



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Generación de una librería espectral de 3 variedades de Palma Aceitera (*Elaeis oleífera*), obteniendo una línea base de comportamiento espectral del cultivo, utilizando un espectralradiómetro de mano y una cámara multispectral

Sosa Pánchez, Daniel Steven

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera Agropecuaria

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

Ing. Sinda González, Izar, Ph.D.

29 de agosto del 2022

ANTECEDENTES

Aplicación de técnicas geomáticas en el Smart farming
(Variabilidad de la respuesta espectral)

(Sinde-González, 2022)

Caracterización de firmas espectrales a partir de sensores remotos – modelos predictivos asociados al manejo de la sanidad vegetal.

(Araque & Jiménez, 2009)

Caracterización espectral de Palma Africana – Implementación de una Geodatabase

(Masís Campos et al., 2019)

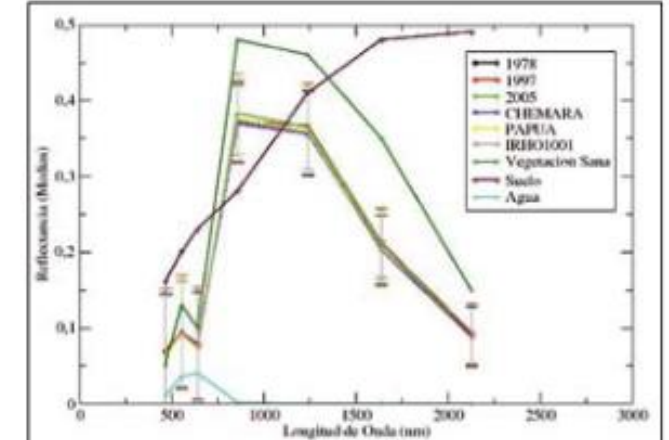
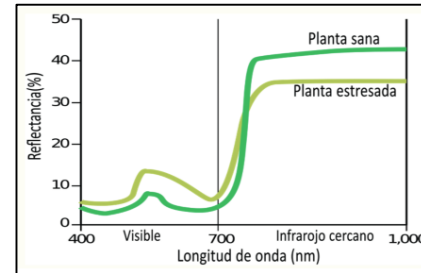
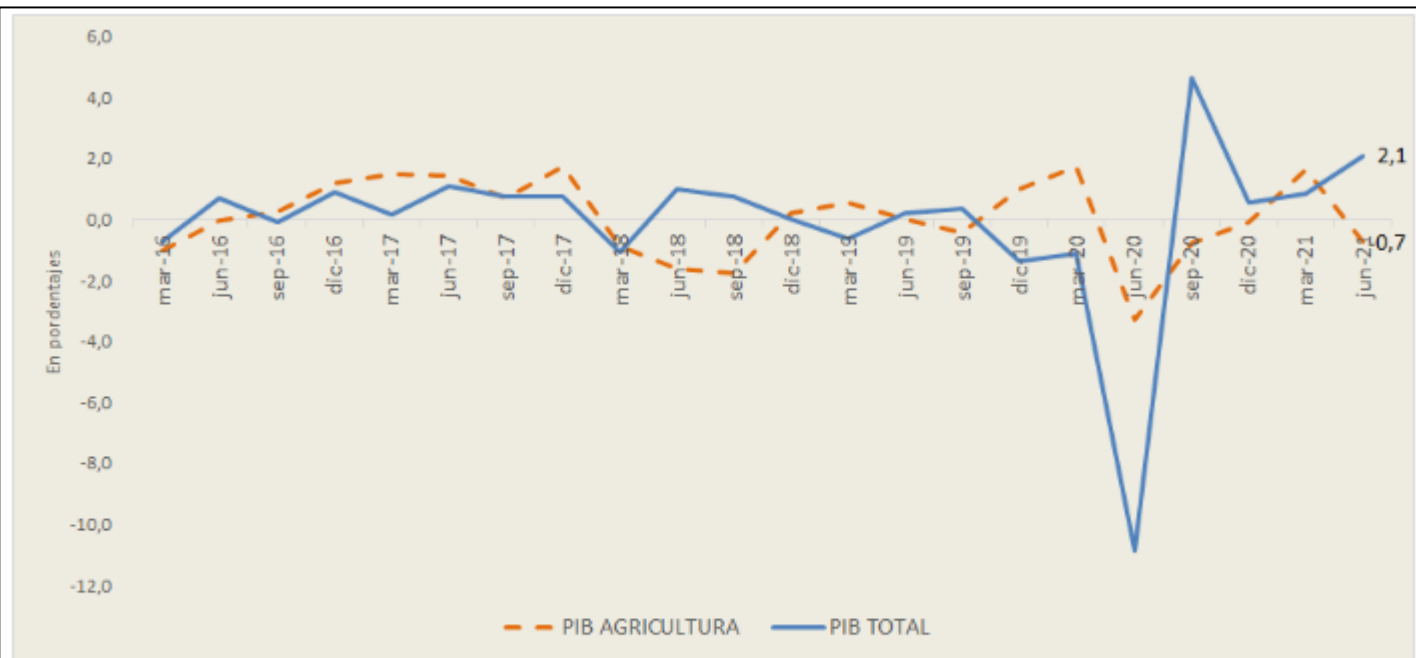


Figura 14. Firma espectral obtenida al tomar el valor de la media de las bandas del azul, verde, rojo, NIR1, NIR2, NIR3 y NIR4 para los lotes sembrados en los años 1978, 1997 y 2005, y las variedades Chemara, Hiro y Papua. Cenipalma – AP, 2009.



JUSTIFICACIÓN

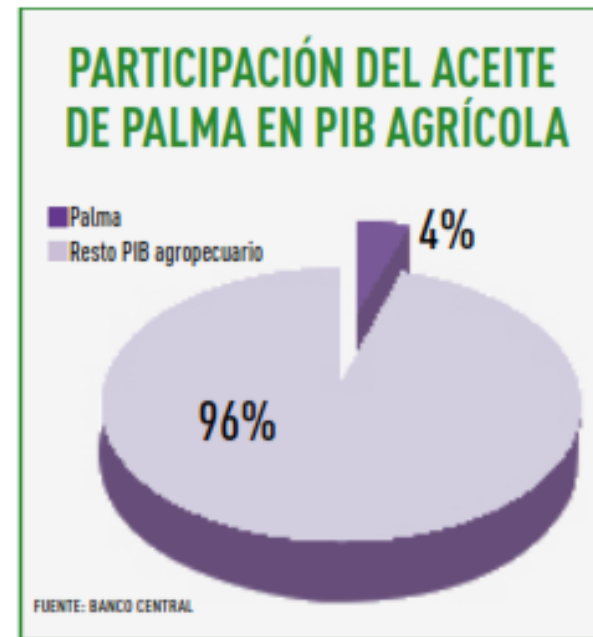
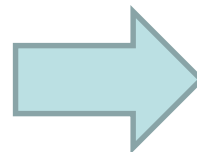
(Ministerio de comercio exterior)



El PIB trimestral de este sector registró un comportamiento variable durante la serie analizada y mejor que la economía en su conjunto; sin embargo, para junio 2021 presentó un decrecimiento de 0,7% mientras que el PIB total creció en 2,1%. En general, el comportamiento trimestral de este sector fue mejor que el PIB total.

(BCE)

En los últimos 5 años , se exporto el 58% de aceite de Palma, generando \$271 millones de divisas de exportación



- Ampliación de herramientas geoespaciales
- Monitoreo del cultivo
- Por medio de bibliotecas de firmas espectrales
- Conocer estados y rendimientos, disminución en recursos de tiempo y dinero



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVOS

Objetivo Principal

Generar una librería espectral de 3 variedades de palma aceitera que permita obtener una línea base de comportamiento espectral del cultivo con un espectroradiómetro de mano y una cámara multispectral.

Objetivos Específicos

- Crear una base de datos por medio de un espectroradiómetro de mano para obtener firmas espectrales de 3 variedades de palma aceitera.
- Calcular índices de vegetación a partir de imágenes multispectrales tomadas desde un UAV de plantaciones de palma aceitera.
- Analizar el efecto de la variedad de palma sobre los índices de vegetación generados por el espectroradiómetro y el UAV.
- Determinar la correlación de los índices de vegetación obtenidos a través de un UAV con las mediciones de campo capturadas a partir del espectroradiómetro.



HIPÓTESIS

Detección de diferencias entre variedades con el espectroradiómetro.

H0: Los índices de vegetación calculados con el espectroradiómetro no permiten diferenciar entre variedades de palma aceitera.

H1: Los índices de vegetación calculados con el espectroradiómetro permiten diferenciar entre variedades de palma aceitera.

Detección de diferencias entre variedades de palma con UAV.

H0: Los índices de vegetación calculados con los ortomosaicos no permiten diferenciar entre variedades de palma aceitera.

H1: Los índices de vegetación calculados con los ortomosaicos permiten diferenciar entre variedades de palma aceitera.

Detección de correlación entre métodos de medición

H0: Los índices calculados con el espectroradiómetro no se correlacionan significativamente con los del UAV.

H1: Los índices calculados con el espectroradiómetro se correlacionan significativamente con los del UAV.

