40 nm) y las dos bandas infrarrojas: Borde rojo (centrado en 735 nm, con banda de paso de 10 nm) e Infrarrojo cercano (centrado en 790 nm y banda de paso de 40 nm). El sensor solar, está ubicado encima del dron y recoge la intensidad de la luz que desprende el sol en esas cuatro bandas. Esta cámara está diseñada para adaptarse a cualquier tipo de avión no tripulado, tanto de ala fija como multirotor. Los datos se comparten mediante conexión WiFi y USB. Además, incluye GPS, lo que aumenta la precisión de los datos recogidos. (Parrot Sequoia, 2018)

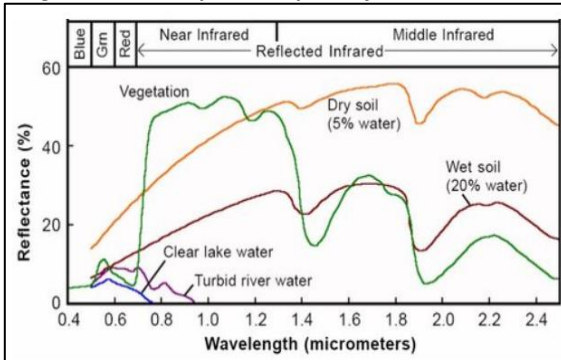
Los usos típicos para los cuales está diseñada esta cámara son, entre otros, la detección de síntomas generados por la falta de nutrientes, la optimización de la cantidad de pesticidas lanzados para prevenir el estrés biológico de los cultivos, localizar y solventar el estrés hídrico en zonas localizadas y realizar estimaciones en cuanto a la producción de cultivos. En nuestro caso, la cámara se ha utilizado para obtener imágenes que permitan analizar el estado del pinar y maizal (Trueba, 2017).

### **1.8 FIRMAS ESPECTRALES**

El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda que toma las radiaciones del espectro visible el cual tiene los colores azul, rojo y verde. (Rodríguez Utrilla , 2017).

Se entiende como firma espectral a la representación de la reflectancia en función con la longitud de onda, donde la firma va a hacer usada por algoritmos de clasificación que permiten etiquetar los píxeles de la imagen dependiendo el tipo de cobertura. Como se observa en la Imagen 6 existen firmas espectrales para vegetación, agua y para suelos desnudos o no vegetado. Una firma espectral se caracteriza por tener una zona visible (RGB), una zona infrarroja cercana (IRC) y una zona infrarroja media (IRM) en donde los picos de reflectividad están en el rojo y en el infrarrojo, las cuales son las bandas que intervienen en la generación o en el cálculo del índice NDVI (Rodríguez Utrilla , 2017).

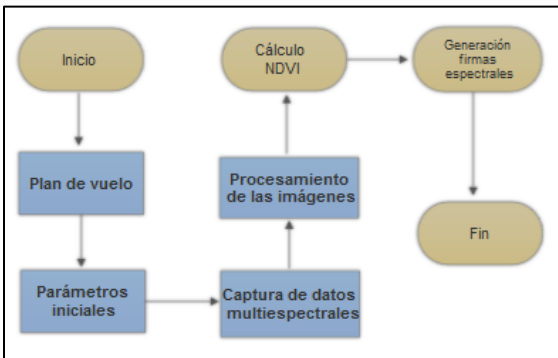
**Imagen 3. Firmas espectrales para diferentes coberturas**



Fuente: Gidahatari.com

## 2. METODOLOGÍA Y DATOS

**Imagen 2. Metodología toma de datos**



Fuente: Elaboración propia

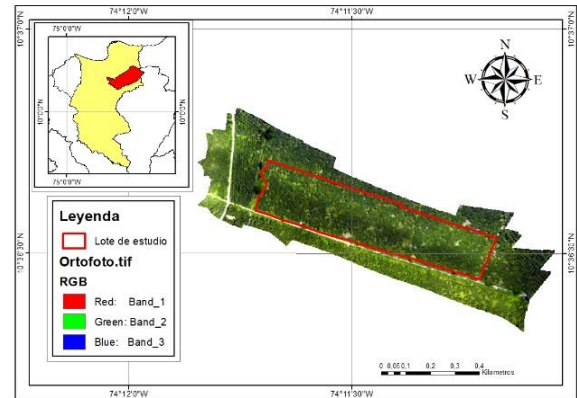
### 2.1 DELIMITACION DEL AREA DE ESTUDIO

La realización de este proyecto se lleva a cabo en un lote experimental en el municipio de Aracataca, departamento de Magdalena.

