

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica

“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para la detección temprana de MOKO (*ralstonia solanacearum*) en cultivos de banano y plátano mediante el procesamiento de imágenes aéreas multiespectrales.”

Autores: Soria Velástegui, Polo Andrés y Criollo Erazo, David Andree

Director: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2022





CONTENIDO

- 1 Diseño del sistema de monitoreo
- 2 Implementación, Pruebas y Resultados
- 3 Conclusiones y Recomendaciones

Planteamiento del Problema



La decadencia de producción de musáceas (plátano y banano) observada en el país es consecuencia de agentes bióticos (Sigatoka negra,, Moko, etc.), abióticos (falta de lluvia) y control (falta de riego, mal nutrición, déficit de control de plagas, etc.), pues de la superficie total plantada, solo un pequeño porcentaje reciben riego, fertilización y control de plagas, respectivamente.

El marchitamiento bacterial(Moko) es una terrible enfermedad que afecta a las musáceas, es uno de los problemas fitosanitarios de gran impacto en la producción de banano y plátano en las zonas tropicales y subtropicales del mundo.

La lucha contra las enfermedades de las plantas se basa principalmente en la visualización del estado de la planta, la erradicación de plantas enfermas y el uso de material semilla certificado libre de infección.

Objetivos



Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para la detección temprana de MOKO (*Ralstonia solanacearum*). en cultivos de banano y plátano mediante el procesamiento de imágenes aéreas multiespectrales.



Objetivos Específicos

Identificar las plantaciones de plátano y banano sin afectación relevante de MOKO y plantaciones de plátano y banano con sintomatología de MOKO donde se realizará el proyecto.

Definir la arquitectura del sistema de monitoreo con los parámetros del área de estudio para la captura de imágenes aéreas multiespectrales.

Realizar el procesamiento de las imágenes aéreas multiespectrales de los cultivos de banano y plátano que presenten MOKO a través de un software para obtener un ortomosaico con las capas espectrales.

Desarrollar un algoritmo mediante la correlación entre el estado de la enfermedad y el mapa NDVI del cultivo que permita interpretar de forma visual si una plantación empieza con síntomas de afectación.

Evaluar la efectividad del sistema de monitoreo mediante validación de la hipótesis.

Justificación

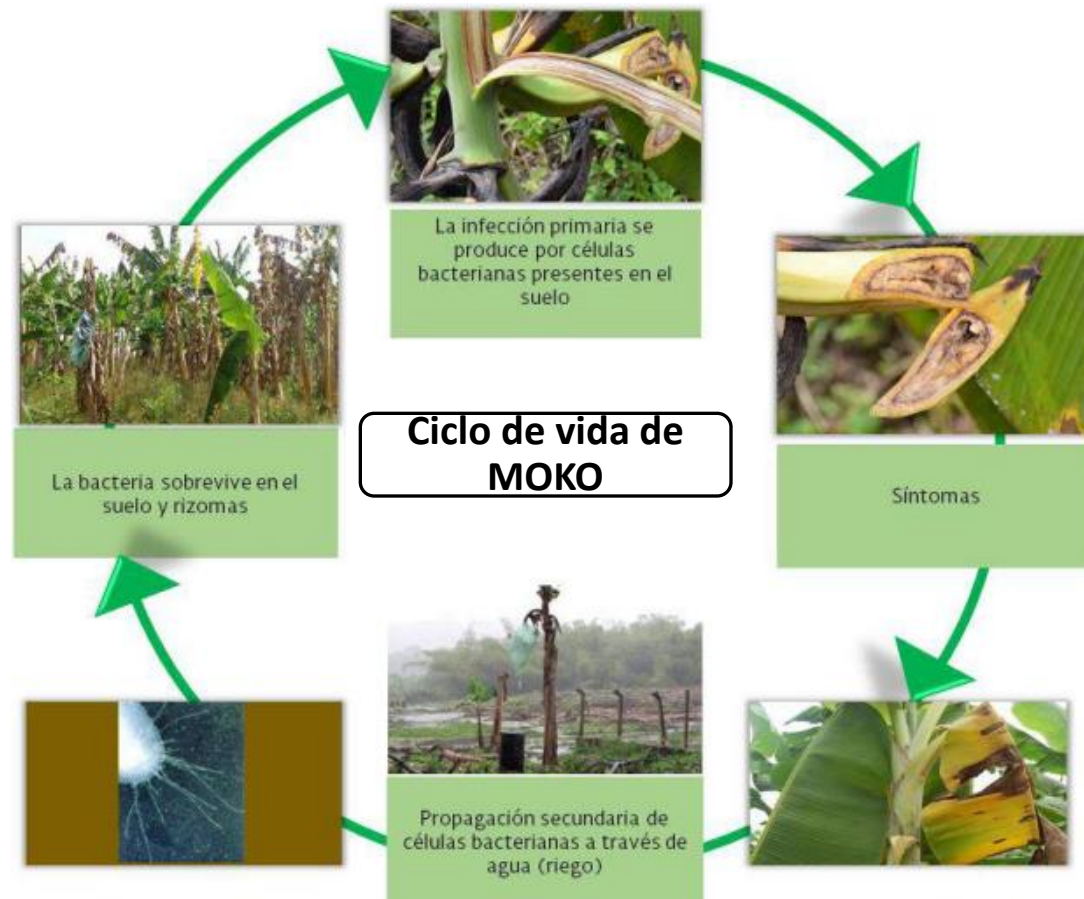


Las principales estrategias de control de Moko prevén utilizar “material semilla” , realizar censos o inspecciones, implementar medidas de bioseguridad y poner en cuarentena el área afectada. Los síntomas de la enfermedad son leves y pueden tardar semanas en desarrollarse.

Debido a la importancia del cultivo de musáceas en el país, tanto por superficie cultivada, generación de empleo, es necesario contar con un sistema elaborado para detectar esta enfermedad de manera temprana en las plantaciones, por lo que se ofrece una solución mecatrónica formada por un sensor multiespectral acoplada mediante un dispositivo de sujeción y estabilización a una aeronave no tripulada facilitando la toma de imágenes multiespectrales para la creación de un algoritmo que permita la interpretación de la detección temprana de MOKO en cultivos.