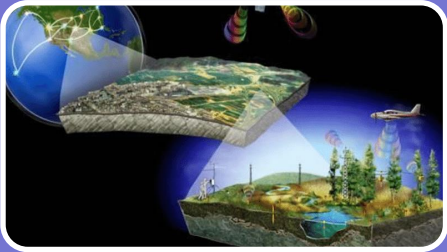


MARCO TEÓRICO



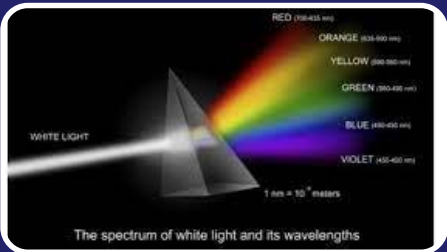
Agricultura de Precisión

- Empleo de nuevas tecnologías para las necesidades de los cultivos
- Optimizar los insumos – Rentabilidad – Cuidado del medio ambiente



Teledetección de Cultivos

- Medición de las propiedades de un objeto por medio de sensores remotos
- Caracterización de parámetros biofísicos de especies vegetales.

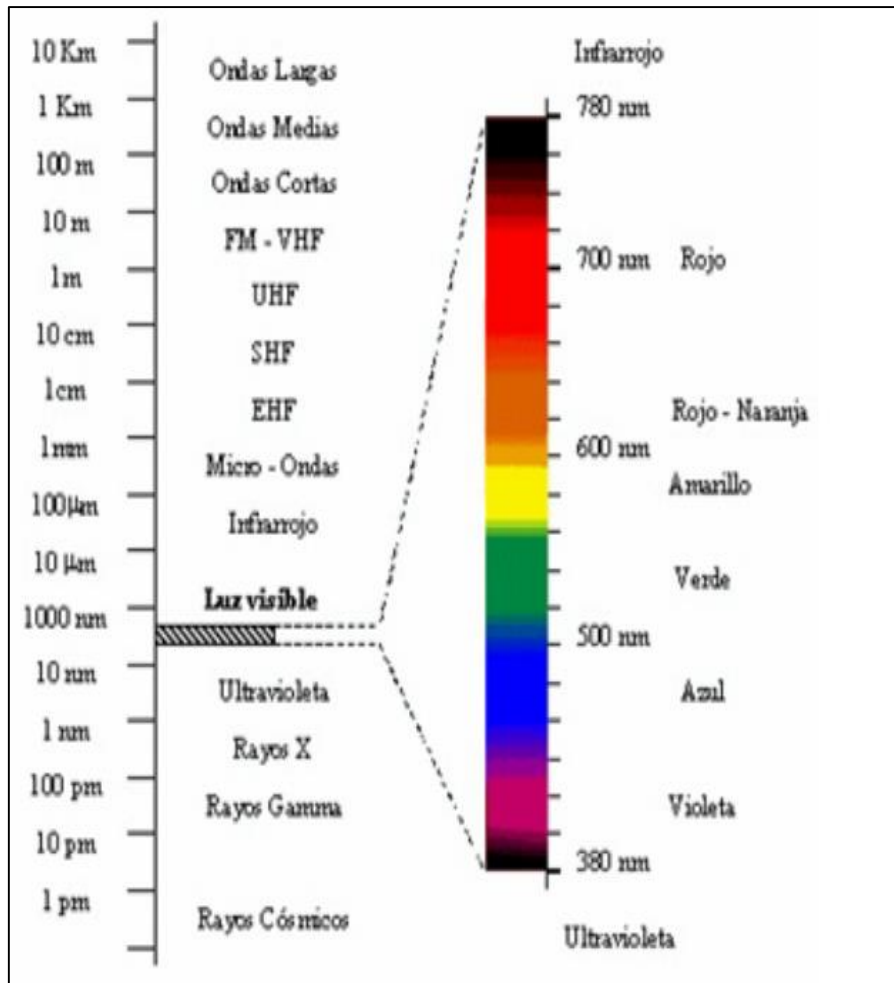


Espectroscopia

- Interacción entre la materia y la radiación electromagnética
- La radiación sufre modificaciones medible, dependen de la composición química y de sus atributos físico-estructurales.
- Espectroscopia de reflectancia – nuevo métodos de análisis.

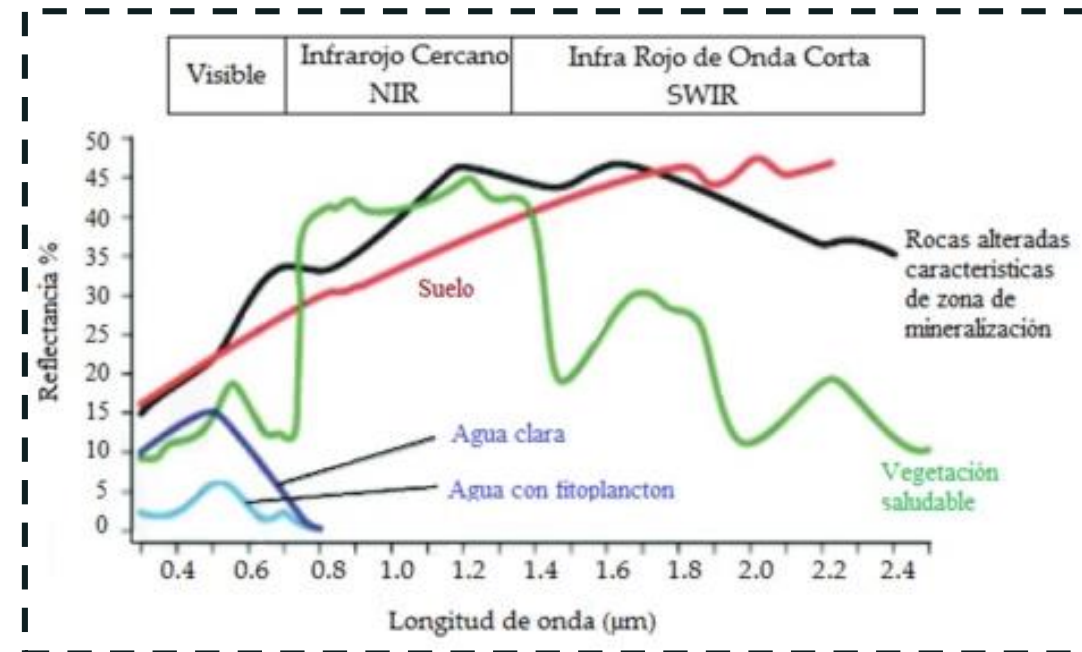


Espectro electromagnético



Firmas espectrales

Muestra las caracteristicas del comportamiento de la radiaci6n electromagn6tica con la estructura de la planta



Fotogrametría multispectral con UAV

Sensores multispectrales miniaturizados

Acoplados en vehículos aéreos no tripulados

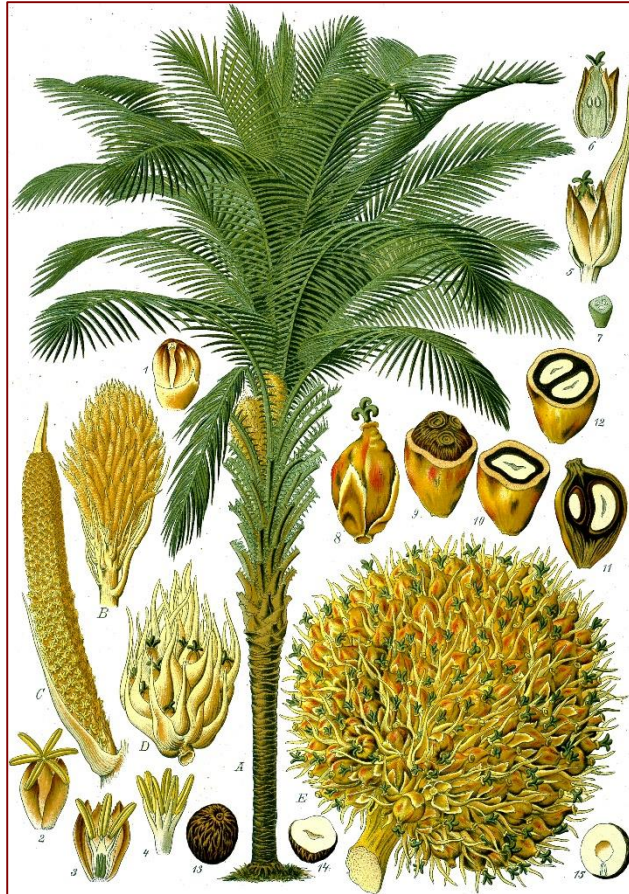
Ventajas podemos mencionar el aumento de producción, reducción de tiempo para recolección de datos, disminución de costos, trabajar en zonas de difícil accesibilidad

Índices de vegetación

| Índice de vegetación | Acrónimo | Ecuación | Referencia |
|---|----------|--|-------------------------|
| Índice de vegetación de diferencia normalizada | NDVI | $\frac{R_{NIR} - R_{ROJO}}{R_{NIR} + R_{ROJO}}$ | (Tucker, 1979) |
| Índice de vegetación ajustado al suelo de borde rojo | RESAVI | $1.5 \frac{R_{NIR} - R_e}{R_{NIR} - R_e + 0.5}$ | (Sripada et al., 2006) |
| Índice borde de rojo de diferencia normalizada | NDRE | $\frac{R_{NIR} - R_{EDGE}}{R_{NIR} + R_{EDGE}}$ | (Barnes et al., 2000) |
| Índice de vegetación de diferencia normalizada transformado | TNDVI | $\sqrt{\frac{(R_{NIR} - R_{ROJO})}{(R_{NIR} + R_{ROJO})} + 0.5}$ | (Tucker, 1979) |
| Índice de vegetación triangular mejorado | GNDVI | $\frac{(R_{NIR} - R_{VERDE})}{(R_{NIR} + R_{VERDE})}$ | (Gitelson et al., 1996) |
| Razón simple modificada de borde rojo | MSRRE | $\frac{\left(\frac{R_{NIR}}{R_{ROJO}}\right) - 1}{\sqrt{\left(\frac{R_{NIR}}{R_{ROJO}}\right) + 1}}$ | (Wu et al., 2008) |