El lote objeto del presente estudio se encuentra situado al nor-occidente a 2.5 km del casco urbano de Aracataca ubicado entre las coordenadas planas de origen MAGNA Bogotá Central: 987.139,373 W metros, 1.665.157,947 N metros y entre los 988.067,848 W metros, 1.664.902,806 N metros.

La superficie de la zona a estudiar consta de 0.1947 Km<sup>2</sup> equivalente a 19.47 hectáreas, el relieve de dicha área presenta una orografía bastante suave, siendo un relieve por lo general muy plano.

**Imagen 1. Localización del lote de estudio**



Fuente: Elaboración propia

La agricultura en Aracataca se caracteriza por la presencia de cultivos principalmente de palma de aceite, cereales como arroz., así como amplios campos pastizales. Este lote en concreto se encuentra cultivada por palma de aceite, que es el tipo de cultivo predominante que se da en el área de estudio.

### 2.2 MATERIALES

El sistema con el que se realizó el trabajo es el Phantom 4, con el cual se realiza la toma de imágenes aéreas, es un aparato volador de propulsión eléctrica, con capacidad de despegue y aterrizaje vertical, que incorpora a bordo tecnología avanzada, gracias a la cual permite estabilizar y volar mediante la incorporación de GPS.

<b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b>	
Dimensiones	Estándar
Peso (batería incluida)	1380 gr
Velocidad ascenso máx..	6 m/s
Velocidad descenso máx..	4 m/s
Velocidad máx..	20 m/s
Tiempo de vuelo máx..	Aprox. 28 min
Sistema de satélite	GPS/GLONASS

**Tabla 1. Especificaciones técnicas Phantom 4.**  
**Fuente: Elaboración propia**

El UAVS tiene a bordo una cámara aérea al cual se le instalo un sensor multiespectral llamado Parrot Sequoia que genera imágenes en 4 bandas. El Parrot Sequoia se compone de dos sensores. El sensor “multiespectral, ubicado frente a las plantas el cual capta la luz que reflejan las plantas en las cuatro bandas: el verde, el rojo y los dos infrarrojos. El sensor “sunshine”, ubicado en la parte de arriba del UAVs el cual memoriza la intensidad de la luz que emana el sol en estas mismas cuatro bandas. (Parrot, 2018)

Las imágenes en el espectro infrarrojo, junto con las del espectro visible, son particularmente útiles en agricultura dado que visualizan las concentraciones de clorofila en las hojas o tasas de actividad fotosintética, detectando diferentes procesos en los diferentes cultivos como estrés en la vegetación producido por la presencia de enfermedades y plagas, baja fertilización, problemas en los suelos o estrés hídrico.

Las imágenes tomadas por el UAVS posteriormente son procesadas digitalmente, generando mapas que darán información sobre el cultivo como edad fenológica, estado de los cultivos, etc.

El software utilizado es PIX4D, el cual combina las imágenes aéreas tomadas por el UAVS y éste las convierte en mapa 2D, mediante la nube de puntos obtenida.

**Imagen 4. Plan de vuelo**



**Fuente: Elaboración propia**

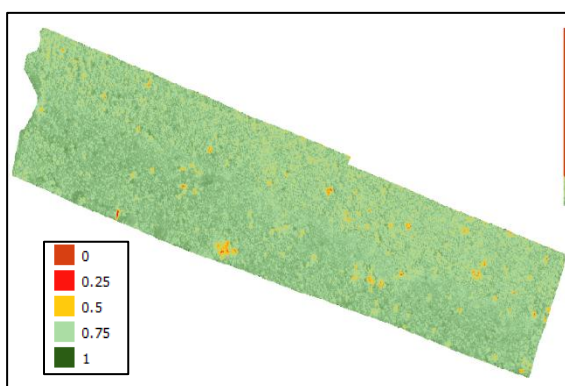
### **3. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **3.1 DETERMINACION DE LOS VALORES DEL NDVI**

La ortofoto obtenida fue procesada para la aplicación y el cálculo del índice NDVI y la identificación de pixeles de respuestas espectral específica en el cultivo. La imagen permitió identificar la respuesta espectral del cultivo en estado vegetativo avanzado, algunas zonas con suelo desnudo o con déficit de plantas y plantas con algún estrés hídrico. La imagen tomada permitió observar y analizar el estado vegetativo del cultivo, por ejemplo, las zonas de color

verde (las cuales son valores cercanos a 1) representan áreas de vegetación vigorosa y saludable y las zonas de color rojo (rango de valores de 0.25-0.5) aquellas que se encuentran estresadas o enfermas. Por el contrario, las zonas que están de color rojo vino tinto (valores de NDVI bajos, menores de 0.25) corresponden suelos desnudos, en este caso corresponden a las vías de acceso al predio. De esta manera, a partir de la imagen NDVI obtenida se encontraron algunas plantas con posibles problemas de sanidad vegetal.