Fundamentación teórica

Estudio de las plantaciones y de la sintomatología del Moko



Síntomas

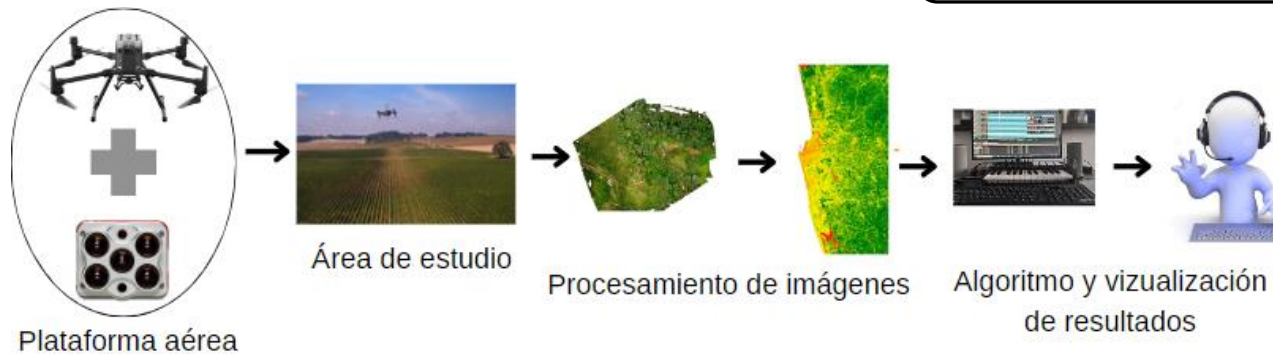
Diseño del sistema de monitoreo

Parámetros del área de estudio

Selección del equipos de componentes

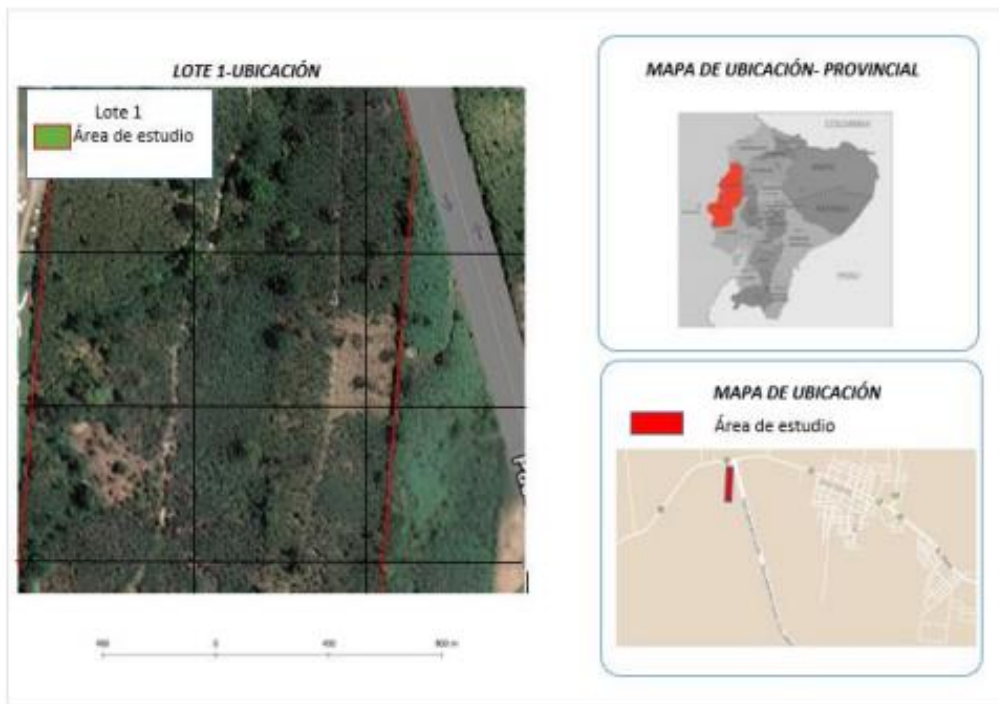
Selección de software de procesamiento

Desarrollo de algoritmo

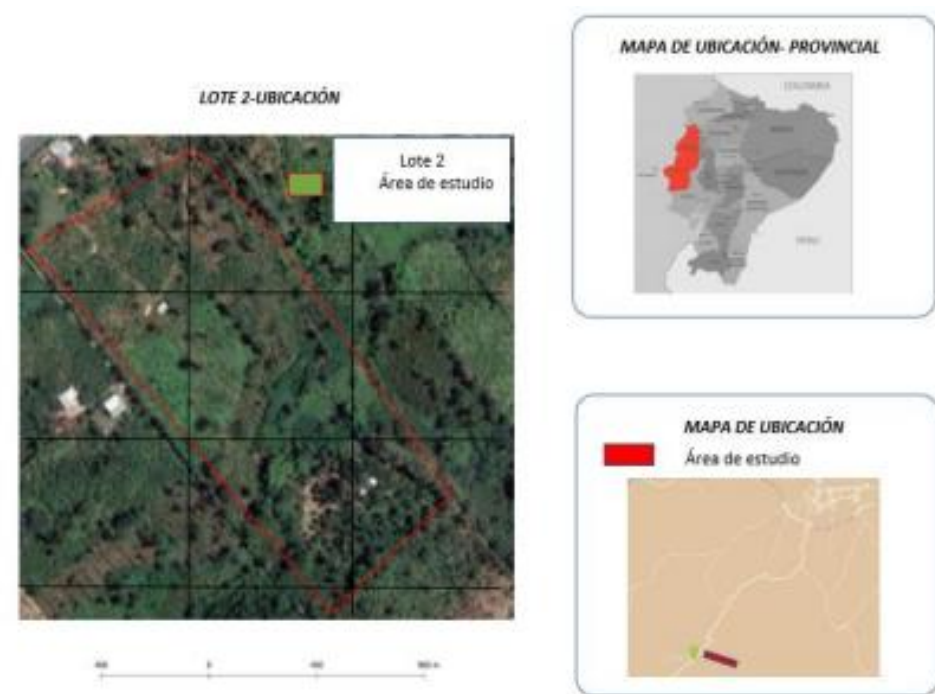


Área de estudio

Plantación Sana



Plantación Enferma



Vehículo y sensor multispectral

Para el proyecto se tiene colaboración autónoma de la empresa Altium, se tiene como vehículo aéreo y sensor multispectral los siguientes:

