

# Identificación de individuos con afectación fitosanitaria dentro de un cultivo de palma mediante el uso de fotogrametría con drones

Javier Mauricio Agudelo Duarte<sup>1</sup>  
javier.agudelo01@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de ingeniería civil

## **Resumen**

La fotogrametría es el arte de medir sobre fotografías, y en los últimos años ha tomado mucha relevancia en la ingeniería. por el ahorro y maximización de tiempo al momento de desarrollar proyectos. Uno de los renglones más importantes de la economía en el departamento del meta y especialmente Acacias, es el cultivo de la palma que proporciona al país productos como aceite diésel y derivados para el consumo nacional e internacional, pero a nivel de cultivo las enfermedades como pudrición de cogollo de palma sorpresiva, anillo Rojo, (Villanueva, AyA1988) Son de vital importancia y generan pérdidas en las producciones llegando casi al 80% en lotes atacados. (Benites Mr2010) Teniendo en cuenta la agresividad de estas enfermedades y su rápido desarrollo en el cultivo y con el fin de maximizar tiempo, se emplea la fotogrametría con drones como herramienta tecnológica para detectar síntomas en la fisiología de la planta como es color y filotaxis de las hojas, pudiendo de esta manera ahorrar tiempo en inspecciones físicas planta a planta y poder tomar medidas tempranas y eficaces para el control de dichas enfermedades

**Palabras Clave:** control, economía, enfermedades, cultivo

## **Abstract**

Photogrammetry is the art of measuring photographs, and in recent years it has become very relevant in Engineering due to the saving and maximization of time when developing projects. One of the most important regions of the economy in the department of Meta and especially acacias, is the cultivation of palm that provides the country with products such as diesel oil and derivatives for national and international consumption, but at the cultivation level, diseases such as but rot. , lethal withers, surprise withers, Red ring. They are of vital importance and generate losses in production reaching almost 80% in attacked lots. Taking into account the aggressiveness of these diseases and their rapid development in the crop and in order to maximize time, photogrammetry with drones is used as a technological tool to detect symptoms in the physiology of the plant such as color and phyllotaxis of the leaves, In this way, we can save time in physical inspections plant by plant and be able to take early and effective measures to control these diseases.

**Keywords:** control, economy, diseases, losses, cultivation

## 1. INTRODUCCION

Los drones son naves aéreas no tripuladas que en los últimos años han tomado mucha relevancia en todas las ramas y disciplinas laborales en el mundo, incluyendo la agricultura, destacándose en la mayoría de sus labores, siendo la fotogrametría uno de los insumos más importantes para poder realizar topografía, curvas de nivel y la fotointerpretación de síntomas de enfermedades

El cultivo de la palma en los llanos orientales constituye uno de los renglones de la economía agrícola, más importante, llegando a ocupar el primer puesto en esta actividad;(Fedepalma) una de las limitantes de este cultivo son las enfermedades que llegan a tener una importancia económica muy relevante, como son el PC (Pudrición de Cogollo), Marchités sorpresiva, Marchités letal, anillo rojo, etc. En la actualidad el monitoreo y revisión de estas enfermedades se hace de manera física en el lote planta a planta (Calvache 1995) llevando a demoras que amplian el grado de enfermedad y dispersion en los lotes. Poder determinar la sintomatología a tiempo y tomar medidas para el tratamiento y mejoramiento fitosanitario del cultivo se ha convertido en el reto para los investigadores,

la importancia de los drones mediante la fotogrametría, permite detectar mediante imágenes aéreas determinar mediante color y forma, enfermedades en el cultivo de la palma (A González, G Amarillo, M Amarillo... - Publicaciones e ..., 2016 - hemeroteca.unad.edu.co) de una forma más rápida y eficiente.

El Objetivo de este trabajo es poder identificar mediante fotogrametría con drones síntomas en las hojas que nos permitan analizar grado de la enfermedad y cambios morfológicos en las plantas A Sánchez - Palmas, 1990 - publicaciones.fedepalma.org

## 1.1 OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL

Identificar los individuos con afectación fitosanitaria dentro de un cultivo de palma, mediante el uso de fotogrametría con drones.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Reconocer de manera visual las enfermedades presentes en las hojas estableciendo su relación con el color y ubicación de esta.
- Identificar patrones de alteración de forma, en la filotaxis de las hojas, de cada una de las plantas, ubicada en el estípote de palma identificada con enfermedad. (Hormanza Martínez P.A Forero Hernández D; C Ruiz Romero y Romero Angulo H:M 2010)
- Determinar afectación en la anatomía de las palmas.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad los tiempos en la identificación de enfermedades, de manera directa, en el cultivo de la palma de aceite, son uno de los limitantes en el manejo y control de enfermedades de importancia económica, generando pérdidas económicas importantes. (Intagri S:C)

La Marchites letal, La Marchites sorpresiva, Pudrición de Cogollo, Anillo rojo son enfermedades de tipo vascular(se trastocan por los haces vasculares de la raíz ala estípote, (Martínez G y Torrez G 2007) generando pérdida importante en la zona foliar de la misma llegando a afectar hasta el 100 % de la planta, siendo la erradicación total la mejor alternativa generando pérdidas económicas relevantes al agricultor, estas enfermedades se ubican en la zona baja media y superior de las hojas y estípote, siendo de fácil observación e identificación en plantas con edades inferiores a los 7 años(Ponguillo López y Romero2021), es necesaria la oportuna identificación de las plantas enfermas y generar una alerta temprana que permita tomar correctivos para el manejo fitosanitario de la misma y minimizar su importancia económica.

**Figura 1 Planta enferma**



**Fuente:** Síntomas iniciales de PC (Fotografías Gabriel Enríquez, 2010 y M. Ramírez. Bayer CropScience - Colombia)

**Nombre común:** (PC)

**Patógeno:** phitoptora Palmivora. ( Drenth A.2013)

**Vector:** Hongo

**Sintoma:** Amarillamiento de lo hoja flecha o bandera

**Figura 2 Planta enferma**



**Fuente:** imagen que representa una planta enferma, tomado de Imagen cenipalma, <https://www.cenipalma.org>

**Nombre común:** ML

**Vector:** Haplaxius crudus (saltador de las hojas)

**Síntomas:** Se expresan en todas las hojas sin seguir un patrón definido ni uniforme

Este tipo de enfermedades por encontrarse atacando los haces vasculares de las plantas producen un daño sistémico que se ve reflejado en las hojas que se encuentran ubicadas en el estípote de la misma, causando síntomas que se manifiestan en la tonalidad de las hojas y que afectan la producción hasta el 80 %, el control de estas enfermedades es la erradicación, que para un cultivo perenne que produce durante 25 años es de mucha importancia en un proceso productivo.

Los controles fitosanitarios en la palma de aceite se realizan por inspección visual palma a palma, en cada lote (Calvache, 1995) esto con el fin de detectar infestaciones iniciales. En el área de sanidad de las plantaciones de palma de aceite se cuenta con un grupo de profesionales y técnicos con conocimiento para identificar estos síntomas ,pero esta identificación suele ser muy tardía en algunos casos debido a que son visitas insitu y que requieren inspecciones en las partes áreas de la planta y que para este caso es la estípote, la cual se ubica en la parte superior de la planta haciendo más difícil su inspección, es por eso, que si se mejora en tiempo el proceso de observación de estas áreas de la planta se reducirán las pérdidas económicas en el cultivo ayudando a minimizar gastos.

