REVISION LITERARIA DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE *(Elaeis guineensis jacq)* Y SU BENEFICIO EN LA PRODUCTIVIDAD EN COLOMBIA.

David Juan Pablo Manrique Nieto

Código: 160214149

CC: 1024541051

Trabajo de Grado (MONOGRAFÍA)

Presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo

Directora

I. A. Gissela Fajardo Ortiz
M.Sc. Dr. Ciencias en Horticultura

Codirector

I.E Diego Orlando Méndez Pineda
Esp. Medio ambiente y desarrollo de la comunidad,
Tecnológica en seguridad en redes de Computadores

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGRONÓMICA
FUSAGASUGA
2020.

Nota de Aceptación

_____

_____

_____

_____

Presidente del Jurado

_____

Jurado

_____

Jurado

DEDICATORIA.

Dios, gracias a tu amor y tu bondad que no tienen fin, por tu ayuda y pruebas que me han forjado como el hombre que hoy en día soy. A mi amada madre Gloria Dignory Nieto Diaz por sus sacrificios, amor y confianza incondicional que me formaron con reglas, valores y libertad por el pensamiento sociocrítico, para poder luchar por un mejor mañana.

A mi hermano Gonzalo Andrés Hernández Nieto y mi cuñada Diana Marcela Hernández a mis sobrinos Josué Samuel Hernández y Hannah Rebeca Hernández que los amo. A toda mi familia que, con sus consejos y ejemplos, nunca me dejaron decaer para seguir adelante y ser perseverante en mis ideales.

A mis compañeros y maestros que sin esperar nada a cambio compartieron su tiempo, conocimiento, alegrías y tristezas. Y a todas aquellas personas que siempre me brindaron su ayudad para poder hacer este sueño realidad.

David Juan Pablo Manrique Nieto.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por mi vida, por mi familia, amigos y por las circunstancias que se presentaron a través de mi formación académica para obtener mi título de Ingeniero Agrónomo.

Agradezco a la Universidad de Cundinamarca que facilito todas las herramientas para poder alcanzar un nivel educativo de calidad, así como a todos los docentes que a lo largo de mi carrera manifestaron profesionalismo. De igual manera un reconocimiento especial a mi Directora Gissela Fajardo Ortiz I. A, M.Sc. Dr. Ciencias en Horticultura y co-director Diego Orlando Méndez Pineda Ing. Electrónico Esp. Medio ambiente y desarrollo de la comunidad, y Tecnológica en seguridad en Redes de Computadores. Por la asesoría, paciencia y colaboración en la culminación de esta etapa académica en mi vida, permitiéndome cumplir con el desarrollo del trabajo.

David Juan Pablo Manrique Nieto.

Tabla de contenido

RESUMEN 8
ABSTRACT 9
1. INTRODUCCIÓN 11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 14
3. JUSTIFICACIÓN 15
4. OBJETIVOS 16
Objetivo general. 16
Objetivos específicos 16
5. METODOLOGÍA 17
6. MARCO CONCEPTUAL 18
Capítulo I. Aspectos generales de la Palma de Aceite. 19
Conceptos de la Palma de Aceite 19
Origen del sector palmicultor en Colombia 24
Producción del aceite de palma 25
Capítulo II. Aspectos generales de los software más usados en Palma de Aceite. 27
Software para el análisis Bioestadístico 27
Software para el procesamiento de SIG: 33
Capítulo III. Aspectos generales de los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. 38
Conceptos de sistemas de información geográfica 38
Conceptos de sistemas de teledetección 40
Principios y Propiedades Teledetección. 42
Índices y Firmas espectrales de la biomasa en las diferentes longitudes de onda. 55
Capítulo IV. Trabajos realizados en Palma de Aceite. 63
Teledetección y Sanidad Vegetal. 63
(VANT), Vehículos Aéreos No tripulados. 65
Tecnologías. 66
Capítulo V. Aspectos generales de bioeconomía. 67
Conceptos de Bioeconomía 67
7. MARCO LEGAL 69
Impacto social: 70

Impacto económico: 70
Impacto ambiental: 71
8. CONCLUSIONES 72
9. ANEXO 1 74
"Guía para la descarga de imágenes y procesamiento del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)" 74
10. BIBLIOGRAFÍA 94

Tabla de Cuadros:

Cuadro 1 Sensor de infrarrojos térmicos y generador de imágenes terrestres. Fuente: (IGAC, 2013) 46
Cuadro 2. Tabla de índices Fuente: (Aramendis, 2019) 62
Cuadro 3. Tabla de índices Fuente: (Aramendis, 2019) 68

Tabla de Figuras:

FIGURA 1 *(Elaeis Guineensis Jacq.).* Fuente: (Koeh) 20
FIGURA 2 Partes del Fruto. Fuente: (Manrique) FIGURA 3 Fruto. Fuente: (Manrique) 21
FIGURA 4 Raíces de palma de aceite. Fuente: (Borrero, 2018) FIGURA 5 PBE (GANODERMA SP). FUENTE: (MANRIQUE 21
FIGURA 6 Material Vegetal (UNIPALMA). Fuente: (Manrique) 22
FIGURA 7 Palma, Filotaxia Izquierda. Fuente: (Manrique) 23
FIGURA 8 Inflo. Femenina. Fuente: (Rodriguez, 2011) 24
FIGURA 9 Inflorescencia masculina. Fuente: (Manrique) 24
FIGURA 10 Rendimiento de aceite (ton/ha). Fuente: (FEDEPALMA, 2016) 25
FIGURA 11 Potencial del Fruto, Laboratorio ELG. Fuente: (Manrique) 25
FIGURA 12 Autoclave ELG. Fuente: (Manrique) 26
FIGURA 13 Plataforma CyberTracker. Fuente: (Manrique) 28
FIGURA 14 Plataforma Celular. Fuente: (Manrique) FIGURA 15 Plataforma Celular. Fuente: (Manrique) 29
FIGURA 16 Interfaz biosalc (Inicio). Fuente: (BIOSALC, 2014) 29
FIGURA 17 Interfaz biosalc (PLANIFICACIÓN). FUENTE: (BIOSALC, 2014) 30

FIGURA 18 Interfaz de InfoStat. Fuente: (Manrique) 30
FIGURA 19 Interfaz de R. Fuente: (Manrique) 31
FIGURA 20 Interfaz de SAS. Fuente: (Manrique) 32
FIGURA 21 Interfaz ArcGIS. Fuente: (ESRI, 2020) 34
FIGURA 22 Interfaz QGIS. Fuente: (Manrique) (QGIS, 2020) 35
FIGURA 23 interfaz saga. fuente: (SAGA, 2019) 35
FIGURA 24 interfaz gvgis. fuente: (Manrique) (gvSIG, 2015) 36
FIGURA 25 Interfaz Pix4d fuente: (Pix4D, 2020) 36
FIGURA 26 Módulos del sistema geopalma. fuente: (CENIPALMA, 2019) 37
FIGURA 27 Elementos que forman el SIG. Fuente: (Olaya, 2014) 40
FIGURA 28 Componentes de un sistema de Teledetección. Fuente: (MORALES, 2017) 41
FIGURA 29 Espectro electromagnético. Fuente: (MORALES, 2017) 43
FIGURA 30 Sensores Pasivos y Activos. Fuente: (CTE, 2014) 44
FIGURA 31 Misión cronológica Landsat. Fuente: (MORALES, 2017) 45
FIGURA 32 Construcción del sensor OLI, Ball Aerospace & Technologies Corp. Fuente: (IGAC, 2013) 47
FIGURA 33 Boya oceánica. Fuente: (Copernicus, 2015) 48
FIGURA 34 Sentinel 2A. Fuente: (SINC, 2017) 49
FIGURA 35 Bandas espectrales vs resolución espacial. Fuente: (Doron, 2019) 49
FIGURA 36 Los satélites gemelos Sentinel. Fuente: (MORALES, 2017) 50
FIGURA 37 Familia Sentinel. fuente: (ESA, 2020) 51
FIGURA 38 Ilustración de la retransmisión de datos vía láser con el sistema EDRS. / ESA Fuente: (ESA, 2020) 52
FIGURA 39 cuadricópteros. fuente: (CTN, 2019) 54
FIGURA 40 Ala fija. Fuente: (PINTEREST, 2018) 54
FIGURA 41 firmas espectrales de diferentes coberturas. Fuente: (Castro, 1999) 57
FIGURA 42 curvas de comparación de la vegetación sana vs la vegetación Fuente: (Castro, 1999) 58
FIGURA 43 Región visible (0,4 a 0,7 µm.), Región del infrarrojo cercano (0,7 a 1,3 µm.), Región del infrarrojo medio (1,3 a 3,0 µm.). Fuente: (Castro, 1999) 58
FIGURA 44 firma espectral de los tipos de suelos. Fuente: (Castro, 1999) 59
FIGURA 45 Índices basados en la pendiente. Fuente: (Castro, 1999) 61

REVISION LITERARIA DE LAS TECNOLOGÍAS APLICADAS AL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE *(Elaeis guineensis jacq)* Y SU BENEFICIO EN LA PRODUCTIVIDAD EN COLOMBIA.

RESUMEN

El siguiente trabajo de grado opción monografía investigativa busca presentar e identificar los aportes relevantes, enfocados a las tecnologías aplicadas en la agroindustria de la palma de aceite, recopilando software y aplicativos que permiten una administración agronómica de las plantaciones fortaleciendo el sector Palmero de Colombia. Logrando ocupar el cuarto puesto en la producción mundial de aceite de palma y ocupando el primer puesto como el mayor productor de aceite de palma de América. Representando el 7% del producto interno bruto (PIB) agropecuario del país, según un estudio (Sectorial, 2020), Se ha visto beneficiada en la rentabilidad económica por su materia prima derivada en dos productos.: Aceite crudo y de Palmiste, el primero se utiliza en la industria de cosméticos, alimentos, energía y biocombustible, y el segundo es fuente nutricional para animales de engorde, jabones finos y dulces. Además, la biomasa obtenida después de extraer el aceite del fruto sirve para generar la energía en las calderas y composta, para ayudar al suelo en la recuperación de materia orgánica, de esta manera se generan trabajos directos e indirectos en la producción.

El gremio de palmicultores de Colombia en 1991 decidió consolidar el Centro de investigación en Palma de Aceite (CENIPALMA), garantizando el desarrollo tecnológico, innovador e investigativo del sector con la administración de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (FEDEPALMA), entidad privada que gestiona los recursos provenientes de la cuota del Fondo de Fomento Palmero (FFP) creada mediante la Ley 138 de 1994, manejando una cuota del 1,5% del valor de cada kilogramo de palmiste y aceite crudo extraídos, permitiendo su desarrollo sin fines de lucro, en los últimos diez años la investigación se ha enfocado en la agricultura de precisión (AP) y la biotecnología que determinan requerimientos específicos medidos por variables cuantitativas y cualitativas como genética, especie, deficiencias, áreas y coordenadas. Por esto se fundamenta enfatizar en el uso eficiente de los recursos naturales y de síntesis para la producción de palma de aceite ***(Elaeis guineensis jacq)*** por el deterioro de los suelos, el incremento de los costos de producción, insumos y el impacto ambiental que este genera. Razón por la cual se implementan nuevos modelos en la innovación del uso eficiente de los recursos naturales tales como la

bioeconomía, software de programación, bioestadística y sistemas de información geográfica permitiendo conocer la biodinámica de las especies productivas, corrigiendo diferentes factores que intervienen en la explotación agrícola.

En este orden de ideas se realizó una recopilo de información literaria, guías y manuales de fuentes reconocidas en el gremio científico como: Elsevier, Acta Agronómica, Revista de Fitotecnia Mexicana, Revista Palmas de Cenipalma, FAO y la Agencia Espacial Europea, etc. De igual manera se profundizo en el sector palmicultor colombiano, enfocados a las tecnologías y la elaboración de una guía de descarga, que nos permita el procesamiento de imágenes satelitales en un sistema de información geográfica.

Palabras claves: agricultura de precisión, palma de aceite, bioeconomía, insumos y software.

ABSTRACT

The following research monograph option degree work seeks to present and identify the relevant contributions, focused on the technologies applied in the oil palm agribusiness, compiling software and applications that allow agronomic management of plantations, strengthening the Palmer sector of Colombia. Achieving fourth place in world palm oil production and ranking first as the largest producer of palm oil in America. Representing 7% of the country's agricultural gross domestic product (GDP), according to a study (Sectorial, 2020), it has benefited from its economic profitability due to its raw material derived from two products: Crude oil and Palmister oil, the first It is used in the cosmetics, food, energy and biofuel industry, and the latter is a nutritional source for fattening animals, fine soaps and sweets. In addition, the biomass obtained after extracting the oil from the fruit is used to generate energy in the boilers and compost, to help the soil in the recovery of organic matter, in this way direct and indirect jobs are generated in production.

The Colombian palm growers union in 1991 decided to consolidate the Oil Palm Research Center (CENIPALMA), guaranteeing the technological, innovative and research development of the sector with the administration of the National Federation of Oil Palm Growers (FEDEPALMA), an entity that manages the resources from the Palmer Development Fund (FFP) quota created by Law 138 of 1994, managing a quota of 1.5% of the value of each kilogram of palm kernel and crude oil extracted, allowing its development without purposes For profit, in the last ten years research has focused on precision agriculture (AP) and biotechnology that determine specific requirements measured by quantitative and qualitative variables such as genetics, species, deficiencies, areas and coordinates. For this reason, it is based to emphasize the efficient use of natural and synthetic resources for the production of oil palm *(Elaeis guineensis jacq)* due to the deterioration of the soils, the increase in production costs, inputs and the environmental impact that this generate. Reason why new models are implemented in the innovation of the efficient use of natural resources such as the bioeconomy, programming software, biostatistics and geographic information systems allowing to know the biodynamics of the productive species, correcting different factors that intervene in the exploitation agricultural.

In this order of ideas, a compilation of literary information, guides, and manuals from recognized sources in the scientific union was made, such as: Elsevier, Acta Agronómica, Revista de Fitotecnia Mexicana, Revista Palmas de Cenipalma, FAO and the European Space Agency, etc. In the same way, the Colombian palm growing sector was deepened, focused on technologies and the development of a download guide, which allows us to process satellite images in a geographic information system.

Keywords: precision agriculture, oil palm, bioeconomy, inputs, and software.

1. INTRODUCCIÓN

La producción mundial de palma de aceite en 2019 alcanzó los 72.271.000 millones de toneladas, posicionando a Indonesia como el primer productor mundial con 42.500.000 millones de toneladas, representando el 59% de la producción mundial. En segundo lugar, está Malasia, cuya producción alcanzo los 18.500.000 toneladas, representando el 26% de la producción, le sigue Tailandia con 2.800.000 toneladas, representando el 4% de la producción y Colombia el cuarto productor del mundo con 1.529.000 de toneladas de aceite de palma con el 2 % de la producción mundial (USDA, 2019). En Colombia existen cuatro Zonas Palmeras, de ahí que para el año 2019 se reportaron 486.005 ha en producción y un total de 559.582 ha sembradas en todo el territorio nacional. El 40 % se ubica en la Zona Oriental con 229.695 ha, el 32 % en la Zona Central con 175.708 ha, 24 % en la Zona Norte con 131.936 ha y el 4% a la Zona Suroccidental con 22.243 ha (SISPA, 2019). De tal manera que Colombia se posiciono como el principal productor de aceite de palma del continente americano, donde se está teniendo un impacto social positivo en las comunidades que viven de los más de 170 mil empleos generados directa e indirectamente por el sector palmero, donde también el 80% son pequeños productores, generadores de esta economía nacional (FEDEPALMA, 2019).

Según el boletín económico de Fedepalma la producción nacional aceite crudo y de palmiste del año 2019 lo liderado la Zona Oriental con una producción de aceite crudo de 629.217 toneladas y de palmiste de 105.917 toneladas, el segundo es la Zona Central con una producción de aceite crudo de 474.959 toneladas y de palmiste de 106.917 toneladas, en el tercer lugar la Zona Norte con un producción de crudo de 365.558 toneladas y de palmiste de 92.793 y en el cuarto lugar la Zona sur con una producción de aceite crudo de 49.016 toneladas y de palmiste de 768 toneles esto es inversamente proporcional al área sembrada (FEDEPALMA, 2020).

La cadena de explotación de los productos oleaginosos inicia desde los cultivos que en medida generan una gran demanda de insumos, mano de obra y recursos naturales que luego finaliza con la transformación de este tipo de bienes por parte de las empresas industriales y manufactureras de Colombia (cosméticos, harinas, tortas, aceites vegetales y biodiesel) (Departamento Nacional de Planeacion , 2018). Cabe resaltar que esta es solo un aparte del majestuoso engranaje de la agroindustria de la palma de aceite generando un reto frente a la reducción del impacto ambiental y los costos de producción, con la ayuda de la agricultura de precisión la cual ofrece unos beneficios de

rentabilidad, productividad, sostenibilidad, calidad del cultivo, protección ambiental, seguridad alimentaria y desarrollo económico rural (Robert, 1999). Especialmente a todas las prácticas agronómicas que se realicen se deben considerar los costos, los beneficios y los posibles riesgos que podamos tener durante la ejecución de los proyectos productivos. Según (Emmo & Metthews, 1997) indican que toda labor agronómica abarca una relación con una amplia escala de factores como el clima, los suelos, los requerimientos nutricionales, la geografía, los insectos, las enfermedades y las arvenses.

Sin embargo, Balasundram (2016), en su recopilación de estudios de Agricultura de Precisión (AP), aplicados al cultivo de palma de aceite habla de dos pilares: requisitos y protocolos, para la implementación de la Agricultura de Precisión (AP).

los cuales se fundamenta en tres requisitos:

1) La cabida de identificar las áreas de siembra.
2) La capacidad de capturar imágenes, interpretar y analizar datos agronómicos en la frecuencia adecuada.
3) La posibilidad de ajustar el uso de los insumos y las prácticas agronómicas para maximizar los beneficios de las siembras.

De igual manera con la ayuda de softwares que nos permiten el análisis de datos e imágenes obtenidas por el satélite Landsat 8 puesto en órbita el 11 de febrero del 2013 (NASA, 2013). Y tres Protocolos:

1) Conseguir información sobre la variabilidad.
2) Procesar los datos para identificar variabilidades o diferencias significativas.
3) Implementar los cambios en las plantaciones.

En igual sentido logrando superar el reto agronómico que tenemos para poder incrementar la productividad de la palma de aceite, por medio de la ciencia, la tecnología e innovación según el Director General de Cenipalma (Bochno, 2019), las investigaciones actuales se centra en las limitantes como la fertilización, el suelo, las practicas del cultivo, plagas y enfermedades como los causantes en la baja productividad de los cultivos en Colombia.

Ahora bien, el modelo de la bioeconomía a modo alterno de los modelos convencionales es una respuesta a las limitantes que afectan los sectores productores del país y Latinoamérica, donde prima

la eficiencia de los recursos, tecnologías y procesos cíclicos. De hecho, este modelo socioeconómico que promueve la reducción del uso de los recursos fósiles, promoviendo el uso eficiente de la riqueza biológica. Gracias a este modelo económico se presenta como una estrategia viable para afrontar la demanda mundial de producción y consumo redirigido a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) compendiados en la agenda 2030 (Aramendis, 2019).

Especialmente el trabajo se centró en la revisión bibliográfica sobre las tecnologías aplicadas para mejorar la productividad en el cultivo de palma de aceite, representadas por las ciencias como lo son la (Estadística, Bioeconomía, sistemas de información geográfica y teledetección remota), con la curiosidad prestada a la interacción que tiene esta sobre los sistemas de producción agroindustrial, marcando un ítem importante en la agricultura moderna, consultando bibliografía sobre los aspectos más relevantes y que puedan contribuir al repertorio de las tecnologías aplicadas en el cultivo de palma de aceite.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los principales elementos que determinan la productividad del cultivo de palma son todos los factores que intervienen directamente con el desarrollo fisiológico del material vegetal (agua, suelo, sanidad y nutrición vegetal, etc.), las limitantes en las plantaciones van generando perdidas e incrementando los costos de producción y el de los productos de síntesis química que generan un impacto negativo en la fauna y flora. De la misma forma que irrespetan la frontera agrícola delimitada por leyes como zonas de conservación, por consiguiente esto ha conllevado a la perdida exponencial de los recursos naturales en Colombia y gran parte de Latinoamérica.

El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas ha lanzado un documento en el cual afirma que para el año 2050 se espera una población mayor a los 9 mil millones de habitantes de los cuales un 68% vivirán en zonas urbanas (ONU, 2016). La Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura, promueve, apoya y genera el aprendizaje de las tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión en el mundo, para tener un control eficiente de los recursos naturales. por esta razón se inculca la planificación desde los Sistemas de Información Geográfica (SIG), forjando un modelo económico nuevo que incluya todos los sectores productivos con el fin de suplir la demanda de la industria manufacturera que es la encarga de la transformación de las materias primas en efecto contribuyendo a la soberanía alimentaria.

Sin embargo, la agroindustria de la palma de aceite y el sector agropecuario necesitan un cambio radical para poder implementar e impulsar la recolección de datos dentro de las unidades de manejo agronómico (UMA), ya establecidas o futuras a establecer. Con la base de datos se espera obtener la clave a nuevas prácticas agronómicas según Oberthür (2016), en su planteamiento la Inteligencia de Plantaciones (IP) de palma de aceite. Donde de tal manera se pueda mitigar la problemática de producir alimentos en la actualidad a mayor escala y que cumplan con el estándar de calidad nutricional para el consumo humano y sostenibilidad con los recursos naturales y biológicos.

3. JUSTIFICACIÓN

La finalidad el trabajo es mostrar las herramientas para la toma y análisis de datos, mas usadas en las plantaciones de palma de aceite del mundo. Las cuales contribuyen en la innovación de tecnologías aplicadas en la agricultura de precisión del sector paramero de Colombia y de cualquier sistema de explotación agrícola. Los instrumentos de procesamiento de datos, programación, sistemas de información geográfica y teledetección remota contribuye al uso sostenible de los recursos naturales. Que a pesar de ser un tema poco tratado, ha tendido en la última década a realizar aportes significativos al seguimiento de la sanidad vegetal de las plantaciones de palma de aceite.

Por otra parte, la intervención para mejorar la productividad implica la optimización de las labores de los recursos económicos y naturales que brindan garantías a los productores. Por esta razón es importante cambiar el concepto a todos los involucrados en el sector agrícola (Dishington, 2019). Ahora bien, en la décima quinta Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite se reiteró la importancia de los recursos tierra, agua y capital humano, como el de fortalecer la investigación departe de CENIPALMA, Cooman (2019) habla de cómo mejorar las experiencias en las plantaciones con la ayuda del personal fortaleciendo la creatividad, el recurso humano, ofreciendo capacitaciones, motivando a establecer buenas prácticas agronómicas y tecnológicas, para poder implementar las certificaciones a todas las plantaciones de país en los principios, criterios e indicadores de La Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, sus siglas en ingles) (RSPO, 2018).

Estudios realizados en otras plantaciones a nivel mundial muestran las mismas variables que limitan los picos teóricos de rendimiento de 18,5 t aceite/ha/año. Pero Woittiez (2018) habla que este rendimiento promedio tiende a estancarse en 3 t aceite/ha/año en algunas zonas que no son aptas para el cultivo debido a los factores que determinan, limitan y reducen la productividad del cultivo., El rendimiento promedio en Colombia de aceite de Palma es aproximadamente de 3.6 toneladas de aceite por hectárea por año. Las mejores plantaciones comerciales de Indonesia y Malasia que obtienen entre 5 y 6 toneladas de aceite por hectárea por año y algunas parcelas experimentales obtienen más de 10 toneladas de aceite por hectárea por año exponiendo la importancia de implementar nuevas tecnologías (Granados, 2010).

4. OBJETIVOS

Objetivo general.

Analizar técnicas de agricultura de precisión aplicadas al cultivo de palma de aceite y su beneficio en la productividad en Colombia a través de una revisión literaria.

Objetivos específicos

- Investigar en la literatura estudios relacionados a la innovación tecnológica como beneficio en la producción agrícola.

- Realizar un reconocimiento de los principales softwares, sistemas de información geográfica y teledetección, utilizados para la recolección de datos.

- Elaborar una guía de observación y descarga sobre el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

5. METODOLOGÍA

El documento se ejecutó bajo la identificación, búsqueda y análisis de la información de fuentes como libros, revistas, páginas web, ensayos y trabajos de grado, bases de datos disponibles por la Universidad de Cundinamarca, en formato digital como: Elsevier, Science Direct, etc., Además, de una consulta libre en la Revista Palmas de Cenipalma, Acta Agronómica, Revista Fitotecnia Mexicana, La Nasa y La Agencia Espacial Europea. Donde se aceptaron las más recientes y se excluyeron las más lejanas en fecha, incluyendo una que otra fecha antigua como base dentro de la ciencia madre, Con un total de ciento tres (103), revisiones bibliográficas de las cuales diez (10) son artículos de revisión científica que exponen estudios realizados en plantaciones de *(Elaeis guineensis jacq)* y sus beneficios en la implementación de nuevas tecnologías. De igual manera se profundizo en el sector palmicultor de Colombia y los aplicativos de innovación al servicio de la producción de aceite de palma nacional.

En efecto se usó la metodología de las palabras claves, donde se puede implementar un motor de búsqueda de la información más actualizada y relevante, permitiendo abarcar los temas más recientes e importantes de las tecnologías aplicadas para una agricultura de precisión. Se incorpora una guía básica para la descarga de imágenes y procesamiento del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), aplicados al cultivo de palma de aceite *(Elaeis guineensis jacq).*

6. MARCO CONCEPTUAL

La evolución de la agricultura de precisión ha permitido mejorar el uso eficiente de los insumos, la productividad, la sanidad de los cultivos y la seguridad de los colaboradores, por otra parte la implementación de estas herramientas que nos permiten capturar una gran cantidad de variables cuantitativas, cualitativas y de distribución espacial, contribuyendo al desarrollo óptimo de los cultivos haciendo un uso racional de los recursos naturales y biológicos de las áreas aptas para la explotación agrícola (Andes, 2019).

Igualmente, la modelación SIG/GPS permiten una caracterización exacta de los sitios y los requisitos para la aplicación equilibrada de insumos, pueden establecerse de forma precisa, rápida y objetiva para el óptimo crecimiento y rendimiento de las palmas (Kiang, 2007). Ahora bien, la combinación de herramientas y servicio de tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión mejora notablemente las condiciones para producir de los pequeños y grandes productores agrícolas, aportando rentabilidad y sostenibilidad a los cultivos (IICA, 2014). Son dadas por, muestras de suelo o por imágenes utilizando bandas landsat para determinar índices de vegetación y humedad de (Mattar, 2011).

Dado que las condiciones determinantes de las áreas idóneas están agrupadas en factores climáticos y de suelo. La altitud optima es en zonas de 0 a 500 msnm. Con unas condiciones meteorológicas óptimas para el desarrollo del cultivo de palma de aceite Contar con: una precipitación anual de 2.000 a 2.500 mm, con una precipitación mensual mínimo 100 mm, El déficit de agua anual debe ser menor de 200 mm, el brillo solar más de 2.000 horas /año (más de 5,5 horas/día), Con una Radiación solar mayor de 16 MJ/m2/día, la temperatura media de 22 a 31 °C y una humedad relativa del 75 a 85 % (Munévar, 2012). Sumado a esto la productividad optenida es el resultado de las practicas de manejo implemantada años a tras, ya que la inflorescencia se tarde de 36 a 40 meses en cosechar, por es funamantal una vision a largo plazo sobre la cantidad de variables que van surguiendo en la implementacion y el desarrollo de la produccion sostenible de palma de aceite (Fairhurs, 2016).

Capítulo I. Aspectos generales de la Palma de Aceite.

Conceptos de la Palma de Aceite

El aceite de palma es un alimento natural que se viene consumiendo desde hace 5.000 años. Se refina sin necesidad de disolventes químicos, por lo que se reduce el riesgo de contaminación por residuos. El aceite de palma contiene iguales proporciones de ácidos grasos no saturados, conteniendo alrededor del 40% de ácido oleico (no mono saturado), 10% de ácido linolénico (no polinsaturados), 44% de ácido palmítico (saturado) y 5% de ácido esteárico (saturado). Este aceite es una fuente natural de vitamina E, tocoferoles y tocotrienoles y el aceite de palma sin refinar también es una fuente importante de vitamina A (Herrera, 2009).

El científico Hutchinson ha clasificado la palma aceitera como:

- Reino = Plantae
- División = Fanerógamas
- Tipo = Angiosperma
- Clave = Monocotiledóneas
- Orden = Palmales
- Familia = Palmácea
- Tribu = Cocoinea
- Género = Elaeis
- Especie = guineensis
- y oleífera (Cortes, 2009).