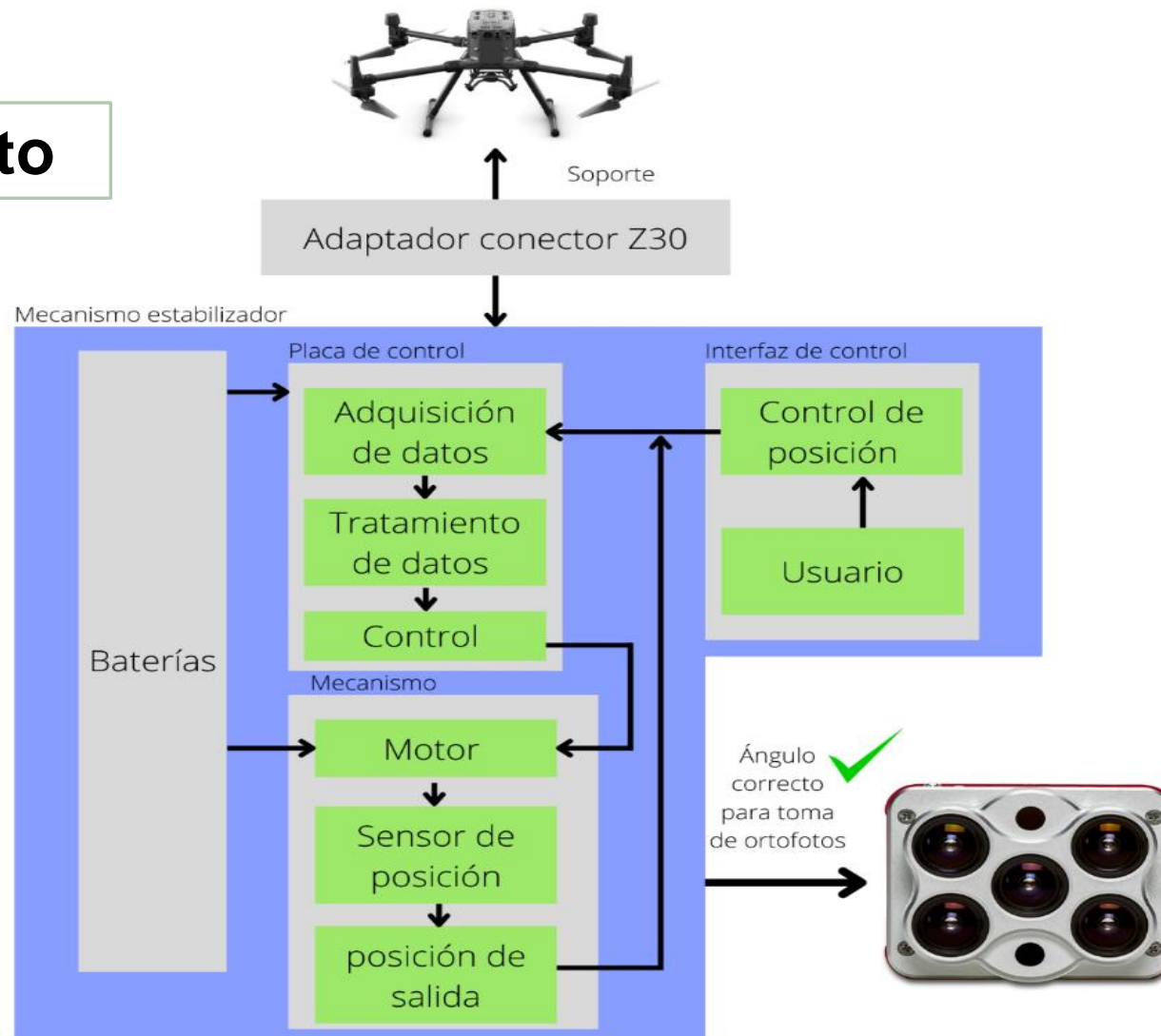


*Sensor multispectral
Micasense Altum*



Dron DJI MATRICE 300 RTK

Diseño del concepto



Evaluación y selección de conceptos



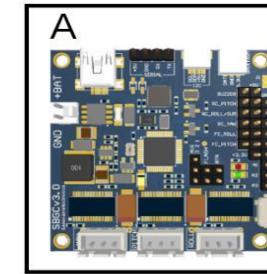
Drone DJI Matrice M300 RTK



**Sensor multispectral
Micasense altum**



**Placa de control
Basecam simple BGC**



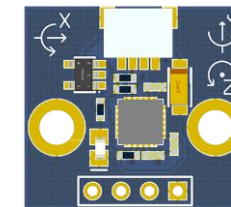
**Bateria
Lipo 3s 900mah**



**Motor brushless
ARRIS GM4008**

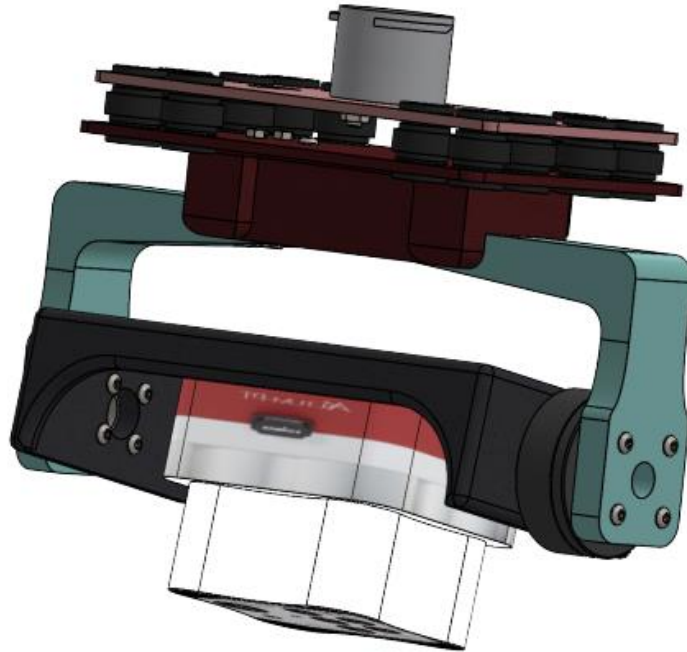


**Acelerómetro Giroscopio
BaseCam**

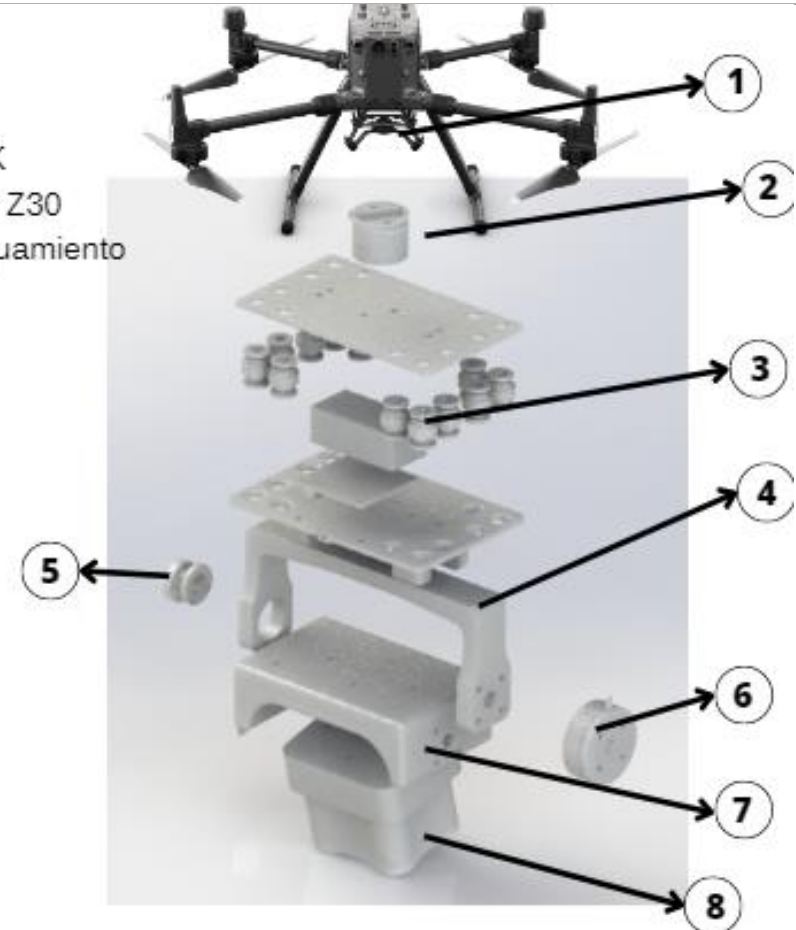


Diseño CAD

Diseño CAD del sistema de estabilización