## 2. MARCO TEORICO

La fotogrametría con drones es una herramienta que en los últimos años ha tomado relevancia en las ingenierías ya que su aplicación reduce tiempos y mejora la toma de decisiones y brinda un alto apoyo para las idealizaciones a las que se esperar llegar, donde permite no quedarse en lo básico o lo que se mira a simple vista.

Una de las ramas que se ha visto más beneficiadas es la agricultura, ya que poder detectar enfermedades mediante imágenes a diferentes alturas permite abarcar más áreas de estudio y supervisión, ahorrando tiempo y permitiendo mayor organización al momento de manejos en los cultivos (PA Medina García, JC Niño López - repository.udistrital.edu.co.)

### 2.1. INFORMACION GENERAL SOBRE DRONES

Regulación drones en Colombia dado por el RAC91 y en la actualidad el RAC 101 la cual nos permite establecer las normas de funcionalidad de los drones en Colombia, y el perfil que debe tener un piloto de drones y las exigencias de la OACI en cuanto la responsabilidad en garantizar la seguridad aérea y su integración con los UAS también es importante clasificar las clases de vuelos que son recreativos y comercial, (Javi2023) este último es en el que nos ubicamos como pilotos de drones para la agricultura

Es importante saber que se debe y no hacer con los drones comerciales.

A continuación, se nombra algunas de las limitaciones, según el RAC 91, que tienen las operaciones drones, en Colombia y se debe tener en cuenta para no infringir mandatos de la Aerocivil al volar en el cielo colombiano. (Luna2023,9 agosto)

Se debe volar en operación diurna o nocturna bajo reglas de vuelo por Instrumentos.

- Los drones deben tener un peso NO superior a 25 Kg.
- NO debe volar sobre áreas congestionadas, edificaciones o directamente sobre aglomeraciones de personas.
- Debemos volar una altura superior a 500 pies (152 metros aproximadamente) sobre el terreno o sobre agua.
- La distancia máxima que se puede alejar el dron del operador o del lugar de despegue son 750 metros horizontalmente.
- NO debe volar en zona restringidas o prohibidas del espacio aéreo como: instalaciones militares, policiales o centros carcelarios.
- NO debe volar en un radio de 1.8km de cualquier lugar en el que se encuentre el presidente, vicepresidente u otras autoridades nacionales o extranjeras.
- NO se pueden transportar animales.
- NO se puede arrojar objetos desde el aire.
- NO se pueden realizar operaciones autónomas con los drones.
- NO se puede transportar drogas o sustancias psicoactivas prohibidas.
- Ninguna persona puede operar un dron desde un vehículo en movimiento.

Uno de los requisitos especiales para volar de forma legal en Colombia es contar con una certificación que garantice que se es piloto profesional de drones de una institución aprobada por la Aeronáutica Civil. Esta certificación la obtienes al capacitarte en las siguientes áreas:

- Regulación aérea.
- Aerodinámicas y principios de vuelo.
- Meteorología y aeronáutica
- Navegación.
- Comunicaciones aeronáuticas
- Sistemas de gestión de seguridad operacional
- Conocimiento de la aeronave a operar.

## 2.2. AGRICULTURA DE PRECISION Y DRONES

En la agricultura de precisión, la función primordial de los drones consiste en recoger información acerca del cultivo. Estos aparatos sobrevuelan el área determinada de forma autónoma, (a rodríguez, m xiolesmy - 2017 - bvirtual.infoagro.hn) utilizando sistemas de posicionamiento global (GPS). Están contruidos para volar grandes extensiones y resistir a condiciones climáticas variables de lluvia y viento (PrecisionHawk). Dentro sus interiores llevan sofisticadas cámaras y sensores que van recolectando la información deseada del cultivo.

Al terminar su tarea, ellos mismos aterrizan de forma segura y la información recogida se pasa a un computador que tiene un software especializado para leer e interpretar los datos (PrecisionHawk). Dependiendo de la necesidad del agricultor, existen diversas cámaras y sensores que cumplen con los distintos requerimientos de información (PrecisionHawk).

El sensor visual es más sencillo y permite recoger Información acerca de las inclinaciones naturales del terreno para, por ejemplo, diseñar sistemas de riego y drenaje Este sensor también recopila información sobre las alturas de las plantas para analizar su crecimiento e incluso llega al detalle de poder contar el número de plantas presentes en un cultivo. Con el sensor multiespectral se puede detectar la radiación electromagnética reflejada por las plantas y que el ojo humano no es capaz de captar infrarrojos indican cambios en la vegetación mucho antes

Información acerca de las inclinaciones naturales del terreno para, por ejemplo, diseñar sistemas de riego y drenaje. Este sensor también recopila información sobre las alturas de las plantas para analizar su crecimiento e incluso llega al detalle de poder contar el número de plantas presentes en un cultivo. Con el sensor multiespectral se puede detectar la radiación

electromagnética reflejada por las plantas y que el ojo humano no es capaz de captar.

Las variaciones infrarrojas indican cambios en la vegetación mucho antes de que estos se manifiesten físicamente. Los agricultores utilizan estos datos para saber que plantas están bajo estrés hídrico, controlar su crecimiento, medir el nivel de clorofila, determinar si tienen alguna deficiencia nutricional y diagnosticar plagas y enfermedades (8 Camera). Existen otros sensores especializados que son capaces hasta de descifrar la composición minera de las superficies analizadas.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

#### 3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

Primarias:

**DRON MAVIC 2 PRO**

**Figura 3 Dron mavic2 pro**



**Fuente:** imagen que presenta el DRON MAVIC 2 PRO, tomada en internet <https://www.aeroscantech.com/es/product/dron-mavic-2-pro/>

**Características:**

- Cámara Hasselblad L1D-20c
- Ultra calidad de imagen
- Sensor CMOS de 1" y 20 MP
- Apertura ajustable f2.8 – f11
- Perfil de color Dlog-M de 10 bits
- Vídeo HDR 10 bits
- Dron con cámara 5 k y 48 megapíxeles adecuado para poder tomar fotografías con la resolución necesaria para detallar y realizar este trabajo

#### 3.2. VUELO

Para el plan de vuelo se utilizó la idoneidad de un piloto de drones certificado por la Aerocivil con experticia certificada en fotogrametría, la aplicación Dron Harmony con las siguientes características

- Vuelo realizado a doble grilla
- Alturas: se realizará 80 mts
- Overlap: 85-80
- Hora de Vuelo: entre 8 y 10 am

#### 3.3. PREPROCESAMIENTO

Para este caso se utilizará el software (Open dron map) uno de muchos posts procesadores que se utilizan, el cual nos

debe arrojar una orto foto georreferenciada y un informe del levantamiento fotogramétrico.

### 3.4. POST PROCESAMIENTO

Para este caso se utilizará el software Qgis para poder georreferenciar las plantas con enfermedad, las cuales se individualizarán utilizando técnicas de fotointerpretación para determinar colores en las hojas, alteraciones en su morfología y cambios.

### 3.5. PRODUCTOS FINALES

Cartografía donde se en cuentren información de Las plantas enfermas identificando tonos que demuestren enfermedad, cambios en la morfología de la hoja y grado de afectación .