Es una planta monoica, es decir, tiene flores de ambos sexos, masculinas y femeninas. Asimismo, es una especie alógama, debido a que su polinización es cruzada. Aunque es perenne, en los cultivos comerciales su vida productiva es de 25 años, a esa edad alcanza una altura superior a los 13 m, lo que dificulta la cosecha de sus frutos (DUARTE, 2014).

Principales órganos de la palma de Aceite mostrados en la Figura 1:

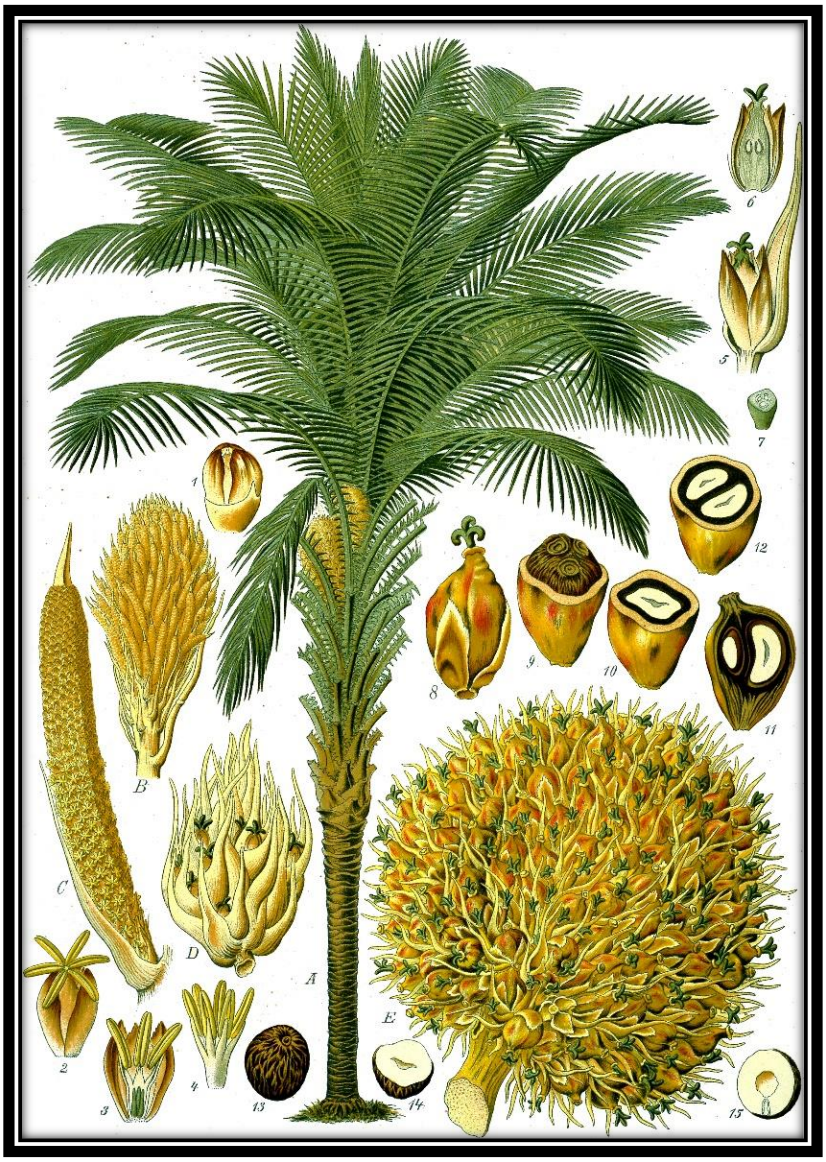


FIGURA 1 *(ELAEIS GUINEENSIS JACQ.).* **FUENTE: (KOEH)**

A). Hábitat de toda la planta, Estípite. **B).** Inflorescencia masculina, **C).** Rama única de la inflorescencia masculina, **D).** parte de una inflorescencia femenina, **E).** puesto de frutas.
1). Brote; **2).** Flores masculinas; **3).** Flor masculina sección longitudinal; **4).** Tubos de resistencia; **5).** Flores femeninas; **6).** Flor femenina sección longitudinal; **7).** Ovarios en sección transversal; **8).** Frutas; **9).** Fruto con la mitad de Mesocarpio; **10).** Núcleos del fruto en sección transversal; **11).** Núcleos del fruto en sección longitudinal; **12).** Núcleo de fruto de dos semillas en sección transversal; **13).** Semillas; **14).** Semilla en sección transversal; **15).** lo mismo en sección longitudinal (Koeh).

Frutos: Estos son ovalados, y alargados de 3 a 6 cm, cuentan con un peso aproximado de 5 a 12 gramos. Exocarpio liso, Mesocarpio donde las fibras almacenan el aceite, una semilla compuesta por la testa lignificada Endocarpio, y una almendra aceitosa o palmiste Endospermo. En la Figura 2, podemos observar con mayor detalle el fruto. La aglomeración de los frutos helicoidalmente en el raquis forma el racimo, con un peso que puede oscilar entre 5 a 40 Kg (Borrero, 2018).

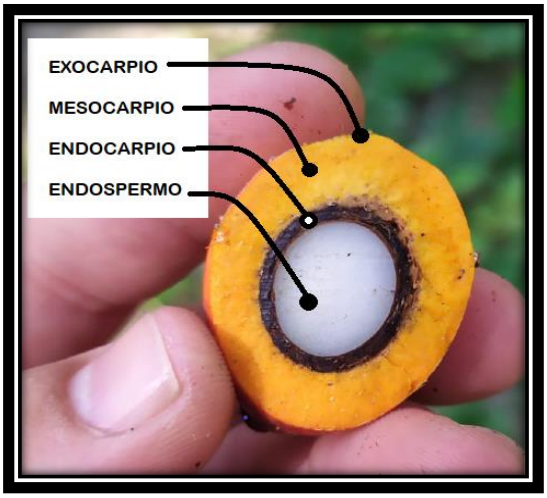


FIGURA 2 PARTES DEL FRUTO. **FUENTE: (MANRIQUE)**

FIGURA 3 FRUTO. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Raíces: las palmas como son plantas monocotiledóneas, su sistema radicular se expande a partir de un bulbo el cual está ubicado en la parte inferior del estípite. Su función principal es brindar un soporte a la palma y la absorción de nutrientes y agua del suelo (Borrero, 2018). Es muy importante la adecuación de tierras para un uso eficiente de los recursos y el aprovechamiento del agua para no tener problemas fitosanitarios como se presenta en la Figura 5.

FIGURA 4 RAÍCES DE PALMA DE ACEITE. **FUENTE: (BORRERO, 2018)**

FIGURA 5 PBE (GANODERMA SP). FUENTE: (MANRIQUE

Tronco o Estípite: La estructura que comunica las raíces con las hojas, el tallo contiene los haces vasculares (Floema y Xilema) por donde se transportan los fotoasimilados, en su zona central se encuentra el meristemo apical. Las palmas crecen en un promedio de 30 a 60 cm por año (Borrero, 2018). En la Figura 6 podemos observar un material vegetal (UNIPALMA), siembra 2012 con filotaxia derecha.

FIGURA 6 MATERIAL VEGETAL (UNIPALMA). **FUENTE: (MANRIQUE)**

Hojas: Las palmas en condiciones normales tienen entre 30 a 49 hojas funcionales, encargadas de la fotosíntesis. una hoja funcional está compuesta de un peciolo de 1.5m aproximadamente, con espinas laterales en Colombia le llaman (caimán), respectivamente sigue el raquis donde posan entre 200 a 300 foliolos cara a cara. La filotaxia o la distribución de las hojas en el estípite indica que están dispuestas de a 8 en espiral respecto al eje vertical, en la Figura 7 podemos observar una palma siembra 2009 filotaxia Izquierda.

FIGURA 7 PALMA, FILOTAXIA IZQUIERDA. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Inflorescencias:

Las condiciones de la palma de aceite son de una planta Monoica, produce separadamente flores masculinas y femeninas sobre el mismo estípite. A su vez las flores masculinas se encargan del polen, están compuestas de 100 a 160 espigas, cada una de ellas tiene entre 10 y 20 cm de largo y de 700 a 1200 flores, que en conjunto proveen entre 30 y 60 gramos de polen (Figura 9). Las flores femeninas, también insertadas en espiguillas y dispuestas en espiral alrededor del raquis o pinzote, pueden estar distribuidas hasta 110 espigas y alcanzar la cantidad de 4000 flores aptas para ser polinizadas (Figura 8) (Borrero, 2018). Por su parte el hibrido OxG *(Elaeis oleifera x Elaeis guineensis),* su polinización debe realizarse de manera asistida (Linares, 2019).

FIGURA 8 INFLO. FEMENINA. **FUENTE: (RODRIGUEZ, 2011)**

FIGURA 9 INFLORESCENCIA MASCULINA. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Origen del sector palmicultor en Colombia

La palma de aceite fue introducida en América central por las embarcaciones de los colonizadores que traían esclavos siendo el corozo su fuente de alimentación, fue así mismo como el Doctor Florentino Claes, en 1932 introdujo un material cuya procedencia era del Jardín Botánico de Eala, Congo Belga, pero no fue hasta 1945 que la multinacional "United Fruit Company" destacada por la producción de frutas tropicales impulso el establecimiento de la primera plantación de palma de aceite en la zona bananera del Departamento del Magdalena (Cuervo, 1990).

De ahí que el principal motivo por el cual Colombia inicio a sembrar y producir Palma de Aceite fue por el alto rendimiento en unidad de superficie, comparado con otros cultivos oleaginoso (Granados, 2010) (Figura 10).

FIGURA 10 RENDIMIENTO DE ACEITE (TON/HA). **FUENTE: (FEDEPALMA, 2016)**

Producción del aceite de palma

Planta Extractora de Aceite: La extractora debe cumplir con unos estudios previos a su construcción que cumplan con el (POT), con el fin de tener un seguimiento y evitar turbaciones al medio ambiente como a las comunidades. Por otra parte, las capacidades tecnológicas se implementan instalaciones acordes en tamaño, capacidad y funcionalidad en el procesamiento del racimo de fruta fresca RFF (FEDEPALMA, 2011).

Recepción de fruto: Los racimos van llegando de los diferentes puntos de corte a las instalaciones de abastecimiento son debidamente pesados y según los criterios de empresa se evalúa la calidad y potencial de los frutos en laboratorio (Figura 11). El descargue de los RFF se recibe en plataformas y mediante un sistema de tolvas se trasladan al punto de esterilización (FEDEPALMA, 2011).

FIGURA 11 POTENCIAL DEL FRUTO, LABORATORIO ELG. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Esterilización: Los RFF por medio de autoclaves gigantes (Figura 12), son sometidas a altas y bajas presiones con vapor de agua proporcionando el ablandamiento de la matriz del fruto y permitiendo la extracción del aceite y el desplazamiento de la almendra. Mediante este proceso de esterilización se inactiva la enzima lipasa para controlar los ácidos grasos libres (FEDEPALMA, 2011).

FIGURA 12 AUTOCLAVE ELG. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Desfruta miento: Mediante un proceso mecánico es separada la fruta del raquis, la cual es usada en compost para la reincorporación de materia orgánica a la plantación. La fruta es transportada por sinfines hasta la prensa y los digestores (FEDEPALMA, 2011).

Digestión y Prensado: Los frutos ya separados y sueltos del raquis son macerados hasta formar una pasta suave y para separar el aceite, la fibra o torta y el cuesco o palmiste, el cual se usa y se seca en silos para ser enviado a la planta de palmistería. La fibra se usa como combustible de las calderas que generan el vapor de agua que necesita la planta.

Palmistería: Las nueces provenientes de los silos de almacenamiento van a un tambor dotado de mallas, don se clasifican por tamaños antes de enviarlas a las rompedoras. Mediante un proceso de separación neumática y de fuerzas centrifugas se separa la almendra de la cáscara. La almendra se pasa al silo de secado y de esta se obtiene el aceite de palmiste utilizados en la industrial para dulces, helados, jabones finos, cremas, etc. La torta que queda se usa para preparar concentrados para alimentos de ganado vacuno (FEDEPALMA, 2011).

Clarificación: Este proceso se realiza mediante la estática o dinámica de separación de diferentes densidades. La clarificación se hace con los sistemas estáticos en tanques circulares verticales o dinámicos, donde las partículas más pesadas se van sedimentando. Así se separan y la mezcla restante luego pasa a las deslodadoras (FEDEPALMA, 2011).

Desloado: El agua que se encuentra mezclada con aceite es pasada por centrifugadoras deslodadoras para recuperar el aceite y separar las aguas efluentes. Estas aguas ya no tienen aceite recuperable, por esto, pasan a las piscinas de desaceitado para continuar el tratamiento de aguas (FEDEPALMA, 2011).

Secado: El aceite pasa a ser secado para disminuir la humedad, por medio de calentamiento del tanque o por sistema de secamiento atmosférico o al vacío (FEDEPALMA, 2011).

Almacenamiento: Una vez los exámenes de calidad en el laboratorio, el aceite es almacenado en tanques para hacer sus despachos a las diferentes industrias procesadoras (FEDEPALMA, 2011).

Capítulo II. Aspectos generales de los software más usados en Palma de Aceite.

Software para el análisis Bioestadístico

El Software es un componente fundamental en la informática y en el área laboral que requieren procesamientos y algoritmos para su ejecución, gracias a estos conjuntos sistemáticos podemos ordenar y desarrollar tareas básicas y lógicas, permitiendo a los usuarios de diferentes áreas de la salud, agrícola y de medio ambiente, visualizar por medio de un entorno digital multimedia de cada uno de los programas y aplicaciones en nuestras computadoras (Sánchez, 2012).

Por lo tanto, los programas de estadística aplicada a las ciencias agropecuarias como un lenguaje científico. A su vez una herramienta de gran utilidad desde tiempos inmemorables, que en las últimas dos décadas se ha venido transformando y evolucionando en software trayendo consigo hallazgos, experimentos y resultados que nos han permitido analizar cómo es la interacción de las especies en los sistemas productivos de una manera más precisa y con menos erros en la toma de datos, dado

que estas prácticas nos permiten trabajar con poblaciones grandes con múltiples variables de medición (Rienzo., 2005).

En otro sentido la innovación tecnológica actual sigue presentando propuestas y actualizaciones para la implementación de software que fortalecen las capacidades de los productores y los colaboradores de nuestras áreas productivas, por otra parte, la necesidad de capacitar a todo el personal en el uso adecuado de la estadística para tener una visión acorde a las probeticas presentes (Fernández, 2013).

Cybertracker:

La interfaz de Cybertracker, es un software libre desarrollado en 1996 para poder recopilar datos del rinoceronte negro en vía de extinción (Figura 13), en la actualidad está en su versión 3.507 con un peso de 15 MB, es de fácil interacción, no requiere habilidades avanzadas en programación, pero sí conocimiento básico de inglés. Se instala en el computador donde podremos desarrollar los formularios, y luego podremos cargar a nuestros dispositivos móviles dependiendo los datos a registrar en campo (CyberTracker, 2020) (Figuras 14 y 15), una de las mejores ventajas es que tiene Cybertracker es su funcionamiento off line que nos permite trabajar sin datos, para luego volver de campo descargar los formularios en el computador, y visualizarlos en formato Excel (CENIPALMA, 2015).

Ejemplo de Formularios:

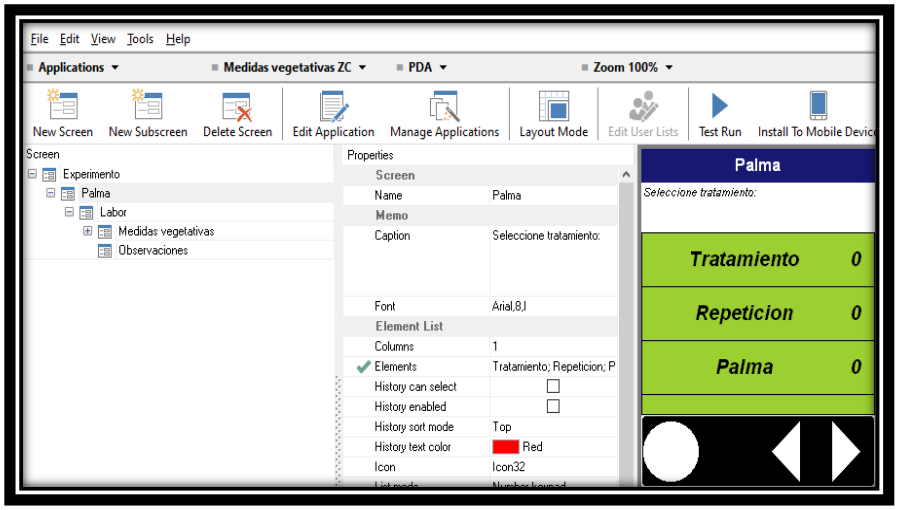


FIGURA 13 PLATAFORMA CYBERTRACKER. **FUENTE: (MANRIQUE)**

FIGURA 14 PLATAFORMA CELULAR. **FUENTE: (MANRIQUE)**

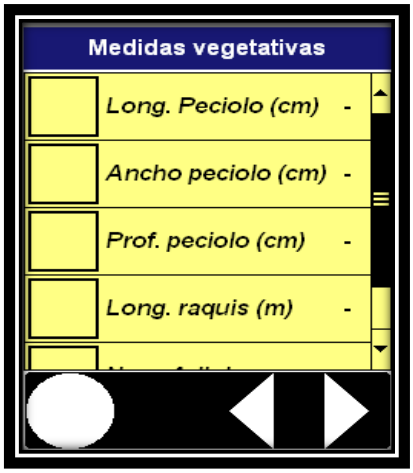


FIGURA 15 PLATAFORMA CELULAR. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Biosalc:

El software de Biosalc desarrollado en la década de los 90, es el más reconocido en América latina y especializado en sistemas para la Agroindustria. De esta manera generando soluciones en más de 20 cultivos en 14 países de Latinoamérica. Actualmente cuenta con una flexible interfaz (Figura 16) para los usuario y colaboradores, mejorando las practicas agroindustriales, usado hoy por hoy en la mayoría de las plantaciones de palma de aceite de Colombia, ofreciendo un soporte de información geográfica, modelos matemáticos propios para la optimización de cosechas, asignación de labores diarias, monitoreos, asignación de maquinaria, energía de la agroindustria, recursos naturales, balances económicos y costos de producción (Figura 17), garantizando el seguimiento y el conocimiento de nuestras zonas productivas (BIOSALC, 2014).

FIGURA 16 INTERFAZ BIOSALC (INICIO). **FUENTE: (BIOSALC, 2014)**

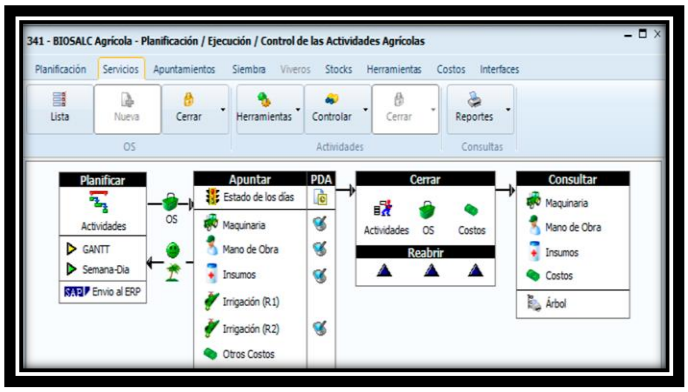


FIGURA 17 INTERFAZ BIOSALC (PLANIFICACIÓN). **FUENTE: (BIOSALC, 2014)**

InfoStat:

Es un software libre que nos permite realizar análisis estadístico, desarrollado por profesionales de la Estadística. La primera versión que se liberó en 1998, en la actualidad se cuenta en su última versión 2017 que nos permite una vinculación con el software de programación R, permitiendo expandir las potencialidades para el ajuste de modelos estadísticos de alto rendimiento tecnológico (InfoStat, 2017), (Figura 18). En conclusión, la interfaz del software de InfoStat es básica y bastante sencilla, con una ventaja sobre otros softwares de estadística, la cual viene en versión español permitiendo interactuar de una manera más ágil, dinámica y confiable para abrir, guardar o crear formularios. Acorde a nuestra necesidad (InfoStat, 2008), es utilizado para muchas de las evaluaciones que se realizan en campo y en lotes experimentales donde el centro de investigación de palma de aceite (CENIPALMA), se encarga de hacer la recolección de datos con la ayuda del personal de campo donde después es recopilada y mostrada al público de interés sobre los avances de la Palmicultura en Colombia.

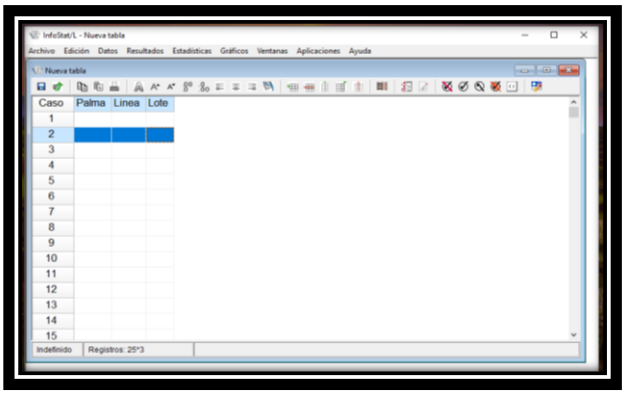


FIGURA 18 INTERFAZ DE INFOSTAT. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Programación R:

R es el conjunto de programas para el manejo de datos, cálculos y gráficos. Dispone de más características:

- Almacenamiento y manipulación efectiva de datos
- Operadores para cálculo sobre variables indexadas (Arrays), Particulares matrices.
- Coherencia e integrada colección de herramientas para los múltiples análisis de datos.
- Graficas para el análisis los datos, digitales o impresos.
- Lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que incluye condiciones, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas (R Development Core Team, 2000).

R se define como una nueva de implementación del lenguaje S desarrollado por AR&T, por eso muchos de los libros y manuales sobre S son de gran utilidad para R, la introducción de R no se menciona la palabra estadística, sin embrago muchas personas utilizan R como un sistema estadístico, pero realmente es un entorno donde se pueden implementar muchas técnicas estadísticas, siempre existe una diferencia fundamental entre R y los otros softwares estadísticos (Figura 19). En R, un análisis se hace paso a paso, mostrando unos resultados intermedios que se almacenan, para luego ser analizados posteriormente, sin embargo, en SAS o SPSS donde se obtienen de manera inmediata para análisis discriminante o una regresión (R Development Core Team, 2000).

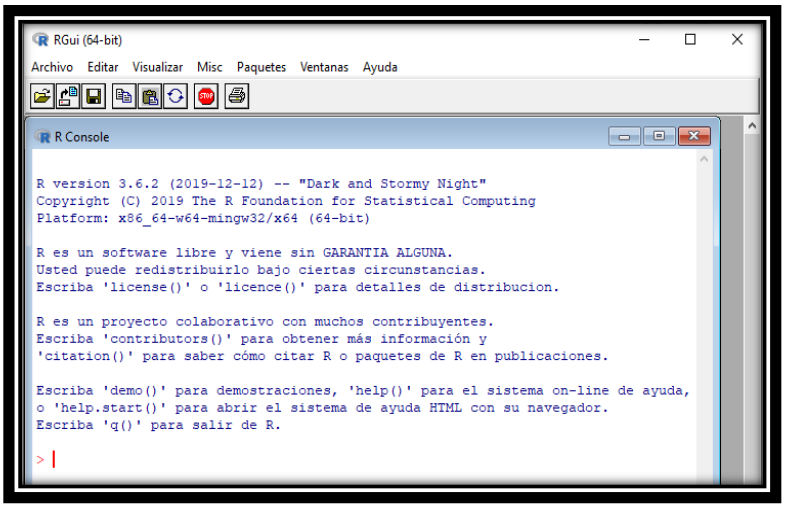


FIGURA 19 INTERFAZ DE R. **FUENTE: (MANRIQUE)**

SAS ®:

Sistema de análisis estadístico por sus siglas en ingles este software cuenta con la capacidad de crear gráficos, hojas de cálculo, acopiar lenguajes de programación R y C, incluye interfaz para la creación de Pag web (Figura 20) (SAS, 2009).

Las utilidades de entorno gráfico que permite SAS son:

- Creación y manipulación de librerías de datos SAS (que llamaremos SAS-FILES).
- Importación/exportación de datos externos en ficheros ASCII.
- Importación/exportación de datos externos en ficheros en otros formatos, por ejemplo, EXCEL.
- Exportación de gráficos a otros formatos.

El programa SAS ® básicamente es encuentra dividido en dos grandes ventanas:

Ventana izquierda "Explorer": accesos directos a los ficheros de interés, información sobre las librerías y una ventana de resultados dónde aparece la información obtenida de las diferentes ejecuciones desglosadas.

Ventana derecha: Contiene las ventanas principales LOG, OUTPUT, EDITOR (SAS, 2009).

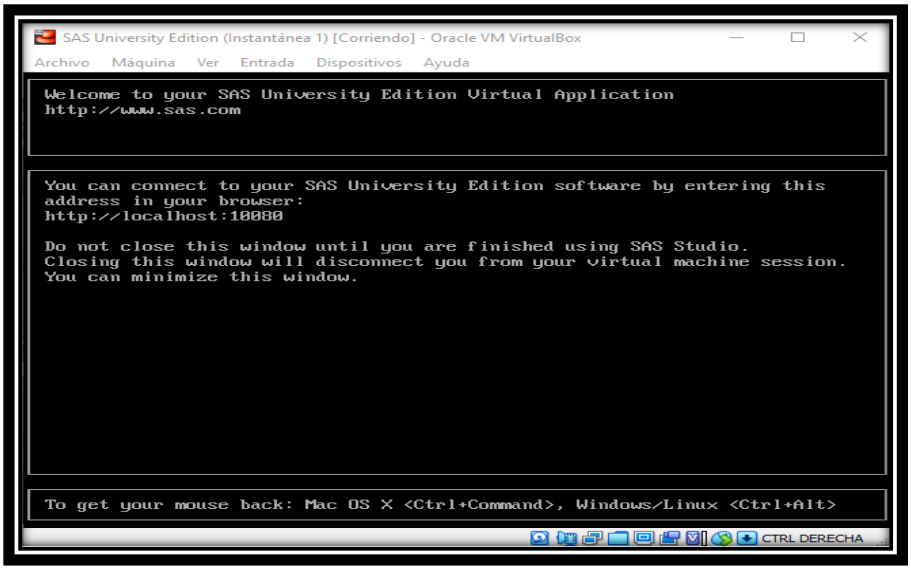


FIGURA 20 INTERFAZ DE SAS. **FUENTE: (MANRIQUE)**

Ejemplo del software SAS, aplicado a las evaluaciones en el cultivo de palma de aceite.

Enemigos naturales de *(Stenoma cecropia),* Lepidóptera: Elachistidea, en palma de aceite, en el suroccidente de Colombia.

Donde se calculó el índice de correlación de Pearson de los dos estados de desarrollo (larva y pupa) de *S. cecropia* presentes durante el estudio, entre las variables climáticas (precipitación, humedad relativa y temperatura) y el total de enemigos naturales que controla cada estado de desarrollo de *S. cecropia*. El efecto depredador de las hormigas (C*rematogaster* sp). y análisis faunístico (dominancia, abundancia, frecuencia y constancia), se analizó utilizando el paquete estadístico SAS 9.1, (Rev. Colomb. Entomol. v.42 n.2 Bogotá 2016).

Brechas en el rendimiento en lotes de palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq) de cultivadores de pequeña y mediana escala en el sur del Cesar y Santander.

Se buscó identificar la asociación entre las brechas en el rendimiento y la adopción de tecnología. Para ello se empleó la calificación cualitativa de cada una de las prácticas evaluadas. Inicialmente se buscó encontrar asociaciones entre la adopción de las variables empleando la metodología estadística Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) y posteriormente se buscó identificar agrupaciones de lotes de acuerdo con homogeneidad entre la adopción de la tecnología y las brechas en el rendimiento. Para ello, se empleó el software estadístico SAS versión 9.4 (Licenciado por Cenipalma), presentada en una tesis en línea de investigación en Desarrollo Empresarial Agropecuario.

Software para el procesamiento de SIG:

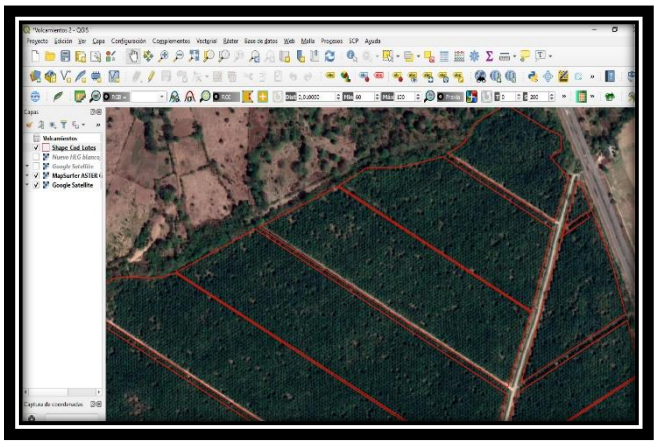
La interfaz de estos softwares nos permite la visualización de la captura de datos en campo o ya previamente descargados, facilitando la planeación digital de los datos en formato vectorial o ráster más utilizados cuando toca hacer capas continuas, como en fenómenos de constante cambio (Medio ambientales, temperaturas, lluvias, localización de especies marinas, geológicas, agrícolas, etc.) (Pucha, 2017).