Palma Africana (*Elaeis guineensis* Jacq)



Palma Aceitera (*Elaeis oleífera*)



Variedades de palma aceitera

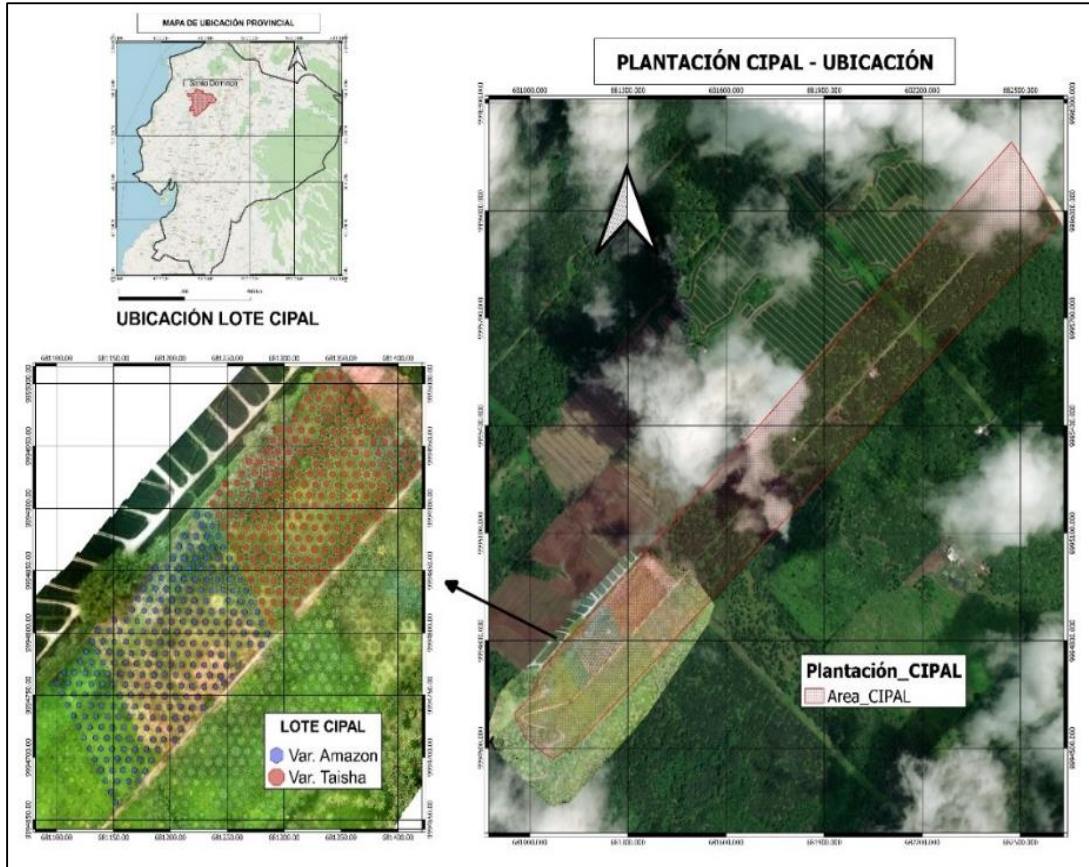


- **Amazon** (*Manaos x Pisifera*)
- **Taisha** Híbridos interespecíficos *E. oleíferas* brasileñas. Materna oleífera x guineensis (polen).
- **Coari**: Polinización artificial, mas pequeña y mejor producción.



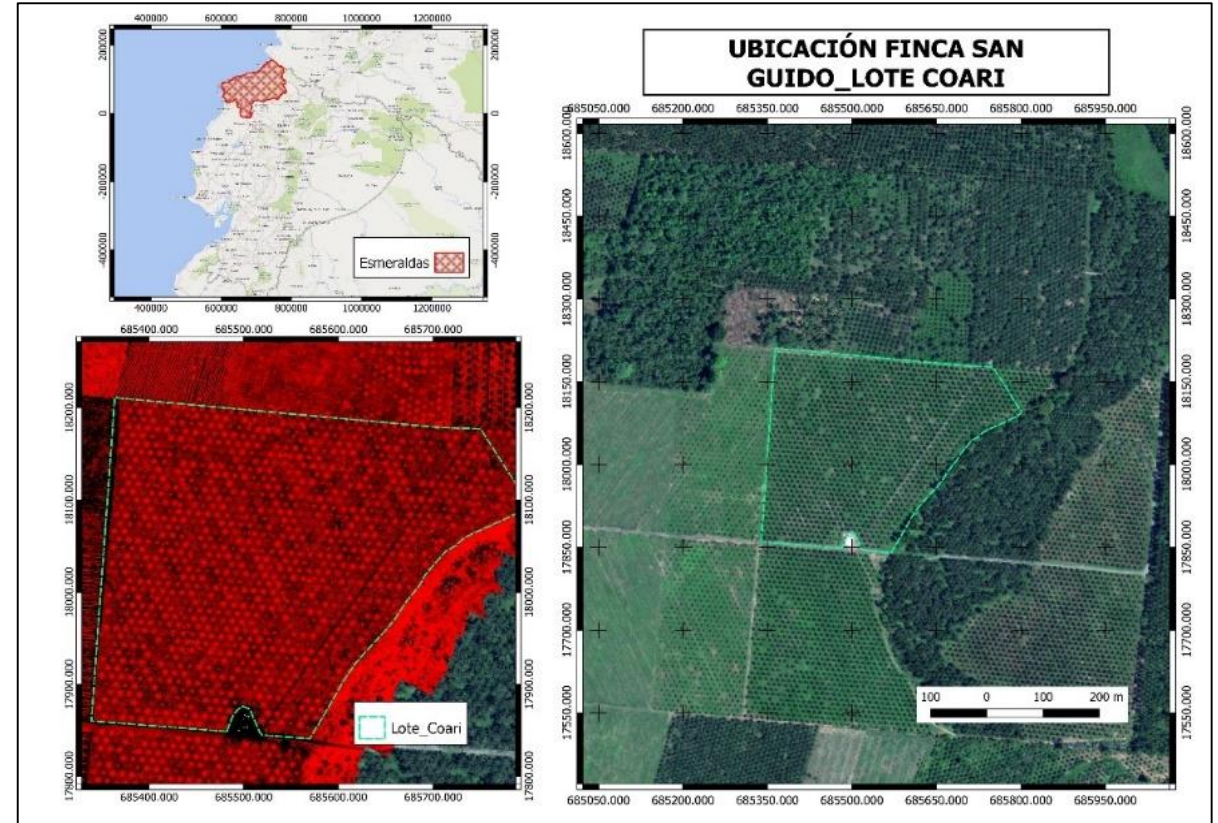
METODOLOGÍA

Ubicación Fase A



CIPAL – ANCUPA, km 37, vía Santo Domingo-Quinde cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo.

Ubicación Fase B



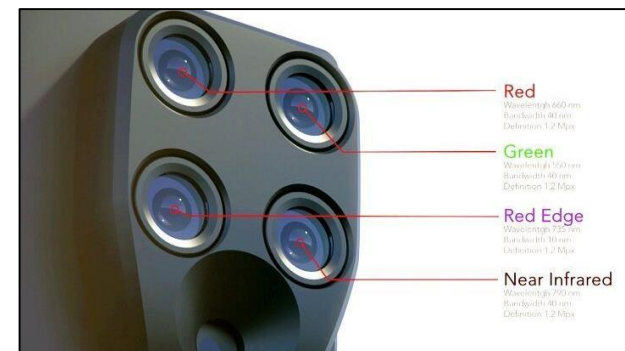
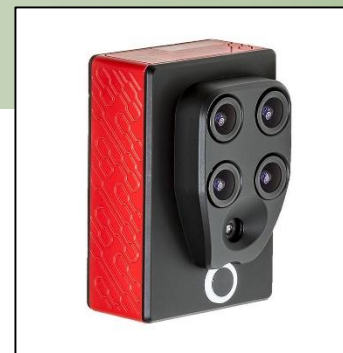
Plantación de palma aceitera-Finca San Guido, colaborador de ANCUPA, ubicada en la parroquia La Unión, provincia de Esmeraldas.