### 3.6. METODOLOGIA

Se utilizó metodología cuantitativa donde se pudo contar plantas totales, plantas enfermas y plantas sanas, y cualitativa y a su vez establecer hacer diferenciación por tonalidades y colores se considera una metodología mixta, porque tiene los 2 componentes.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Predio: Bernardina

**Vereda** La Esmeralda

**Municipio:** Acacias

**Departamento:** Meta

Figura 4 Poligono del igac



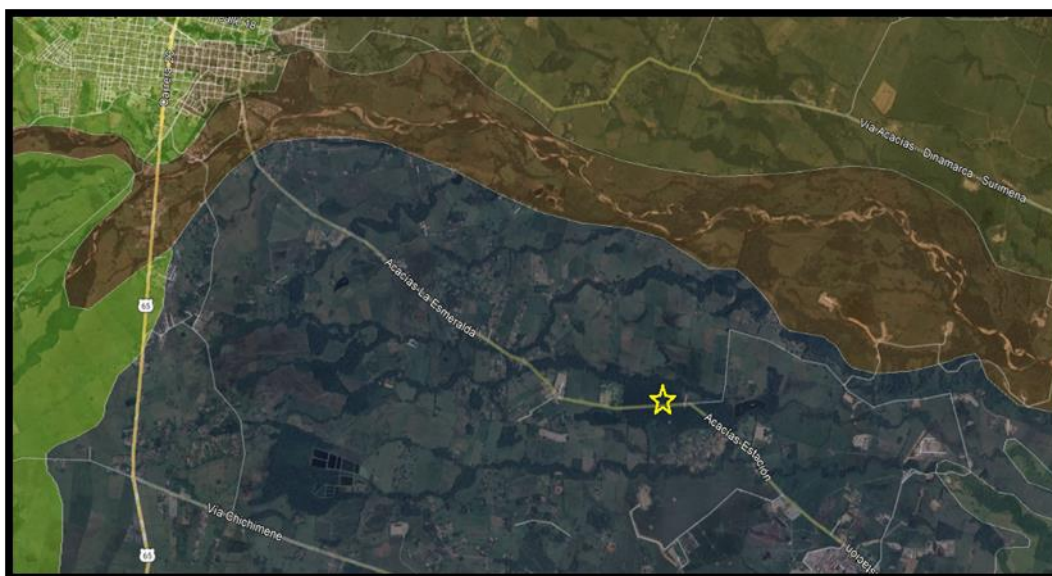
Fuente: <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>

**Figura 5 Cultivo palma google earth**



**Fuente:** representa la ubicación del cultivo de palma por medio de google earth, tomada de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/>

**Figura 6 Clase agrologica y recomendaciones agrícolas**



**Fuente:** representa la localización agrologica por medio de google earth, tomada de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/>

Figura 7 Descripción clase agrologica

UCS_CP	Vis-1
CLASE	VI
SUBCLASE	s
GRUPO_MANE	1
PRINCIPALE	Los suelos profundos, bien drenados, texturas moderadamente finas, muy fuertemente ácidos, alta saturación con aluminio y fertilidad muy baja
PRINCIPA_1	Las limitaciones de uso más severas son: saturación con aluminio mayor de 60% y fertilidad muy baja, difícilmente corregible
USOS_RECOM	La unidad es apta para ganadería extensiva con pastos introducidos como el braquiaria, asociado con actividades de agroforestería (frutales, caucho, pino, eucalipto)
PRACTICAS_	Las prácticas recomendadas son: introducción de especies resistentes a la acidez fuerte, mejorar las praderas, rotar potreros, establecer cercas vivas, construir jagueyes y proteger las fuentes de agua
ÁREA_ha	13666.5
UCS_F	PVAa
Shape_Leng	104907
Shape_Area	1.36665e+08

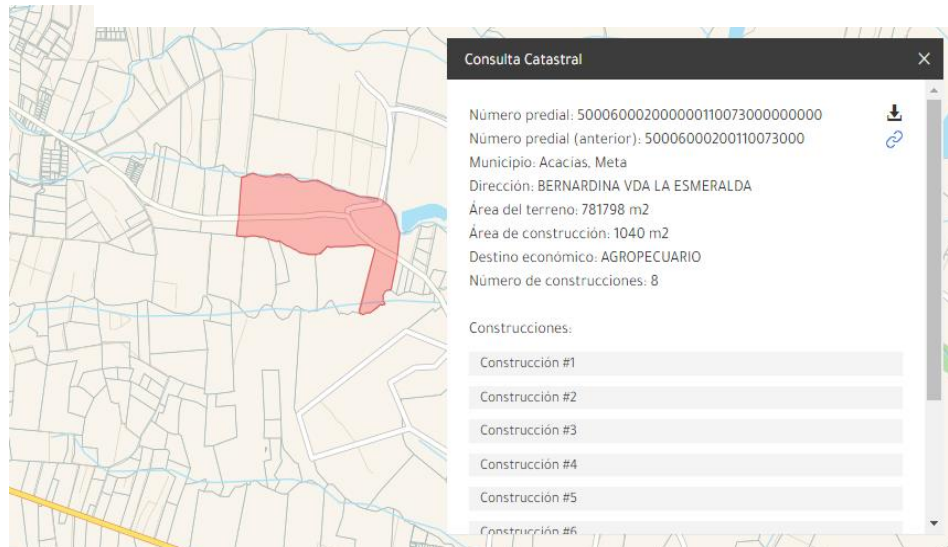
**Fuente:** ficha técnica de la clase agrologica, imagen adaptada de internet (Shape Igac)

Se observa una clase agrologica 4, son suelos profundos bien drenados con grado de saturación de aluminio elevado y acides ocasionada por hierro alta, se recomiendan cultivos agroforestales y con tolerancia ala acides como es el caso del cultivo de la palma con algunas prácticas de manejo.

#### 4.2. PROGRAMACION DE VUELO

Para la programación del vuelo y luego de haber ubicado el predio y descargado el polígono de la plataforma del igac en formato json se procede a ubicar el predio en la plataforma google earth

Figura 8 Polígono del igac



**Fuente:** elaboración propia

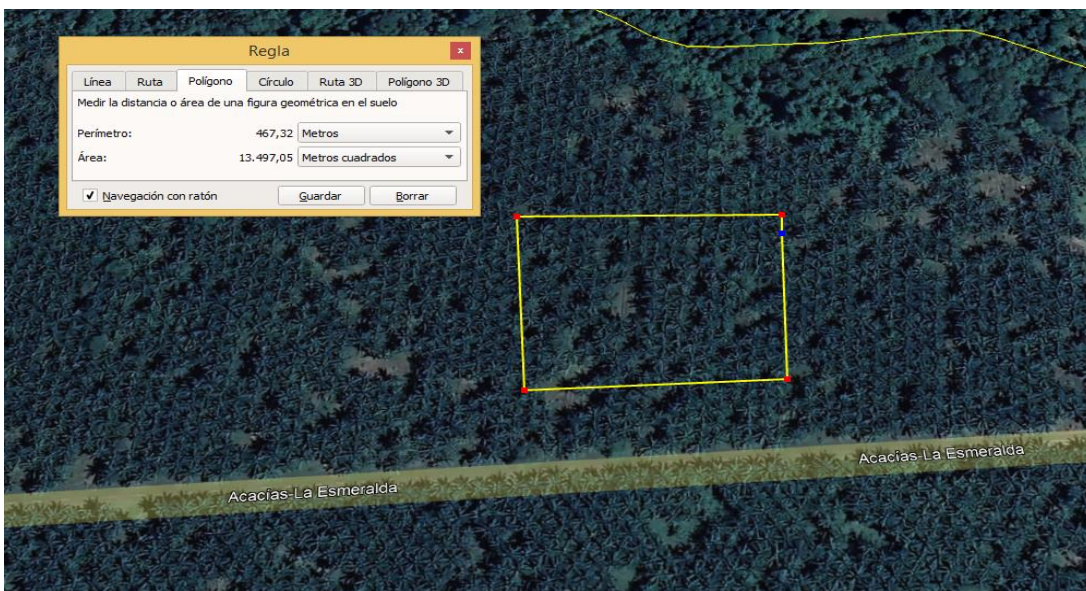
**Figura 9** Polígono igac



**Fuente:** Localización de terreno en Acacias Meta, por medio de google earth, tomada de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/>