**Imagen 5. NDVI del área de estudio**



**Fuente: Elaboración propia**

### **3.2 COMPORTAMIENTO ESPECTRAL DE LA VEGETACION**

Todo cultivo tiene unos pigmentos importantes que inciden en la absorción y reflectancia de la luz del sol. Uno de estos pigmentos es la clorofila la cual es muy importante para el proceso de la fotosíntesis, sin embargo, no es el único pigmento que poseen los cultivos. Existen dos pigmentos principales que tiene todo cultivo los cuales son los carotenos y la xantofila. Todas estas características son de gran importancia

para determinar las firmas espectrales y poder analizar el estado de cada cultivo ya que estas absorben la radiación y es lo que detecta el sensor.

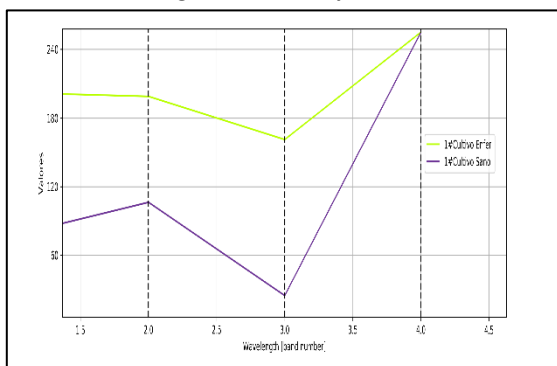
A partir del cálculo del NDVI se pudo clasificar la ortofoto en dos zonas para obtener sus firmas espectrales y analizarlas. Las zonas clasificadas son los cultivos con vegetación con buen estado vegetal y las zonas con vegetación en mal estado vegetal.

Como se puede observar en la gráfica para la zona de la vegetación en estado vegetal sano se muestra una baja reflectancia en espectro visible. Se observa una menor reflectancia en la banda azul y la banda roja, sin embargo, se observa un aumento en la banda verde, lo cual es característico de la clorofila y hay una alta reflectancia a lo largo de la longitud de onda, principalmente en la zona del IRC (infrarrojo cercano), es característico de toda vegetación y se asocia al contenido de humedad ya que las hojas verdes absorben la poca energía de esta región.

En la zona de la vegetación en mal estado vegetal se puede observar que hay un incremento en la banda verde esto se debe a que hay algún problema en las hojas de la planta ya que no hay presencia de clorofila y se reduce la absorción de la luz del sol y esto genera que la planta genere un color diferente.

También se analiza que en la zona donde el cultivo presenta valores de NDVI bajos o mal estado vegetativo, la banda verde presentan valores mas alto de reflectancia con respecto a los valores de la banda verde de la zona del cultivo en buen estado. Esto se debe a la presencia de clorofila en esta última zona que la clorofila absorbe la radiación y devuelve poca energía al sensor.

**Imagen 6. Firmas espectrales**



**Fuente: Elaboración propia**

#### 4. CONCLUSIONES

Debido a las deficiencias en el manejo de los cultivos de palma de aceite en el país, como el no establecimiento de tecnologías alternativas en la planificación de manejo de los cultivos conduce al desarrollo de malas prácticas agrícolas como la errónea aplicación de agroquímicos, lo que conlleva a la aparición de diferentes plagas y enfermedades.

La ortofoto NDVI generada a partir de las fotografías tomadas en campo ayudó a evidenciar que la respuesta espectral sí permite identificar algún tipo de problema en el cultivo,

en las tonalidades vino tinto y rojas se indican unos valores del índice NDVI bajo que corresponden a suelo desnudos y vegetación dañada o enferma respectivamente.

Para la comprobación de los resultados calculados del NDVI se georreferenciaron las plantas en campo que presentaban algún tipo de estrés vegetativo encontradas por el ingeniero agrónomo de la plantación y se cruzó con el mapa del índice y se pudo concluir que coinciden los resultados con lo encontrado en campo. Con esto se puede decir que el NDVI es una herramienta muy útil para la detección de enfermedades.