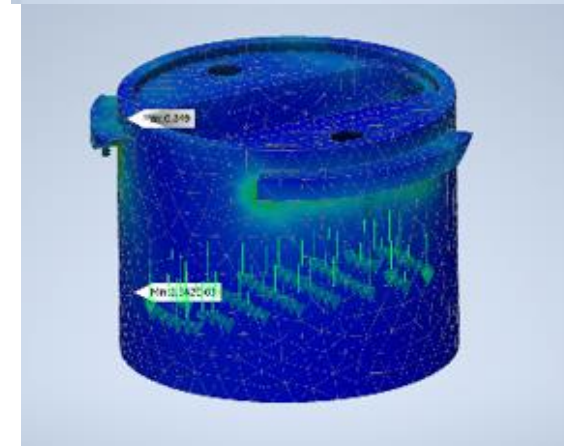
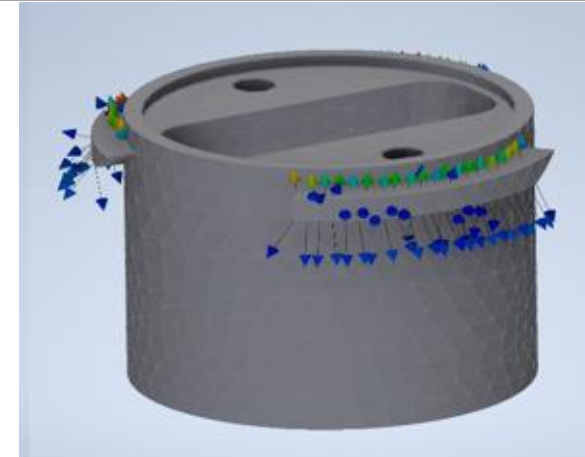
1. Dron DJI M300 RTK
2. Adaptador conector Z30
3. Sistema de amortiguamiento
4. Soporte de gimbal
5. Rodamiento
6. Motor
7. Soporte sensor multiespectral
8. Micasense Altum.



Análisis CAE

Análisis CAE del conector Z30

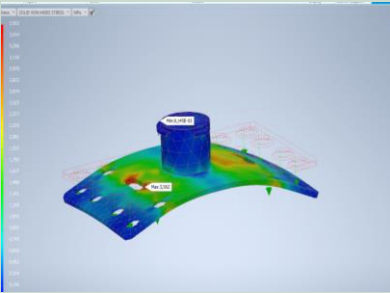
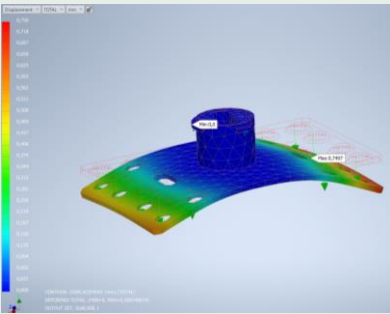
| Descripción | Grafico | Resultado |
|----------------------|---------|--------------------------------------|
| Tensión de Von Mises | | Esfuerzo máximo 0,849 MPa |
| Desplazamiento | | Desplazamiento máximo 4,63E-08 mm |