METODOLOGÍA



| No. | Equipo | Descripción |
|-------------------------------------|----------------------|---|
| Levantamiento de información | | |
| 1 | UAV | Phantom 4 |
| 2 | Cámara | Parrot Sequoia, Multispectral sensor |
| 3 | Panel de calibración | MicaSense Calibrated Reflectance Panel |
| 4 | Celular | POCO X3 PRO |
| Toma de firmas espectrales | | |
| 5 | Espectroradiómetro | Spectral evolution PRS-1100 |
| 6 | Diana de calibración | Panel blanco y negro |
| Procesamiento de información | | |
| 7 | Pix4Dmapper | Software de fotogrametría para mapeo con dron |
| 8 | QGIS | Software SIG libre y de código abierto |
| 9 | ENVI | Software de análisis y visualización de imágenes. |
| 10 | InfoStat | Software para el análisis estadístico |
| 11 | Microsoft Excel | Software para interpretación de datos |
| 12 | Computador | HP Laptop 15-da2 |



METODOLOGÍA

ELABORACIÓN DE LIBRERÍA DE FIRMAS ESPECTRALES

Captura de datos

Calibración



Procesamiento de datos para obtención de firmas espectrales

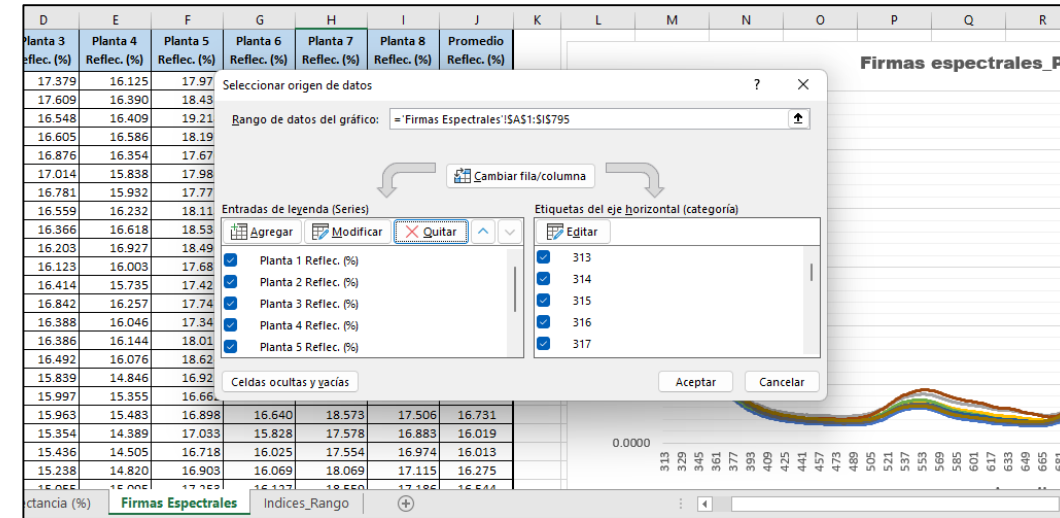
```
Version: 2.0
File Name: \Extended Storage\C38\1344418_00035.sed
Instrument: PSR-1100_SN1344418
Detectors: 512,0,0
Measurement: REFLECTANCE
Date: 02/15/2010,02/15/2010
Time: 14:51:36,14:52:45
Temperature (C): 34.19,34.92
Battery Voltage: 8.04,8.02
Averages: 10,10
Integration: 2,8
Dark Mode: AUTO,AUTO
Foreoptic: FIBER1: {RADIANCE},FIBER1: {RADIANCE}
Radiometric Calibration: RADIANCE
Units: W/m^2/sr
Wavelength Range: 320,1100
Latitude: -0.04586
Longitude: -79.37011
Altitude: 269.00
GPS Time: 19:48:33
Satellites: 10/12
Calibrated Reference Correction File: none
Channels: 795
Columns [5]:
Data:
Wvl Rad. (Ref.) Rad. (Target) -log Reflect. Reflect. %
312.0 0.000000E+000 0.000000E+000 0.00000 0.000
313.0 2.976333E-003 5.406492E-004 0.74083 18.159
314.0 3.059475E-003 5.425840E-004 0.75106 17.747
315.0 3.207211E-003 5.349897E-004 0.77765 16.687
316.0 3.384182E-003 5.921562E-004 0.75790 17.472
317.0 3.551996E-003 6.275370E-004 0.75248 17.684
318.0 3.670450E-003 6.378035E-004 0.76687 17.405
```



METODOLOGÍA

Base de datos de los valores de reflectancia

| Planta/Long. Onda (nm) | Planta 1 | | | | | | Planta 2 | | | | | | Planta 3 | | | | | | Planta 4 | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|----------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|----------|-----------|------|------|------|------|----------|------|-----------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|
| | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | Prom. (%) | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | Prom. (%) | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | Prom. (%) | 59 | 60 | 61 | 62 | 65 | 66 | Prom. (%) | 67 | 68 | 69 |
| 313 | 15.5 | 16.4 | 17.6 | 18.7 | 18.8 | 18.3 | 17.545 | 14.8 | 17.6 | 15.7 | 19.7 | 20.8 | 13.3 | 16.991 | 16.4 | 16.8 | 17 | 17.4 | 17 | 19.6 | 17.379 | 14.7 | 16.4 | 14.3 | 17.1 | 19 | 15.3 | 16.125 | 17.7 | 17.9 | 17.2 |
| 314 | 15.3 | 16.5 | 18.7 | 17.6 | 18.9 | 17.7 | 17.441 | 15.2 | 19.1 | 16 | 18.9 | 20.7 | 13.5 | 17.223 | 16.7 | 17.1 | 18.3 | 17.5 | 17 | 19.1 | 17.609 | 14.1 | 17.2 | 13.9 | 17.2 | 19.9 | 16.1 | 16.390 | 19.5 | 16.8 | 18.1 |
| 315 | 14.9 | 15.7 | 20.2 | 18.7 | 18.3 | 18.9 | 17.790 | 15.4 | 18 | 15.7 | 18.2 | 20 | 14.1 | 16.901 | 16.4 | 14.3 | 15 | 19.4 | 16.3 | 17.9 | 16.548 | 16.9 | 17.3 | 13.9 | 15.2 | 18.7 | 16.3 | 16.409 | 19.1 | 17.9 | 19.5 |
| 316 | 14 | 15.8 | 18.6 | 18 | 18.7 | 20 | 17.516 | 14.5 | 17.7 | 15.1 | 19.5 | 20.9 | 14.1 | 16.973 | 15.7 | 13.6 | 15.1 | 17.5 | 18.8 | 18.9 | 16.605 | 15.3 | 16.8 | 14.7 | 17.5 | 19.1 | 16.2 | 16.586 | 17.1 | 17 | 19 |
| 317 | 14.3 | 15.6 | 18.1 | 16.7 | 18.6 | 19.2 | 17.097 | 14.5 | 18.5 | 15 | 19.1 | 20.9 | 14.9 | 17.156 | 16 | 14.5 | 16.1 | 17.2 | 18.7 | 18.8 | 16.876 | 14.2 | 16.6 | 13.7 | 18.4 | 19.8 | 15.3 | 16.354 | 16.2 | 17.1 | 18.5 |
| 318 | 15.5 | 15.2 | 19.2 | 15.8 | 18.1 | 17.2 | 16.853 | 15.5 | 19.5 | 15 | 17 | 19.7 | 16 | 17.126 | 16.7 | 15.8 | 17 | 18.8 | 16.1 | 17.7 | 17.014 | 14.8 | 16.7 | 12.1 | 16.8 | 20.1 | 14.5 | 15.838 | 16.8 | 18 | 18.3 |
| 319 | 15.4 | 15.8 | 18.3 | 17.5 | 19.3 | 17.7 | 17.356 | 14.8 | 17.8 | 13.2 | 16.8 | 19.1 | 14.7 | 16.057 | 15.5 | 14.2 | 17.2 | 17.4 | 17.5 | 19 | 16.781 | 14.8 | 16 | 15.1 | 15 | 18.5 | 16.1 | 15.932 | 17.1 | 16.5 | 17 |
| 320 | 14.6 | 15.8 | 18.3 | 17.4 | 18.6 | 17.3 | 17.008 | 15 | 17.6 | 14.1 | 17.6 | 19.3 | 13.7 | 16.224 | 15.3 | 12.9 | 16.1 | 17.3 | 18 | 19.8 | 16.559 | 15.7 | 15.7 | 14.6 | 16.4 | 17.8 | 17.1 | 16.232 | 17.5 | 17.4 | 17.8 |
| 321 | 13.9 | 15.7 | 18.8 | 16.8 | 18.4 | 17 | 16.782 | 15.4 | 17.9 | 15.5 | 18.5 | 19.7 | 13.2 | 16.696 | 15.3 | 12.6 | 15.6 | 17.3 | 17.9 | 19.5 | 16.366 | 16.2 | 16.6 | 13.6 | 17.7 | 18.5 | 17.2 | 16.618 | 17.6 | 19 | 18.8 |
| 322 | 14.4 | 16 | 19 | 17.2 | 20.8 | 18.2 | 17.618 | 15.1 | 17.3 | 15.1 | 18.4 | 19.7 | 13 | 16.441 | 14.7 | 13.8 | 16.9 | 16.1 | 17.6 | 18.1 | 16.203 | 14.8 | 18.9 | 15.1 | 15.5 | 20.9 | 16.4 | 16.927 | 17 | 19.5 | 18.1 |
| 323 | 15.9 | 15.5 | 19.1 | 17.1 | 18.2 | 18.5 | 17.384 | 14.5 | 16.1 | 13.6 | 19 | 19.4 | 14.1 | 16.112 | 15.2 | 14.9 | 15.3 | 17.1 | 18 | 16.2 | 16.123 | 14.8 | 16.2 | 14.2 | 16.1 | 19.1 | 15.6 | 16.003 | 16.9 | 17.8 | 16.2 |
| 324 | 16.5 | 16.3 | 18.6 | 17.4 | 17 | 18.5 | 17.376 | 15.1 | 15.8 | 13.5 | 18.8 | 19 | 14.5 | 16.114 | 16.4 | 15.7 | 14.8 | 17 | 18 | 16.5 | 16.414 | 15.3 | 15.6 | 13.3 | 15.9 | 18.8 | 15.6 | 15.735 | 16.7 | 17.5 | 16.9 |
| 325 | 15.7 | 17.8 | 17.8 | 17.9 | 18.1 | 18.7 | 17.658 | 16.4 | 16.5 | 14.7 | 17.9 | 18.8 | 13.9 | 16.359 | 17.5 | 16.1 | 15.8 | 15.6 | 17.5 | 18.6 | 16.842 | 15.6 | 17.9 | 13.1 | 14.7 | 20.5 | 15.8 | 16.257 | 16.6 | 18.6 | 19.1 |
| 326 | 13.3 | 16 | 17.3 | 17.9 | 17.6 | 20.9 | 17.166 | 14.7 | 16.9 | 13.5 | 18.9 | 19.5 | 13.2 | 16.111 | 16.2 | 15.7 | 16.2 | 15.4 | 17.3 | 17.5 | 16.388 | 14.1 | 18.7 | 13.4 | 16.2 | 20.6 | 13.3 | 16.046 | 17.1 | 18.1 | 16.6 |
| 327 | 13.9 | 15.2 | 17.6 | 18.4 | 18.6 | 19.7 | 17.222 | 14.9 | 16.4 | 13.9 | 17.7 | 20.4 | 13.5 | 16.132 | 15.7 | 15.4 | 15.8 | 16.3 | 17.1 | 18 | 16.386 | 15 | 17.4 | 14.7 | 16.3 | 20.5 | 12.9 | 16.144 | 17.4 | 18.3 | 16.9 |
| 328 | 15.7 | 15.4 | 18 | 18.6 | 19.5 | 17.1 | 17.383 | 15.9 | 15.4 | 14.7 | 16 | 20.1 | 14 | 16.027 | 15.7 | 15 | 15.1 | 17.3 | 16.9 | 18.9 | 16.492 | 16.6 | 15.6 | 15.4 | 15.4 | 20 | 13.5 | 16.076 | 17.1 | 18.7 | 18.5 |
| 329 | 15 | 15.4 | 17.4 | 17.3 | 16.8 | 17.8 | 16.626 | 14.7 | 15.1 | 13.4 | 17 | 16.3 | 13.2 | 14.960 | 15.1 | 14.2 | 15.5 | 16.2 | 17.1 | 16.9 | 15.839 | 14.6 | 15.9 | 12.6 | 14.5 | 18.9 | 12.6 | 14.846 | 15.5 | 18 | 17.4 |
| 330 | 15.5 | 15.5 | 18.6 | 16.9 | 16.1 | 17.2 | 16.644 | 16 | 16.1 | 13.1 | 18.2 | 18 | 13.7 | 15.852 | 14.6 | 14.5 | 15.1 | 16.5 | 17.2 | 18 | 15.997 | 15.1 | 15.7 | 12.6 | 15 | 19.8 | 13.9 | 15.355 | 14.7 | 17 | 16.7 |
| 331 | 15.2 | 15.2 | 18.6 | 16.8 | 16.1 | 17.7 | 16.442 | 16.2 | 17.1 | 13.2 | 18 | 19.5 | 14 | 16.344 | 14.3 | 14.6 | 14.7 | 16.7 | 17 | 18.5 | 15.963 | 15.1 | 15.6 | 13.1 | 14.5 | 20 | 14.6 | 15.483 | 15.1 | 16.4 | 16.6 |
| 332 | 13.4 | 14.6 | 16.2 | 16.9 | 15.9 | 16.9 | 15.657 | 14.1 | 17.2 | 13.4 | 16.3 | 18.2 | 13.4 | 15.430 | 14.2 | 13.6 | 14.6 | 16.2 | 16.6 | 16.9 | 15.354 | 13.4 | 15.6 | 12.9 | 12.7 | 18.2 | 13.6 | 14.389 | 16.2 | 16.6 | 17 |
| 333 | 12.8 | 14.5 | 15.2 | 16.1 | 15.7 | 18.4 | 15.446 | 14.6 | 15.9 | 14.7 | 15.8 | 18.4 | 13.3 | 15.450 | 14.7 | 13.3 | 14.6 | 16.5 | 16.4 | 17.1 | 15.436 | 13 | 15.2 | 12.3 | 14.9 | 17.8 | 13.8 | 14.505 | 14.4 | 16.7 | 16.6 |
| 334 | 13.8 | 15.3 | 16.5 | 16.2 | 16.9 | 18.9 | 16.252 | 15.2 | 15.9 | 14.6 | 16.9 | 18.9 | 12.9 | 15.733 | 14.7 | 13.5 | 14.7 | 16.3 | 15.5 | 16.9 | 15.238 | 13.3 | 15.3 | 13.2 | 15.5 | 17.6 | 14 | 14.820 | 14.1 | 17.3 | 17.8 |
| 335 | 15.3 | 16.3 | 18.1 | 16.8 | 18.4 | 18.4 | 17.224 | 15 | 16.4 | 13.8 | 18.4 | 18.9 | 12.8 | 15.850 | 14.4 | 13.8 | 14.9 | 15.8 | 14.9 | 16.5 | 15.055 | 14 | 15.5 | 14.4 | 14.7 | 17.8 | 14.1 | 15.095 | 15.2 | 17.8 | 19.1 |