Los índices de vegetación, en especial el NDVI, son importantes indicadores de estado vegetal de los cultivos. Estos nos ayudan a la toma de decisiones. Se debe complementar con la visita a campo para comparar los resultados con ayuda de los sistemas de información geográfica y tomar la mejor solución.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, A., & Umer, M. (2004). *Applications of Remote Sensing in Pest Scouting: Evaluating Options and Exploring Possibilities*. Minneapolis, MN, USA,: Proceedings of 7th ICPA.
- Aya, A., & Nieves, E. (2015). *Analisis multitemporal para la recuperacion de tierras baldías ocupadas*



- indebidamente en el complejo cenagoso La Zapatosa*. Manizales.
- Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de Teledetección*, 10, 1-9.
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección Ambiental*. Madrid: RIALP.
- De Rojas, P. E., & Ruiz, B. E. (1972). *Investigaciones sobre la Pudrición del cogollo-Pudrición de la flecha de la Palma africana de la plantación La Arenosa, de Coldesa S.A.* Turbo, Antioquia.
- Esser, A., Ortega, R., & Santibañez, O. (2002). Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia productiva en Viñas. *Revista Agronomía y forestal. Vol 1 (15)*, 4-9.
- Foyer, C., & Matthew, P. (2001). Sink relationships. United Kingdom: Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing Group.
- Gomez, C. P., Acosta, G. A., Guevara, L. A., & Nieto, P. L. (1995). Pudrición de cogollo en Colombia: Importancia, investigación y posibilidades de manejo. Estado actual de la investigación sobre la Pudrición de cogollo. *Revista Palma, Colombia. No. 16*, 198-206.
- Hay, S. I., Tatem, A. J., Graham, A. J., Goetz, S. I., & Rogers, D. J. (2006). Global environmental data for mapping infectious disease distribution. *Adv in Parasitol*, 37-77.
- Holben, B. N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *Revista Internacional de Sensores Remotos*, 1417-1434.
- Krzysztof, B. (2011). *Secrets of UAV photomapping. Presented satellite maps CNES/SpotImage*. Obtenido de Amazona WS: [http://s3.amazonaws.com/DroneMap\\_per\\_US/documentation/pt](http://s3.amazonaws.com/DroneMap_per_US/documentation/pt)
- Levesque, J., & King, D. J. (1999). Airborne digital camera image semivariance for evaluation of forest structural damage at an acid mine site. *Remote Sensing of Environment*, 112-124.
- Lorenzen, B., & Jensen, A. (1989). Changes in leaf spectral properties induced in Barley by cereal powdery Mildew. *Remote sens. Environ* 27, 201-209.
- Lukman, M., & Poeloengan. (1996). Application of remote of remote sensing technique for oil palm plantation management. *PORIM International Palm Oil Congress (Agriculture)* (págs. 460-467). Proceedings of the 1996.
- Malthus, T. J., & Madeira, A. C. (1993). High resolution spectroradiometry: spectral reflectance of field bean leaves infected by *Botrytis fabae*. *Remote sens. Environ.* 45, 107-116.
- Martinez, M. C., & Casterad, M. A. (2012). Incorporación de tecnologías de información territorial en una explotación agraria de secano ante la práctica de agricultura de precisión. *Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón (CITA)*, 25-132.

- Meer, F., & Jong, S. (2002). Imaging Spectrometry. Remote Sensing and Digital Image Processing. *Kluwe Academic Publishers*. 4, 111-197.
- Meneses Tovar, C. L. (2012). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque. En C. L. Meneses Tovar, *Aplicación de un método de interpretación de las imágenes de la teledetección a la observación de los cambios en la salud del bosque en el tiempo* (pág. 40). Mexico.
- Parrot. (27 de 11 de 2018). *Parrot*. Obtenido de <https://www.parrot.com/soluciones-business/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia>
- Parrot Sequoia. (11 de 12 de 2018). *Parrot*. Obtenido de <https://www.parrot.com/soluciones-business/profesional/parrot-sequoia#parrot-sequoia>
- Rodriguez Utrilla , X. (2017). Drones y Agricultura de Precisión.
- Sarria, G. A., Torres, G. A., Aya, H. A., Ariza, J. G., Rodriguez, J., Velez, D. C., . . . Martínez, G. (2008). Phytophthora sp. es el responsable de las lesiones iniciales de la Pudrición del cogollo (PC) de la Palma de aceite en Colombia. *PALMAS Vol 29 No. 3*, 11.
- Torres Sanchez, J. P. (2013). Puesta a punto de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) para detección de malas hierbas en fase temprano: resolución espacial y altura de vuelo. *XIV Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*, (págs. 43-47). Valencia-España.
- Trueba, S. (2017). *Análisis de imágenes multispectrales aéreas de vegetación*. Cantabria.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinatios for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*.
- Verdin, J., Pedreros, D., & Eillerts, G. (2003). Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI), FEWS - Red de alerta temprana contra la inseguridad alimentaria, Centroamérica. *USGS/EROS Data Center*, 1-12. Obtenido de WIKIPEDIA La enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice\\_de\\_vegetaci%C3%B3n\\_de\\_diferencia\\_normalizada](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%8Dndice_de_vegetaci%C3%B3n_de_diferencia_normalizada)