Dentro del polígono del predio, mediante la herramienta (regla) de la plataforma Google earth se realizó un polígono de aproximadamente 1 ha y es convertido a formato kmz para poder ser utilizado en el software Dron Harmony

**Figura 10** Polígono a analizar



**Fuente:** terreno vía Acacias – esmeralda, por medio de google earth, tomada de <https://www.google.com/intl/es-419/earth/about/>

### 4.3. NORMATIVIDAD

**Dron:** Registrado por la Aero civil y afiliado a una empresa explotadora de drones

**Software:** Con licencia o licencia gratuita

### 4.4. PROGRAMACION DE VUELO

Se programa el vuelo con las siguientes características

**Software:** Dron Harmony

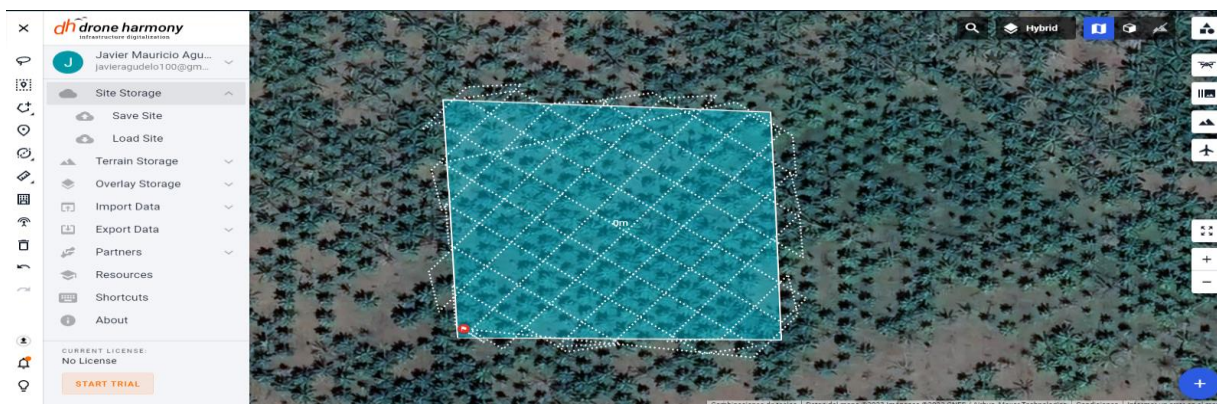
**Altura De Vuelo:** 80 Mt

**Overlap:** 85-80

**Velocidad:** 6 Pies por Segundo

**Dron:** Mavic 2 Pro

Figura 11 Plan de vuelo dron harmony

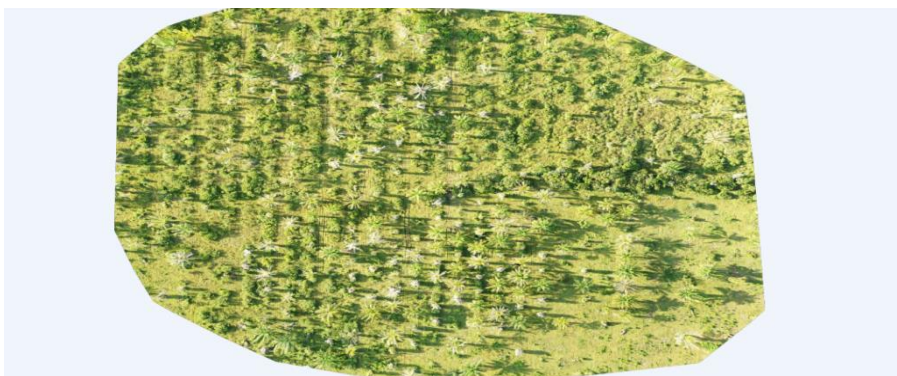


Fuente: elaboración propia con dron Harmony

### 4.5. PROCESAMIENTO DE ORTO MOSAICO

Se realizó con el software gratuito OPEN DRON MAP arrojando el siguiente resultado