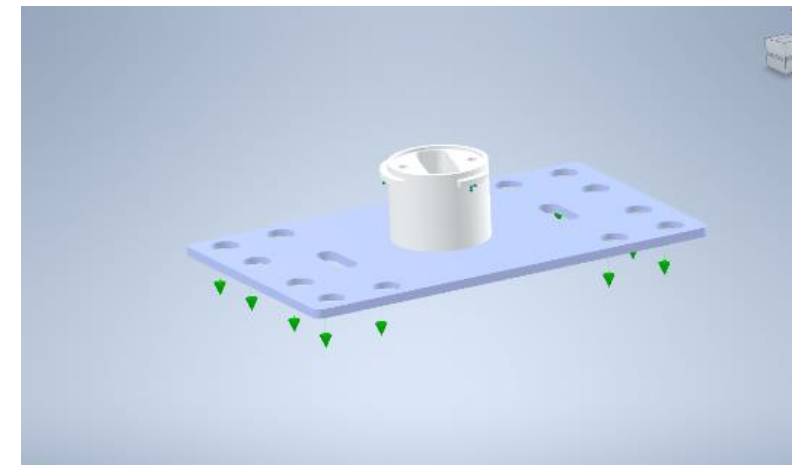


Análisis CAE



Análisis CAE del placa superior

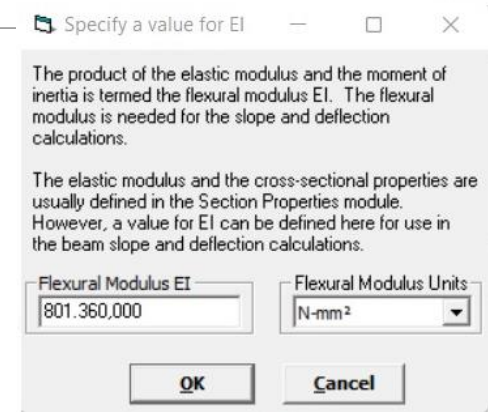
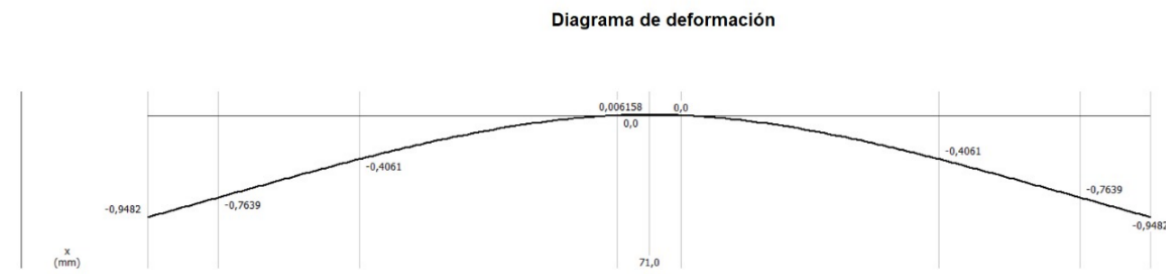
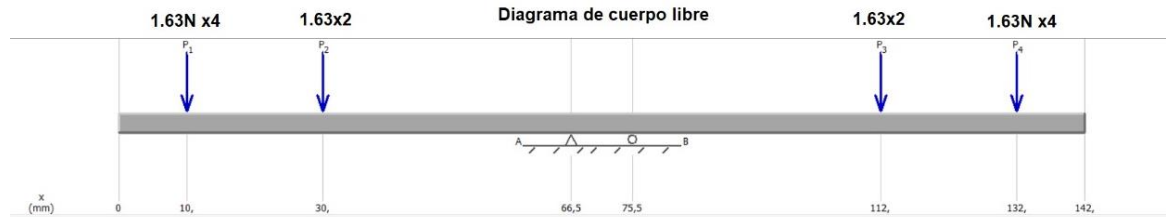
| Descripción | Grafico | Resultado |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Tensión de Von Mises |  | Esfuerzo máximo 3,52 MPa |
| Desplazamiento |  | Desplazamiento máximo 0,79 mm |



Análisis CAE



Análisis CAE del placa superior



I_x = inercia de la sección transversal de la placa superior

E = módulo de Young o de elasticidad

$$m_d = (4240 \text{ MPa}) * (189 \text{ mm}^4)$$

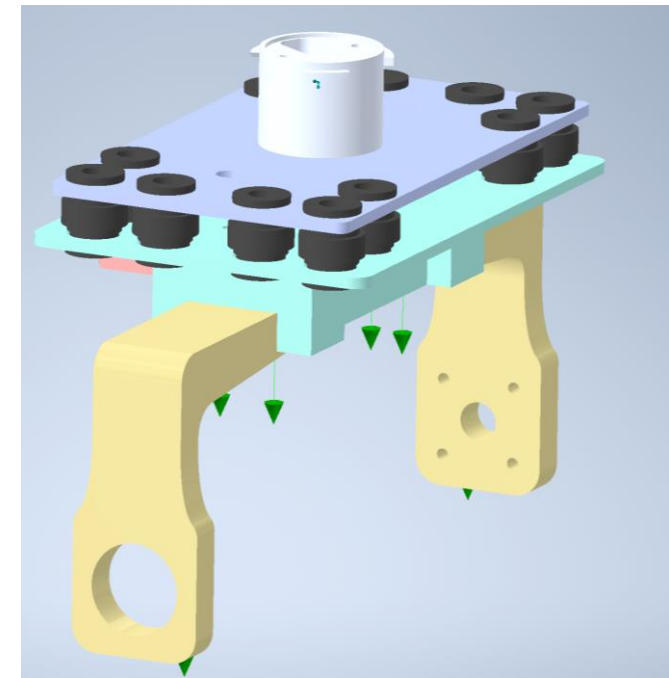
$$m_d = 801360 \text{ Nmm}^2$$

Desplazamiento Max es 0,94 mm

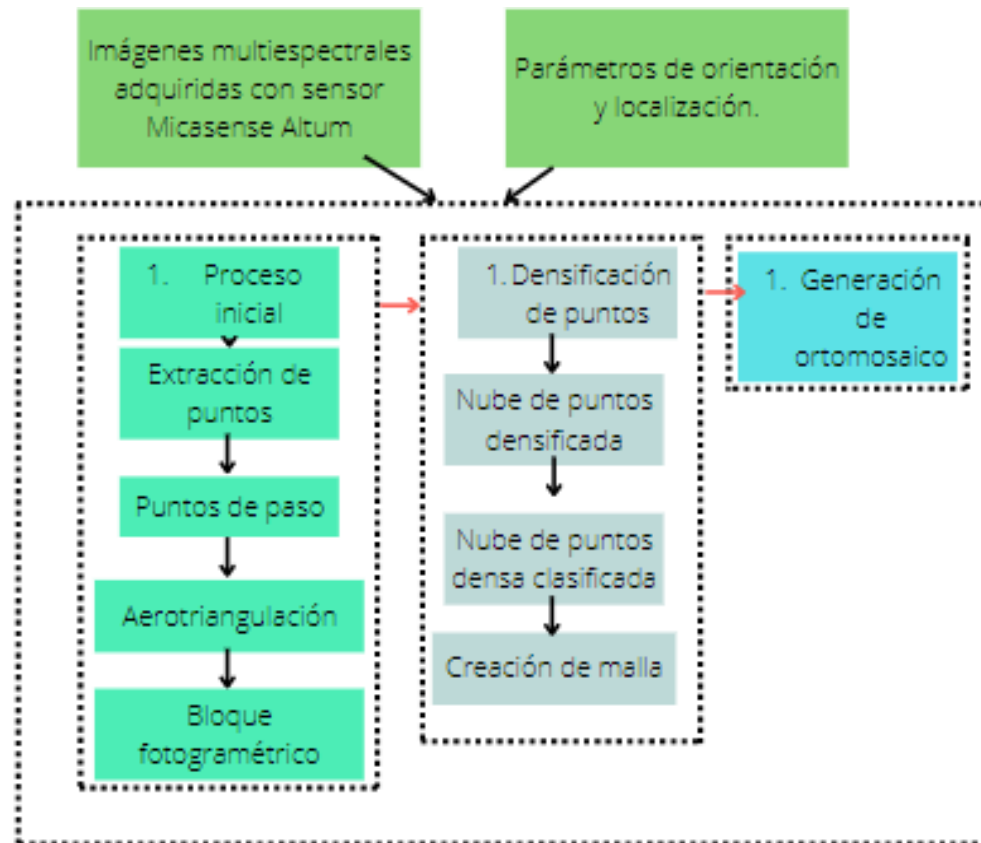
Análisis CAE

Análisis CAE del sistema del sistema de estabilización

| Descripción | Grafico | Resultado |
|----------------------|---------|------------------------------------|
| Tensión de Von Mises | | Esfuerzo máximo 1,2 MPa |
| Desplazamiento | | Desplazamiento máximo 0,5 mm |