ArcGIS

Es una ampliación que contiene funcionalidades de escritorio a la modernidad digital que nos permite visualizar y manejar la información geográfica en su interfaz (Figura 21), y que cuenta con una arquitectura extensible mediante la que pueden añadírsele nuevas funcionalidades (Olaya, 2014). Estas son las conocidas extensiones, entre las cuales se pueden destacar Spatial Analyst (análisis ráster), 3D Analyst (análisis 3D y de relieve) o Geostatistical Analyst (geoestadística) (Pucha, 2017).

FIGURA 21 INTERFAZ ARCGIS. **FUENTE: (ESRI, 2020)**

Qgis



QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de Código Abierto administrado bajo GNU - General Public License. Es un proyecto oficial, (OSGeo). Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos (QGIS, 2020). Este programa se ha utilizado en la digitalización de lotes de palma de aceite, clasificación de índices de vegetación y humedad, etc., (Figura 22).

FIGURA 22 INTERFAZ QGIS. **FUENTE: (MANRIQUE) (QGIS, 2020)**

SAGA GIS

El Sistema para Análisis Geo científicos Automatizados (SAGA), es un software de Sistema de Información Geográfica (SIG) ha sido diseñado para una implementación fácil y efectiva de algoritmos espaciales ofrece un conjunto completo y creciente de métodos geo científicos. Desarrollado en Alemania por investigadores del Departamento de Geografía de Gotinga en el año 2007, física proporciona una interfaz de usuario fácilmente accesible con muchas opciones de visualización (Figura 23), se ejecuta en sistemas operativos Windows y Linux. es un software gratuito de código abierto (Fisher, 2017).

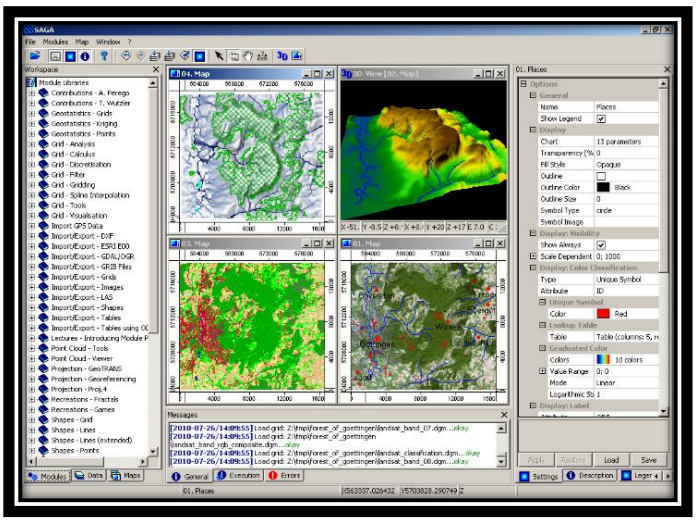


FIGURA 23 INTERFAZ SAGA. FUENTE: (SAGA, 2019)

gvSIG

La plataforma es un software libre. Esta ampliación nos permite representar, editar, analizar y gestionar información, de cierto modo puede abrir todo tipo de formatos vectoriales y ráster; archivos de datos y servicios remotos, podemos ver su Interfaz en la figura 24. Por otro lado, dispone de herramientas de diseño de mapas para impresión. Sumado a esto cuanta con una aplicación para celulares Android, facilitando la recolección de datos en campo como censos, inventarios forestales, monitoreos de plagas y enfermedades en agricultura, con georreferenciación para después ser cargados a la plataforma de edición (gvSIG, 2015).

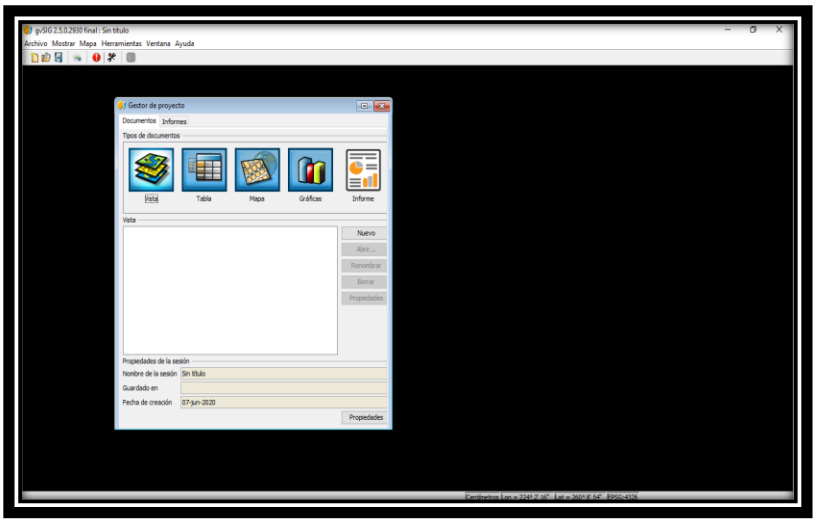


FIGURA 24 INTERFAZ GVGIS. FUENTE: (MANRIQUE) (GVSIG, 2015)

Pix4D

La compañía Suiza que opera desde el año 2011, ofrece un servicio pago el cual utiliza fotogrametría y algoritmos de visión por computador para transformar Las Cámaras Réflex Digitales (DSLR), Ojo de Pez (Fisheye), Red, Green, Blue (RGB), Imágenes térmicas y multiespectrales en Mapas 3D y modelado 3D. Cabe anotar que su software opera en plataformas de escritorio figura 25, en la nube y celulares (Pix4D, 2020).

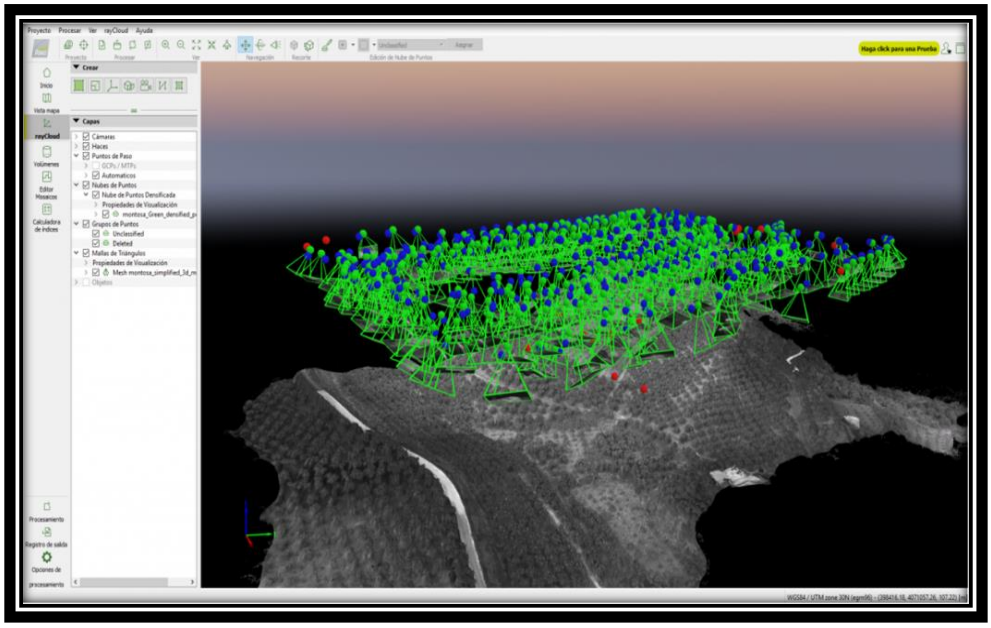


FIGURA 25 INTERFAZ PIX4D FUENTE: (PIX4D, 2020)

Geo palma:

El sistema de manejo de información geográfica del Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), ofrece los procesos de captura, almacenamiento, procesamiento y visualización de la información agronómica de los cultivos de Colombia (CENIPALMA, 2019).

El sistema incluye diferentes módulos para la gestión de la información (Figura 26):

- **Catastro:** registra todos los inventarios de lotes, palmas, longitud de canales, drenajes, palmas erradicadas, siembras por lote, materiales y otros.
- **Sanidad:** seguimiento de plagas, enfermedades, trampas para la captura de Rhynchophorus palmarum y Strategus aloeus.
- **Producción**: muestra el manejo de la producción por lote, polinización asistida, ciclos de cosecha, conteo de racimos o censos de producción.
- **Polinización asistida:** control palma por palma de las flores polinizadas, mapas de seguimiento de la labor, captura móvil y generación de estimados de producción.
- **Control de labores:** gestiona el proceso de labores y trabajadores, presupuesto, programación, ejecución, centros de costo y predomina de lo ejecutado en forma de cuadros o a nivel espacial, y está integrado al módulo móvil.
- **Maquinaria:** muestra los recorridos en el cultivo, horas de entrada y salida con los diferentes implementos y trabajadores; además, controla el consumo de combustible y tiempos reales de trabajo.
- **Captura móvil:** captura de información georreferenciada de plagas, enfermedades, polinización, labores, cosecha y seguimiento a través de Cybertracker del manejo en campo.

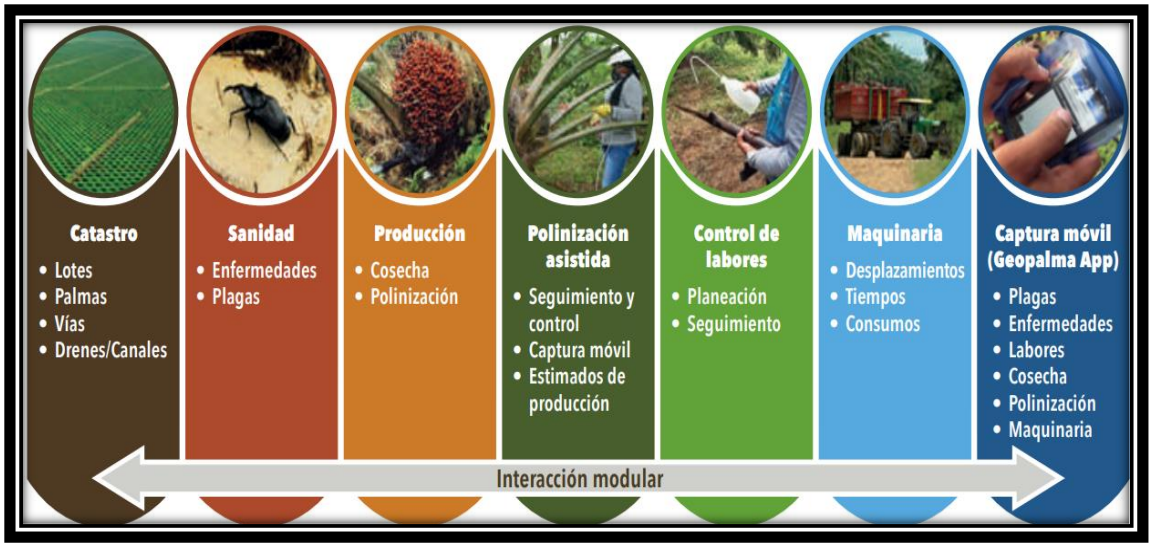


FIGURA 26 MÓDULOS DEL SISTEMA GEOPALMA. **FUENTE: (CENIPALMA, 2019)**

Capítulo III. Aspectos generales de los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección.

Conceptos de sistemas de información geográfica

Geografía:

La definición de la geografía es la ciencia que tiene como objetivo el estudio del espacio terrestre, de los procesos físicos y sociales a partir de la ubicación y análisis donde se busca soluciones a los problemas socio territoriales. Pero la geografía no es solo una ciencia que estudia y analiza el espacio geográfico, sino que también recopila información para representarla y darla a conocer con todo el mundo por medio de la educación para su beneficio y bienestar del mundo que nos rodea, es por eso que se auxilia en la cartografía que genera un valor a agregado a estas disciplinas que desarrollan o interpretan mapas y modelos de la representación de la tierra o alguna parte de ella, esto representa todo lo que se puede observar a nuestro alrededor, a través del tiempo se han actualizado las diversas técnicas para representar diferentes temas, basados en los tres elementos principales que son : Líneas, Puntos y Áreas. A partir de esto se puede expresar infinidad de detalles del perfil de paisaje (Berna, 2014).

Componentes de un SIG

Los sistemas de información geográfica es el conjunto de herramientas informáticas, que contribuyen a la recolección de datos relacionados con el espacio físico, hablamos de un software específico que permite la visualización de datos obtenidos de un mapa satelital o fotografías, con el fin de reflejar y relacionar múltiples fenómenos geográficos, desde carreteras, sistemas de explotación agrícola o densidad de poblaciones y un sinfín de funciones para las consultas o el área específica (Servicio Geológico Mexicano, 2017). Es de gran importancia que se presenten estas metodologías que fusionan la visualización de las superficies con planos topográficos mediante las técnicas de realidad aumentada para el uso con datos georreferenciados que facilitan la interacción (Humano – Maquina), esto tiene un impacto positivo en la toma de decisiones a corto mediano y largo plazo (IGAC, 2017).

El estudio global de los Sistemas de Información Geografía nos enseña las características de cada elemento y los conceptos, para poder entender las relaciones entre ellos (Figura 27), una forma básica de entender SIG es tener claros los tres subsistemas fundamentales:

- **Subsistema de datos:**
  Se encarga de las operaciones de entrada y salida de datos, y la gestión de estos dentro del SIG. Permite a los otros subsistemas tener acceso a los datos y realizar sus funciones en base a ellos.
- **Subsistema de visualización y creación cartográfica:**
  Crea representaciones a partir de los datos (mapas, leyendas, etc.), permitiendo así la interacción con ellos. Entre otras, incorpora también las funcionalidades de edición.
- **Subsistema de análisis:**
  Contiene métodos y procesos para el análisis de los datos geográficos (Olaya, 2014).

Otra forma distinta de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen. Cinco son los elementos principales:

- **Datos:** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos:** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- **Hardware:** El equipo necesario para ejecutar el software.
- **Personas:** Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG (Olaya, 2014).

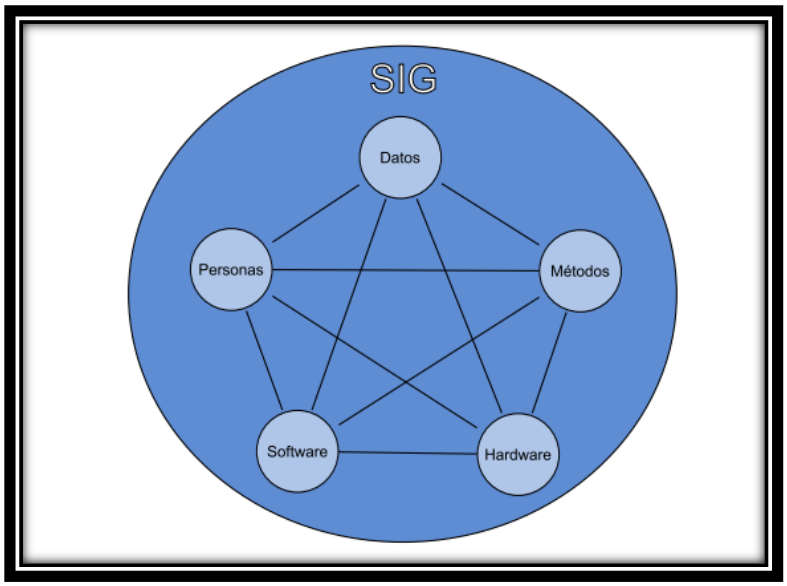


FIGURA 27 ELEMENTOS QUE FORMAN EL SIG. **FUENTE: (OLAYA, 2014)**

Conceptos de sistemas de teledetección

Teledetección:

La teledetección es la ciencia y una tecnología por medio del cual podemos identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar sin contacto directo (JARS, 1993). Usual mente la teledetección mide energías de tipo electromagnético que se emiten de la superficie de la Tierra (MORALES, 2017). Si la fuente de energía que es medida viene del sol se llama teledetección pasiva, y el resultado puede ser una imagen satelital. Y si la energía media no es emitida por el sol, pero desde el sensor es definida como teledetección activa (Jia, 2006).

Componentes de un sistema de Teledetección:

El sistema de teledetección incluye los siguientes elementos (Figura 28): según (Chuvieco, 1996).

- **Fuente de Energía:** Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar).

- **Cubierta terrestre:** Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, etc.) que refleja la señal hacia el sensor.

- **Sistema sensor:** Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

- **Sistema de recepción-comercialización:** Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.

- **Interprete:** Es quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, etc.) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales.

- **Usuario final:** Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven.

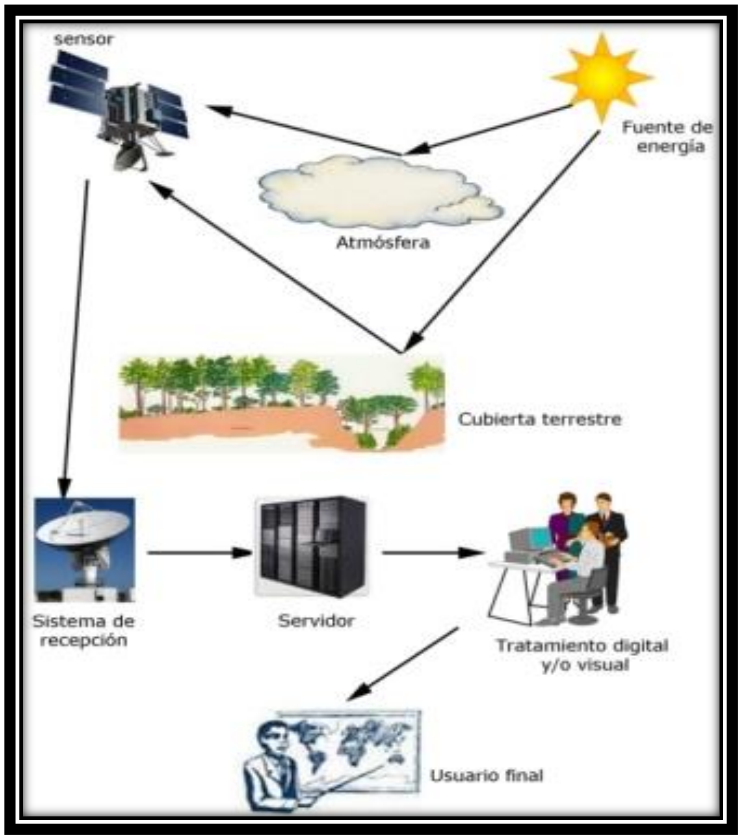


FIGURA 28 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE TELEDETECCIÓN. **FUENTE: (MORALES, 2017)**

Principios y Propiedades Teledetección.

La energía electromagnética (EE) que se propaga a través del espacio, proveniente del sol, lo hace en forma de interacción entre campos eléctricos y magnéticos. Los primeros modelos que explican las propiedades de la EE fueron la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Maxwell. Hoy en día se acepta ambas y se define la EE como toda la energía que se desplaza por el espacio a la velocidad constante de la luz y en forma armónica.

Maxwell establece que la relación entre la velocidad de propagación de la radiación, su frecuencia y longitud de onda, cuando lo hace en el vacío, está dada por:

$$c = \lambda * f$$

donde:

C= Velocidad de propagación de la luz (3x108 m/seg).

λ = Longitud de onda.

f = Frecuencia.

La longitud de onda (λ), corresponde a la distancia lineal entre dos ondas sucesivas y se mide en unidades métricas. La frecuencia, corresponde al número de ondas que se propagan por unidad de tiempo, se mide en ciclos (número de ondas) por segundo (cps) (Castro, 1999).

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por tener: Intensidad, Frecuencia o longitud de onda y Polarización. En cuanto a intensidad, la energía transmitida por la onda es proporcional al cuadrado del campo eléctrico (E^2) o del campo magnético (H^2) en forma equivalente, dado que son independientes. La intensidad se expresa en Watt/cm^2.

La frecuencia se mide en ciclos por segundo (cps), cuya unidad es el Herz. Un Mega Hertz (MHz) es igual a (10^6 cps). La longitud de onda se mide, en el sistema métrico, en unidades como Angstrom, micrón o micrómetro, nanómetro o milimicra, cm, metros, etc.

En forma equivalente tenemos:

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m.} = 10^{-8} \text{ cm.} = 10^{-4} \text{ mm.} = 10^{-1} \text{ nm.}$$

$$1 \text{ mm} = 10^4 \text{ Å} = 10^3 \text{ nm.} = 10^4 \text{ cm.}$$

(Castro, 1999)

Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las frecuencias (número de ciclos de la onda por unidad de tiempo) posibles a las que se produce radiación electromagnética. Sólo una región visual humana puede percibir algunos rangos (Figura 29) (Fontal, 2005). El sistema es clasificado de acuerdo con la energía de la longitud de onda si es corta cósmica a largo radio que se mueven, armónicamente y a la velocidad constante de la luz (NASA, 2019).

Regiones espectrales utilizadas para la observación remota de la tierra:

- **Espectro visible (0.4 - 0.7 µm):** Rango de frecuencias del ojo humano. Máxima radiación solar. Subdividido en tres bandas: Rojo (0.6 - 0.7 µm), Verde (0.5 - 0.6 µm) y Azul (0.4 - 0.5 µm).
- **Infrarrojo cercano (0.7 - 1.1 µm):** Denominado IR fotográfico o reflejado. Energía solar que reflejan los cuerpos. Comportamiento similar al espectro visible.
- **Infrarrojo medio (1.1 – 8 µm):** Se entremezclan radiación solar y emisión. La atmósfera afecta sensiblemente: aprovechado para medir concentraciones de vapor de agua, ozono, aerosoles...
- **Infrarrojo térmico (8 - 14 µm):** Radiaciones emitidas por los propios cuerpos. Se puede determinar la Temperatura de un cuerpo (IR térmico). Se puede disponer de imágenes a cualquier hora del día.
- **Microondas (1mm-1m):** Interés creciente de la Teledetección en esta banda. Las perturbaciones atmosféricas son menores y es transparente a las nubes. Se suelen utilizar sensores activos (MORALES, 2017).

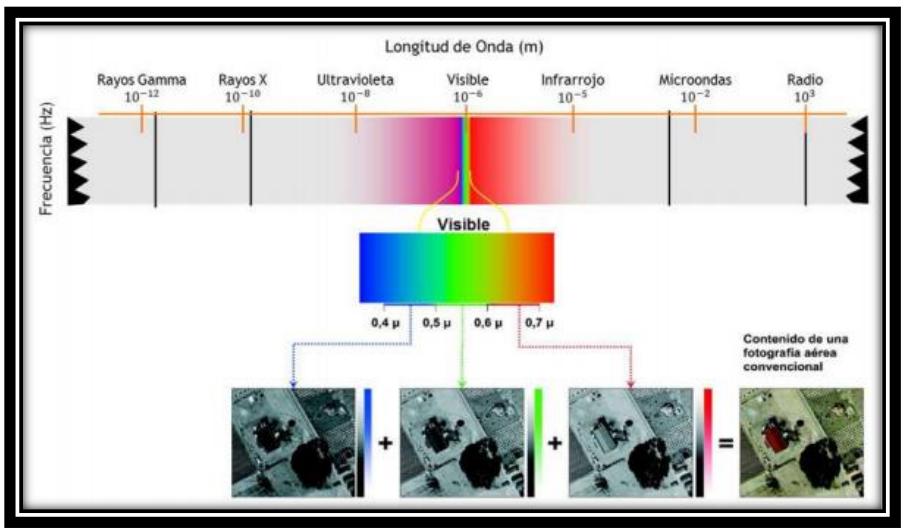


FIGURA 29 ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO. **FUENTE: (MORALES, 2017)**

Tipos de sensores:

Sensores pasivos:

Son de mayor valor en las aplicaciones de la percepción remota en la evaluación de los recursos naturales (Figura 30). Los sensores pasivos simplemente reciben las señales emitidas naturalmente y reflejadas por los objetos percibidos. Estas señales, generadas por la radiación solar natural, puede proveer una información muy rica sobre los objetos percibidos. Ejemplos: ASTER, LandSat, MODIS, SENTINEL (MORALES, 2017).

Sensores activos:

El sensor emite radiación dirigida hacia el objetivo a ser estudiado. La radiación reflejada de ese objeto es detectada y medida por el sensor. Ejemplos: Lidar, Radar, Sonar.

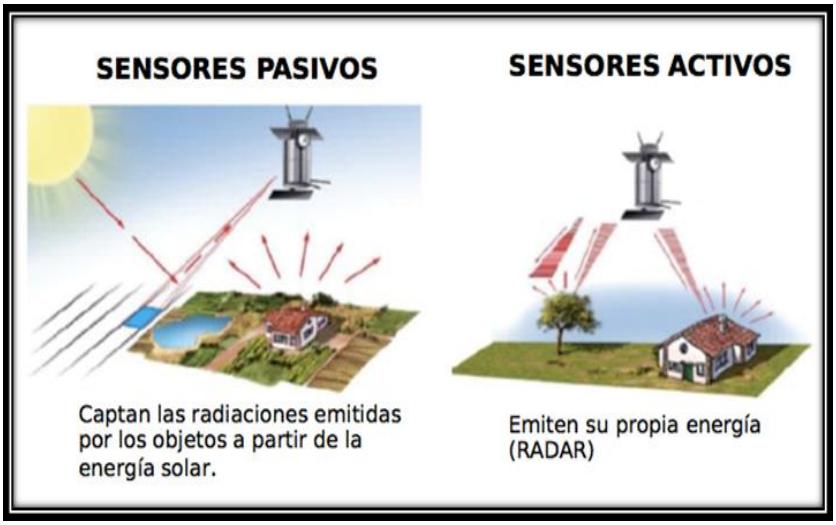


FIGURA 30 SENSORES PASIVOS Y ACTIVOS. **FUENTE: (CTE, 2014)**

Satélites de monitoreo de superficie terrestre:

Los satélites, se encargan de recopilar información actualizada del plano de la Tierra, estos artefactos se ubican a una distancia de 400 a 1000 km de la Tierra, utilizan cámaras bastante potentes para hacer barrido fotográfico y múltiples pruebas que incluyen análisis de zonas forestales, composición química de los minerales, fuentes de agua dulces superficial, etc. Toda esta información es de sumamente importancia para una administración eficiente de los recursos renovables y no

renovables, sumando las actividades económicas y de medio ambiente como la agricultura, la pesca, la minería, fauna y flora (Valek, 2001).

Landsat- 8

El programa de la NASA que busca observar el planeta Tierra realizando misiones al espacio por medio de satélites administrados juntamente con el servicio de geología de los EE. UU, el primer lanzamiento fue en el año 1972 del ERTS-1, por sus siglas en inglés (Tierra Recursos y Tecnología Satelital, más tarde renombrado Landsat-1), inicio la era de los satélites que ahora en día ya va en el Landsat 8, puesto en órbita el 11 de febrero del 2013 como lo muestra la historia de tiempo en la (Figura 31) (NASA, 2013).

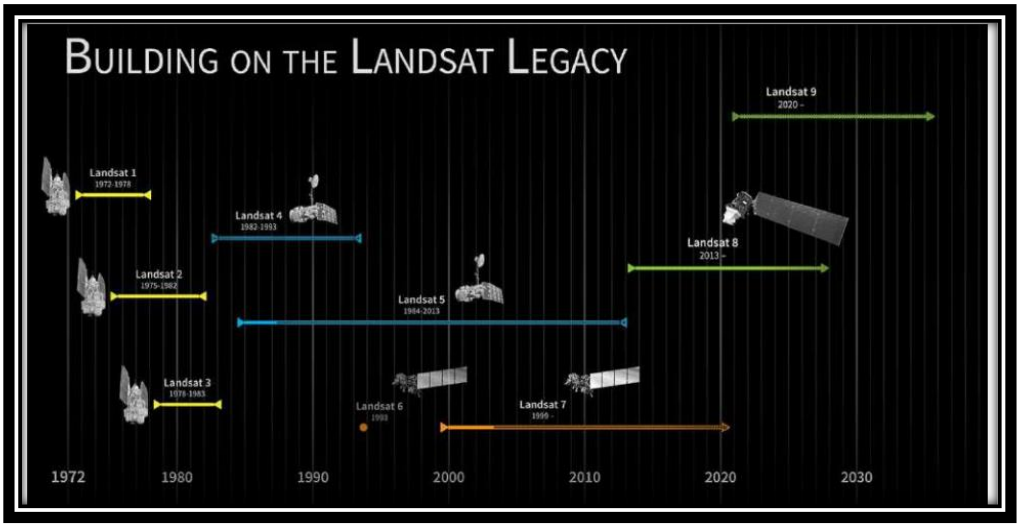


FIGURA 31 MISIÓN CRONOLÓGICA LANDSAT. **FUENTE: (MORALES, 2017)**

Presenta dos sensores OLI por sus siglas en inglés (Imagen Operacional de la Tierra) y el TIRS (Sensor Térmico Infrarrojos) Figura 32, los cuales se componen de 9 bandas espectrales con una resolución espacial de 30m y se clasifican en: (USGS, 2019) En el Cuadro 1 se observa las bandas y sus respectivas utilidades en el estudio y mapeo de interés.