Figura 12 Orto mosaico



Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

**Figura 13 Ortomosaico**



**Fuente:** elaboración propia, sistema gratuito

**Figura 14 cultivo de palma**



**Fuente:** elaboración propia, sistema gratuito

Figura 15 Toma aérea cultivo de palma

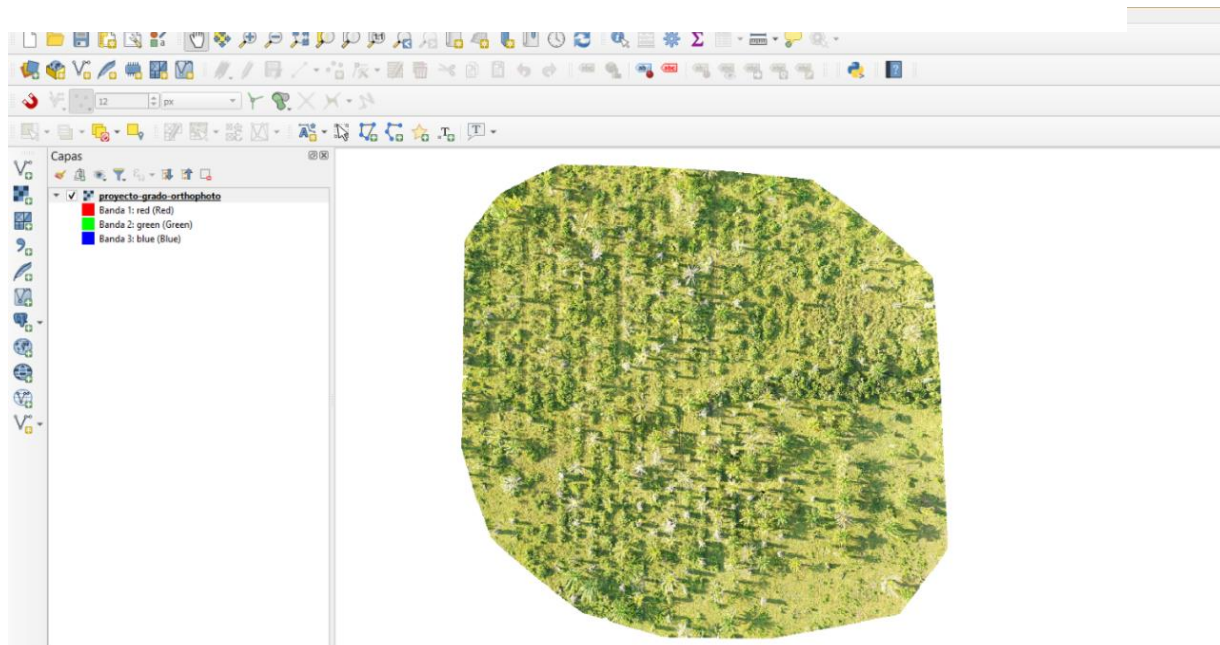


Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

#### 4.6. POSTPROCESAMIENTO DE LA ORTOFOTO Y ANALISIS

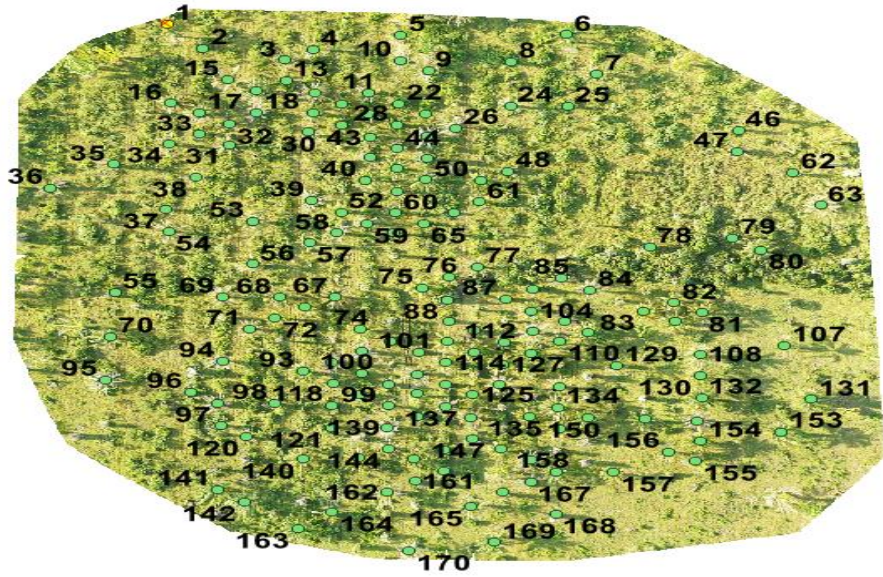
Se utilizó el software gratuito QGIS para poder realizar inventario general de plantas en el polígono

Figura 16 Pos proceso qgis



Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

Figura 17 Inventario y puntaje de plantas en general 170 plantas



Se realizó un inventario general de palmas, dentro de las cuales se encontraban plantas enfermas y no enfermas

Figura 18 Acercamiento inventario palmas

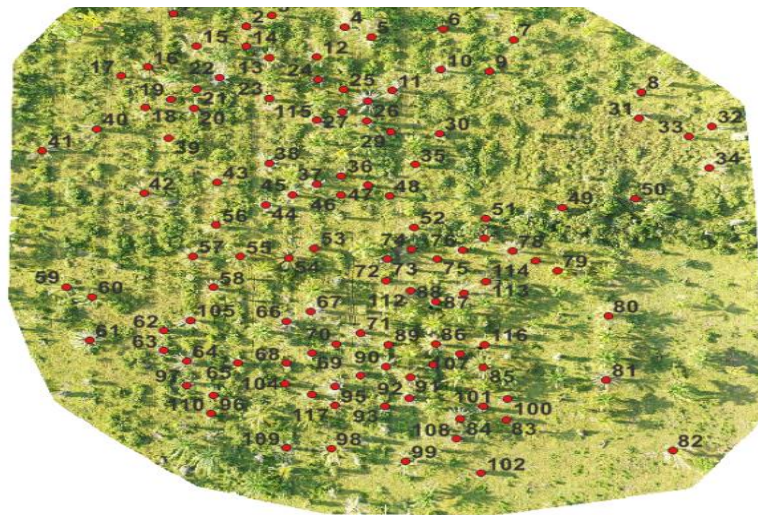


Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

#### 4.7. ANALISIS FOTOGRAMETRICO

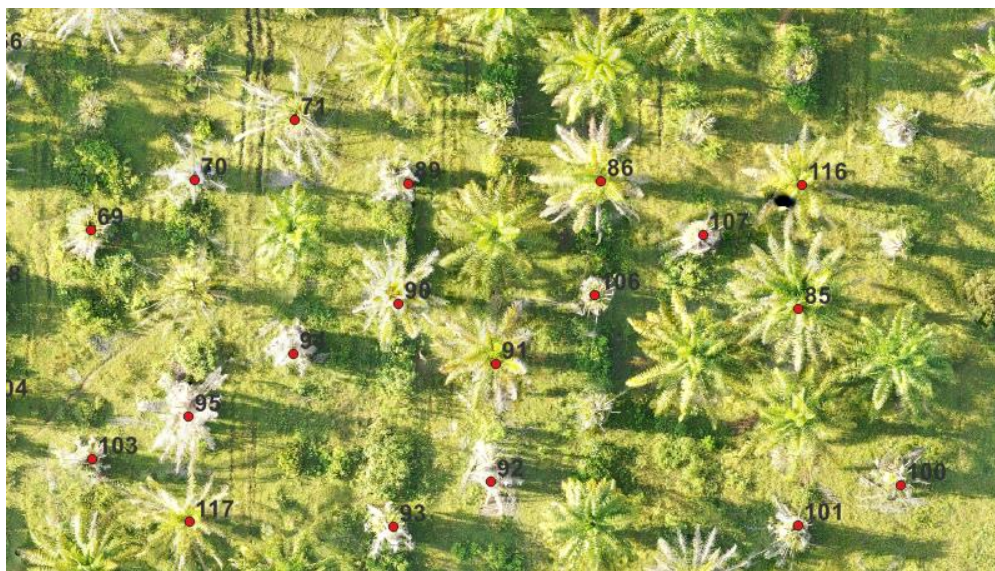
Luego de realizar el post proceso fotogramétricos se procedió a clasificar las plantas de acuerdo con el color y tono de sus hojas, las plantas con tono blancuzco (plantas enfermas), plantas con foliolos verdes (plantas sanas) se procedió a puntuar y numerar las plantas enfermas en color rojo arrojando 140 plantas enfermas

Figura 19 Inventario plantas enfermas



Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

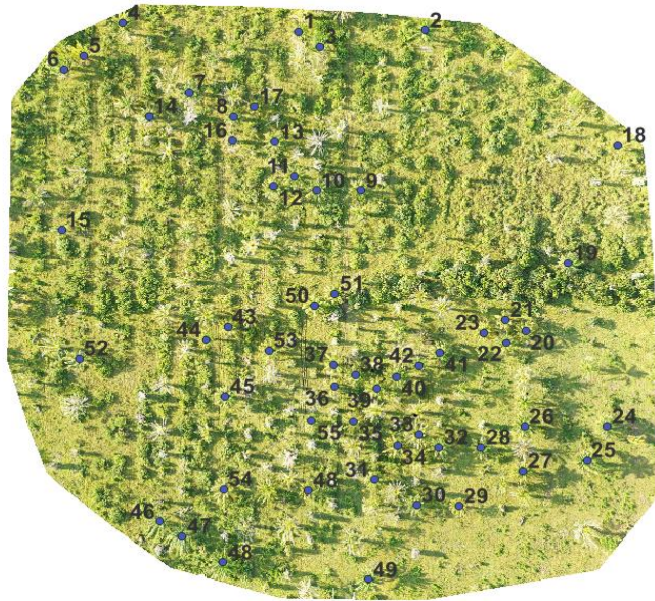
Figura 20 Acercamiento plantas enfermas



Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

#### 4.8. PLANTAS SANAS

Figura 21 Plantas sanas



Fuente: elaboración propia, sistema gratuito

Figura 22 Acercamiento plantas sanas.