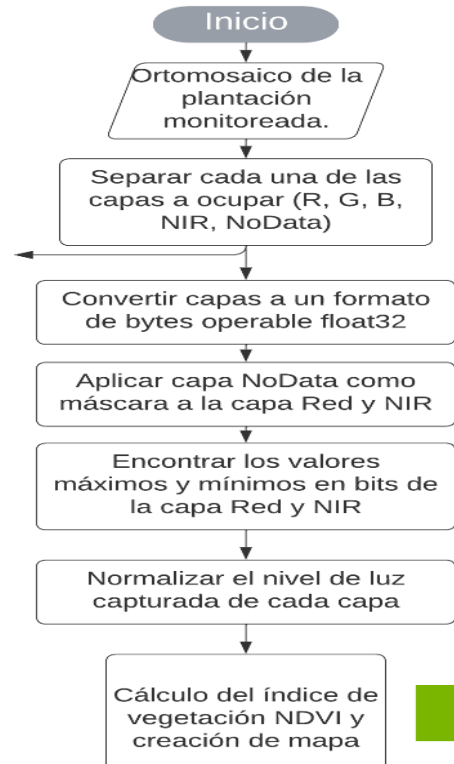


Procesamiento de imágenes



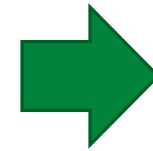
Estos procesos se realizan con el software idóneo para el tratamiento de imágenes multiespectrales en este caso se usa la versión de prueba del software Agisoft.

Algoritmo del cálculo NDVI



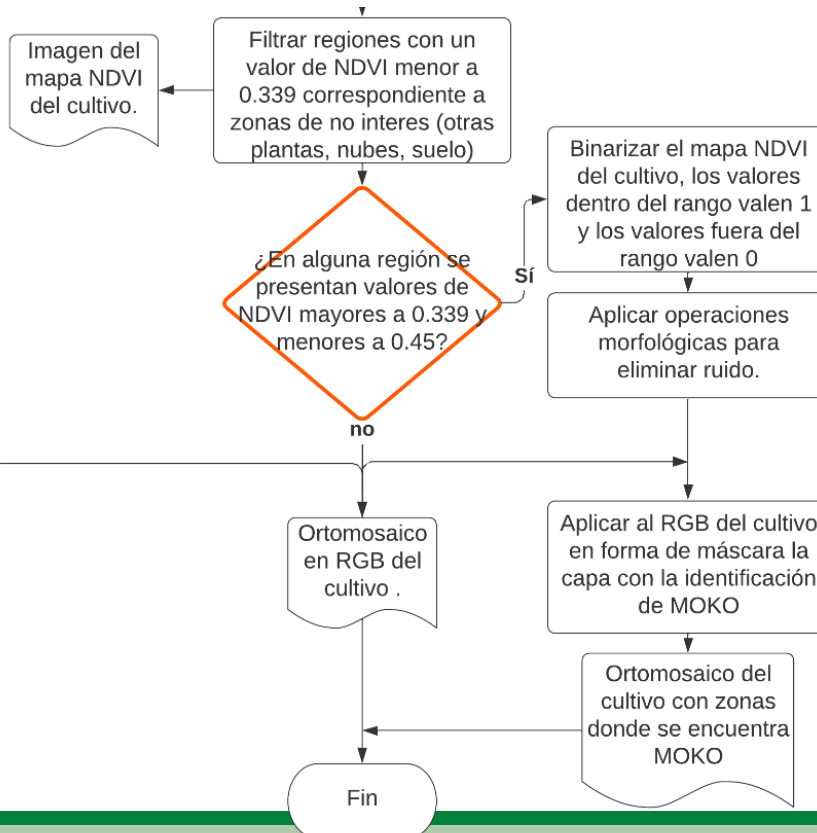
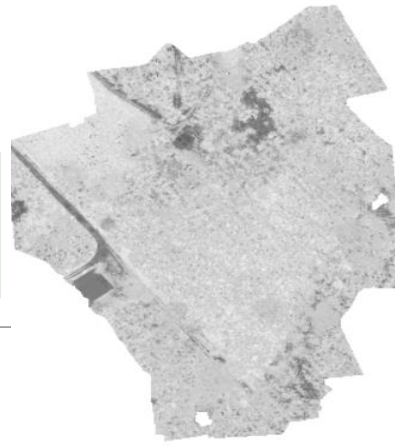
Mapa RGB

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



Mapa NDVI en escala de grises

Algoritmo de clasificación para la detección temprana de MOKO en plantaciones



Implementación y pruebas de vuelo



120 m
GSD: 5.2cm

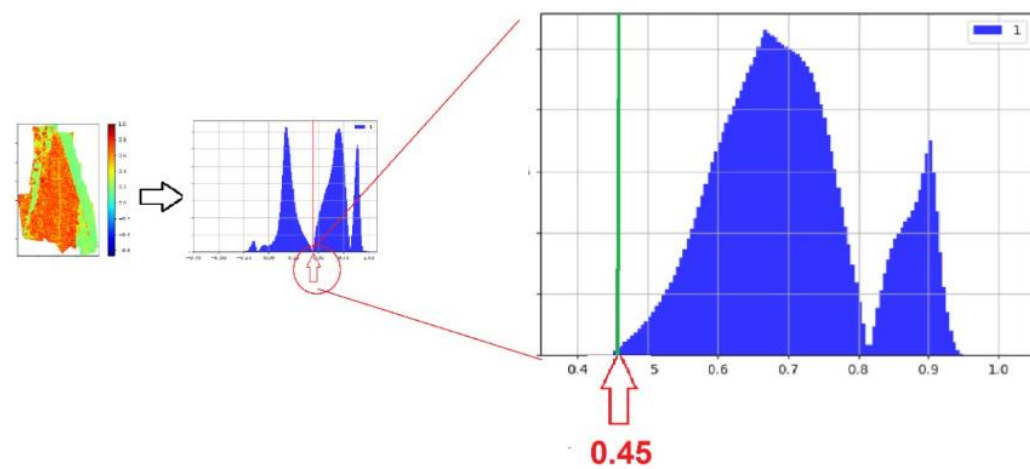
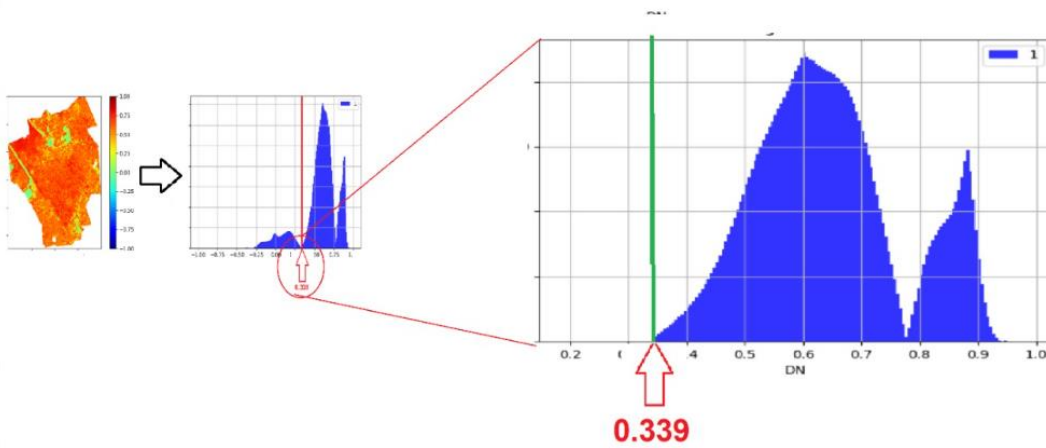