Banda	Longitud onda (micrómetros). µm	Útil para Mapear
Banda-1 (Pulverización o aerosol costero).	0.435 – 0.451	Estudios costeros y de aerosol; (Vegetación marina, neblinas y nubes)
Banda-2 (Azul).	0.452 – 0.512	Mapeo batimétrico, que distingue las rocas la nieve del suelo y de la vegetación caducifolia de las coníferas.
Banda-3 (Verde).	0.533 – 0.590	Enfatiza la parte verde que cubre el pico de reflectancia de las superficies foliares, útil para evaluar el vigor de las plantas.
Banda-4 (Rojo).	0.636 – 0.673	Se Utiliza para cuantificar las pendientes de vegetación en el NDVI, (Índice normalizado de diferencias de vegetación).
Banda-5 (Infrarrojo cercano). NIR	0.851 – 0,879	Enfatiza en las firmas espectrales, útil para medir la salud de las plantas.
Banda-6 (Infrarrojo de onda corta). SWIR 1	1.566 – 1.651	Discrimina contenido de humedad del suelo y la vegetación. Útil para distinguir la tierra húmeda de la seca.
Banda-7 (Infrarrojo de onda corta). SWIR 2	2.107 – 2.294	Discrimina las características minerales como cobre y sulfatos. Útil para hacer mejoras de los suelos.
Banda-8 (Pancromática).	0.503 – 0.676	La resolución espacial es a blanco y negro de 15 metros es más nítida en contraste con la recogida de los canales rojo, azul y verde por separado.
Banda-9 (Cirros).	1.363 – 1.384	Detección mejorada de la contaminación de las nubes cirros.
Banda-10 (Infrarrojo térmico). TIRS 1	10.60 – 11.19	Resolución de 100 metros, útil para mapeo térmico, temperatura y humedad del suelo, (seguimiento de volcanes).
Banda-11 (infrarrojo térmico). TIRS 2	11.50 – 12.51	Resolución de 100 metros, útil para el mapeo mejorado en la estimación de humedad y temperatura de los suelos.

CUADRO 1 SENSOR DE INFRARROJOS TÉRMICOS Y GENERADOR DE IMÁGENES TERRESTRES. **FUENTE: (IGAC, 2013)**

FIGURA 32 CONSTRUCCIÓN DEL SENSOR OLI, BALL AEROSPACE & TECHNOLOGIES CORP. **FUENTE: (IGAC, 2013)**

Copernicus

El Programa de observación de la Tierra de la Unión Europea ofrece servicios basados en la toma de datos procedentes de seis misiones satelitales Sentinel. Las cuales están coordinadas por la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), El Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Mediano Plazo, la Empresa Mercator Océan y las agencias de la Unión Europea. En gran medida el programa Copernicus facilita los datos actualizados procedentes de los satélites y de los sistemas in situ en la tierra como en la figura 33 estaciones meteorológicas terrestres, boyas oceánicas y redes de monitoreo. Por consiguiente, la información es de gran valor para el estudio de políticas públicas, políticas de medioambiente, planificación regional, local, urbana de agricultura, silvicultura, pesca, transporte, etc, (Copernicus, 2015).

Los servicios de información son de acceso gratuito y abierto para sus usuarios en el mundo (Copernicus, 2015).

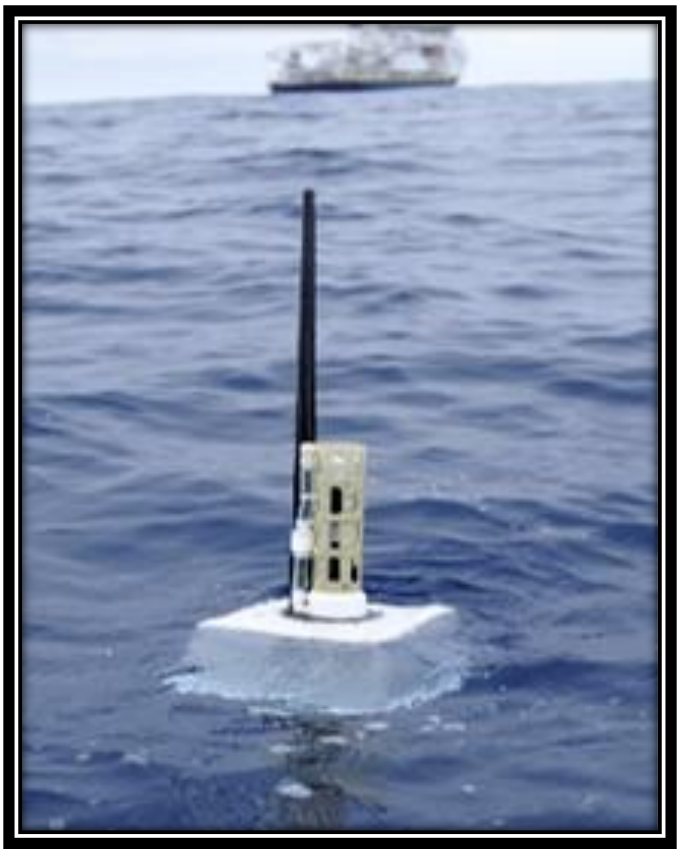


FIGURA 33 BOYA OCEÁNICA. **FUENTE: (COPERNICUS, 2015)**

Satélite Sentinel-1:

La primera de las misiones para poner en marcha el programa Copernicus fue él Sentinel-1A de imágenes de radar, permitiéndole tomar imágenes de la superficie de la Tierra a través de las nubes, lluvia, independiente si es de día o de noche, este satélite permite el monitoreo de las regiones polares las cuales carecen de luz en gran parte del año. De igual manera sirve para la navegación marina, agricultura de precisión, medioambiente y emergencias naturales. Ahora bien, el satélite fue puesto en órbita 3 de abril de 2014 y Sentinel-1B el 25 de abril del 2016, con la ayuda de un cohete Soyuz desde el puerto espacial europeo en la Guayana Francesa. De tal manera que los satélites están a 180° de distancia, permitiendo observar toda la tierra en 6 días. A su vez otorgando datos a la hora de haberlos capturado (Copernicus, 2015).

Satélite Sentinel-2:

El desarrollo del programa Copernicus ha impulsado nuevas misiones como la del Sentinel-2A el cual fue puesto en órbita el 23 de junio del 2015 y el Santinel-2B el 7 de marzo del 2017. El cual trabajando en conjunto permiten una revista de la Tierra en 5 días (Figura 34), está compuesto por una cámara óptica, instrumento multiespectral (MSI) el cual captura datos satelitales de alta resolución especial para el respectivo fin de monitorear la superficie terrestre. De ahí que esta misión ofrece información clave para el rendimiento de los cultivos, estos datos son usado para medir índice de área foliar, clorofila foliar y contenido de agua foliar. Por otra parte, permite generar mapas de uso adecuado de tierras, coberturas del suelo, para rastrear cambios ocasionados por la contaminación y erupciones volcánicas (Copernicus, 2015).

FIGURA 34 SENTINEL 2A. **FUENTE: (SINC, 2017)**

El Instrumento multiespectral (MSI) mide la radiación reflejada de la tierra en 13 bandas espectrales desde La porción visible (VIS) e infrarroja cercana del espectro electromagnético (VNIR) a Longitud de onda corta infrarroja (SWIR), con distintas resoluciones espaciales como se puede apreciar en la Figura 35, donde podemos observar las bandas y sus respectivas utilidades en el estudio de mapeo de interés. (Doron, 2019)

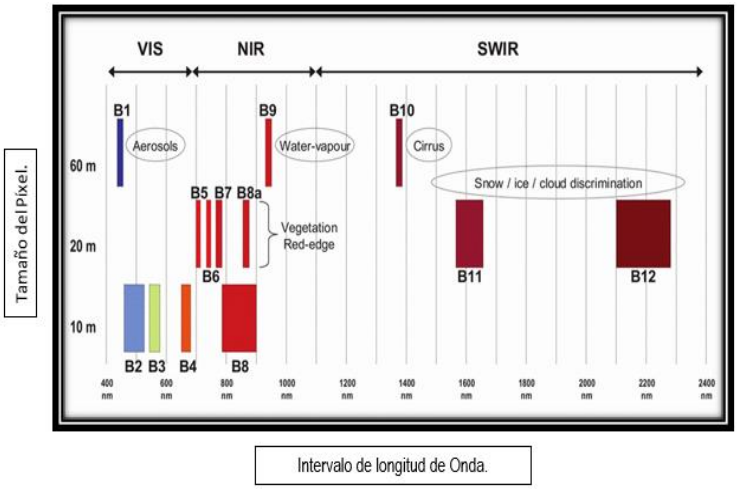


FIGURA 35 BANDAS ESPECTRALES VS RESOLUCIÓN ESPACIAL. **FUENTE: (DORON, 2019)**

B1-B4: Aerosoles, **B5-B8A-B8:** Borde Rojo vegetación, **B9:** Vapor de agua**. B10:** Cirro, **B11-B12:** Nieve, Hielo, Discriminación en las nubes (Doron, 2019).

Satélite Sentinel-3:

El último del programa europeo de la familia Sentinel. Son dos satélites idénticos, (Sentinel-3A) puesto en órbita en el 2016 y (Sentinel-3B) en el 2018. Separados a 180° para obtener una cobertura optima de la tierra como lo muestra la (Figura 36), minimizando él envió de los datos. A su vez diseñado con instrumentos de última generación en tecnología para correr algoritmos que se procesan sistemáticamente en medidas de la tierra, océanos, el hielo, y la atmosfera de nuestro planeta. Sentinel -3 ofrece a los usuarios información de código abierto y es aplicada en el estudio de la temperatura superficial y los cambios de nivel del mar, calidad de las aguas, seguimiento de las coberturas del suelo, sanidad vegetal, incendios forestales y el uso de los recurso naturales y biológicos (ESA, 2020). Cuenta con unos Instrumentos ópticos tales como el SLSTR por su siglas en inglés (Radiómetro de temperatura de la superficie del mar y de la tierra), determinando con gran precisión las temperaturas globales y el OLCI (Instrumento de Color del Océano y la Tierra), es un espectrofotómetro de imagen de escoba que mide la relación de solar reflejada en la Tierra, en una resolución espacial de 300 m, en 21 bandas espectrales (ESA, 2020). Dicho esto, la resolución espacial es el minúsculo aspecto más interesante de una imagen su finura en los detalles visibles en una imagen, es decir entre menor es el área terrestre representada por cada píxel en la imagen digital, mayores serán sus detalles y resolución espacial (IGAC, 2013).

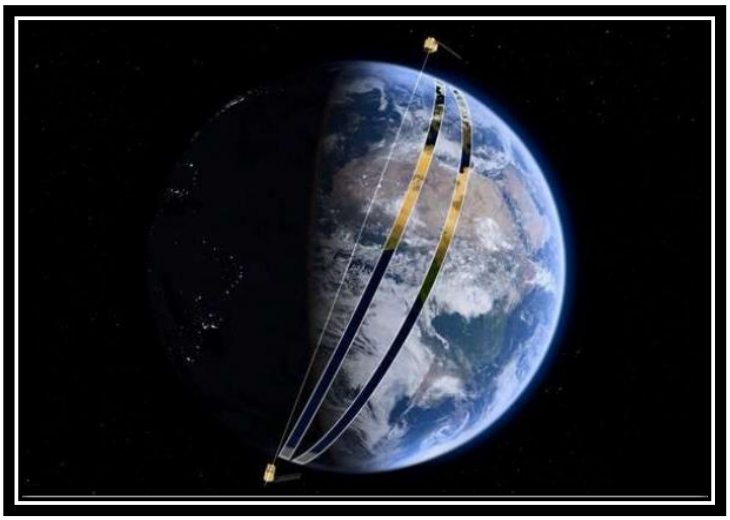


FIGURA 36 LOS SATÉLITES GEMELOS SENTINEL**. FUENTE: (MORALES, 2017)**

Satélite Sentinel-4:

La misión Sentinel-4 se llevó acabo para el año 2017, y está enfocada al monitoreo de la calidad del aire cuenta con un Espectrómetro Ultra Visible y de Infrarrojo Cercano (UVN) de alta resolución, de tal madera que funciona con 3 Bandas asignadas al espectro de reflectancia solar, que cubre los rayos ultravioletas de 305 a 450nm, visibles de 400 a 500 nm e infrarrojo cercano 750 a 775 nm. De tal manera cumpliendo con su objetivo de medir en tiempo casi real las concentraciones de gases, radiación solar, monitoreo del tiempo y del clima (ESA, 2020).

Satélite Sentinel-5 y el precursor Sentinel-5:

El satélite Sentinel-5P también conocido por ser el precursor del Sentinel-5 fue lanzado el 13 de octubre de 2017. Con la finalidad de llenar el vacío de datos. De tal manera que este cumple su función de monitoreo atmosférico, proporcionando medidas de Ozono, Dióxido de nitrógeno, Dióxido de azufre, Monóxido de carbono y Metano (ESA, 2020).

Satélite Sentinel-6:

La Futura misión del programa Copernicus está en ejecución equipando el ultimo satélite de la familia Sentinel Figura 37, con la última generación de altímetros de radar el cual proporciona una alta precisión y análisis pertinentes topográficos del océano global y los cambios del nivel del mar. En efecto un indicador clave del cambio climático, mapeando el 95% del océano de la Tierra cada 10 días (ESA, 2019).

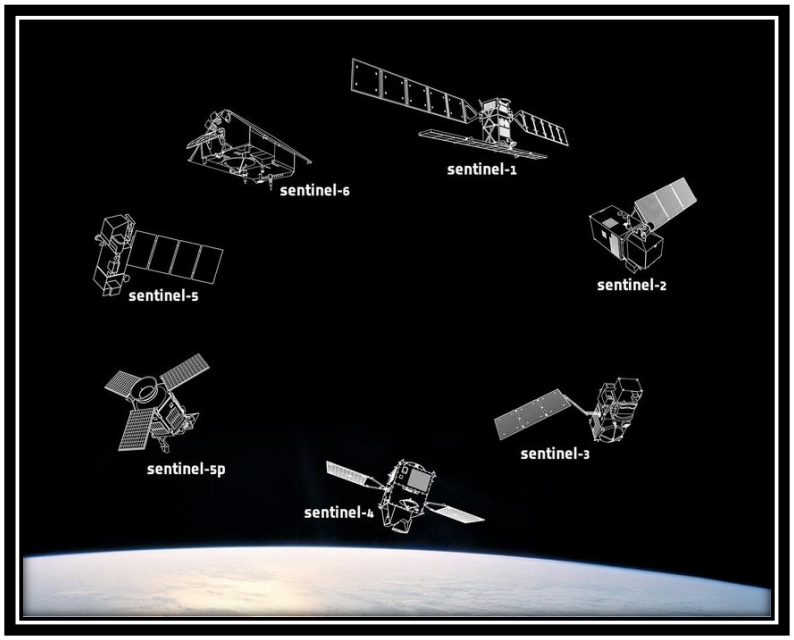


FIGURA 37 FAMILIA SENTINEL. **FUENTE: (ESA, 2020)**

Primera terminal espacial de información:

La Agencia Espacial Europea y la compañía fabricante de satélites Airbus han puesto la primera terminal del nuevo Sistema Europeo de Retransmisión de Datos (EDRS) a bordo de un satélite de Telecomunicaciones Eutelsat-9B, Figura 38. Es un programa con una gran ambición ya que revoluciono la comunicación óptica siendo la primera red comunicaciones de Europa, apodada como, Space Data Highway, (La Autopista Espacial de la Información). Sobre todo, a su capacidad de retransmitir datos en tiempo real a una velocidad de 1,8Gbit/s. Cabe a notar que fue puesto en órbita el 29 de enero de 2016 (ESA, 2020).

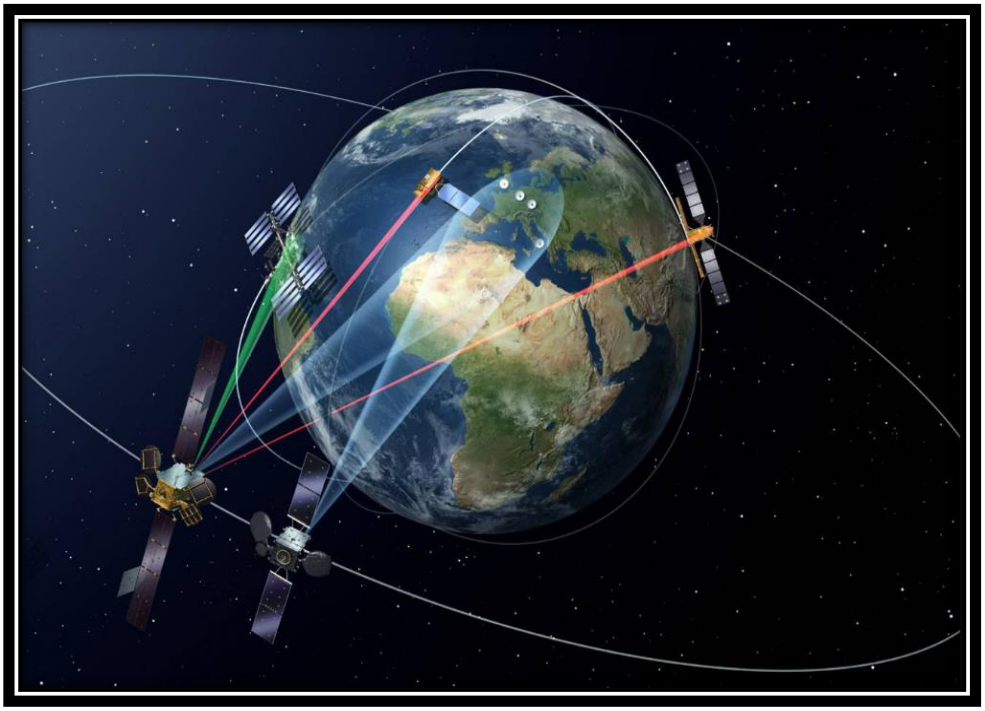


FIGURA 38 ILUSTRACIÓN DE LA RETRANSMISIÓN DE DATOS VÍA LÁSER CON EL SISTEMA EDRS. / ESA **FUENTE: (ESA, 2020)**

Drones o Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT)

La tecnología de los vuelos no tripulados para beneficio de la producción agrícola una herramienta innovadora para los pequeños, medianos y grandes productores. Por su parte no necesita de piloto humano, se puede manipular desde tierra (Pino, 2019).

Tipos y Clases de Drones

- **Drones militares:** Están equipados con armamento y capacidad de bombardeo, aunque muchos son pera espionaje.
- **Drones Civiles:** Están equipados para aficionados, tanto para el uso comercial y el servicio de fotogrametría, multimedia, agricultura y medio ambiente (Pino, 2019).

Tipos de Control

- **Autónomo:** No necesita de un piloto humano que lo controle. Se guía por sus propios sensores integrados.
- **Monitorizado:** necesita de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar la retroalimentación de los drones. En otras palabras, el vehículo no tripulado dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo. Este sistema es habitual en labores de agricultura de precisión y fotogrametría.
- **Supervisado u Operado :** Es pilotado aunque realiza algunas tareas autónomamente.
- **Preprogramado:** Sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no hay forma de modificarlo para adaptarse a posibles cambios.
- **Controlado remotamente (R/C):** Es pilotado directamente por un técnico mediante una consola (Pino, 2019).

Forma de Drones

- **Multirrotores:** Son los más usados actualmente. Se componen de varios motores independientes.

  Se suelen clasificar según el número de motores: tricópteros (3), cuadricópteros (4) figura 39, hexacópteros (6) y octocótperos (8). Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, su desventaja es el gran consumo de energía que necesitan, su autonomía que suele está en los 15 o los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial.

FIGURA 39 CUADRICÓPTEROS. **FUENTE: (CTN, 2019)**

- **Helicópteros:** Muy similar a un helicóptero pero de tamaño pequeño. Está compuesto de un solo motor principal y ello le otorga gran capacidad de carga y autonomía. Hay modelos que pueden volar durante una (1) hora sin recargarlo. En efecto, su complejidad tanto a nivel mecánico como de control los ha hecho menos accesibles y son los menos utilizados. Ideales para fotogrametría, vigilancia o agricultura de precisión.
- **Ala fija:** Muy similar a la de un aeroplano. Están compuestos por un cuerpo principal unido a dos alas que les permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda es el más eficiente aerodinámicamente hablando y el que tiene mayor autonomía de vuelo . Por otro lado, lo convierte en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión Figura 40 (Pino, 2019).

FIGURA 40 ALA FIJA. **FUENTE: (PINTEREST, 2018)**

Índices y Firmas espectrales de la biomasa en las diferentes longitudes de onda.

Las firmas espectrales son la variación de la radiación reflejada por los objetos en función de la longitud de onda, estos comportamientos físicos son tenidos en cuenta para reconocer fácil mente zonas con vegetación, cuerpos de agua, distintos tipos de gases en la atmosfera, como también migraciones a gran escala de animales, etc.

Estas tres leyes se explica el componente y el origen de las firmas espectrales que cada objeto produce una vez que la energía solar incide sobre él. De otra forma la energía incidente, varía por otros factores como: hora del día, época del año, latitud, condiciones meteorológicas, difracción y absorción atmosférica, estos factores afectan la respuesta espectral final de los objetos captados.

(1) Ley de Plank: Proporciona el valor de radiancia de los cuerpos de acuerdo con:

$$\lambda r = C1 * E * l - 5 * [e (C2 /T l))-1]$$

donde:
λ r = Radiancia.
E = Emisividad.
λ = Longitud de onda.
C1 y **C2** = Constante de Plank.
T = Temperatura absoluta (ºK).
e = Base logarítmica.

(2) Ley de Wien: Relaciona la longitud de onda y la temperatura absoluta de un cuerpo.

$$\lambda_{\text{máx.}} = C/T$$

donde:
C = 2,898
T = Temperatura absoluta (ºK)
λ máx. = Longitud de onda donde la relación es máxima.

(3) Ley de Stephan Boltzmann: Proporciona el valor de la emisividad radiante (W).

$$W = E * \sigma * T4$$

donde:
σ = Constante de Boltzmann. E = Emisividad.
T = Temperatura absoluta (ºK).
W = Energía total emitida por unidad de superficie.

(Castro, 1999).

Reflectividad espectral de los cuerpos.

Todos los objetos (independientemente de la radiación que emitan) van a recibir radiación, fundamentalmente del sol, que, en función del tipo de objeto que estemos considerando, puede seguir tres caminos:

- ✓ reflejarse (la radiación es reenviada de vuelta al espacio)
- ✓ absorberse (la radiación pasa a incrementar la energía del objeto)
- ✓ transmitirse (la radiación se transmite hacia los objetos situados detrás).

Así, se cumple siempre con la ley de conservación de la energía que se expresa en la siguiente relación:

$$I = R + A + T$$

donde:

I = Energía incidente.

R = Energía reflejada.

A = Energía Absorbida.

T = Energía Transmitida.

En la naturaleza se encuentran cuerpos que absorben y reflejan en parte la energía y no en su totalidad, por lo cual tendremos:

$$I = P \times H$$

donde:

I = radiancia de un cuerpo.

P = reflectancia.

H = irradiación.

Se expresa así el regreso de energía obtenida de los diferentes objetos, la cual es medida por espectrómetros y radiómetros. Esta energía es la que puede ser captada por los sensores remotos y transformada en señal electrónica, valor numérico y finalmente llevada a una imagen (Castro, 1999).

Gracias a estos comportamientos teóricos o de respuesta dada por cada uno de los objetos con la interacción directa de la energía lumínica, expresada en diferentes longitudes de ondas, dando como resultado las llamadas firmas espectrales que nos ayudan finalmente a identificar objetos en la superficie terrestre como si fueran huellas dactilares. Como nos indica la figura 41, donde podemos observar las firmas espectrales de diferentes coberturas.

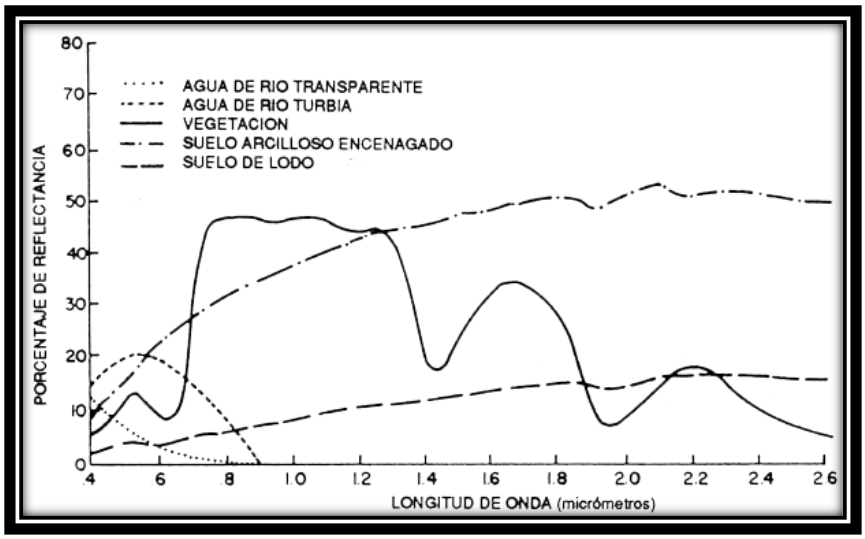


FIGURA 41 FIRMAS ESPECTRALES DE DIFERENTES COBERTURAS. FUENTE: (CASTRO, 1999)

Reflectancia y Firmas Espectrales de Vegetación

La Estructura vegetal está constituida por un conjunto de hojas las cuales por su filotaxia se disponen y se agrupan de formas diferentes, la cual puede ser medida con el Índice de Área Foliar (IAF). La cual es la superficie total de hojas por la superficie del terreno.

El tipo de reflectancia de una hoja es Lambertiana. Esto se debe a que la hoja está constituida por diferentes capas de materia orgánica de estructuras celulares fibrosas, las cuales a su vez tienen distintos pigmentos como la Clorofila a y b, Xantofilas, Carotenos y otros, debido a su fisiología tan compleja, sumado a las características de cada especie y de sus condiciones de lugar donde se están desarrollando. Permiten la diferenciación de bosques de coníferas o tropicales, como a su vez la de la vegetación sana de la enferma y sus cambios fenológicos, etc.

La reflectancia espectral de la cobertura vegetaciones varia con la longitud de onda, reflejando más en ciertas longitudes de onda que en otras, en la figura 42 podemos ver las curvas de comparación de la vegetación sana vs la vegetación.

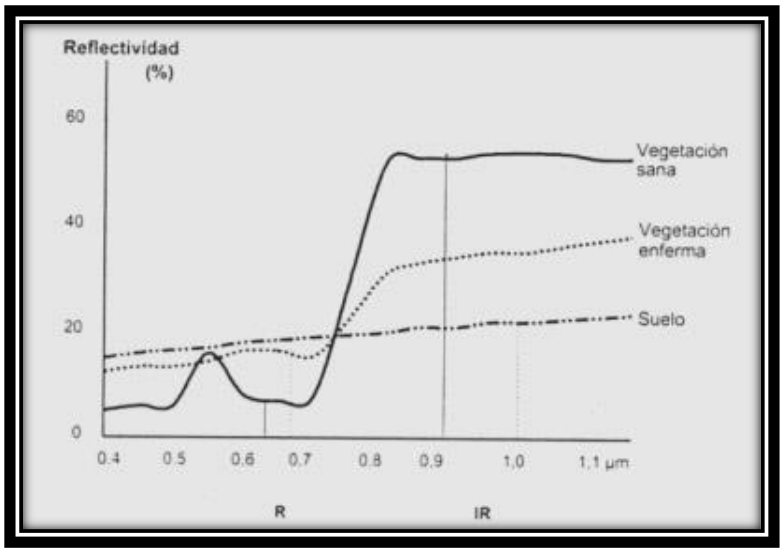


FIGURA 42 CURVAS DE COMPARACIÓN DE LA VEGETACIÓN SANA VS LA VEGETACIÓN FUENTE: (CASTRO, 1999)

En la figura 43 se observa las diferentes regiones espectrales y una baja reflectividad de la vegetación en las zonas del espectro visible correspondientes al azul (0,4 µm) y al rojo (0,7 µm) dada por la presencia de clorofila a y b, las cuales son responsables de la absorción en estas longitudes de onda. Los carotenos y xantofilas lo hacen con las longitudes del verde (0,55 µm) y algunas longitudes más largas. se presenta la curva de reflectividad típica de la vegetación sana, en el caso el agua contenida en la vegetación presenta una alta absorción en las longitudes de onda de 1,4 µm, 1,9 µm y 2,7 µm lo que significa una baja reflectividad por parte de la vegetación en estos valores, En este rango, se tiene entonces, a mayor turgencia menor reflectividad y a menor turgencia mayor reflectividad.