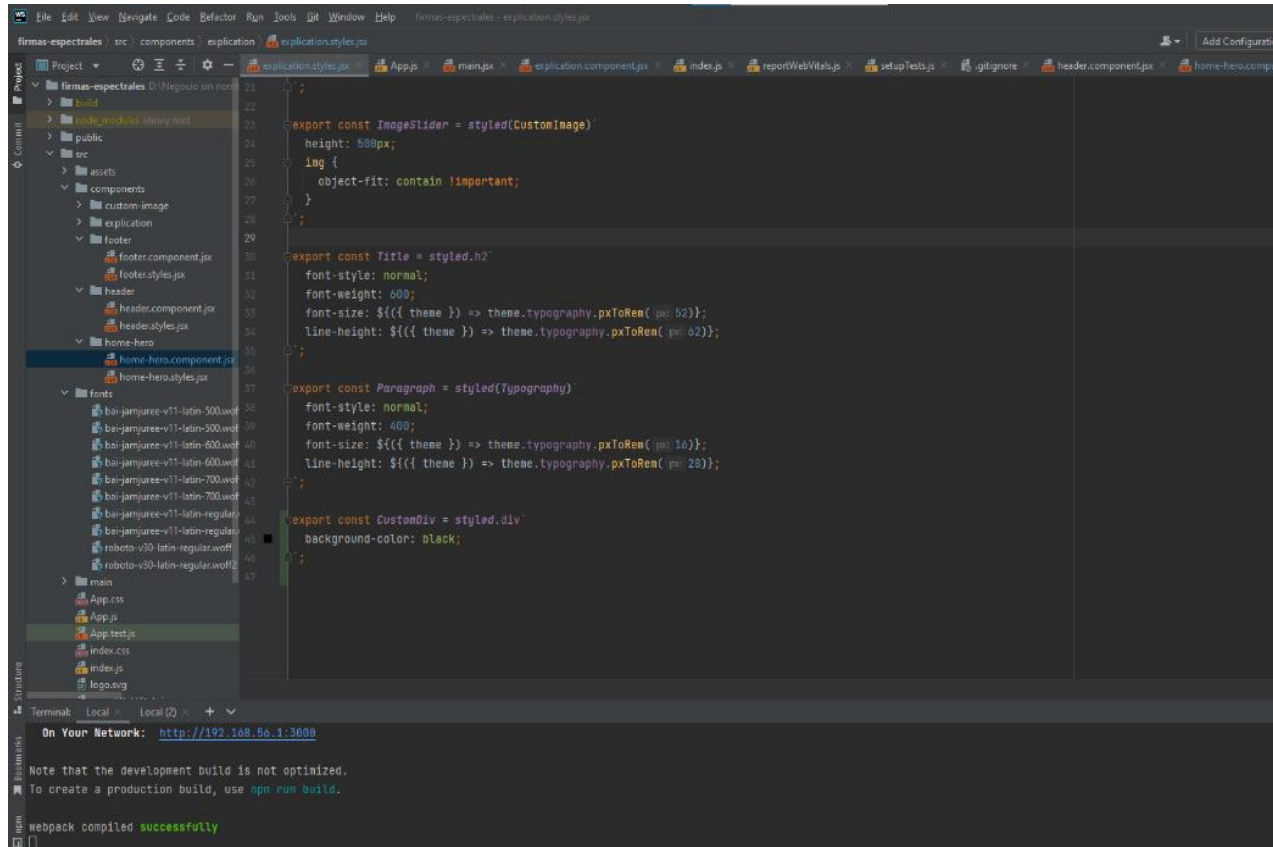


Diseño de gráfico para firma espectral



METODOLOGÍA

Creación de página web para librería de firmas espectrales



The screenshot shows a code editor with a project structure on the left and code in the main area. The project structure includes folders like 'build', 'public', 'src', 'assets', 'components', 'explication', 'footer', 'header', 'home-hero', and 'fonts'. The code in the main area is a JavaScript file named 'explication.styles.js' containing styled components for 'ImageSlider', 'Title', 'Paragraph', and 'CustomDiv'. The code uses styled-components and theme variables for styling.

```
export const ImageSlider = styled(CustomImage)
  height: 500px;
  img {
    object-fit: contain !important;
  }
};

export const Title = styled.h2`
  font-style: normal;
  font-weight: 600;
  font-size: ${({ theme }) => theme.typography.pxToRem( 52)};
  line-height: ${({ theme }) => theme.typography.pxToRem( 62)};
`;

export const Paragraph = styled(Typography)
  font-style: normal;
  font-weight: 400;
  font-size: ${({ theme }) => theme.typography.pxToRem( 16)};
  line-height: ${({ theme }) => theme.typography.pxToRem( 20)};
`;

export const CustomDiv = styled.div`
  background-color: black;
`;
```