60m
GSD: 2.1cm



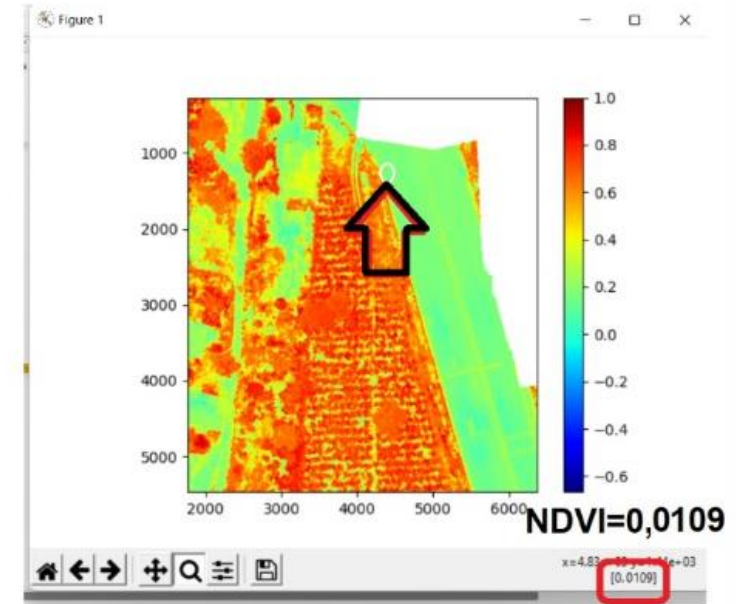
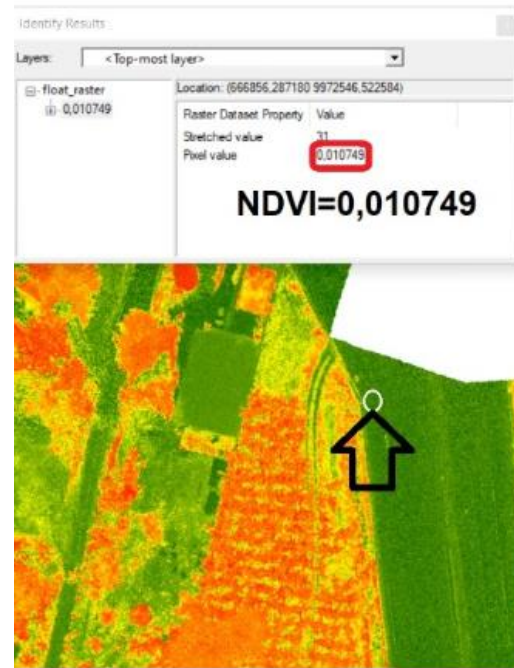
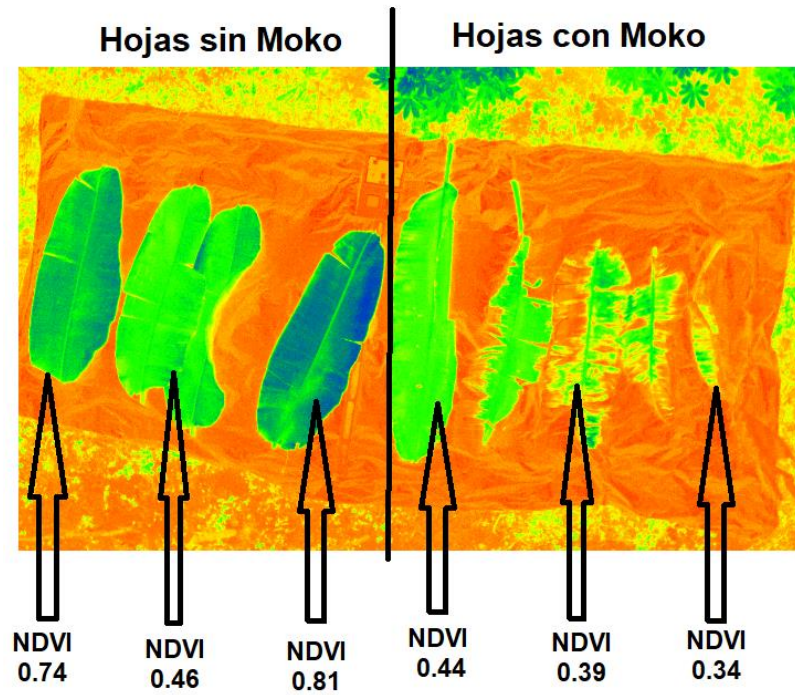
Análisis de datos