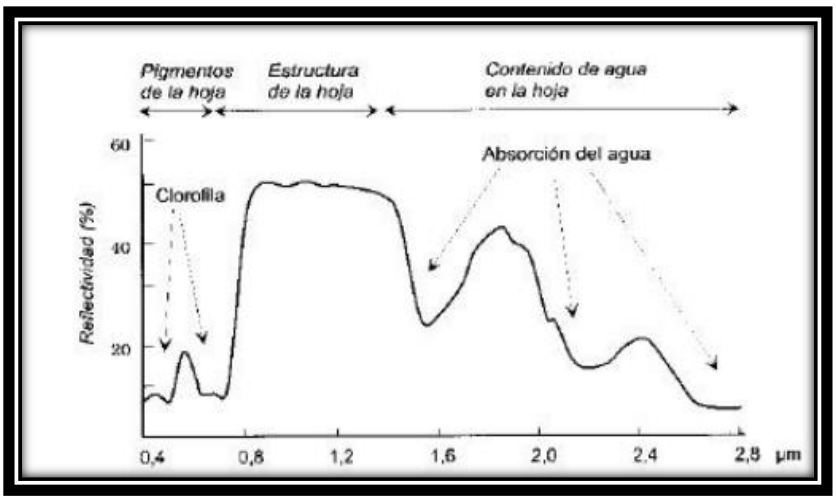


FIGURA 43 REGIÓN VISIBLE (0,4 A 0,7 µM.), REGIÓN DEL INFRARROJO CERCANO (0,7 A 1,3 µM.), REGIÓN DEL INFRARROJO MEDIO (1,3 A 3,0 µM.). FUENTE: (CASTRO, 1999)

Firmas Espectrales del Suelo y la Vegetación.

Las propiedades espectrales de los suelos difieren considerablemente de aquellas de la vegetación, dado que la mayoría de los sensores captan información sobre la capa superficial de la tierra. Sólo donde el suelo está expuesto es posible captar información directa sobre éste. Como, por ejemplo, áreas áridas, semiáridas o subárticas, o bien, en zonas recién preparadas para la siembra o erosionadas, por lo que las curvas de reflectancia del suelo y la vegetación pueden estar muy próximas en algunos rangos del espectro electromagnético y aún cruzarse, tal es el caso del rango visible, donde la curva de la vegetación verde ocupa un rango intermedio entre la curva de los suelos orgánicos y arcillosos; La textura juega un papel importante en el comportamiento espectral de los suelos, debido a su influencia en la capacidad de retención de humedad como a la influencia que ejercen el propio tamaño de las partículas sobre la reflectividad, En términos generales, el tamaño de las partículas influye en la radiación reflejada por los suelos en relación inversa a su tamaño, Con este parámetro está caracterizado la clasificación de la firma espectral de los suelos como podemos observar en la figura 44 A mayor diámetro de las partículas menor proporción de reflectancia. En el caso de suelos arcillosos, aun en el caso de poca humedad, su reflectividad está influida por la curva de absorción del agua. En cambio, para los suelos arenosos su reflectividad es independiente de la curva de absorción del agua, siempre que la humedad del suelo no sea alta (Castro, 1999).

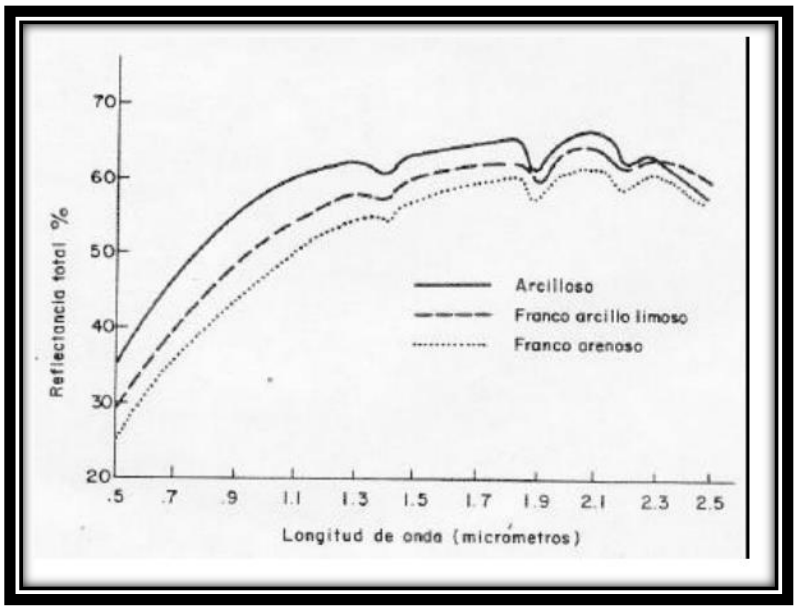


FIGURA 44 FIRMA ESPECTRAL DE LOS TIPOS DE SUELOS. FUENTE: (CASTRO, 1999)

Índices de vegetación

Las Coberturas vegetales fueron de las primeras investigaciones de las evaluaciones en el manejo de los recursos naturales, usando imágenes satelitales, especialmente de las misiones del lanzamiento LANDSAT en 1972, entre otras. Ofreciendo imágenes multitemporales que son usadas ampliamente, para evaluar y monitorear el estado de la vegetación, en los niveles global, regional, nacional y local. Esto se da mediante la información satelital entregada a través de una imagen multibanda, la cual debe ser categorizada, para poder caracterizar un área u objeto en particular de otro. Y esta categorización solo se puede dar mediante los índices, cuando se toca el tema de índices nos referirnos a un conjunto de operaciones algebraicas efectuadas sobre los valores numéricos de los pixeles, usando dos o más bandas pertenecientes a la misma escena.

Los Índices de vegetación están determinados por parámetros calculados a partir de valores de reflectancia a distintas longitudes de ondas, en este orden de ideas, corresponde a un número generado por alguna combinación de bandas espectrales y que puede tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado. Estos índices, son utilizados para mejorar la discriminación entre el suelo y la vegetación, reduciendo el efecto del relieve en la caracterización espectral de las diferentes cubiertas. Los valores bajos de los índices de vegetación usualmente indican vegetación poco vigorosa, mientras que los valores altos, indican vegetación muy vigorosa. Sin embargo, en algunos casos (como los índices RVI y NRVI) el valor del índice de vegetación es inversamente proporcional a la cantidad de vegetación presente en el área (Aguayo, 2013).

Índices basados en la pendiente

Estos, usan el cociente de la reflectancia de una banda con otra, (usualmente rojo e IR cercano, debido al alto contraste o diferencia en la reflectancia, que presenta la (clorofila a), encargada o vinculada a los procesos moleculares activos de la planta, llamado Fotosíntesis en ambas bandas). 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 pixeles 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, Observado en la figura 45, muestra las líneas que convergen en el origen y que representan diversas concentraciones de vegetación o niveles de vigor de la misma.

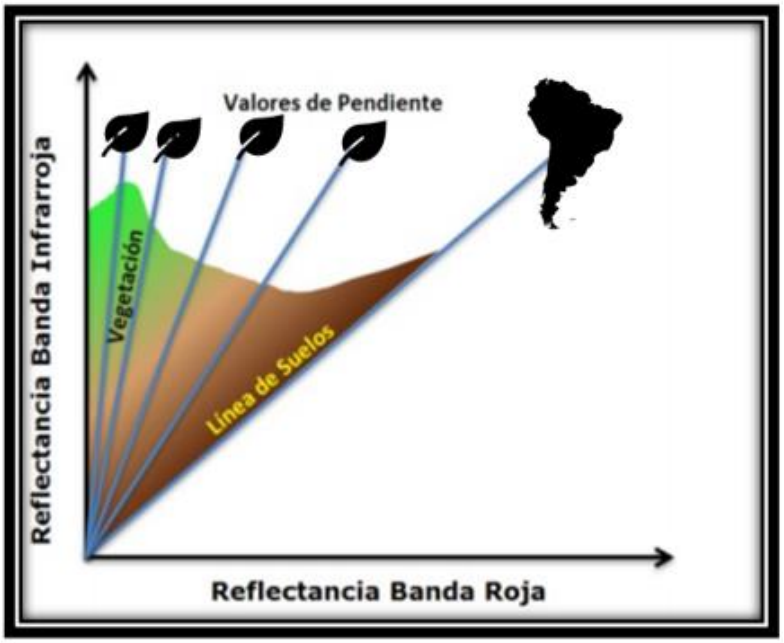


FIGURA 45 ÍNDICES BASADOS EN LA PENDIENTE. FUENTE: (CASTRO, 1999)

Tabla de índices basados en la pendiente.

Nombre del índice.	Formula.	Características.	Autor y año.
NDVI Diferencia normalizada.	NDVI = (NIR-RED) / NIR+RED)	Minimiza efectos topográficos y produce escala lineal de medición. La escala va de (–1 a 1) con el valor cero representando el valor aproximado donde empieza la ausencia de vegetación. Los valores negativos representan superficies sin vegetación. La normalización que realiza reduce el efecto de la degradación de calibración del	Rouse et al. 1974.

		sensor y la influencia de los efectos atmosféricos.	
TVI Transformado.	TVI= $\sqrt{\left(\frac{NIR-RED}{NIR+RED}\right)+0.5}$	0,5 evita valores negativos. La raíz cuadrada, intenta corregir los valores que se aproximan a una distribución de Poisson e introduce una distribución normal. No elimina todos los valores negativos.	Autor no encontrado.
TTVI Transformada de Thiam.	TTVI = (ABS (NDVI + 0.50))$^{0.5}$	Corrige la sobreestimación del verde del TVI.	Thiam.
RVI (Relación índice de vegetación)	RVI = NIR / RED	Poco sensible a las condiciones de iluminación, pero mucho a las propiedades ópticas de la tierra.	Pearson y Miller 1972.
NRVI (Índice de vegetación de proporción normalizada).	NRVI = RVI – 1/RVI + 1	El resultado del NRVI es normalizado. Es similar al NDVI, reduce los efectos de la topografía, la iluminación y los efectos atmosféricos.	Perry y Lautenschlager 1984
NDWI Diferencial de agua normalizado	$\mathrm{NDWI} = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	Este índice se utiliza para medir la cantidad de agua que posee la vegetación o el nivel de saturación de humedad que posee el suelo. Los valores que se obtienen oscilan entre -1 y 1, para las zonas con menos humedad.	Clevers (1988).

CUADRO 2. TABLA DE ÍNDICES FUENTE: (ARAMENDIS, 2019)

Capítulo IV. Trabajos realizados en Palma de Aceite.

Teledetección y Sanidad Vegetal.

Históricamente en toda práctica agronómica que se realice se deben planear los costos, los beneficios y los posibles riesgos que podamos tener durante la ejecución de los proyectos productivos. En pocas palabras toda labor agronómica abarca una relación con una amplia escala de factores como el clima, los suelos, los requerimientos nutricionales, la geografía, los insectos, las enfermedades y las arvenses. (Emmo & Metthews, 1997).

El cultivo de palma de aceite ***(Elaeis guineensis jacq),*** en la agroindustria es la de mayor demanda de insumos, de personal y labores agronómicas. Debido a esto el sector palmicultor mundial se encargado de apostarle a la investigación e innovación tecnológica, generando soluciones a los retos de la producción de aceite de palma global. La problemática fitosanitaria ha generado estudios más profundos en la detección temprana de enfermedades en países como Indonesia y Malasia, generando nuevas metodologías de recolección de información para luego ejecutar algoritmos que nos permitan procesar la información adquirida en este caso de sensores pasivos "satélites", estas imágenes han permitido visualizar las firmas espectrales de problemas como los de la defoliación, mostrándose como un patrón de comparación regional de sanidad vegetal (Araque, 2009).

Balasundram (2016), en su recopilación de estudios de Agricultura de Precisión (AP), aplicados al cultivo de palma de aceite habla de dos pilares: requisitos y protocolos, para la implementación de la Agricultura de Precisión (AP).

los cuales se fundamenta en tres requisitos:

1) La cabida de identificar las áreas de siembra.
2) La capacidad de capturar imágenes, interpretar y analizar datos agronómicos en la frecuencia adecuada.
3) La posibilidad de ajustar el uso de los insumos y las prácticas agronómicas para maximizar los beneficios de las siembras.

De igual manera con la ayuda de softwares que nos permiten el análisis de datos e imágenes obtenidas por los satélites puestos en órbita (NASA, 2013). Y tres Protocolos:

4) Conseguir información sobre la variabilidad.
5) Procesar los datos para identificar variabilidades o diferencias significativas.
6) Implementar los cambios en las plantaciones.

La aplicación de sensores remotos tanto activos como pasivos fundamentales para el estudio del estado vegetativo del cultivo de palma de aceite por medio de índices de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y firmas espectrales ha permitido identificar problemas fitosanitarios en las plantaciones, pero estas también dependen de las propiedades físicas de las plantas que están relacionadas con al especie, las características de las hojas, el contenido de pigmentos principales "clorofila" y las condiciones de radiación, pero no es una limitante para realizar los cálculos del NDVI, en este caso usaron un vehículo aéreo no tripulado (VANT) para la obtención de imágenes en 4 bandas y la ayuda de "software" de sistemas de información geográfica como QGIS, SCP y ArcGIS. Gracias a el espectro infrarrojo en las imágenes juntos con el espectro visibles suman unos conceptos útiles en la agricultura dado que se pueden observar distintos procesos fenológicos en las Palmas de Aceite, determinando problemas hídricos, sanitarios y de fertilización (López, 2018).

Las nuevas metodologías de la innovación tecnológicas permitieron posicionar la producción mundial de alimentos en otro contexto, donde ya se habla de robótica, nanotecnología, biotecnología e internet que ha llegado a tomar el nombre de agricultura 4.0, en la agroindustria de la palma de aceite el mejor camino para garantizar la productividad, la sostenibilidad y viabilidad. De tal manera que se busca generar bibliotecas de espectrales de la palma de aceite como una metodología más acertada para determinar características espectrales para determinar la salud de estas Shafri (2019), como es el caso del uso de sensores remotos para la identificación temprana de pudrición basal de estípite producida por *(Ganoderma sp).* la teledetección hiperespectral es una opción no destructiva para la detección temprana de la enfermedad de PBE por *Ganoderma,* los métodos deben desarrollarse en forma precisa y confiable para determinar las palmas infectadas asintomáticas antes de implementar las opciones de tratamiento de la enfermedad con una máxima efectividad, la correlación realizada en R muestran que existe una diferencia significativa entre todos los tratamientos, con excepción del potencial de la imagen (rojo, verde y azul) RGB, debido al efecto de los antecedentes del suelo, estos resultados muestran que hay un gran potencial para utilizar las imágenes (RGB) e Infrarrojo cercano (NIR) obtenidas con el vehículo aéreo no tripulado VANT para la detección de la Pudrición Basal de Estípite PBE en palma de aceite (Noor, El uso de sensores remotos para detectar la infección por Ganoderma*, 2016).

(VANT), Vehículos Aéreos No tripulados.

La preocupación por los productores de las cuatro Zonas Palmeras de Colombia por las enfermedades y las plagas infectocontagiosas. Se planteó la elaboración de un algoritmo que permite a los VANT, fotografías y detectar enfermedades en palma de aceite. El sistema propone en su primera fase validación y evaluación, a través de la implementación de técnicas de procesamiento. La segunda fase partió del mismo sistema de adquisición de imágenes, pero se centró en la identificación del detalle de cada palma, para esto se diseñaron los algoritmos que indicarán si la planta está o no afectada, de acuerdo con características establecidas en el software. La tercera fase tendrá como objetivo, identificar las enfermedades en etapas temprana (Guzmán, 2019).

En plantaciones de algunos países como Indonesia y Malasia, se implementan los vehículos aéreos no tripulados sumado a la captura de imágenes, almacenamiento y análisis de datos los VANT se están convirtiendo en la plataforma más versátil y popular para adquirir datos de teledetección debido a sus bajos costos, facilidad de operación y flexibilidad. Hoy en día, el uso de VANT o drones es una manera rentable y eficaz de realizar una variedad de trabajos, incluyendo levantamientos topográficos, mapeo y adquisición de datos de alta resolución temporal y espacial con datos de teledetección (Shafri, 2019).

Esta tecnología militar que con el pasar de los tiempos se convirtió en una herramienta de importancia agronómica y del medio ambiente. La incorporación de los VANT permite ver las diferencias de algunas plantaciones de las Zonas Palmeras de Colombia, donde se han evidenciado diferentes variables de la condición fenológica y fitosanitaria de los cultivos, donde se usó el software (Pix4D y Agi-soft) para el procesamiento de imágenes. En conclusión, el documento nos invita hacer uso de las herramientas las cuales están teniendo una gran acogida por el sector agrícola, ya que aportan una información de importancia económica para una óptima producción. Mas allá de los inconvenientes para su aplicación en el cultivo de palma de aceite, son los mismo que permiten la línea de investigación a estas nuevas tecnologías (Romero, 2015).

Tecnologías.

Las tecnologías y aplicativos móviles hacen que las actividades de monitoreo, inspección, evaluación, control y detección de la enfermedades limitantes sean más eficientes en las plantaciones de palma de aceite, la implementación de nuevas tecnologías que nos lleven a un modelo de agricultura de precisión más acertado para mitigar problemas fitosanitarios a tiempo. En el documento se concluye que es necesario el compromiso de los productores y de las entidades para que todos los programas de manejo fitosanitario incluyan un seguimiento continuo para evaluar la eficiencia con la que se desarrollan las implementaciones en las plantaciones de palma de aceite, Es claro que mediante la implementación de proyectos de este tipo en Colombia simbolizan una excelente oportunidad de crecimiento económico donde no solo ganan los productores sino también los proveedores de tecnología y las empresas de servicio (Niño, 2017).

La problemática radica en que los recursos naturales se están agotando de esta manera por lo cual se busca hacer un uso eficiente a los recursos, es por eso que una de las estrategias es la del Riego Deficitario Controlado (RDC), ya que es una alternativa que consiste en aportar menos agua a los cultivos sin que se vean afectadas las cosechas, por eso es importante conocer las necesidades hídricas de cada cultivo y su respuesta al déficit hídrico, las imágenes se pueden estandarizar el tamaño de los pixeles para cada cultivo gracias a los algoritmos desarrollados en el estudio y a lo largo del ciclo fenológico permitieron generar mapas del estado hídrico periódicamente a nivel intra-lote. Demostrado la viabilidad de hacer un manejo eficiente del riego con base en mapas de (Ψh) obtenidos a partir de imágenes térmicas de alta resolución. Actualmente es posible determinar el estado hídrico mediante la teledetección térmica en algunas variedades de viña, olivo, melocotonero, nectarina y almendro. Sin embargo, no se tiene evidencia de ningún estudio que haya desarrollado el (CWSI) y tampoco que haya utilizado sensores remotos térmicos para detectar el estado hídrico de la palma de aceite. Dejando las bases para la implementación futura en las plantaciones de palma de aceite (Bellvert, 2016).

Entrando en las tecnologías estadísticas el análisis de datos funcionales (ADF), en la última década ha tomado un impulso y desarrollo dentro de la estadística. Se expone el uso de las firmas espectrales de palma de aceite; la investigación se llevó a cabo en una plantación comercial localizada en un departamento del Meta, Colombia. Dichos lotes fueron elegidos teniendo en cuenta las tres

condiciones de observación propuestas (palmas con Marchitez Letal (ML), palmas Sanas Dentro del Foco (SDF) y palmas Sanas Fueras del Foco (SFF). Para cada grupo se consideró una muestra de 40 palmas, sobre las cuales se recolectaron valores de reflectancia en las regiones del visible y el infrarrojo cercano (entre 400 y 1.075 nm). Las mediciones se hicieron en las hojas 9 y 17, efectuándose dos tomas por hoja, las cuales constaron de 15 repeticiones cada una, y fueron adquiridas en fase de campo y laboratorio, dando una indicación que las técnicas de análisis permiten tener una visión más ampliada y general del patrón de comportamiento de la curva de reflectancia si una palma está enferma, el uso de geoestadística funcional para hacer predicción espacial de la enfermedad a partir de las firmas espectrales (Giraldo, 2016)**.**

La agricultura de precisión es aplicable y adaptable al cultivo de palma de aceite, como a cualquier otro cultivo. Donde las tecnologias modernas han permitido que la agricultura y especificamente las plantaciones de palma de aceite, donde se pueden manejar como cualquier compañía tradicional, donde todo debe ser medible y cuantificable a traves de indicadores, donde permite a los palmicultores indentificar a tiempo las areas que presentan variaciones de su entorno; Un estudio por la *Harvard Bussines Review*, dice que el aumento de la productividad va directamente ligada al crecimiento economico y exitoso de las compañias se deriva de la capacidad de innovación, inversión en investigación y desarrollo (I+D) y la apliación de nuevas tecnologias de punta (Restrepo, 2016).

Propone

Capítulo V. Aspectos generales de bioeconomía.

Conceptos de Bioeconomía

El estudio de la bioeconomía es la respuesta a los grandes desafíos globales y como base a la nueva industria. Fundamentada en la conservación y el uso eficiente de los recursos biológicos, creando una conciencia en los consumidores reduciendo las dependencias de los fósiles y recursos no renovables (Aramendis, 2019). La bioeconomía se basa en la transición de la dependencia de combustibles fósiles a una situación en la cual la agricultura no solo contribuya a la seguridad alimentaria, sino también a la producción de biomasa como materia prima renovable para la industria, la generación de energía y otros usos, en el (Cuadro 2) se muestra las principales empresas potenciales en el modelo de bioeconomía en Colombia.

La bioeconomía es una respuesta a cuatro retos globales emergentes y convergentes:

1) El incremento de la población mundial (nueve billones de personas para 2050).
2) El aumento en la demanda global de biomasa (al menos un 60% por encima de los índices actuales), que agrava la escasez de recursos naturales.
3) La evidencia creciente de que la era del petróleo y la energía barata está por acabar.
4) Las preocupaciones sobre el cambio climático.

La agroindustria de la palma de aceite colombiana está firmemente comprometida con la sostenibilidad, por eso de la mano de Cenipalma y Fedepalma se vienen fomentando las mejores prácticas agronómicas que permiten un aumento en la productividad de los cultivos de manera armónica con el ambiente, contribuyendo positivamente en el componente social en las regiones palmeras. La meta para el 2023 es la consolidación del programa de aceite de palma sostenible e incrementar la producción, llegando a las 5 t aceite/ha (Córdoba, 2019).

Sector	Subsector	Empresa identificada
Bioenergía	Sector caña de azúcar: bioetanol	Manuelita Riopaila Mayaguez Providencia Risaralda Cauca Bioenergy
	Sector palma de aceite: biodiésel	Odin Energy Oleoflores Ecodiesel de Colombia Bio D S. A. Aceites Manuelita Biocastilla
Biotecnología y ecointensificación	Organismos genéticamente modificados (OGM)	Pajonales Aliar
	Bioinsumos	Ecoflora Agro Biocultivos S. A. Bioinsumos S. A. Soluciones Microbiológicas del Trópico
		Llano Ambiental S. A.

CUADRO 3. TABLA DE ÍNDICES FUENTE: (ARAMENDIS, 2019)

7. MARCO LEGAL

La agroindustria de la palma de aceite genera constantemente retos y dudas que universalmente carecen de estudio e investigación, debido a esto es importante promover la innovación está transforma los modelos sociales y agrícola que tienen debilidades y están afectando directa e indirectamente la productividad del cultivo, por eso mismo se han establecido unas disposiciones, leyes y medidas con el uso de los agroquímicos, medio ambiente, suelos, la sanidad vegetal y el uso de vehículos aéreos no tripulados.

La ley 138 de 1994, estableció una cuota para el desarrollo de la agroindustria de la palama de aceite, consigo creando el Fondo del Fomento Palmero, la cuota se fijó en 1,5% del precio de cada kilogramo de palmiste y de aceite crudo que sean extruidos (El Congreso de Colombia, 1994).

Las plagas de control oficial en el cultivo de palma de aceite son:

Enfermedades:

- Pudrición del cogollo (PC).
- Marchitez sorpresiva (MS).
- Marchitez letal (ML).
- Anillo rojo (AR).

Insectos Plaga:

- *Strategus aloeus.*
- *Rhynchophorus palmarum.*

Las cuales se encuentran presentes en todo el territorio nacional generando un impacto económico en la producción de la palma debido a su alto riesgo de dispersión (ICA, 2014).

La (RSPO) o mejor dicho Mesa Redonda Sobre Aceite De Palma Sostenible, Comprende una gestión mundial y unas operaciones legales, económicamente viables, ambientalmente apropiadas y socialmente benéficas. Los principios y Criterios de la RSPO son aplicables a la producción de aceite de palma sostenible en todo el mundo, esto abarcan los impactos medioambientales y sociales más relevantes de la producción de aceite de palma y los insumos directos para la producción, tales como

semillas, agroquímicos y agua, por un lado, los impactos sociales relacionados con los derechos del colaborador de campo y la comunidad (Interpretación Nacional para Colombia del estandar RSPO-2018 de Principios y Criterios para la Produccion de Palma Sostenible. , 2018).

Las normas incorporadas por los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), aprobó unas disposiciones sobre las operaciones de sistemas de aeronaves no tripuladas, para darle paso a las nuevas tecnologías y que se puedan aplicar en el territorio colombiano, pero acatando la resolución (4201 del 27 diciembre del 2018), como datos del vuelo, altitud, velocidad. Muchos son de uso recreativo pero la mayoría son utilizados para actividades o ciencias como transporte comercial, aerofotografía agrícola, geología, sismográfica, construcción, búsqueda y rescate (MinTransporte, 2018).

Impacto social:

Esta investigación genera un impacto positivo a las comunidades y los colaboradores de las plantaciones de palma de aceite, porque lo que busca la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO), es que se promueva las oportunidades laborales, de las comunidades aledañas a las plantaciones con seguridad y sostenibilidad. Sumado a esto son más de 3 mil pequeños productores de palma de aceite, comunidad estudiantil y la comunidad de la provincia del Sumapaz que se verían beneficiados con este documento de innovación agropecuaria.

Impacto económico:

La Eficiencia de la detección de temprana de factores limitantes en las plantaciones evitaran toma de decisiones radicales y perdida de palmas por erradicación, generando pérdidas económicas al sector palmicultor agroindustrial. Según los estudios de Mohd en 2016 afirma la posibilidad de utilizar teledetección hiper espectral para la identificación temprana de enfermedades letales como PBE causada por *(Ganoderma sp)* (Noor, El uso de sensores remotos para detectar la infección por Ganoderma, 2016). la cual sumada a otras enfermedades son de gran importancia económica en la producción de aceite de palma.

Está comprobado que, en los parámetros de riego y eficiencia de nutricional, el uso de fertilizantes siguen teniendo los costos más altos de producción (BASKET, HARTAS SOEWAR, & SUHANAN, 2002), con la ayuda de sistemas de información (SIG) y agricultura de precisión, en este contexto la

eficiencia de los recursos y de los insumos contribuyen al retorno económico y protección del medio ambiente.

Impacto ambiental:

El planeta tierra en las últimas décadas está atravesando por un uso irracional de los recursos naturales está comprobado científicamente, debido a esto varias organizaciones mundiales están creando y mitigando estos efectos y una de estas es la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible, (RSPO). La cual busca implementar los Principios y Criterios, en todas las plantaciones del mundo, donde más de una plantación ya cuentan con la certificación promoviendo y dando ejemplo de que, si se puede producir de manera amigable y sostenible con el medio ambiente, por eso se pone a disposición esta información para que sea aplicada en los sistemas agropecuarios de Colombia.

La norma internacional ISO 14040 fue expuesta con el comité de gestión ambiental en el 2006, como remplazo a la (ISO 14041: 98, ISO 14042: 00 e ISO 14043: 00). La cual habla en otros aspectos sobre los impactos ambientales. Por ejemplo, los recursos naturales y sus emisiones a lo largo del ciclo de la vida de un producto de adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso tratamiento final, reciclado y su disposición final (ISO, 2006).