La pagina web se creó por medio del Software WebStorm V2021.3.2, usando React, la biblioteca de JavaScript para la construcción de interfaces de usuario de forma interactiva y sencilla



GENERACIÓN DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN A PARTIR DE DATOS ESPECTRALES

| Extracción y promedio de datos de Reflectancia por bandas | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Bandas | Planta 1 | Planta 2 | Planta 3 | Planta 4 | Planta 5 | Planta 6 | Planta 7 | Planta 8 | Promedio |
| Verde | 0.0699 | 0.0600 | 0.0475 | 0.0595 | 0.0553 | 0.0742 | 0.0534 | 0.0525 | 0.0621 |
| Rojo | 0.0540 | 0.0444 | 0.0319 | 0.0400 | 0.0400 | 0.0557 | 0.0357 | 0.0384 | 0.0444 |
| EDGE | 0.1778 | 0.1727 | 0.1821 | 0.1795 | 0.1855 | 0.1838 | 0.2077 | 0.2008 | 0.3098 |
| NIR | 0.4126 | 0.4062 | 0.4339 | 0.4002 | 0.4500 | 0.4139 | 0.4854 | 0.4595 | 0.4295 |
| | | | | | | | | | |
| Índices de Vegetación | | | | | | | | | |
| Indices | Planta 1 | Planta 2 | Planta 3 | Planta 4 | Planta 5 | Planta 6 | Planta 7 | Planta 8 | Promedio |
| NDVI | 0.769 | 0.803 | 0.863 | 0.818 | 0.837 | 0.763 | 0.863 | 0.846 | 0.813 |
| MSRRE | 2.260 | 2.556 | 3.295 | 2.714 | 2.927 | 2.215 | 3.295 | 3.045 | 2.654 |
| NDRE | 0.398 | 0.403 | 0.409 | 0.381 | 0.416 | 0.385 | 0.401 | 0.392 | 0.162 |
| TNDVI | 1.126 | 1.141 | 1.167 | 1.148 | 1.156 | 1.124 | 1.167 | 1.160 | 1.146 |
| GNDVI | 0.710 | 0.743 | 0.803 | 0.741 | 0.781 | 0.696 | 0.802 | 0.795 | 0.747 |
| RESAVI | 0.627 | 0.630 | 0.668 | 0.628 | 0.676 | 0.626 | 0.710 | 0.686 | 0.653 |

Promediando los valores dentro del rango mínimo y máximo de las bandas de la cámara multispectral agrícola Parrot Sequoia. Los canales de esta cámara son 4 y corresponden al verde ($550 \pm 40\text{nm}$), rojo ($660\text{nm} \pm 40\text{nm}$), borde de rojo ($735\text{nm} \pm 10\text{nm}$) y el infrarrojo cercano ($790\text{nm} \pm 40\text{nm}$).



CAPTURA DE IMÁGENES MULTIESPECTRALES MEDIANTE UAV

METODOLOGÍA

Preparación del UAV y cámara multiespectral

Diseño del plan de vuelo



| Parámetros | Vuelo Fase A | Vuelo Fase B |
|-----------------------|-----------------|----------------|
| Área del terreno | 17.5 Ha | 12.5 Ha |
| Altura de vuelo | 80 (m) | 80 (m) |
| Superposición lateral | 70% | 75% |
| Superposición frontal | 80% | 80% |
| Tiempo de vuelo | 11m 2s | 10m 59s |
| Líneas de vuelo | 7 | 12 |
| Velocidad | 8.1 (m/s) | 8.1 (m/s) |
| GSD - Multiespectral | 3.44 (cm/pixel) | 3.44(cm/pixel) |



Fase A

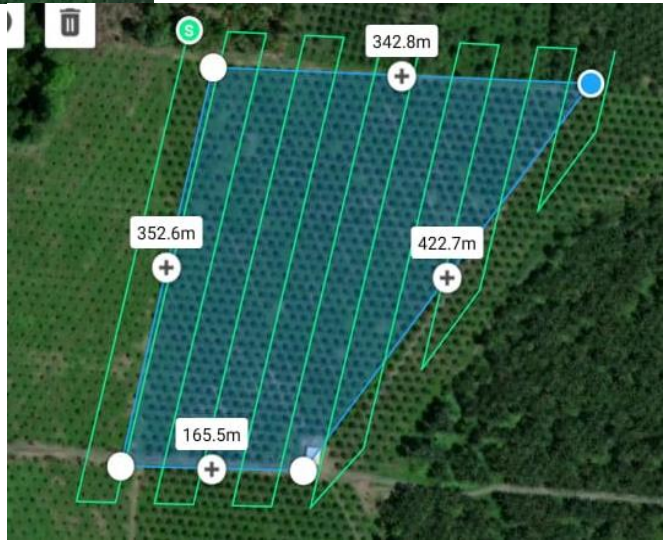
Ejecución del vuelo

Aplicación móvil "DJI Pilot"

Toma de imágenes de tarjeta de calibración
"MicaSense Calibrated Reflectance Panel"



Fase B

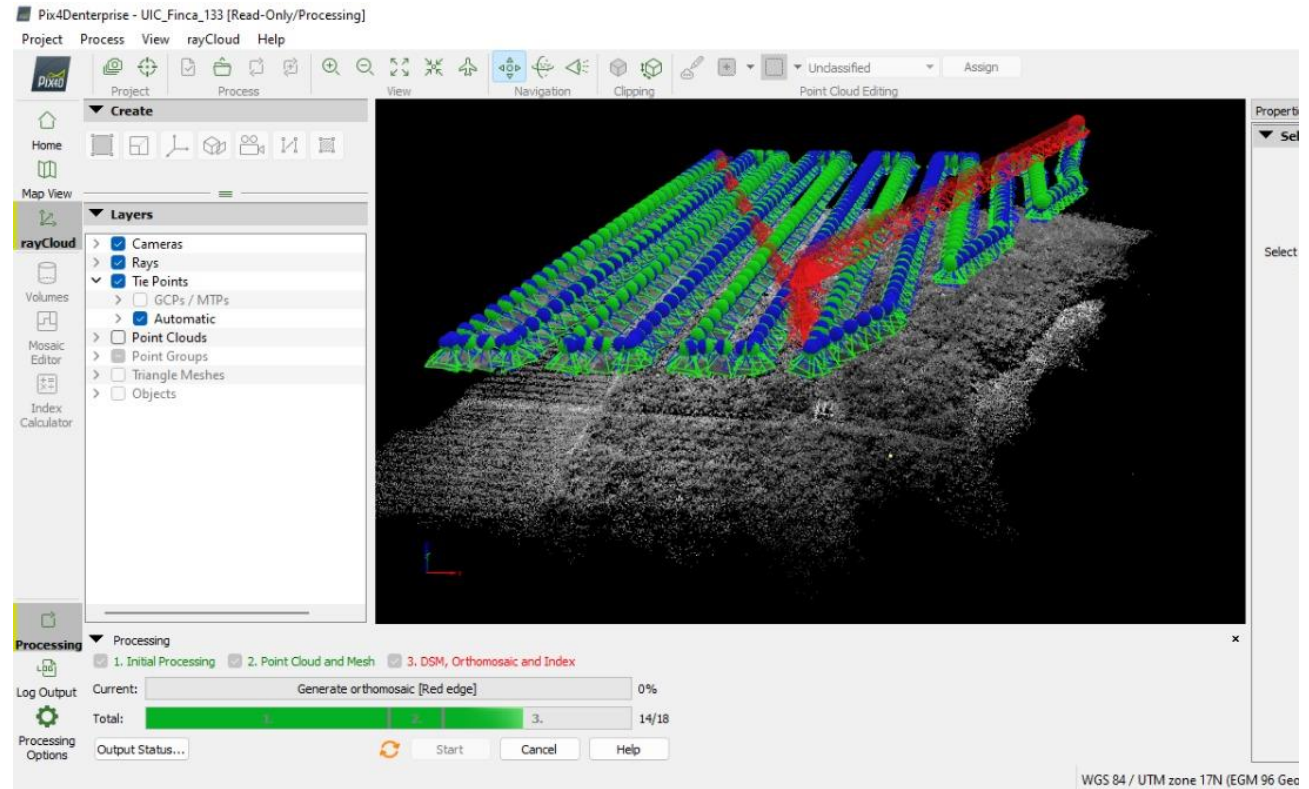


Diseño de los planes de vuelo.