4.9El análisis fotogramétrico arroja una cantidad de 30 plantas sanas

### 4.9 ANALISIS ESTADO DEL CULTIVO

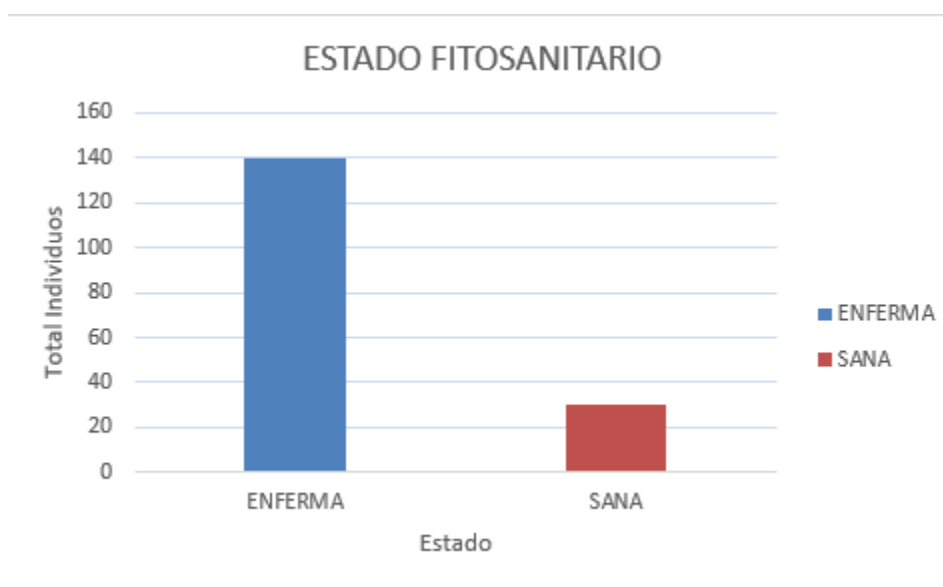
INDIVIDUO	COORDENADA ESTE	COORDENADA NORTE	ESTADO FITO SANITARIO	GRADO DE AFECTACION	CAMBIO MORFOLOGICO DE LA HOJA	ZONA AFECTADA DE LA PLANTA
1	1053484,01	925520,059	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
2	1053507,522	925514,568	ENFERMA	ALTA	SI	HOJA
3	1053515,675	925519,487	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
4	1053539,187	925514,387	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
5	1053547,623	925510,084	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
6	1053570,657	925513,377	SANA			HOJA
7	1053593,584	925508,765	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
8	1053634,348	925485,983	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
9	1053585,762	925495,209	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
10	1053570,052	925495,666	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
11	1053554,477	925486,754	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
12	1053530,293	925501,516	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
13	1053514,776	925500,85	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
14	1053507,512	925505,932	SANA		NO	HOJA
15	1053491,704	925506,047	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
16	1053475,788	925496,941	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
17	1053467,294	925493,096	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
18	1053475,086	925479,718	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
19	1053483,238	925483,125	SANA			HOJA
20	1053490,845	925479,115	SANA			HOJA
21	1053491,635	925487,507	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
22	1053499,056	925492,378	SANA			HOJA
23	1053514,757	925483,48	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
24	1053530,672	925491,562	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
25	1053538,767	925487,259	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
26	1053546,47	925482,177	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
27	1053538,463	925477,501	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
28	1053546,168	925473,687	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
29	1053554,067	925468,799	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
30	1053569,387	925468,197	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
31	1053633,702	925474,859	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
32	1053657,118	925471,321	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
33	1053649,697	925466,84	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
34	1053656,122	925453,171	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
35	1053561,566	925454,739	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
36	1053537,945	925449,886	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
37	1053530,135	925446,382	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
38	1053514,726	925455,376	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
39	1053482,536	925466,146	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
40	1053459,462	925470,367	SANA			HOJA
41	1053441,935	925461,019	SANA			HOJA
42	1053474,508	925442,442	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
43	1053498,03	925447,051	SANA			HOJA
44	1053513,682	925437,52	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
45	1053522,274	925441,706	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
46	1053538,082	925441,494	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
47	1053546,382	925445,778	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
48	1053553,354	925441,379	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA

49	1053608,873	925436,049	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
50	1053632,492	925439,926	SANA			HOJA
51	1053584,472	925431,391	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
52	1053561,243	925427,709	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
53	1053529,323	925418,669	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
54	1053521,219	925414,482	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
55	1053505,411	925414,987	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
56	1053497,717	925428,657	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
57	1053490,189	925415,101	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
58	1053497,005	925401,725	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
59	1053449,579	925401,972	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
60	1053457,869	925397,572	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
61	1053456,97	925378,837	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
62	1053481,029	925383,007	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
63	1053480,873	925374,371	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
64	1053488,382	925369,776	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
65	1053504,483	925369,124	ENFERMA	ALTA	SI	HOJA
66	1053520,408	925387,013	SANA			HOJA
67	1053528,22	925391,298	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
68	1053520,291	925368,862	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
69	1053528,298	925373,342	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
70	1053536,401	925377,237	SANA			HOJA
71	1053544,213	925381,912	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
72	1053552,289	925404,543	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
73	1053552,543	925413,715	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
74	1053560,647	925418,293	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
75	1053568,644	925413,99	SANA			HOJA
76	1053576,845	925417,787	SANA			HOJA
77	1053584,072	925422,658	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
78	1053593,044	925417,281	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
79	1053607,184	925408,678	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
80	1053623,556	925389,144	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
81	1053622,94	925361,431	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
82	1053644,18	925330,961	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
83	1053590,719	925344,487	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
84	1053576,082	925344,698	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
85	1053583,523	925367,134	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
86	1053568,116	925377,104	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
87	1053577,118	925399,148	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
88	1053568,331	925395,45	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
89	1053553,088	925376,926	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
90	1053552,297	925367,559	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
91	1053559,903	925362,866	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
92	1053559,503	925353,694	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
93	1053551,887	925350,189	SANA			HOJA
94	1053544,095	925363,664	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
95	1053535,893	925358,794	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
96	1053496,856	925355,129	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
97	1053488,273	925359,432	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
98	1053534,497	925331,863	SANA			HOJA
99	1053558,497	925326,567	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
100	1053591,461	925353,366	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA

101	1053583,456	925350,252	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
102	1053582,643	925321,173	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
103	1053528,327	925355,485	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
104	1053519,744	925359,983	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
105	1053489,426	925387,437	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
106	1053567,569	925368,225	SANA			HOJA
107	1053576,064	925372,9	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
108	1053574,853	925336,014	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
109	1053520,055	925332,22	SANA			HOJA
110	1053495,969	925347,031	SANA			HOJA
111	1053560,237	925400,045	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
112	1053584,247	925404,215	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
113	1053600,163	925413,077	SANA			HOJA
114	1053530,262	925473,851	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
115	1053583,826	925376,794	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
116	1053535,933	925350,548	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
117	1053539,593	925525,734	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
118	1053586,238	925526,268	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
119	1053547,296	925519,968	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
120	1053459,955	925516,356	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
121	1053452,435	925510,997	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
122	1053498,875	925501,871	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
123	1053515,161	925492,485	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
124	1053562,359	925463,451	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
125	1053545,867	925463,469	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
126	1053537,969	925469,04	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
127	1053530,158	925465,047	SANA			HOJA
128	1053530,373	925482,563	SANA			HOJA
129	1053483,788	925492,568	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
130	1053451,39	925448,057	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
131	1053514,638	925483,044	SANA			HOJA
132	1053522,923	925496,331	SANA			HOJA
133	1053657,473	925481,057	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
134	1053639,369	925434,92	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
135	1053623,483	925408,297	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
136	1053615,828	925412,892	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
137	1053616,306	925403,914	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
138	1053608,113	925407,875	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
139	1053653,595	925371,134	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
140	1053646,067	925357,773	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
141	1053623,052	925371,168	SANA			HOJA
142	1053622,544	925353,506	SANA			HOJA
143	1053606,844	925362,793	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
144	1053598,621	925339,773	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
145	1053582,911	925340,278	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
146	1053567,309	925350,249	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
147	1053591,328	925363,005	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
148	1053583,82	925367,893	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
149	1053575,813	925363,608	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
150	1053559,722	925372,994	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA

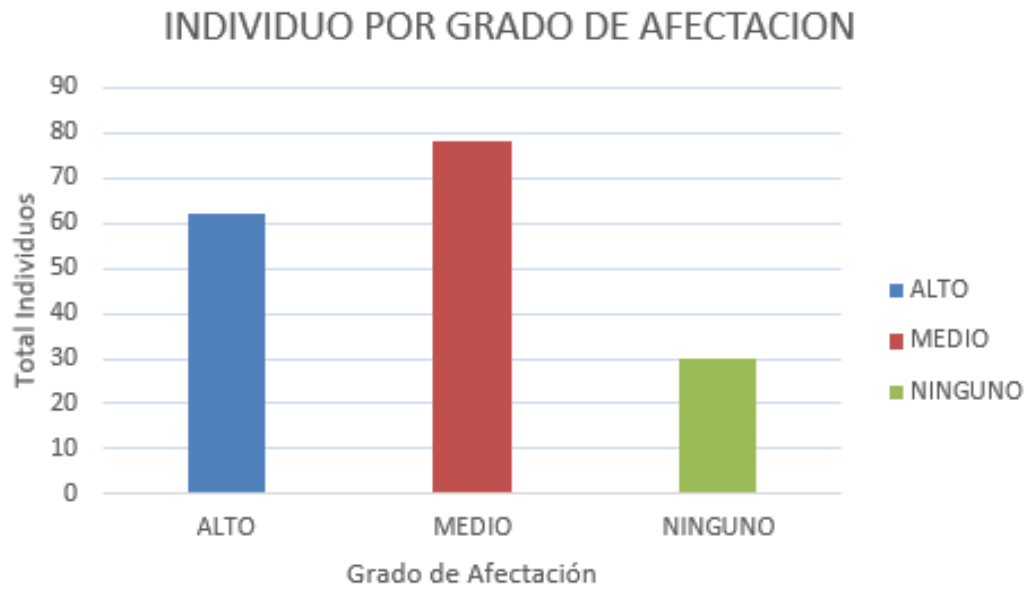
151	1053552,516	925386,566	SANA			HOJA
152	1053552,233	925395,251	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
153	1053560,23	925391,534	SANA			HOJA
154	1053568,031	925385,963	SANA			HOJA
155	1053575,745	925390,639	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
156	1053591,759	925399,794	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
157	1053583,654	925395,021	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
158	1053512,972	925410,078	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
159	1053504,769	925405,013	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
160	1053512,112	925382,805	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
161	1053487,565	925333,942	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
162	1053495,951	925328,371	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
163	1053511,163	925317,913	SANA			HOJA
164	1053542,908	925346,274	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
165	1053544,988	925418,289	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
166	1053552,654	925423,062	ENFERMA	MEDIO	NO	HOJA
167	1053457,97	925397,794	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
168	1053528,185	925400,791	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA
169	1053511,389	925346,553	SANA			HOJA
170	1053544,036	925373,328	ENFERMA	ALTO	SI	HOJA

En la presente tabla se presentan la cantidad de plantas, coordenadas, estado fitosanitario el grado de afectación, cambios morfológicos y área afectada de la planta, arrojándonos el siguiente resultado



Cuenta de INDIVIDUO	
ESTADO FITO SANITARIO	Total
ENFERMA	140
SANA	30

En 170 individuos evaluados se pudo determinar que 140 estaban enfermas y 30 estaban sanas



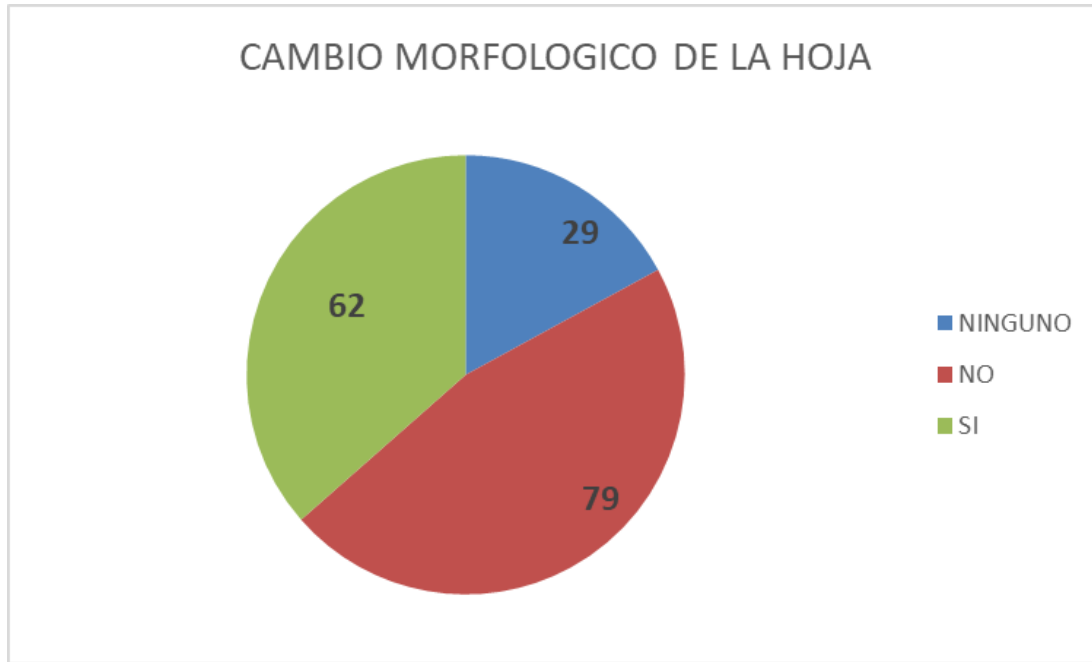
Cuenta de INDIVIDUO	
GRADO DE AFECTACION	Total
ALTO	62
MEDIO	78
NINGUNO	30

El grado de afectación se determinó en 3 parámetros analizados en la observación de la ortofoto

ALTO: clorosis total de las hojas y pérdida de más del 80% de las hojas

MEDIA: clorosis parcial pérdida de menos del 20% de las hojas

NINGUNO: no hay afectación



Cuenta de INDIVIDUO	
CAMBIO MORFOLOGICO DE LA HOJA	Total
NINGUNO	29
NO	79
SI	62

Se logro determinar que a medida que la enfermedad avanza en su sintomatología presenta mas clorosis y desmembramiento de los foliolos de la planta, siendo esta más fácil de interpretar mediante fotogrametría

Se pudo determinar que por medio de fotogrametría se pueden detectar los síntomas de alerta desde los primeros estados de las enfermedades como es la clorosis

La pérdida de foliolos y cambios en la forma del estípite la planta se evidencia solo en estados avanzados de la enfermedad

## 5. CONCLUSIONES

Luego del desarrollo de este trabajo de grado se puede concluir, que, al realizar un levantamiento fotogramétrico en un cultivo de palma para diagnosticar síntomas de enfermedades, es muy confiable ya que permite ver de forma clara y al detalle las diferencias en tonos y colores de las hojas en el estípote en cada uno de los estados de avance de la enfermedad pudiendo de manera rápida tomar medidas de prevención y control en el cultivo permitiendo que el daño económico sea menor.