La progresiva conciencia de los consumidores y productores respecto a la importancia de la protección ambiental, y de sus devastaciones, agrupadas con los productos de síntesis química, como también los de consumo, han aumentado el interés por entender el, por qué. De las cosas, desarrollando estos métodos para su comprensión, conjugándolo con las tecnologías aplicadas a la agricultura de precisión.

8. CONCLUSIONES

- ✓ Se analizaron las técnicas, metodologías y tecnologías aplicadas al cultivo de palma de aceite *(Elaeis guineensis jacq),* y su beneficio en la productividad en Colombia, determinando parámetros claves para la identificación temprana de factores limitantes en la producción de aceite de palma, De esta manera lo que se busca dar a conocer en el documento son las herramientas más utilizadas para uso académico, científico y laboral. Como es el caso de los nuevos algoritmos desarrollados en Colombia, para la detección temprana de enfermedades fitosanitarias en las plantaciones, cuenta con un software que logra procesar la información con algoritmos de Aprendizaje de Máquina "Machine Learning" para que, automáticamente, se realice reconocimiento de las palmas, genere el conteo en las plantaciones y obtenga datos precisos de su estado real, obteniendo un beneficio directo a los costos de producción, tanto en pequeñas extensiones familiares como en grandes extensiones agroindustriales.

- ✓ Las técnicas más aplicadas en la actualidad para poder recolectar información de las plantaciones de palma de aceite son: aplicativos móviles, teledetección junto a los sensores remotos. El software Cybertracker permite elaborar formularios para la captura de datos cuantitativos georreferenciados sin necesidad de internet y es de código abierto, permitiendo su descarga a cualquier usuario que desea hacer uso de este. De igual manera el proyecto Qgis, "software libre", tiene una buena acogida por la comunidad científica porque permite analizar e importar imágenes para su debido procesamiento y elaboración de mapas georreferenciados, siendo relevante la guía básica de descarga de imágenes satelitales en Qgis y los drones o Vehículo Aéreo no Tripulado (VANT).

- ✓ Las firmas espectrales son determinantes en la valoración de la sanidad vegetal de los cultivos de palma de aceite que son afectados por plagas y enfermedades limitantes en la producción de Racimos de Fruto Fresco (RFF) por palma. Generando el uso de las herramientas que ayuden a la fotointerpretación de las plantaciones de palma de aceite donde los censos y monitoreos se ven afectados por las grandes extensiones y la edad de la palma. Gracias a los

índices vegetales es posible hacer seguimiento de la sanidad de las plantaciones, otorgando ventajas sobre la planificación de las labores agronómicas. Siendo los índices vegetales de mayor uso: NDVI**,** Índice de Vegetación Diferencia Normalizada, NRVI, Índice de vegetación de Proporción Normalizada, NDWI Diferencial de agua normalizado y RVI, Relación índice de vegetación.

- ✓ Las plantaciones de palma de aceite tienen un compromiso mundial con los recursos naturales y medio ambiente. Debido a esto la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible, (RSPO). Estableció los principios y criterios para un producción sostenible y amigable con el ambiente, haciendo uso de nuevos modelos económicos como es el caso de la bioeconomía que busca la transición de la dependencia de combustibles fósiles a una situación donde una base fundamental es la agricultura y no solo para contribuir a la seguridad alimentaria, sino también a la producción de biomasa como materia prima renovable para las industrias y agroindustrias.

Recomendación

- ✓ Es de gran importancia seguir conociendo y creando nuevos modelos predictivos del comportamiento del entorno asociados a fenómenos sanitarios de los cultivos como lo son los daños causado por defoliadores o enfermedades que emiten firmas espectrales características de problemas fitosanitarios dentro de las zonas productivas y que ya han sido identificados mediante el uso del procesamiento digital de imágenes satelitales y de los cuales se tiene certeza del problemas como: Riego, drenaje, estrés hídrico, deficiencias nutricionales o de complejos como la Pudrición del Cogollo (PC), causada por *(Phytophthora palmivora)* o de la identificación temprana de Pudrición Basal en Estípite, causada por *(Ganoderma sp).*

9. ANEXO 1

“Guía Básica para la descarga de imágenes y procesamiento del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)”

Los softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG), de código abierto permiten el desarrollo de alternativas de bajo costo para implementar en nuestros cultivos parcelas o identificación de estos mismos, están diseñados para su fácil descarga y utilización. Con el fin de generar el auto aprendizaje diseñe esta guía básica de descarga y procesamiento de imágenes Sentinel, para obtener el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

Objetivos

- Descargar QGIS e Imágenes Satélites.
- Calcular el NDVI de la Imagen previamente descargada.
- Foto Interpretar la Imagen.

Metodología

Para una descarga fácil, sencilla y dinámica. La guía va acompañada de imágenes, mostrando el paso por paso de las cosas.

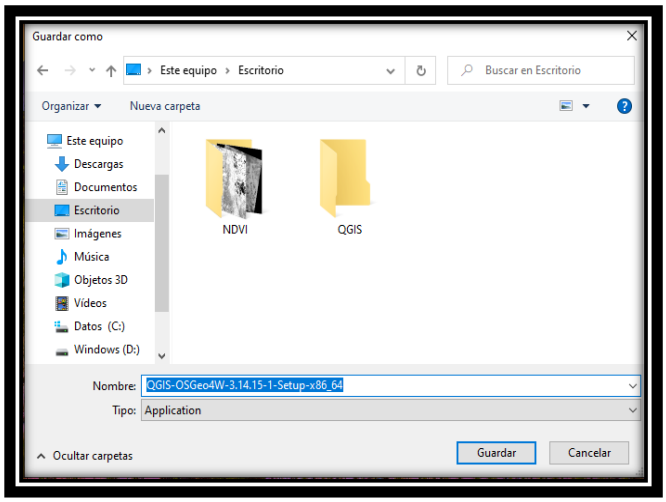
Descarga del Software QGIS.

1. Nos dirigimos a nuestro computador, escritorio y creamos una carpeta nueva que se va llamar QGIS, nos dirigimos a nuestro navegador de confianza y en el buscador ponemos la siguiente dirección de correo: https://www.qgis.org/es/site/, le damos clic en buscar y automáticamente nos dirige para la página oficial de QGIS.

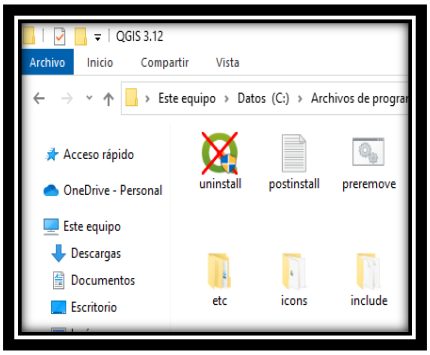
2. Damos clic donde dice descargar ahora, después nos redirecciona para la plataforma de descargas, donde tenemos la opción de elección para distintos sistemas operativos como lo son, (macOS, Windows y Linux, etc.), como aplicaditos para móviles y tablets que son apéndices de del Software QGIS.

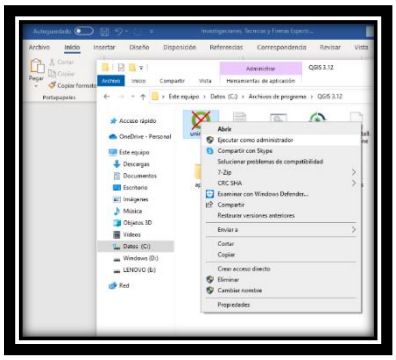
3. Después de haber seleccionado el tipo de sistema operativo de nuestra computadora, en el caso de a ver seleccionado Windows hay dos versiones tanto de 64 bit como de 32 bit, depende del sistema operativo recuérdelo. La pestaña nos muestra dos versiones una más reciente y una versión más antigua pero mucho más estable, que las resientes. Es decisión de cada uno.

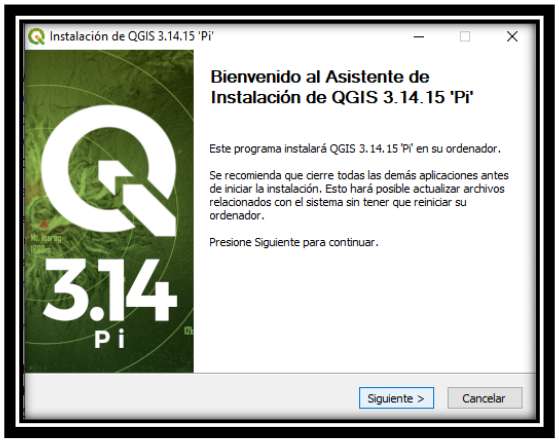
4. Damos clic en el icono de Instalador autónomo de QGIS Versión Seleccionada, automáticamente se nos abre el icono de guardar, damos clic y guardamos el programa en la carpeta QGIS, previamente creada para iniciar la descarga, una vez descargado el programa lo buscamos en la carpeta respectiva, para iniciar su instalación.



5. Una vez ubicada la carpeta para su instalación vamos al icono uninstall, que se encuentra dentro de la carpeta y damos doble clic derecho y damos ejecutar como administrador, aceptamos dando clic en (SI), automáticamente se nos abre la pestaña de instalación del programa QGIS, damos clic en siguiente, imagen y finalizamos su instalación ya podemos hacer uso del software en nuestro computador.







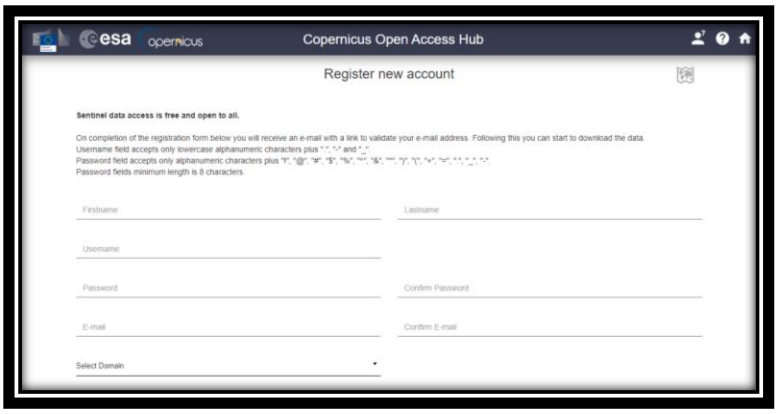
Descarga de la imagen Sentinel-2

Para la descarga de imágenes Sentinel-2, toca descargar previamente el software WinZip, el cual nos permite descomprimir la carpeta que descarguemos de la página ofician de la Agencia Espacial Europea (ESA), y su misión Copernicus Sentinel-2 lanzada al espacio el 23 de junio del 2015, de las cuales podemos obtener y hacer uso de millones de imágenes total mente gratuitas con solo registrarnos.

- ✓ Descargar WinZip de la página oficial: https://www.winzip.com/win/es/downwz.html, para descomprimir los archivos futuros, si ya cuentas con este software omite este paso.
  Damos clic en la descarga ahora de WinZip y guardamos en el escritorio.

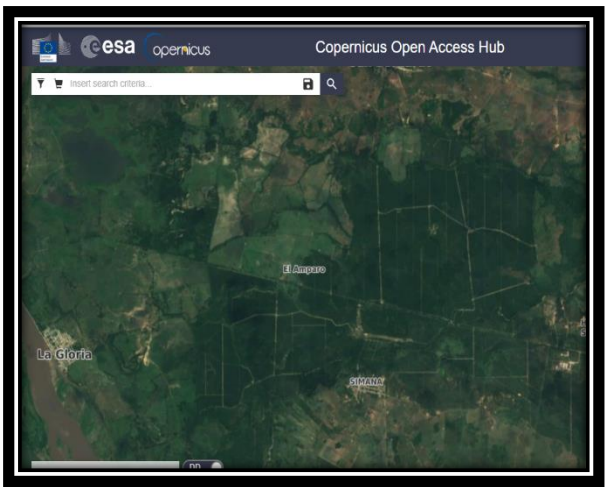
- ✓ Buscamos el programa ya guardado en el escritorio, damos clic derecho y ejecutamos como administrador, automáticamente se nos abre en el proceso final de instalación, damos clic en siguiente y finalizamos instalación, lista para su respectivo y futuro uso.

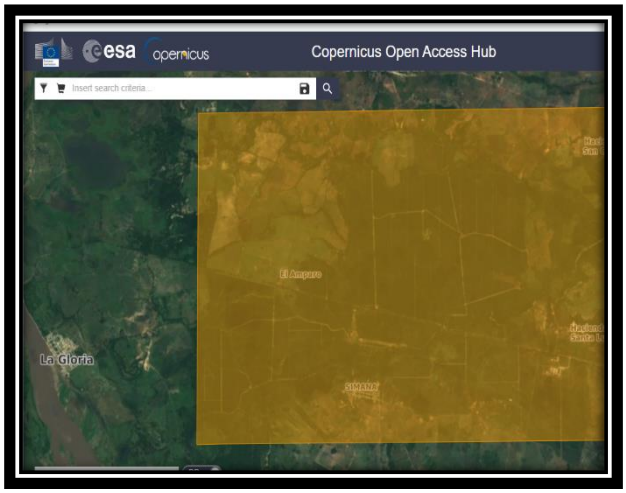
- ✓ Con la aplicación WinZip ya instalada podemos continuar. Ahora no dirigimos a la página oficial de registro, https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/self-registration, de la misión Copernicus para registrarnos como usuarios académicos.



- ✓ Después de haber desarrollado el formulario podemos hacer uso del aplicativo de Copernicus el cual es muy sencillo a la hora de obtener las imágenes. Aquí podemos observar la interfaz del aplicativo. Donde podemos buscar imágenes satelitales en 3 resoluciones 10m, 20m, y 60m. de tres misiones Sentinel-1, Sentinel-2 y Sentinel-3, para el índice NDVI, nos sirven las imágenes de Sentinel-2, ya que está equipado con una cámara óptica multiespectral (MSI) la cual captura datos satelitales de alta resolución especial para el respectivo fin de monitorear la superficie terrestre.

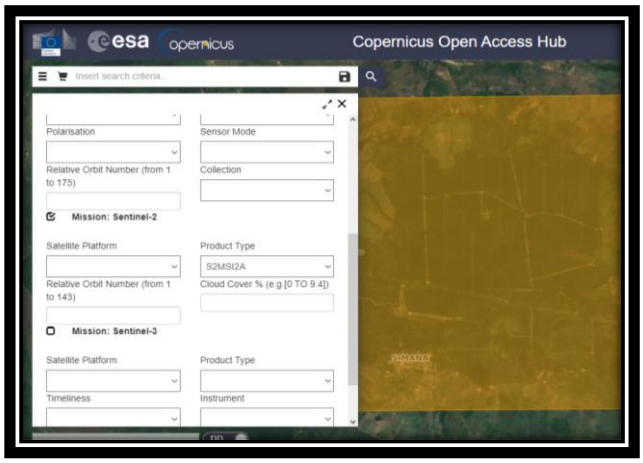
- ✓ Para poder descargar la imagen, solamente debemos definir nuestra área de estudio y su enfoque en este caso a una plantación de palma de aceite en la zona central palmera, Departamento del Cesar, Colombia, después de haber ubicado la plantación que es nuestra área de estudio con la ayuda del ratón, damos clic derecho hacemos un polígono que cubra el área de estudio.

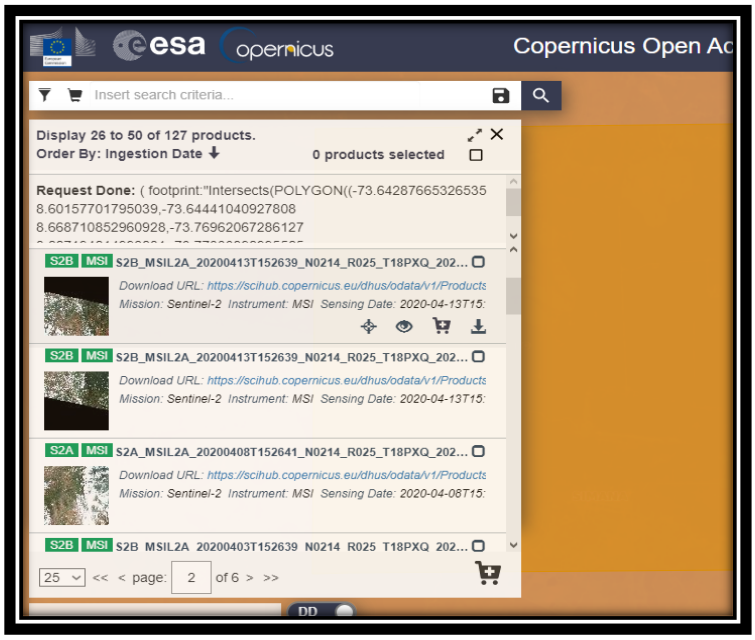




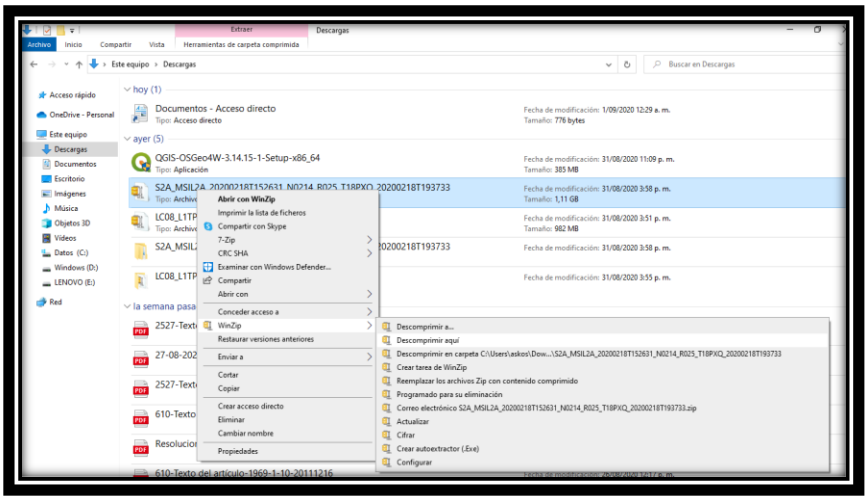
- ✓ Con nuestra área de estudio seleccionada damos clic en la esquina superior izquierda en el símbolo del filtro , para poder seleccionar, el satélite Sentinel-2, dando búsqueda a la imagen satelital en el área seleccionada, damos clic en el símbolo de buscar , automáticamente se nos despliegan las fotografías

satelitales más resientes, Donde podemos descargar con menos nubes , dando clic en símbolo de descarga para que no tengamos que hacer correcciones atmosféricas, evitándonos algunos procesos algorítmicos.

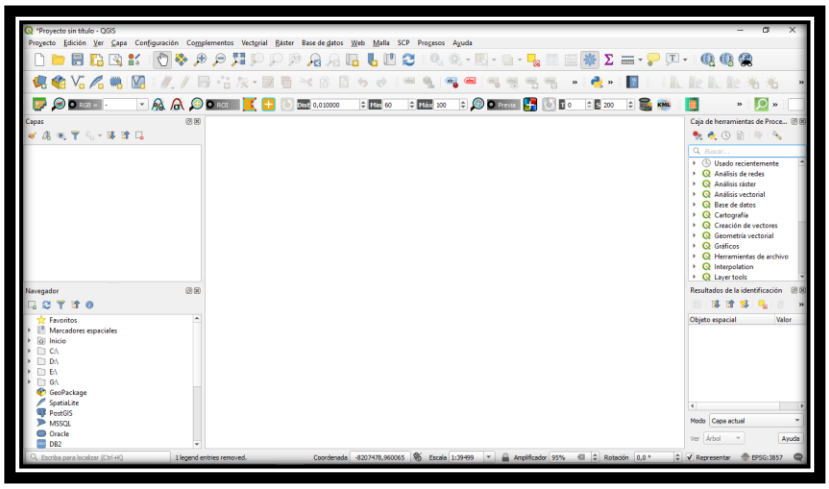




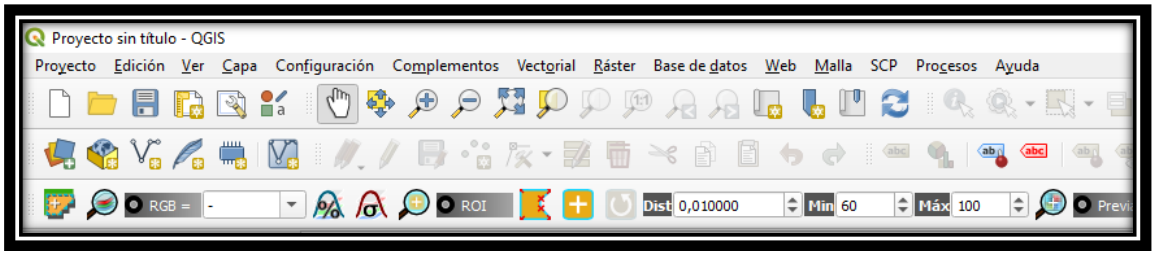
- ✓ Una vez hayamos descargado la imagen nos dirigimos a buscarla a descargas, se encuentra una carpeta formato WinZip, de tal manera que se encuentra comprimida y la cual debemos descomprimir con él con el software previamente instalado. Damos clic derecho en el icono o carpeta y buscamos la pestaña de WinZip y demos clic en descomprimir aquí.

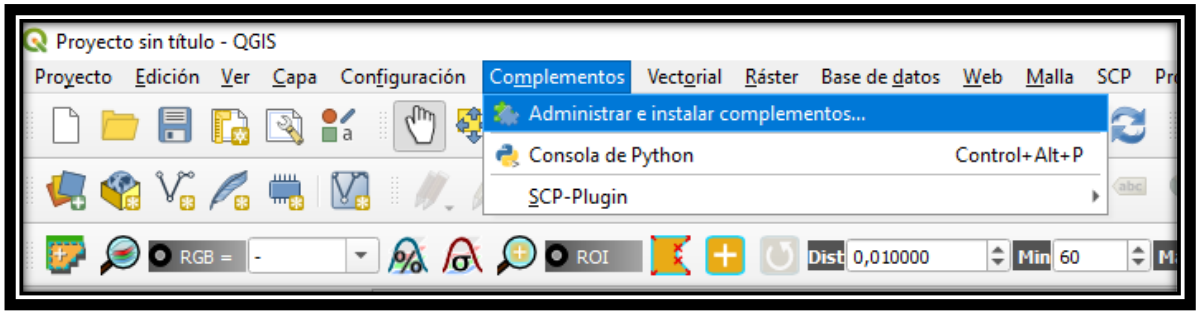


- ✓ Después de obtener la imagen solo es cuestión de procesarla en QGIS. Para eso debemos dirigirnos abrir el programa, para respectivamente calcular el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Abrimos nuestro software QGIS, para poder procesar nuestra imagen.

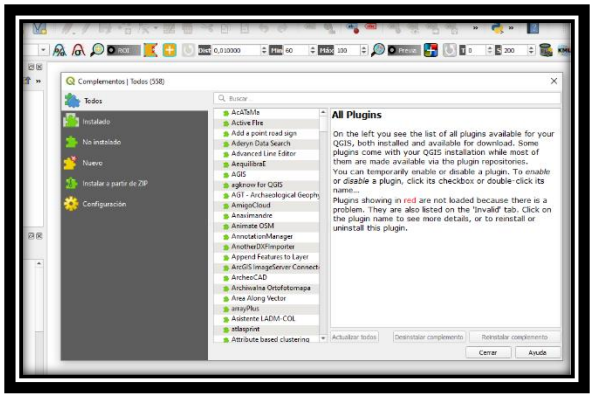


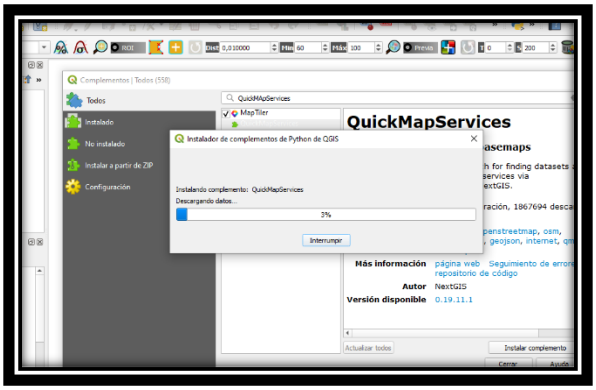
- ✓ Estando en la interfaz de QGIS, nos dirigimos a la pestaña barra de herramientas de menú, donde se encuentra: Proyecto, Edición, Ver, etc., en la pestaña complementos damos clic, se abre la pestaña, damos clic en Administrador e Instalar complementos, automáticamente nos redirige a la Interfaz de complementos.



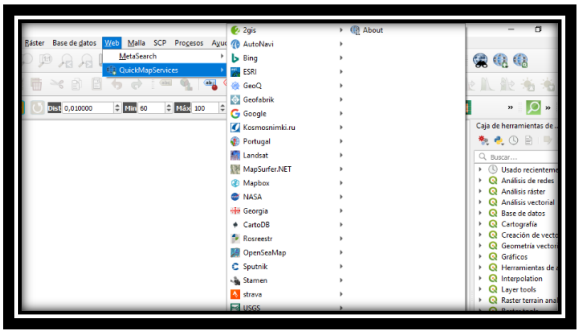


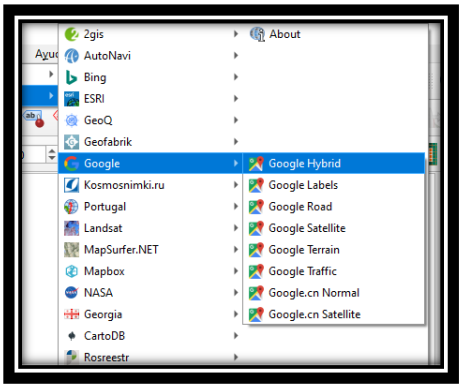
- ✓ Aquí podemos observar la interfaz de los completos de QGIS, donde vamos a buscar e instalar los complementos que necesitamos para desarrollar la guía, damos clic en el buscador y escribimos: QuickMApServices, automáticamente nos aparece el complemento, damos clic en Instalar Complemento e inicia su instalación.



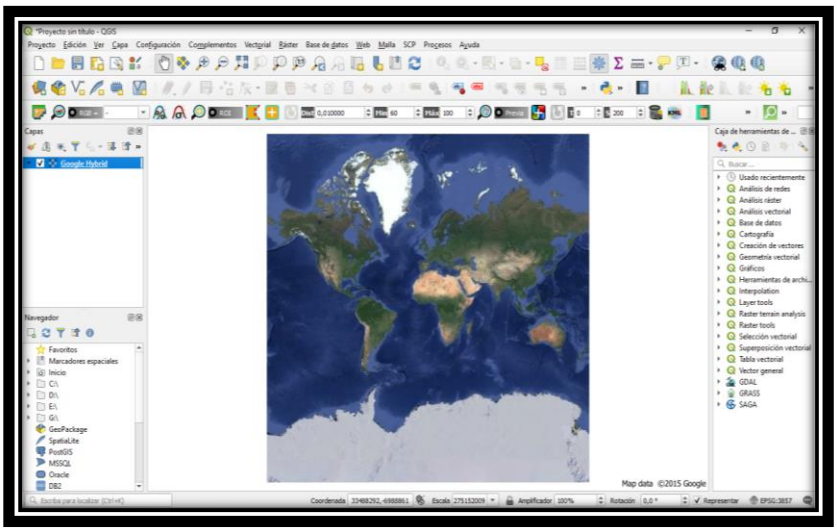


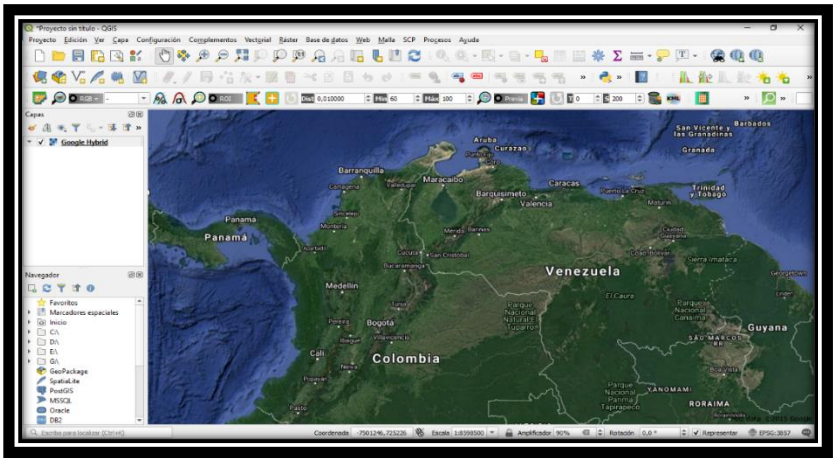
- ✓ Una vez instalado el completo debemos buscar en la barra de herramientas de menú la pestaña Web, damos clic y se nos abren una segunda pestaña donde podemos observar el completo ya instalado previamente QuickMApServices, damos clic en la pestaña y se nos abren las imágenes satelitales de algunas plataformas, en este caso usaremos las de Google, Específicamente la de Google Hybrid.