Caracterización de Moko

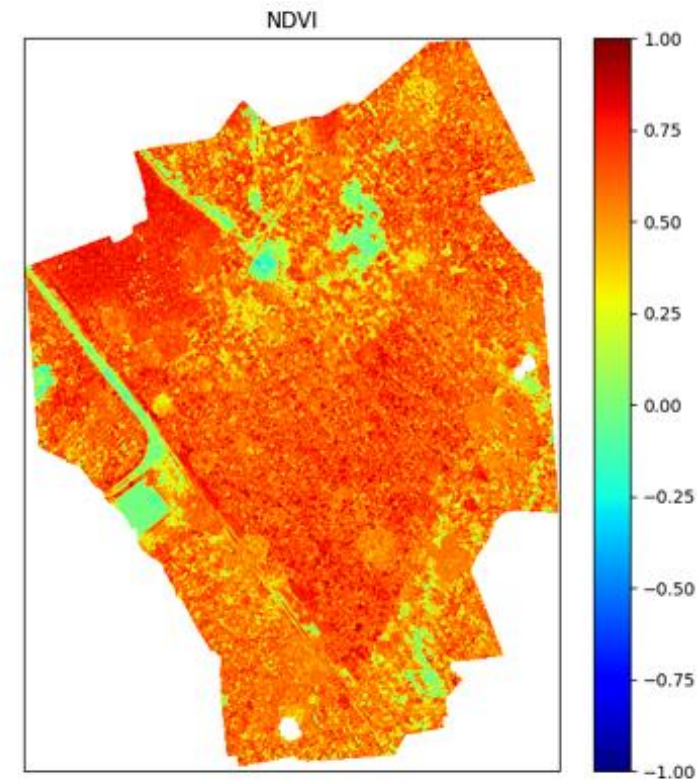
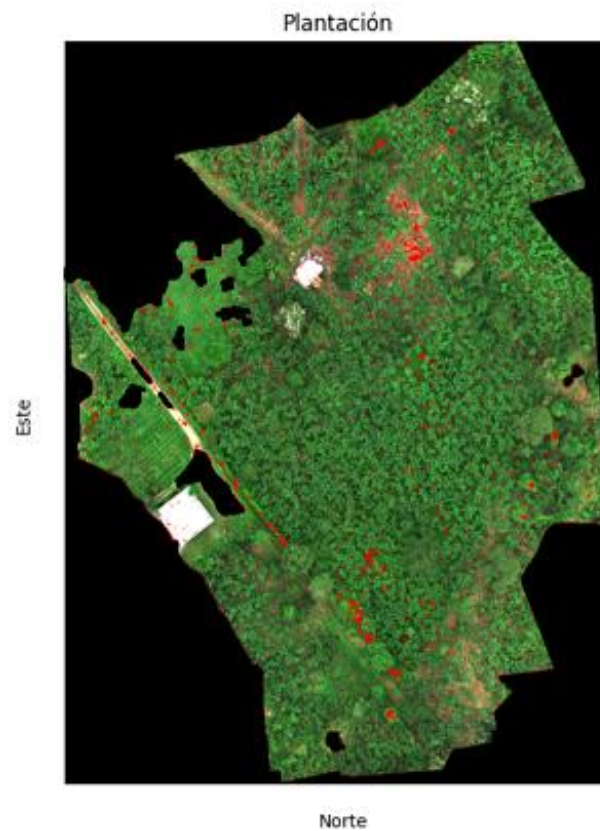


Análisis de datos

Caracterización de Moko



Resultados





Conclusiones

- Se obtuvieron un conjunto de ortomosaicos de 5 plantaciones de plátano y banano a partir del post procesamiento de imágenes multiespectrales aéreas capturadas a 60 m de altura con un sensor multiespectral Micasense Altum acoplado mediante un estabilizador a un dron DJI M300 RTK. Con el desarrollo de líneas de código en Python se usó estos ortomosaicos para la caracterización espectral de cultivos sanos y cultivos con afectación de MOKO a partir del cálculo del índice NDVI, obteniendo valores que diferencian a los cultivos de plátano y banano sanos de los cultivos de plátano y banano con afectación relevante. Con dicha diferenciación se puso a prueba en una plantación de plátano un algoritmo que clasifica zonas de cultivos que presenten afectaciones de MOKO obteniendo un mapa del cultivo en el que se visualiza un promedio de acierto del 80% con respecto a la detección de 13 muestras de plantas con MOKO.



Conclusiones

- El uso de un estabilizador para acoplar el sensor multiespectral Micasense Altum al dron DJI M300 RTK resultó ser beneficioso dadas las condiciones en que debían realizarse las capturas de imágenes multiespectrales, logrando la ortogonalidad requerida para un eficiente procesamiento de los datos, habiendo pérdidas de datos por debajo del 5%.
- Se desarrolló un algoritmo de clasificación de imágenes por segmentación a partir del índice NDVI, con el cual se filtran regiones de un ortomosaico que alteren nuestros resultados, como suelo, nubes, vegetación sin interés, techos, etc. Además, con la aplicación correcta se pudo filtrar zonas con afectación de MOKO en cultivos de plátano y banano.



Conclusiones

- Se recomienda analizar la sintomatología de afectación de MOKO utilizando otras tecnologías, como lo son curvas espectrales obtenidas de un dispositivo que se pueda tomar medidas directamente desde en las hojas. Para mejorar la respuesta de un sistema ante la presencia de la enfermedad.
- Se recomienda tomar todas las consideraciones posibles antes del diseño de dispositivos que acoplen, salvaguarden y/o establezcan sensores a vehículos aéreos, dado que por la costosa cantidad de dinero de estos equipos se sobrepone la seguridad de estos, sobre el cumplimiento de ciertos factores de diseño.

Recomendaciones

- Para el acceso a las plantaciones que se presumen estar infectadas con Moko es recomendable realizarlo con una persona calificada y tomando en todas las medidas de seguridad pertinentes, como se menciona en el Plan de acción para el control de Moko. En los resultados espectrales la diferencia entre un cultivo de plátano y banano sano de un cultivo de plátano y banano enfermo de MOKO radicó en que los datos de los cultivos que presentan síntomas de MOKO se aglomeran en una región cerca de 0.3 en la escala del NDVI, mientras los datos de cultivos sanos se aglomeran en una región cerca de 0.6 en la escala del NDVI.
- Tomar en cuenta que, en la captura de imágenes, existirán muchas muestras que no proporcionan datos, por lo que se recomienda, el análisis previo de la información para poder discriminar en primera instancia áreas de estudio que no aportan datos, y de esta manera reducir los tiempos de postprocesamiento.

Recomendaciones

- Para el acceso a las plantaciones que se presumen estar infectadas con Moko es recomendable realizarlo con una persona calificada y tomando en todas las medidas de seguridad pertinentes, como se menciona en el Plan de acción para el control de Moko. En los resultados espectrales la diferencia entre un cultivo de plátano y banano sano de un cultivo de plátano y banano enfermo de MOKO radicó en que los datos de los cultivos que presentan síntomas de MOKO se aglomeran en una región cerca de 0.3 en la escala del NDVI, mientras los datos de cultivos sanos se aglomeran en una región cerca de 0.6 en la escala del NDVI.
- Tomar en cuenta que, en la captura de imágenes, existirán muchas muestras que no proporcionan datos, por lo que se recomienda, el análisis previo de la información para poder discriminar en primera instancia áreas de estudio que no aportan datos, y de esta manera reducir los tiempos de postprocesamiento.



GRACIAS