La detección de las plantas enfermas mediante aerofotogrametría es muy acertada siempre y cuando se tengan las herramientas adecuadas, como son drones con cámaras de alta calidad en fotogrametría, equipos para post proceso y los softwares necesarios para poder desarrollar e interpretar las aerofotografías.

Adelantar estudios de investigación de fotogrametría con cámaras tecnológicamente más avanzadas como son las cámaras multiespectrales en cultivo de palma Desarrollar proyectos de capacitación a agricultores del cultivo de palma con respecto a la utilización de drones en el manejo integrado de cultivo. Se debe promocionar en universidades y establecimientos educativos, el estudio de herramientas tecnológicas como son los drones y los SIG.

Para la detección de síntomas de enfermedades en áreas extensas de un cultivo de palma es recomendable la visita física en tierra para poder comparar desde diferentes ópticas, espacios y ratificar por síntomas no visibles desde el aire la sintomatología, esto mientras se va desarrollando más tecnología y se va perfeccionando el modelo de detección de enfermedades con fotogrametría con drones.

## 6. REFERENCIAS

- Asanchez-palmas,1990- publicaciones fedepalmas.org.
- A RODRÍGUEZ, M XIOLESMY - 2017 - bvirtual.infoagro.hn
- Benítez, M. R. (2010). Pudrición del Cogollo. Colombia: CropLife Latin America. CENIPALMA. (s.f.).
- Cultivo de palma africana o de aceite* | Intagri S.C. (s. f.). <https://www.intagri.com/articulos/frutales/cultivo-de-palma-africana-o-de-aceite>
- Datos abiertos Cartografía y Geografía* | GEOPORTAL. (s. f.). <https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-cartografia-y-geografia>
- De Expertos En Ciencia Y Tecnología, E. (2022, 16 noviembre). Drones profesionales y sus características. *VIU España*. <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/drones-profesionales-y-sus-caracteristicas>
- Drenth, A. (2013). *Phytophthora palmivora, la causa de la pudrición del cogollo en la palma de aceite*. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10671>
- Drones profesionales, software para drones y más.* | Grupo Acre Colombia. (s. f.). Grupo Acre Colombia. <https://grupoacre.co/catalogo-sector/rpa-uav/#:~:text=Los%20sistemas%20combinados%20de%20aeronaes,y%20salvamento%20e%20inspecciones%20industriales>.
- Drones: qué son, tipos de drones y para qué sirven - ferroviaria*. (2020, 10 noviembre). Ferrovial. <https://www.ferrovial.com/es-la/innovacion/tecnologias/drones/>
- El uso de drones en la agricultura de precisión - ANELA - Universidad de los Andes*. (2015, 12 noviembre). ANEIA - Universidad de Los Andes. [https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/08/el-uso-de-drones-en-la-agricultura-de-precision/#:~:text=En%20la%20agricultura%20de%20precisi%C3%B3n%20la%20funci%C3%B3n%20primordial%20de%20los,de%20posicionamiento%20global%20\(GPS\)](https://agronegocios.uniandes.edu.co/2015/08/el-uso-de-drones-en-la-agricultura-de-precision/#:~:text=En%20la%20agricultura%20de%20precisi%C3%B3n%20la%20funci%C3%B3n%20primordial%20de%20los,de%20posicionamiento%20global%20(GPS))
- Especiales, R. (2022, 31 marzo). Palma de aceite: pilar económico y social de las regiones y el país. *ELESPECTADOR.COM*. <https://www.elespectador.com/contenido-patrocinado/palma-de-aceite-pilar-economico-y-social-de-las-regiones-y-el-pais/>
- González, G Amarillo, M Amarillo... - Publicaciones e ..., 2016 - hemeroteca.unad.edu.co
- Hormaza Martínez, P. A., Forero Hernández, D. C., Ruiz Romero, R., & Romero Angulo, H. M. (2010). Fenología de la palma de aceite africana (978-958-8360-24-9). [http://gsem.weebly.com/uploads/9/3/5/1/9351412/fenologa\\_de\\_la\\_palma\\_de\\_aceite\\_africana\\_y\\_del\\_hbrido\\_interespecifico.pdf](http://gsem.weebly.com/uploads/9/3/5/1/9351412/fenologa_de_la_palma_de_aceite_africana_y_del_hbrido_interespecifico.pdf)
- (IICA), I. I. de C. para la A., (BID), B. I. de D., Alberto, S. P., & (Colombia), U. del V. (1988). V Mesa Latinoamericana de Palma Aceitera: Enfermedades de la palma africana de aceite en América Latina. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11393>
- Javi. (2023). ¿Qué es un dron y para qué sirve? características y funciones. *UMILES Group*. <https://umilesgroup.com/que-es-un-dron-y-para-que-sirve/>
- Laborator.Co. (s. f.). *RAC*. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/reglamentacion/rac>
- Pudrición del cogollo*. (s. f.-b). CropLife Latin America. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/pudricion-del-cogollo>
- Luna. (2023, 9 agosto). *RAC 91: Regulación dron en Colombia - IDC*. IDC. <https://idc.apddrones.com/regulacion/rac-91-regulacion-dron-en-colombia/#>
- Marchitez Letal | Manejo y Control* | *Cenipalma*. (2023, 18 julio). Cenipalma. <https://www.cenipalma.org/sanidad/marchitez-letal/>
- Martínez, G., y Torres, G. (2007). Presencia de la Pudrición de Cogollo de la palma de aceite (PC) en plantas de vivero. *Revista Palmas*, 28(4), 13-20.
- PA Medina García, JC Niño López - repository.udistrital.edu.co
- Pudrición del cogollo*. (s. f.-b). CropLife Latin America. <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/pudricion-del-cogollo>

- Pudrición del cogollo | Manejo y Control | Cenipalma*. (2020, 15 septiembre). Cenipalma.  
<https://www.cenipalma.org/sanidad/pudricion-del-cogollo/>
- Romero, V. R. (2015). *Perspectivas de la tecnología VANT en el cultivo de palma de aceite: monitorización del cultivo mediante imágenes aéreas de alta resolución*. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11574>
- Tomás, R., Riquelme, A., Cano, M., Abellán, A, Jordá, L.. (2016). Structure from Motion (SfM): una técnica fotogramétrica de bajo coste para la caracterización y monitoreo de macizos rocosos. 10o Simp. Nac. Ing. Geotécnica, A Coruña, España 1, 209–216 (2016). ISBN 978-84-945284-2-2, págs. 209-216
- Varón, de Agudelo, F. 1988. Observaciones sobre el agente causal del anillo rojo. VI Seminario sobre Problemas Fitopatológicos de la Palma Africana. PROCIANDINO. IICA. Bucaramanga. Colombia
- Villanueva, A. y A. González. 1988. Importancia económica del anillo rojo en Palmeras de la Costa S.A. y medidas de control practicadas. Reunión Técnica de Problemas Fitopatológicos en Oleaginosas Perennes. Bucaramanga, Colombia. PROCIANDINO. IICA. 24 p. (manuscrito).