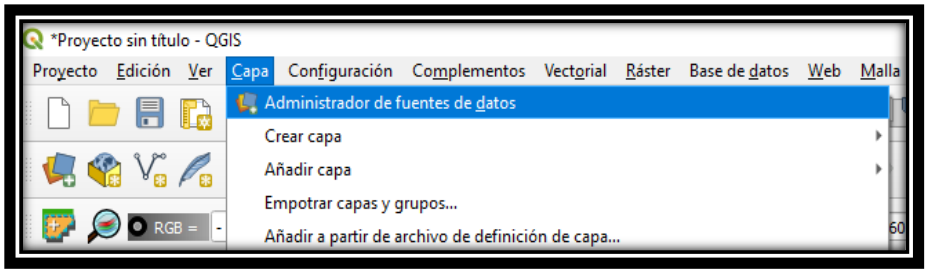


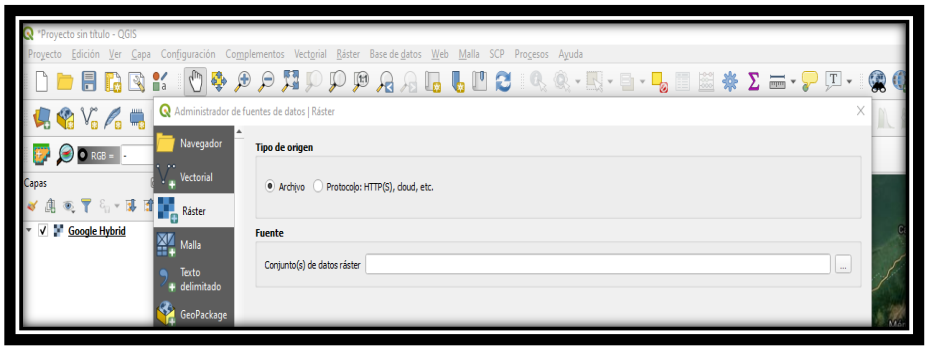
- ✓ Después de haber seleccionado la capa Google Hybrid, podemos observarla claramente en la interfaz del software QGIS, se preguntarán porque el Google Hybrid y no otro, esto se debe a que este nos permite ver la imagen como un mapa político, el cual nos permite conocer territorios políticos y sus límites fronterizos, departamentales, ciudades y municipios.



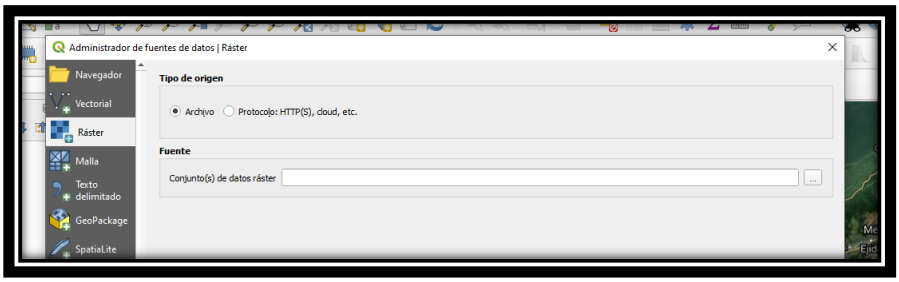


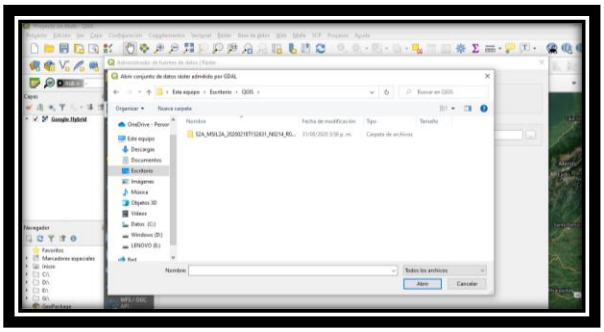
- ✓ Ahora que ya tenemos nuestro complemento instalado, lo que viene a continuación es cargar las imágenes previamente descargadas. De la siguiente manera, en la barra de herramientas nos encontramos con la pestaña Capa damos clic en Administrador de fuentes de datos, Automáticamente se nos despliega la pestaña directa del Administrador de datos, que nos permite visualizar pestañas como Navegador, Vectorial, Ráster Malla, etc. De la cual vamos a darle clic en ráster.





✓ En ráster vamos a dar clic en los tres puntos. De esta manera se nos despliega la pestaña del buscador para cargar las imágenes, que están en el escritorio Carpeta QGIS.





✓ Para realizar el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, debemos tener presente la formula del (NDVI), ya que esta nos indica las imágenes que debemos usar. En este caso para Sentinel-2 el Algoritmo es:

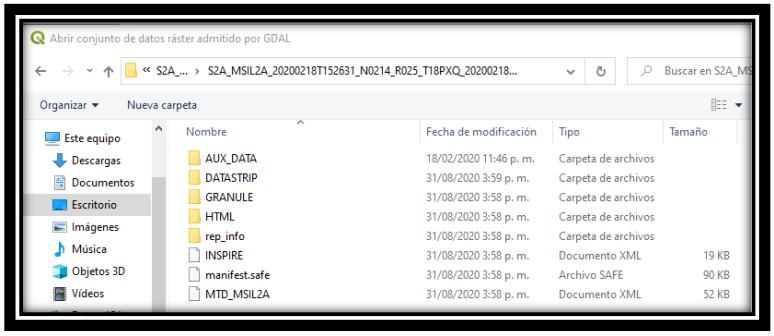
$$NDVI = (NIR-RED) / (NIR+RED)$$

$$NDVI\ (Sentinel\ 2) = (B8 – B4) / (B8 + B4)$$

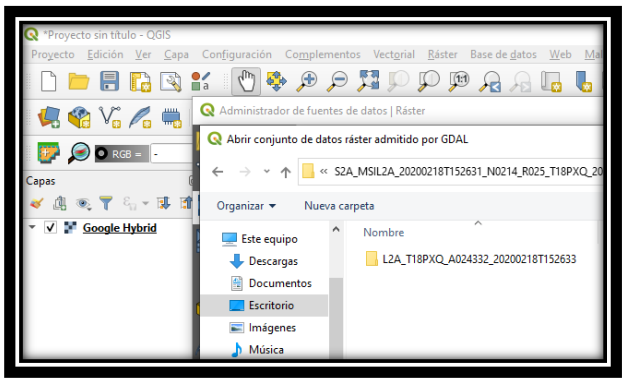
- ✓ **B4:** Banda 4 = RED: Rojo
- ✓ **B8:** Banda 8 = NIR: Espectroscopia del infrarrojo cercano.

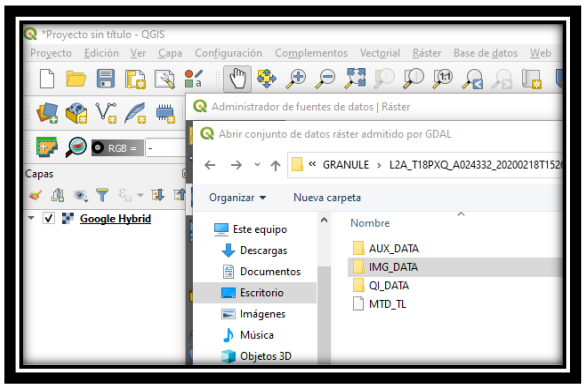
Esto quiere decir que las imágenes que debemos cargar para calcular el índice son (B4 y B8), para Sentinel-2 para Lansat-8, es otra fórmula. Ya que la posición de sus bandas cambia, para este tener presente.

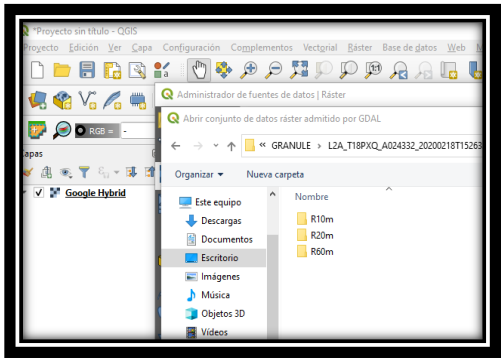
- ✓ Buscamos dentro de la carpeta que siempre va a iniciar como (S2A o S2B), son las iniciales de sus satélites gemelos, otra carpeta que se titula GRANULE.



- ✓ Después damos doble clic y se nos abre una nueva carpeta que inicia titulada como L2A, damos doble clic y nos redirige a una nueva carpeta donde encontramos una titulada IMG_DATA, damos doble clic y esta a su vez nos envía a una carpeta donde las imágenes están organizadas en Resolución Satelital de 10m, 20m y 60m. en este caso usaremos las de Resolución espacial de 10m.

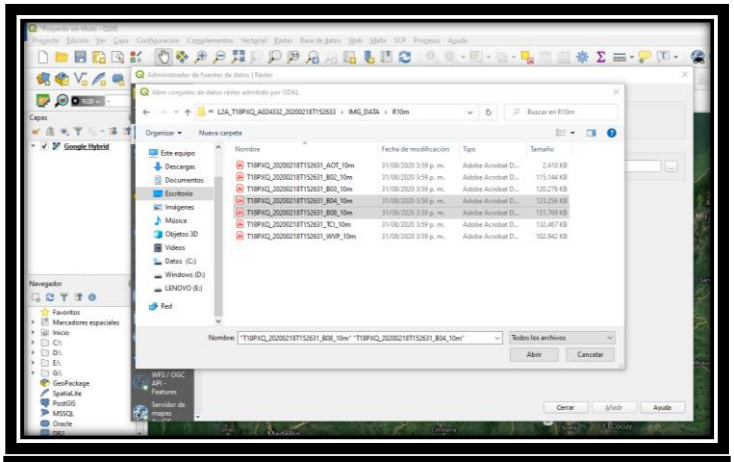


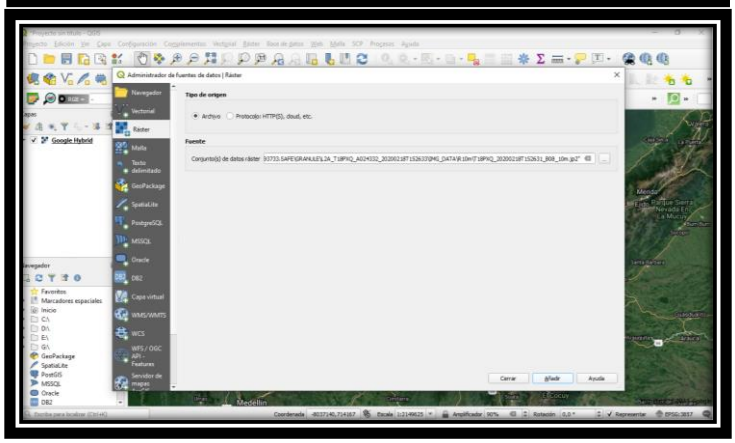




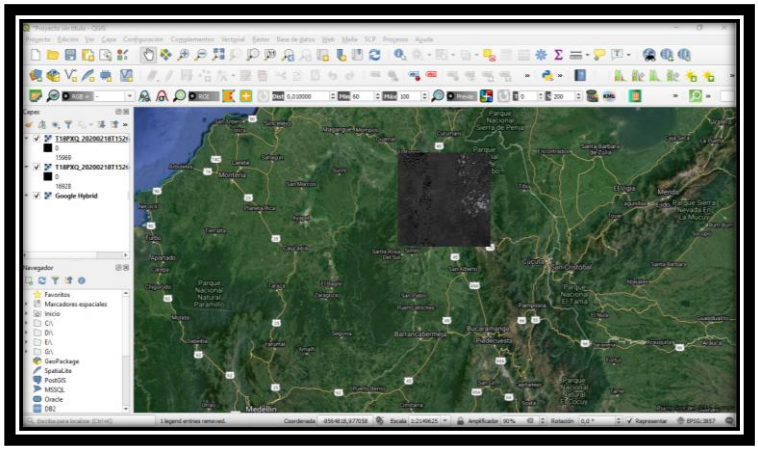
- ✓ Después de abrir la carpeta de R10m, nos encontramos con las respectivas imágenes total mente clasificadas y en numeradas con su consecutivo de las cuales tomaremos al mismo tiempo la (B$ y B8),

Damos clic en la pestaña abrir y automáticamente nos redirige a la interfaz de QGIS nuevamente, se precargan las imágenes y nosotros debemos aceptar la carga final dándole clic en añadir.

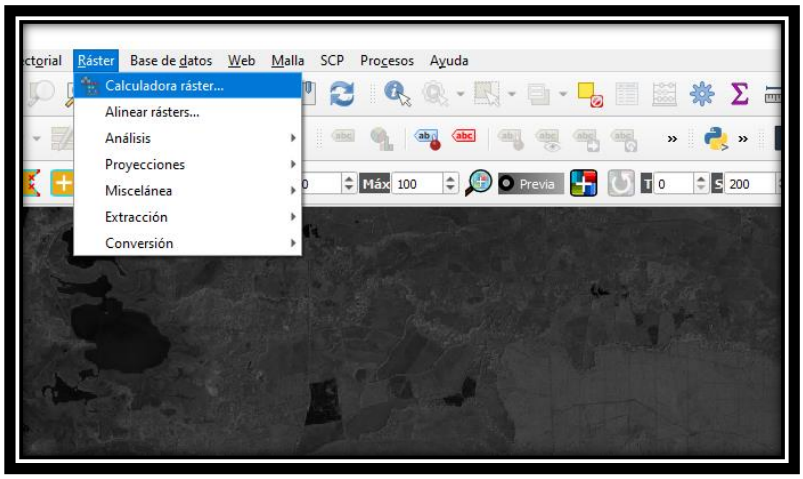




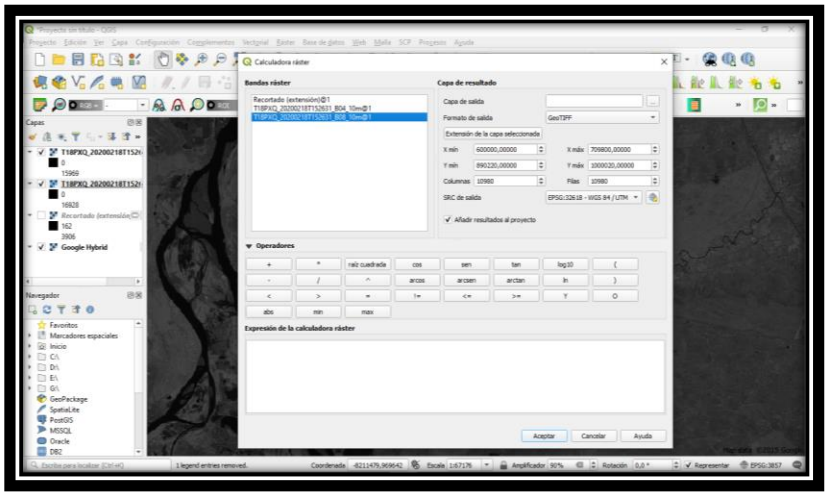
✓ Automáticamente el software acepta las imágenes satelitales y las relaciona como capas en el área de estudio, como se puede observar en la siguiente imagen #

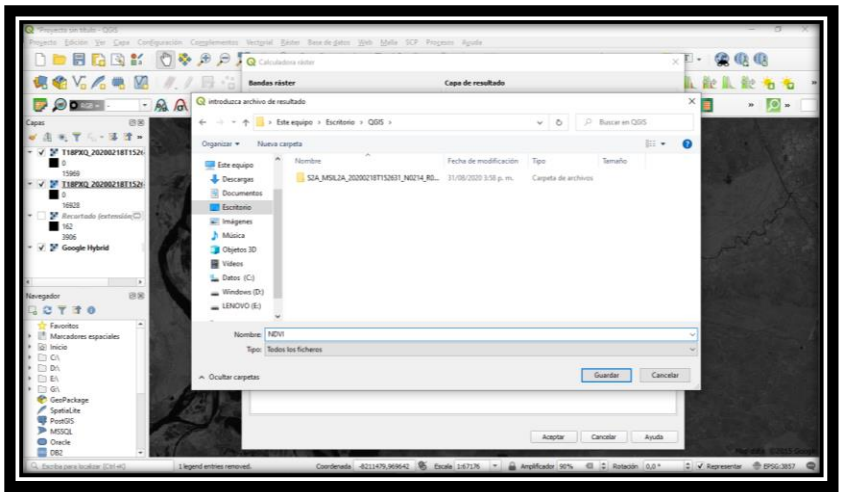


- ✓ Ahora con nuestras imágenes cargadas como capas, vamos a realizar la ejecución del algoritmo para obtener el NDVI. En a la barra de herramientas de menú buscamos la pestaña Ráster vamos a dar clic y se nos desplegara unas funciones vamos a escoger, Calculadora ráster damos clic.



- ✓ Automática mente se nos abra la interfaz de Función de Calculadora Ráster, ahora podemos apreciar Bandas ráster, Capas de resultado Operadores y Expresión calcular. Ahora ya conociendo la interfaz de la calculadora ráster no dirigimos a capa de resultado donde dice capa de salida vemos 3 puntos damos clic y se nos habilitara la interfaz de Archivos del Computador, donde vamos a buscar la carpeta QGIS y vamos a guardad en esta carpeta la capa de salida con el nombre de NDVI.

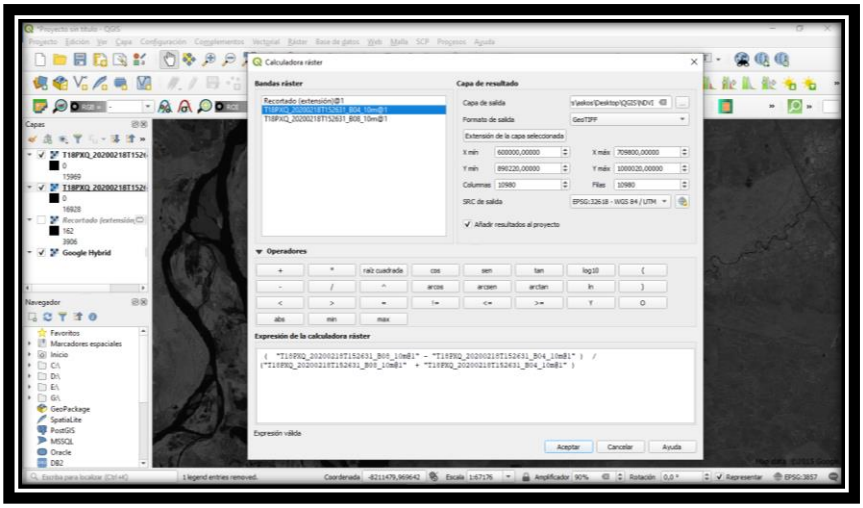




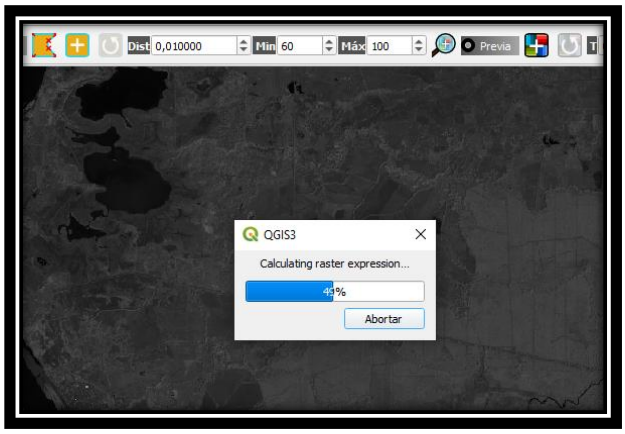
- ✓ Luego de haber seleccionado la carpeta para guardar la capa de salida, seguimos en la misma interfaz, pero ahora vamos a hacer uso de operadores donde digitalizaremos el Algoritmo para obtener el NDVI.

NDVI (Sentinel 2) = (B8 – B4) / (B8 + B4)

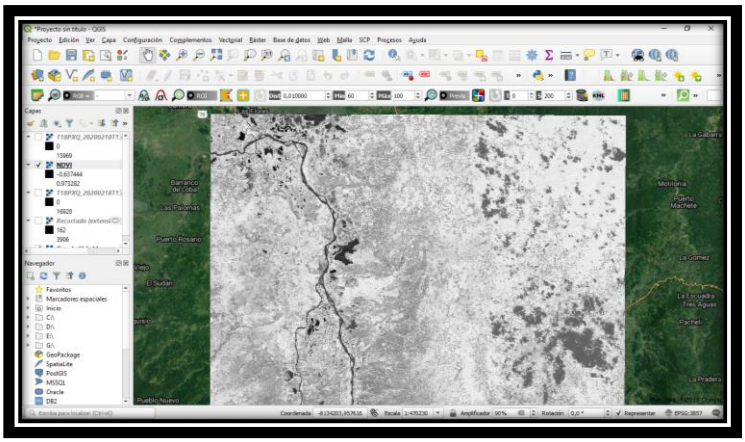
- ✓ Aquí es muy sencillo vamos usar la pestaña de operadores con el ratón y vamos a digitalizar primero que todo esto: (-) / (+), dando clic en cada icono de la imagen #, ahora en bandas ráster vamos a darle clic a cada una de las bandas en orden correspondiente al algoritmo. Después de haber hecho digitalizado tiene que quedar así, o si no nuestra expresión no será válida.



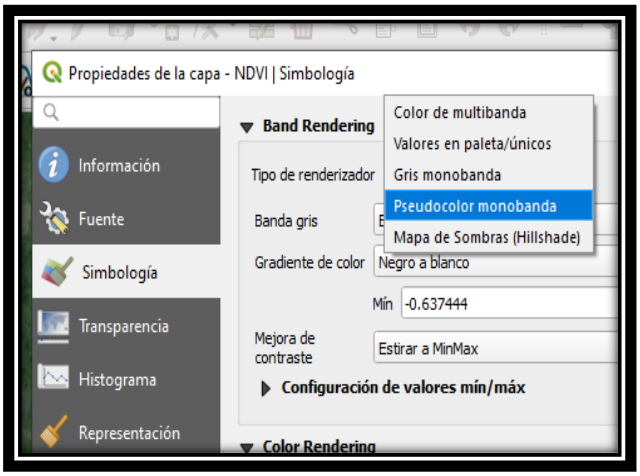
✓ Ahora damos aceptar donde se iniciará el cálculo de expresión.

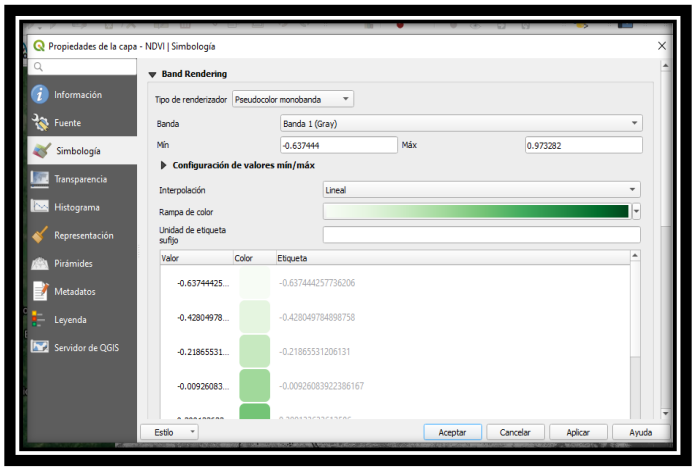


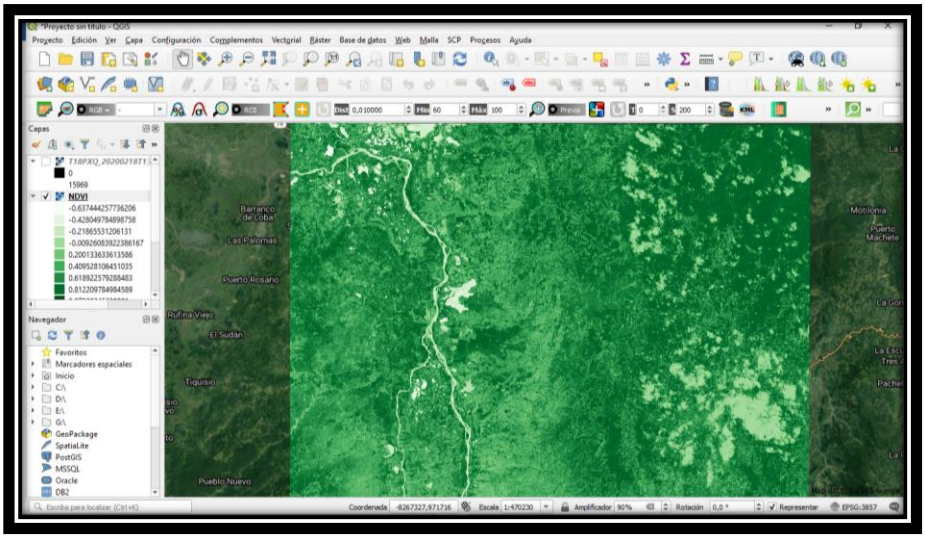
✓ Después de que se ejecute la expresión se va a ver de la siguiente manera ahora bien vamos, capas lado Izquierdo de la imagen y podemos ver todas las capas vamos a desactivar todas menos NDVI. Damos doble clic o clic derecho sobre NDVI, se nos abren unas funciones, vamos propiedades y damos clic.



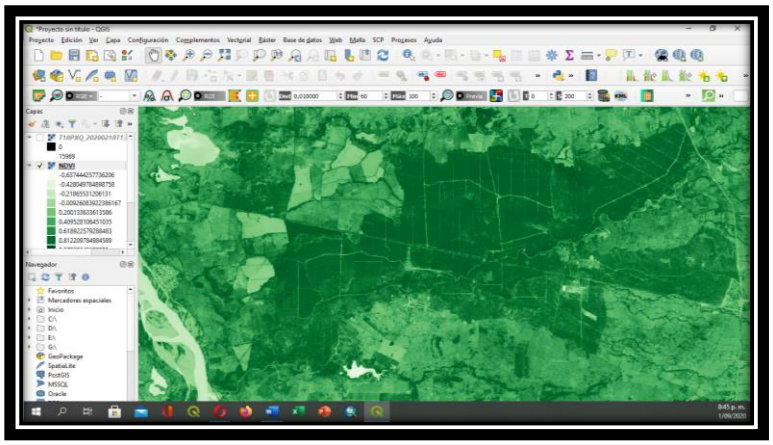
- ✓ Ahora se nos abre la interfaz de propiedades de la capa NDVI, donde Podemos observar: Band Rendering, damos clic en tipo de renderizado y escogemos la función de pseudo color mono banda, esta manera nos cambia el tipo de renderizado y nos permite ajustar los valores de nuestro índice con el color deseado por ahora la rampa de color será verde, después de seleccionar la rampa de color damos aplicar y automáticamente podemos observar nuestro índice de vegetación clasificado.



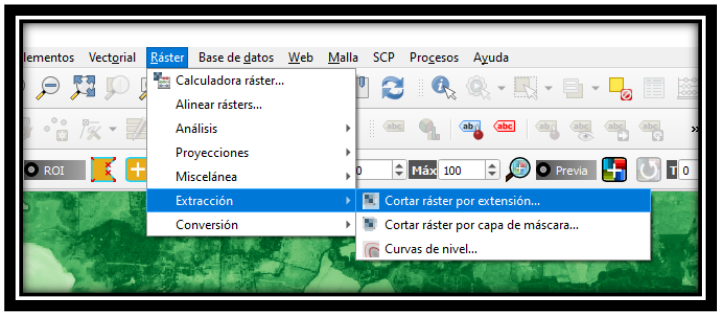




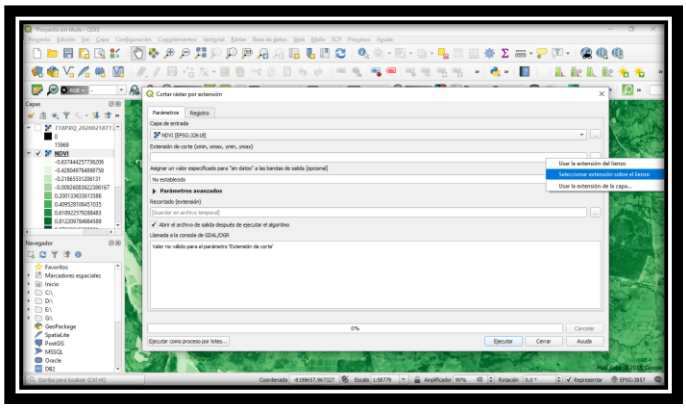
- ✓ El siguiente paso en el cual debemos ubicar nuestra Plantación sea por coordenadas o por reconocimiento partiendo de las referencias del mapa de Google Hybrid., una vez ubicada nuestra plantación, hacer un recorte de la zona de estudio para una mejor manipulación de la imagen.



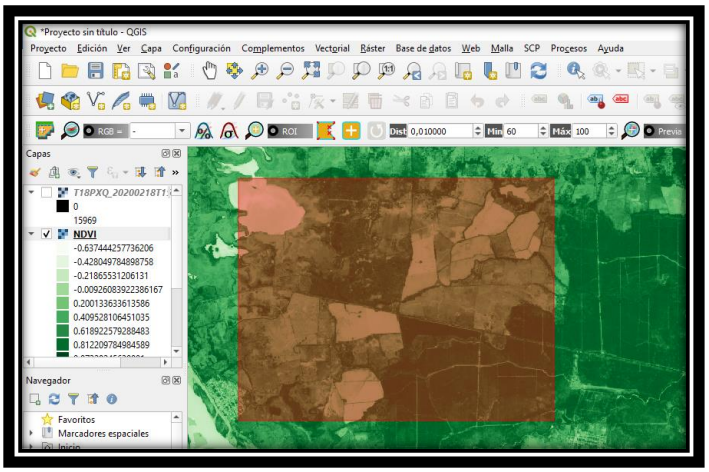
- ✓ Para realizar el recorte de nuestra área de estudio, nos dirigimos para la barra de herramientas de menú y buscamos la pestaña Ráster, damos clic se nos abren más funciones buscamos extracción y damos clic nuevamente en Cortar Ráster por extensión.



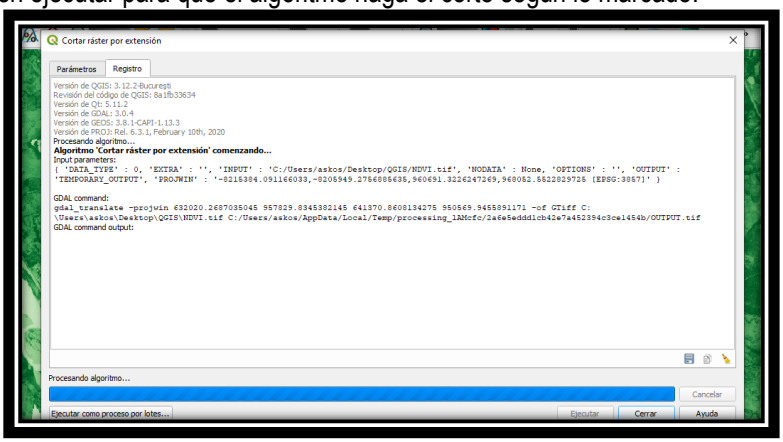
- ✓ Redirigidos a una pestaña nueva de la interfaz de QGIS, nos encontramos con la herramienta de corte así que damos clic en los tres puntos de la extensión del corte. Donde daremos clic a la función, seleccionar extensión sobre el lienzo.



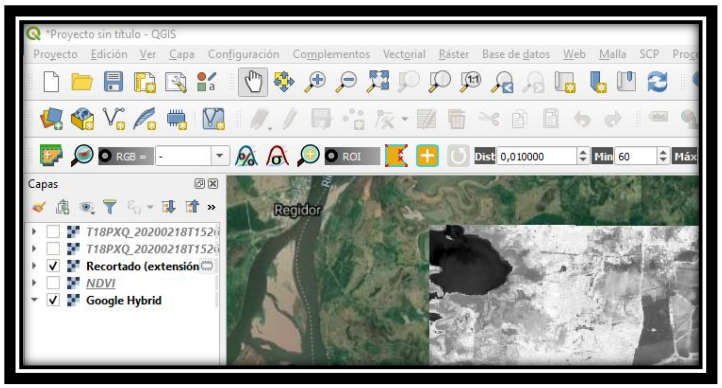
- ✓ Después de haber dado clic sobre la función extensión sobre el lienzo nos envía a la interfaz donde tenemos las imágenes cargadas, ahora con el clic izquierdo del ratón hacemos un cuadrado o rectángulo sobre el área de estudio previamente visualizada.



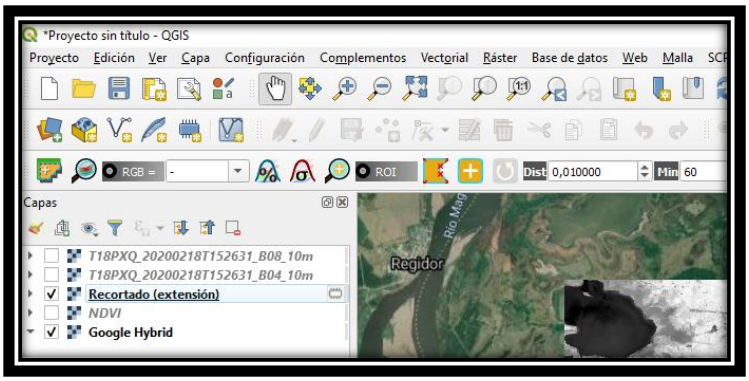
✓ Después de hacer el recuadro automáticamente nos redirecciona a interfaz de la herramienta de corte. Solo es dar clic en ejecutar para que el algoritmo haga el corte según lo marcado.



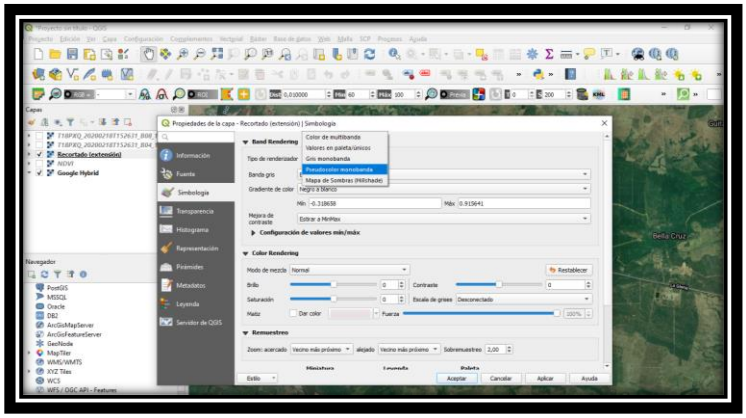
✓ Después de la ejecución del algoritmo de corte, tenemos una imagen más compacta perfecta para el estudio, la cual podemos procesar mejor a la hora de calcular el (NDVI), llamada: (Recortado Extensión). Donde está habilitada en la parte Izquierda de la imagen por un icono ✓.



- ✓ Con la posibilidad de habilitar y deshabilitar las capas con las que queremos trabajar dándole en el icono ✓ para habilitar y vacío para deshabilitar. Ya sabiendo esto, solo vamos a trabajar con la capa (Recortado Extensión) y la (Google Hybrid), solo dos habilitados las demás deshabilitadas.

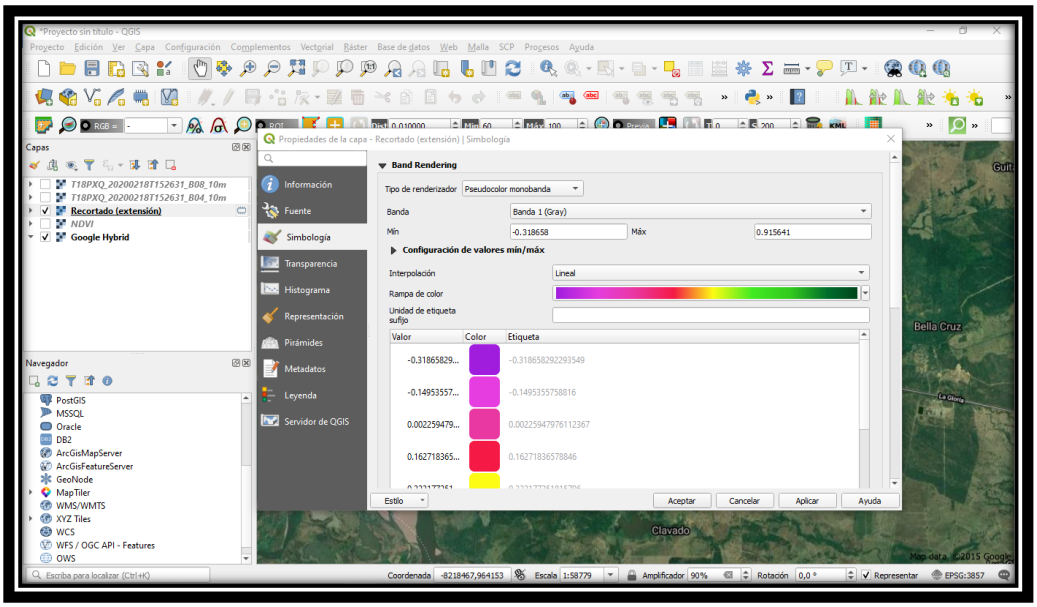


- ✓ Ahora damos doble clic o clic derecho sobre la capa Recortado Extensión, para poder jugar con sus propiedades y así clasificar el índice de vegetación con el color que deseemos. Vamos a simbología clic, pestaña Band Rendering y damos clic en tipos de Renderizado escogemos el pseudo color mono banda.

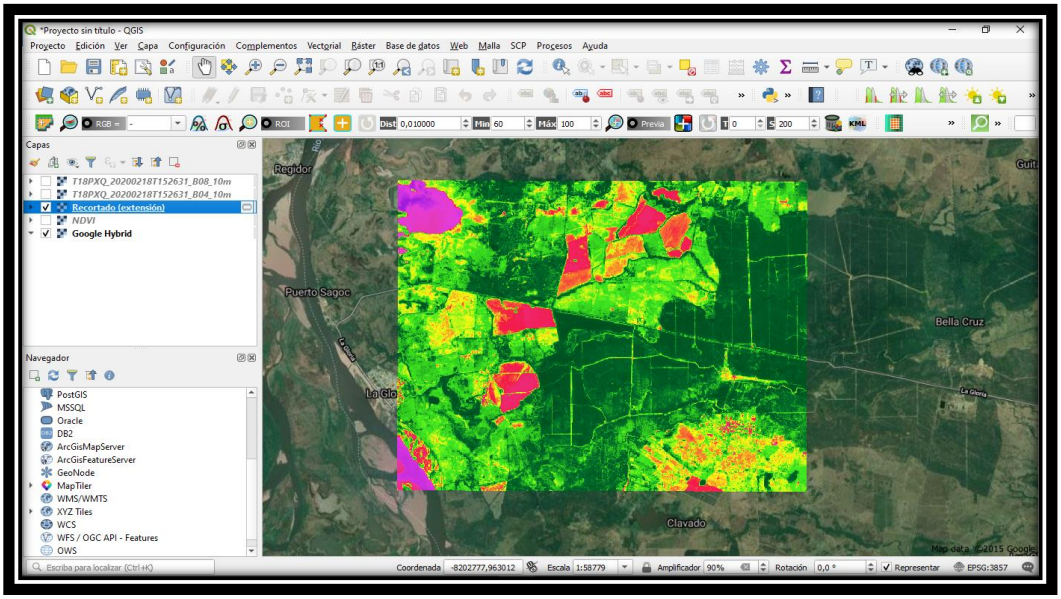


- ✓ Después de haber seleccionado pseudo color mono banda, se nos habilita la clasificación con el rango en numeración con su respectivo color es aquí donde vamos a jugar con la tonalidad y los valores más cercanos a 1 serán verdes y los valores más cercanos a 0 serán morados.

  De tal manera indicando que entre más verde mayor vegetación y entre más morado cero vegetaciones, debido a aquel absorbe todo el infrarrojo cercano como son suelos, cuerpos de agua o cultivos bajo inundación y ciénagas en este caso. Después de haber seleccionado nuestros respectivos colores damos aplicar.



✓ Finalmente vamos a obtener una imagen con un Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada. La cual nos permite observar y tomar decisiones sobre nuestra zona de estudio y nos permite identificar las zonas como vías, cultivos aledaños, otros tipos de explotaciones agropecuarias y reservar naturales en este caso ciénagas y el rio magdalena.



Ya con esto concluimos la guía de descarga de imágenes satelitales y procesamiento de estas mismas en QGIS.

"El estudio del Universo es un viaje al Autodescubrimiento"

(Carl Sagan).

10. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguayo, P. M. (2013). Apuntes de Teledetección. *CIREN, Centro de Informacion de Recursos Naturales* , 4-15.
2. Andes, U. d. (2019). Agricultura de Precision y Proteccion de Cultivos. *Revista de Ingenieria*, 10-19.
3. Aramendis, A. C. (2019). *La bioeconomía. Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina+ Bioeconomy. New Framework for Sustainable Growth in Latin América.* Bogotá: Universidad Javeriana.
4. Araque, A. J.-L. (2009). Caracterización de firma espectral a partir de sensores remotos para el manejo de sanidad vegetal en el cultivo de palma de aceite. (CENIPALMA, Ed.) *Palmas, 30*, 63-79.
5. Balasundram, S. K. (2016). Estudios seleccionados de agricultura de precisión en palma de aceite: resumen de diez años. *Palmas, 37*, 243-266. Obtenido de http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/palmas_tomoI.pdf
6. BASKET, J., HARTAS SOEWAR, H., & SUHANAN, S. (2002). Managing through crisis and change (P.T SOCFINDO's experiences in plantation management). *International Oil Palm Conference*, 25.
7. Bellvert, J. (2016). Uso de la teledetección de alta resolución con sensores térmicos para el manejo del riego y la variabilidad espacial intralote. *Palmas, 37*, 267-273.
8. Berna, F. C. (2014). *Geografía, Ambiente y Sociedad.* Toluca, Estado de Mexico : UAEMéx.
9. BIOSALC. (2014). *BIOSALC corporation*. Recuperado el 5 de Junio de 2020, de BIOSALC corporation: http://biosalc.com
10. BIOSALC. (2014). *BIOSALC corporation*. Recuperado el 5 de Junio de 2020, de BIOSALC corporation: http://biosalc.com/soluciones/
11. Bochno, h. (Junio de 2019). Ciencia, tecnología e innovación para la competitividad de la palmicultura colombiana. *El palmicultor*, 23-24.
12. Borrero, C. A. (2018). *Infoagro*. Obtenido de InfoAgro: https://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite.htm
13. Castro, R. (1999). *Sistema para el Seguimiento y Análisis de Tierras mediante Teledetección.* Chile: FAO.
14. CENIPALMA. (2015). *Manual de elaboracion de forularios moviles digitales para el registro de datos en plantaciones de Palma de Aceite.* Bogota: CENIPALMA.

15. CENIPALMA. (2019). *CENIPALMA*. Recuperado el 7 de Junio de 2020, de CENIPALMA: https://www.cenipalma.org/servicios/geopalma/

16. Chuvieco, E. (1996). *Teledetección ambiental, la observación de la tierra desde el espacio.* Madrid, España: UNIGRAF.

17. Cooman, A. P. (Diciembre de 2019). De la investigación al cambio productivo. Sostenibilidad y eficiencia para la palmicultura Colombiana. *Palmas*, 44-49.

18. Copernicus. (2015). *Copernicus Europe´s eyes on Earth*. Recuperado el 6 de Junio de 2020, de Copernicus Europe´s eyes on Earth: https://www.copernicus.eu/es

19. Córdoba, A. H. (2019). Índice de sostenibilidad y producción de aceite de palma sostenible en Colombia. *Palmas, 40*, 108-113. Obtenido de https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/12966/12816

20. Cortes. (2009). *MANUAL TECNICO DE PALMA DE ACEITE .* SAN PEDRO SULA : TECHNOSERVE .

21. CTE. (2014). *Cartografia Tematica Equipo.* Obtenido de Cartografia Tematica Equipo.: http://cartografiatematicaequipo2.blogspot.com/p/eficacia-sde-los-mapas.html

22. CTN. (2019). *Cursos teledeteccion*. Obtenido de Cursos teledeteccion: https://www.cursosteledeteccion.com/parrot-bluegrass-el-gran-aliado-para-la-agricultura-de-precision/

23. Cuervo, P. L. (1 de Enero de 1990). Diagnóstico tecnológico del cultivo de palma de aceite en Colombia. *Palmas, 11*, 32-36.

24. CyberTracker. (2020). *CyberTracker GPS Field Data Collection System - Home*. Recuperado el 22 de Mayo de 2020, de CyberTracker GPS Field Data Collection System - Home: https://www.cybertracker.org

25. Departamento Nacional de Planeacion . (2018). *Cadena Productiva de productos oleaginosos, grasas y aceite. Estructura, comercial Internacional y Proteccion .* Colombia: DPN.

26. DIBB, D. (2000). the mysteries of nutrient use efficiency. . *Better crops , 84*, 3-5.

27. Dishington, J. M. (2019). Unidos por la sostenibilidad y la eficiencia productiva de la palmicultura colombiana. *Palmas*, 38-43.

28. Doron, N. (12 de Julio de 2019). *Researchgate*. Obtenido de Researchgate: file:///C:/Users/askos/Downloads/Sentinel-2Multi-SpectralInstrumentMSI-Finalassignment.pdf

29. DUARTE, J. J. (2014). *UNAD*. Recuperado el 21 de Mayo de 2020, de UNAD: https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/2643/1/17268275.pdf

30. El Congreso de Colombia. (1994). *LEY 138 DEL 9 DE JUNIO DE 1994 .* Bogota : Fondo Palmero .

31. Emmo, A. J., & Metthews. (1997). *The Potencial for Precision Ferming in Plantation Agriculture .* Oxford : Proc Precision Agriculture 97 (Volumen 1).

32. ESA. (2019). *European Space Agency*. (ESA, Editor, & Copernicus, Productor) Obtenido de European Space Agency: https://esamultimedia.esa.int/multimedia/publications/BR-319/BR319.pdf

33. ESA. (25 de Mayo de 2020). *The European Space Agency*. Obtenido de The European Space Agency: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci/overview

34. ESA. (25 de Mayo de 2020). *The European Space Agency*. Obtenido de The European Space Agency: https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-3-olci/overview

35. ESRI. (2020). *ESRI España*. Obtenido de ESRI España: https://www.esri.com/es-es/store/extensions/arcgis-image-analyst

36. Fairhurs, T. (2016). 41Thomas FairhurstDirector de Tropical Crop Consultants LimitedDirector, Tropical Crop Consultants Limitedtfairhurst@tropcropconsult.comIdentificación y eliminación de las brechas de productividad en el cultivo de la palma de aceite. *Palmas, 37*, 41-52.

37. FEDEPALMA. (2011). *GUIA AMBIENTAL DE LA AGROINDUSTRIA DE LA PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA.* Bogotá : FEDEPALMA.

38. FEDEPALMA. (2016). *Desempeño del sector palmero colombiano.* Bogotá: FEDEPALMA.

39. FEDEPALMA. (2018). Fedepalma celebra con exito sus 55 años de labores. *El Palmicultor* , 8-13.

40. FEDEPALMA. (18 de 2 de 2019). La agroindustria de la palma de aceite en Colombia está comprometida con la sostenibilidad. *El Palmicultor*.

41. FEDEPALMA. (03 de 2020). Boletin Economico. *Palmas*, 1-8.

42. Fernández, L. (2013). Estadística Aplicada a la Ingeniería Agrícola y a las Ciencias Agropecuarias. Su contribución en la docencia, investigación y transferencia de conocimiento. *Ciencias Técnicas Agropecuarias, 22*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542013000200014

43. Fisher, R. (2017). *SAGA GIS 4+.* Australia: Charles Darwin University.

44. Fontal, B. (2005). *El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones .* Merida, Venezuela : Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química .

45. Giraldo, R. (2016). Estudio de firmas espectrales de palmas de aceite afectadas con la Marchitez letal, usando análisis estadísticos de datos funcionales. *Palmas*, 131-139.

46. GRANADOS, C. M. (2010). *EVOLUCIÓN DEL SECTOR PALMICULTOR.* Bucaramanga : UDI.

47. Guzmán, C. L. (10 de Abril de 2019). *Universidad Pontifica Bolivariana*. (G. R. Cañas, Productor) Obtenido de Universidad Pontifica Bolivariana: https://www.upb.edu.co/es/noticias/software-palma-upb-bucaramanga

48. gvSIG. (2015). *MANUAL DE USUARIO gvSIG.* Valencia, España: Creative Commons.

49. Herrera, G. Q. (2009). *http://www.mag.go.c*. Recuperado el 21 de Mayo de 2020, de http://www.mag.go.c: http://www.mag.go.cr/bibioteca_virtual_ciencia/tec_palma.pdf

50. ICA. (2014). *Resolucion 004170 del 2 de Dic del 2014.* Bogota : ICA.

51. IGAC. (2013). *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de Descripción y Corrección de Productos Landsat 8: http://www.un-spider.org/sites/default/files/LDCM-L8.R1.pdf

52. IGAC. (2017). *Tecnologías de la información para la consolidación ambiental y productiva del territorio La Séptima Semana Goemática Internacional.* Bogota D.C: IGAC.

53. IICA. (2014). *Manual de Agricultura de Precision.* Montevideo: IICA.

54. InfoStat. (2008). *Manual del Usuario.* Córdoba: Primera Edición, Editorial Brujas Argentina. .

55. InfoStat. (23 de Mayo de 2017). *InfoStat Software Estadistico*. Obtenido de InfoStat Software Estadistico: https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=34

56. *Interpretación Nacional para Colombia del estandar RSPO-2018 de Principios y Criterios para la Produccion de Palma Sostenible. .* (2018). Bogota- Colombia : Interpretación Nacional Colombiana Para La Consulta Publica .

57. ISO. (2006). *Online Browsing Platform*. Obtenido de Online Browsing Platform: https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es

58. JARS. (1993). *JARS*. Recuperado el 24 de Mayo de 2020, de JARS: http://www.jars1974.net

59. Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduct.* Berlin, Alemania : Springer.

60. Kiang, K. K. (2007). MANEJO INTEGRADO DE LA NUTRICIÓN EN PALMA DE ACEITE . *PALMAS* , 394-411.

61. Koeh. (s.f.). *Elaeis Guineensis Jacq.* Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Elaeis_guineensis

62. Linares, O. L. (Diciembre de 2019). Evaluación de la polinización artificial en el material híbrido OxG (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis). *Palmas, 40*, 96-105.

63. López, J. M. (2018). Aplicación de sensores remotos para análisis del estado vegetativo del cultivo de palma de aceite por medio del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y firmas espectrales mediante fotografías aéreas. *Universidad Militar Nueva Granad*, 4-15.

64. Manrique, D. J. (s.f.). *Fotografias de Palma de Aceite.* Universidad de Cundinamarca, Bogotá.

65. Mattar, W. J. (2011). Estimación de la humedad del suelo a partir de índices de vegetación y microondas pasivas. *Revista de Teledetección* , 62-72.

66. MinTransporte. (27 de Diciembre de 2018). Reglamento Aeronautico de Colombia una disposicion sobre operaciones de sistemas de aeronaves no tripuladas. Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

67. MORALES, B. (2017). *TEORÍA – TELEDETECCIÓN ESPACIAL LANDSAT, SENTINEL-2, ASTER L1T y MODIS* . Huanuco, Peru: Copyright ©.

68. Munévar, F. (2012). 'Criterios agroecológicos útiles en la selección de tierras para nuevas'. *Palmas* , -.

69. NASA. (2013). *Landsat Data continuity Mission.* Reston va: USGS.

70. NASA. (2019). *Landsat Science*. Obtenido de Landsat Science: https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/

71. Niño, P. A.-J. (2017). *"Diseño de un modelo de agricultura de precisión utilizando drones y un sistema de captura, almacenamiento y análisis de datos que permita identificar a tiempo la generación de la pudrición del cogollo en cultivos de palma de aceite que se encuentran en l.* Bogotá: UNIVERSIDAD DISTRITAL – FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

72. Noor, N. M. (2016). El uso de sensores remotos para detectar la infección por Ganoderma. *Palmas*, 140-149.

73. Noor, N. M. (2016). El uso de sensores remotos para detectar la infección por Ganoderma*. *Palmas, 37*, 140-150.

74. Oberthür, T. (2016). Inteligencia de Plantaciones de palma de aceite: análisis de datos de producción para la toma de decisiones agronómicas efectivas y el manejo de fertilizantes. *Palmas, 37*, 235-242.

75. Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica.* España : Creative Common.

76. ONU. (16 de Mayo de 2016). *Departamento de Asuntos Economicos y Sociales.* (ONU, Ed.) Recuperado el 24 de Abril de 2020, de Departamento de Asuntos Economicos y Sociales: https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html

77. Perdomo, N. Á. (2019). *Universidad Nacional.* Obtenido de Universidad Nacional: http://bdigital.unal.edu.co/74446/1/1121871519.2019.pdf

78. Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *IDESIA*, 75-84.

79. PINTEREST. (2018). *PINTEREST*. Obtenido de PINTEREST: https://co.pinterest.com/pin/124904589650993575/

80. Pix4D. (2020). *Pix4D*. Obtenido de Pix4D: https://www.pix4d.com/es/industria/agricultura

81. Pucha, F. (2017). *Fundamentos de SIG.* Sevilla, España: Ediloja Cia. Ltda.

82. QGIS. (2020). *QGIS*. Obtenido de QGIS: https://www.qgis.org/es/site/about/index.html

83. R Development Core Team. (2000). *Notas sobre R: Un entorno de programaci´on para An´alisis de Datos y Gr´aficos.* Development Core Team.

84. Restrepo, F. (2016). Tecnología móvil y software para visualizar las labores en campo y la fuerza laboral en plantaciones de palma de aceite. *Palmas*, 298-304.

85. Reymondin, L. (23 de 08 de 2011). *Terra- i*. (T. i, Editor) Recuperado el 26 de 08 de 2020, de Terra- i: http://www.terra-i.org/es/news/news/The-benefits-of-MODIS.html#:~:text=El%20sensor%20MODIS%20(Moderate%20Resolution,Observing%20System%2C%20de%20la%20NASA.

86. Rienzo., J. A. (2005). *Estadistica para las Ciencias Agropecuarias .* Cordoba, Argentina: Argentina.

87. Robert. (1999). *Precision Agriculture: Research needs and status in the USA.* London, United Kingdom: Society of chemical Industry.

88. Rodriguez, A. S. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite.* Bogotá: CENIPALMA.

89. Romero, V. R.-A. (2015). Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución. *Palmas*, 25-41.

90. RSPO. (2018). *Principios, Criterios e Indicadores de la RSPO.* Malasia . Obtenido de https://rspo.org/principles-and-criteria-review

91. SAGA. (2019). *System for Automated Geoscientific Analyses*. Recuperado el 7 de Junio de 2020, de System for Automated Geoscientific Analyses: http://www.saga-gis.org/en/index.html

92. *Samuel Eduardo Lozano Mayorga-Carlos Andrés Torres Forero.* (2019). Fusagasuga : UDEC. Obtenido de http://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2937/FINAL_AG.pdf?sequence=1&isAllowed=y

93. Sánchez, L. (2012). *Proyectocirculos*. Recuperado el 23 de Mayo de 2020, de Proyectocirculos: https://proyectocirculos.files.wordpress.com/2013/11/software.pdf

94. SAS. (2009). *CURSO DE INTRODUCCIÓN A LA CURSO DE INTRODUCCIÓN A LA .* Madrid: U.C.M.

95. Sectorial. (02 de Junio de 2020). *Analisis, Monitoreo y Evaluacion de Sectores*. Obtenido de Analisis, Monitoreo y Evaluacion de Sectores: https://www.sectorial.co/informativa-aceites-y-grasas/item/326765-el-aporte-de-la-palma-de-aceite-a-la-economía-colombiana

96. Servicio Geológico Mexicano. (22 de Marzo de 2017). *Museo virtual Mexico*. Recuperado el 23 de Mayo de 2020, de Museo virtual Mexico: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html

97. Shafri, H. Z. (2019). "Métodos de inteligencia artificial (IA) para aplicaciones de teledetección de palma de aceite". (CENIPALMA, Ed.) *Palmas, 40*, 185-193.

98. SINC. (2017). *Agenciasinc*. Obtenido de Agenciasinc: https://www.agenciasinc.es/tag/Sentinel-2B

99. SISPA. (1 de Noviembre de 2019). *sispa.fedepalma.org/sispawed/default.aspx?control=pages/area.* Obtenido de sispa.fedepalma.org/sispawed/default.aspx?control=pages/area: http://sispa.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas

100. USDA. (12 de 2019). *United States Department of Agriculture* . (USDA, Editor, & F. F. Service, Productor) Recuperado el 21 de Mayo de 2020, de United States Department of Agriculture: https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=4243000&sel_year=2019

101. USGS. (2019). *Science for a Chaminging World*. Recuperado el 25 de Mayo de 2020, de Science for a Chaminging World: https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat

102. Valek, V. B. (2001). Satélites Artificiales. *Guía del maestro., 32*, 30.

103. Woittiez, L. S. (Marzo de 2018). Brechas de rendimiento en el cultivo de palma de aceite: una revisión cuantitativa de factores determinantes. *Palmas*, 16-68.