PROCESAMIENTO DE IMÁGENES DIGITALES

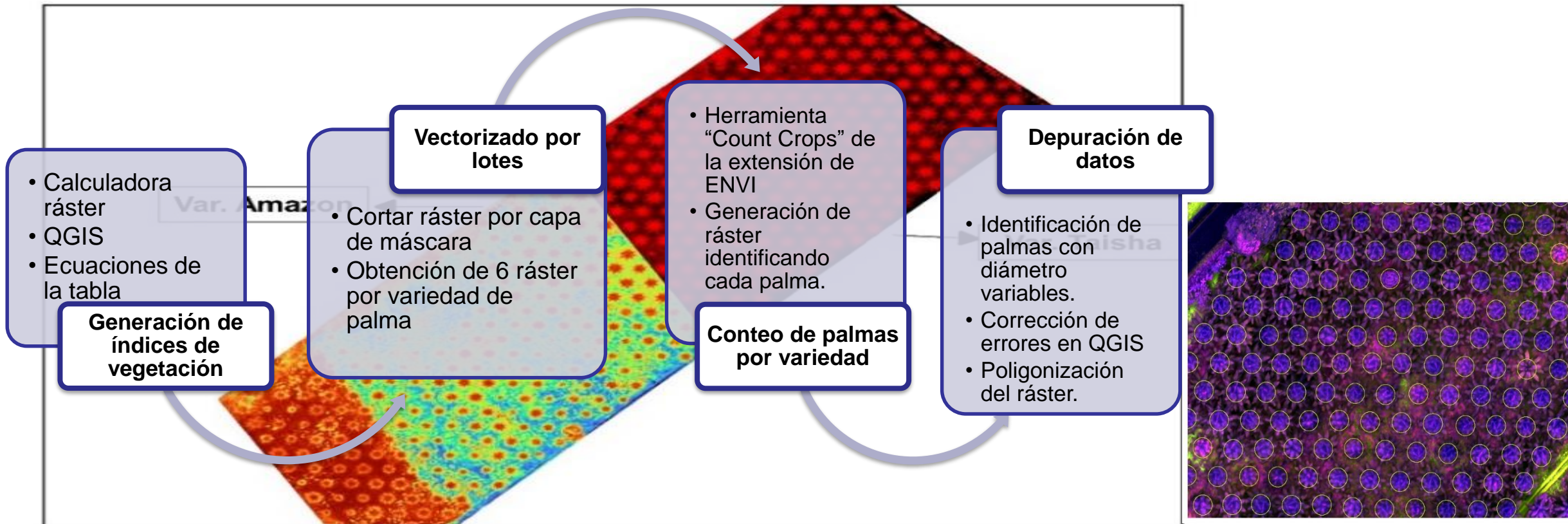
- Utilización del software Pix4D Enterprise V4.5
- Nuevo proyecto
- Clasificación de imágenes multiespectrales (Fase A: 2755, Fase B: 2076).
- Productos de salida: modelo digital de superficies, ortomosaicos, mapa de reflectancia (teselas unidad)
- Carga de imágenes del panel de calibración; Valores.
 - ✓ Verde: 0.73
 - ✓ Rojo: 0.73
 - ✓ Borde de rojo: 0.71
 - ✓ NIR: 0.68
- Ejecución del procesamiento.



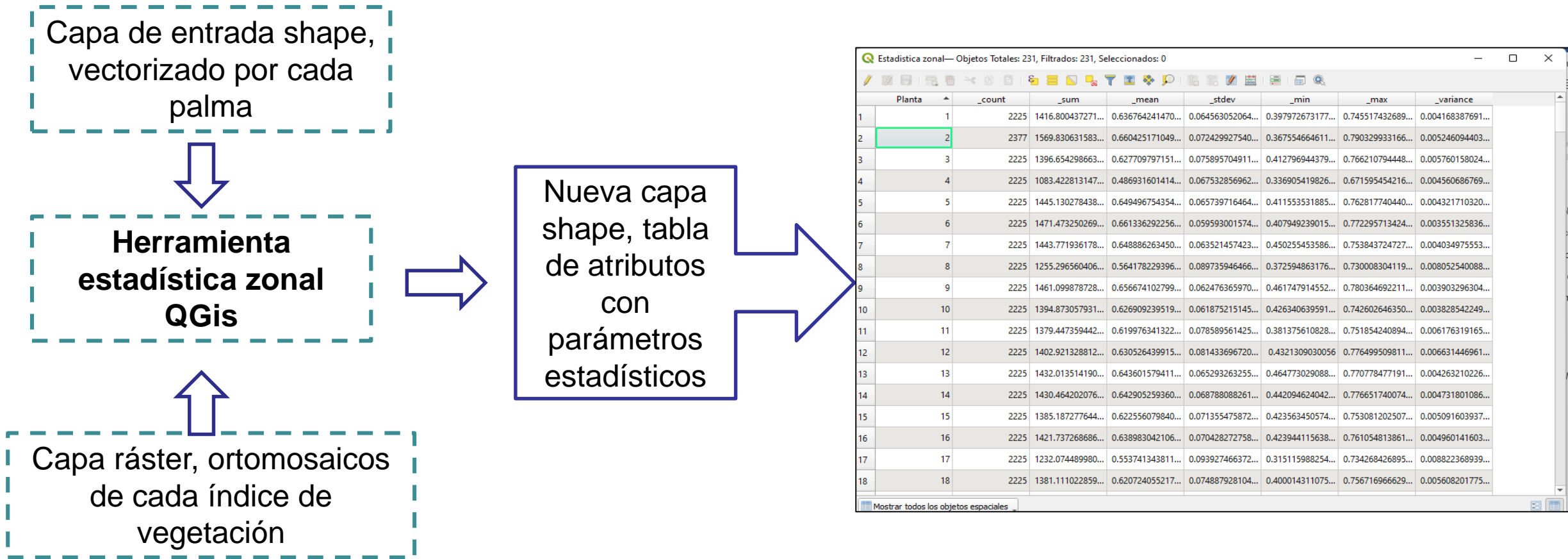
CÁLCULO DE ÍNDICES DE VEGETACIÓN DE LOS ORTOMOSAICOS MULTIESPECTRALES

METODOLOGÍA

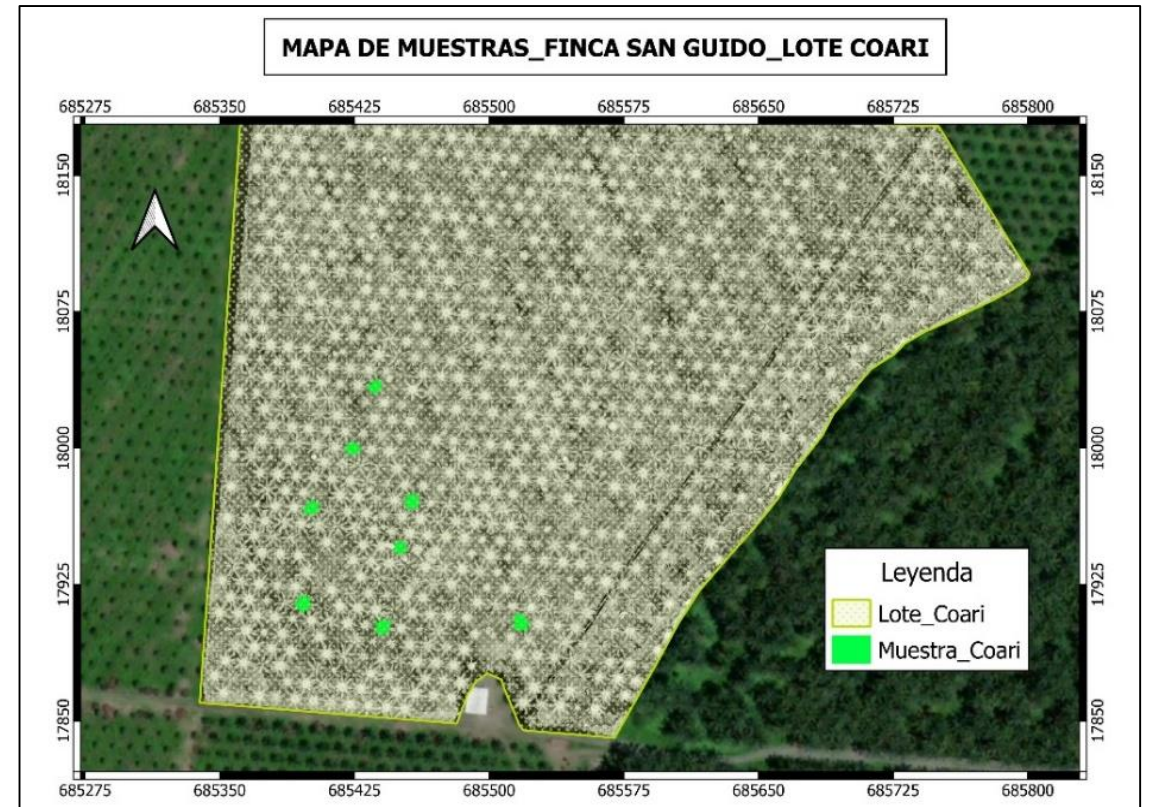
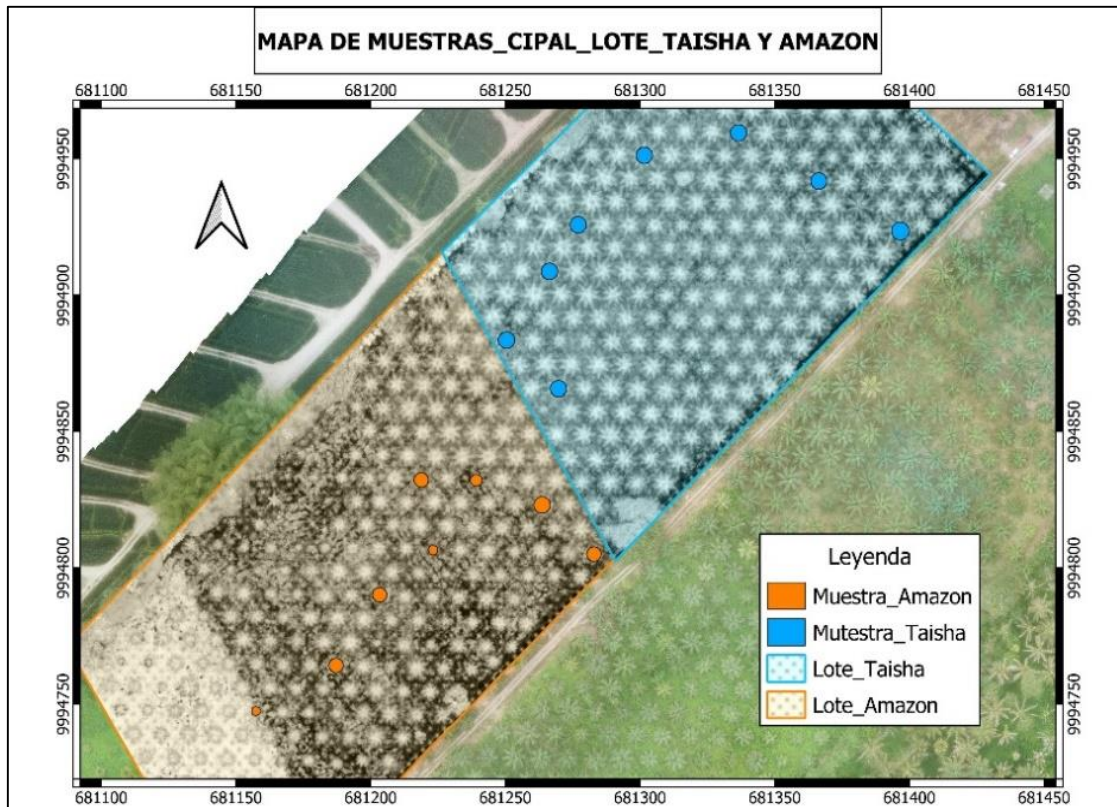
Lotes_Var. Taisha_Amazon



APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICA ZONAL



TAMAÑO DE LA MUESTRA



- Identificación de palmas muestreadas por GPS
- Muestra mínima de 15 plantas en bosques de arboles tropicales por (Casal & Mateu, 2003) y (Morellato et al., 2010).
- 8 muestras de cada variedad, con un total de 24 plantas, ya que se generó un modelo general para las tres variedades.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA VARIANZA

ANOVA y comparación de medias LSD Fisher ($P < 0,05$)

Modelo matemático:

$$Y_{ijk} = u + V_i + e_{ijk}$$

Y_{ijk} : Índices NDVI, MSRRE, NDRE, TNDVI, GNDVI y RESAVI

u : Media general

V_i : Efecto de la i -ésima variedad

e_{ijk} : Error muestral

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN

$$r_{xy} = \frac{\sum z_x z_y}{N}$$

Pearson,
Significativo
($P < 0,05$)

Donde:

x : variable número uno.

y : pertenece a la variable número dos.

Z_x : desviación estándar de la variable uno.

Z_y : desviación estándar de la variable dos y

N : número de datos.

Grado de asociatividad, únicamente en los caso que no existe diferencia significativa entre variedades.

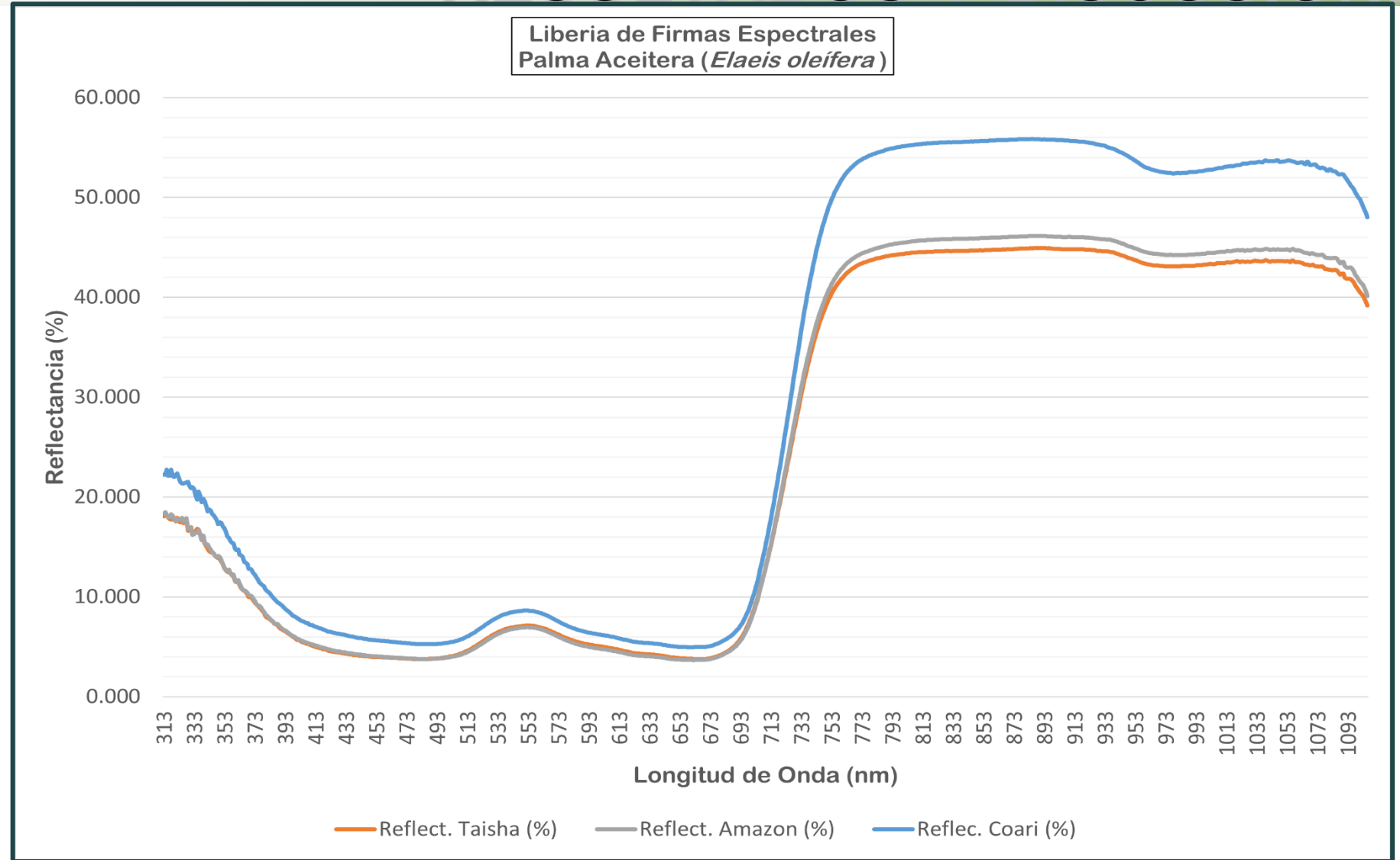


RESULTADOS Y DISCUSIONES

GENERACIÓN DE FIRMAS ESPECTRALES

Reflectancia en el verde (525nm – 605nm) entre un 3 a 4% más alto que las bandas del azul (325nm – 525nm) y rojo (655nm – 700nm) , pero es en la banda del NIR (700nm – 1025nm), mayor porcentaje de reflectancia. (Masís Campos et al., 2019).

Taisha y Amazon: liger variacion en el NIR (44% - 46%) respectivamente. Coari: Diferencias porcentuales.



RESULTADOS Y DISCUSIONES

Librería de firmas espectrales

ESPE CARRERA DE AGROPECUARIA

Inicio Ubicación equipo de demostracion Var. Taisha Var. Amazonas Var. Coari

Librería de firmas espectrales

Librería de firmas espectrales de Palma Aceitera (*Elaeis oleifera*).

La firma espectral de una planta muestra las características del comportamiento de la radiación electromagnética con la estructura de la planta.

La firma espectral de un cultivo está condicionada por la presencia de pigmentos, la estructura de la hoja y su contenido en humedad.

El espectro de reflectancia de un material es un gráfico de la fracción de radiación reflejada en función de la longitud de onda y se representa como una firma. Únicamente el material

Sitio web para librería de firmas espectrales:
“<https://dev-firmas-espectrales.herokuapp.com/> “

Buscar en Drive

Mi unidad > Libreria_Palma Aceitera

| Nombre ↓ | Propietario | Última modificación | Tamaño de archivo |
|-----------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Var. Taisha.zip | yo | 14 ago 2022 yo | 1,9 MB |
| Var. Coari.zip | yo | 14 ago 2022 yo | 1,6 MB |
| Var. Amazon.zip | yo | 14 ago 2022 yo | 2,3 MB |

ESPE CARRERA DE AGROPECUARIA

Inicio Ubicación Equipo de muestreo Var. Amazon Var. Coari Var. Taisha

Amazon

Amazon, su origen genético involucra palmas madres de Manaus (Brasil), cruzadas con Pisiferas de la población compacta de ASD, la cual también posee genes oleífera (6-12%), dentro de su composición genética

DESCARGAR ARCHIVOS

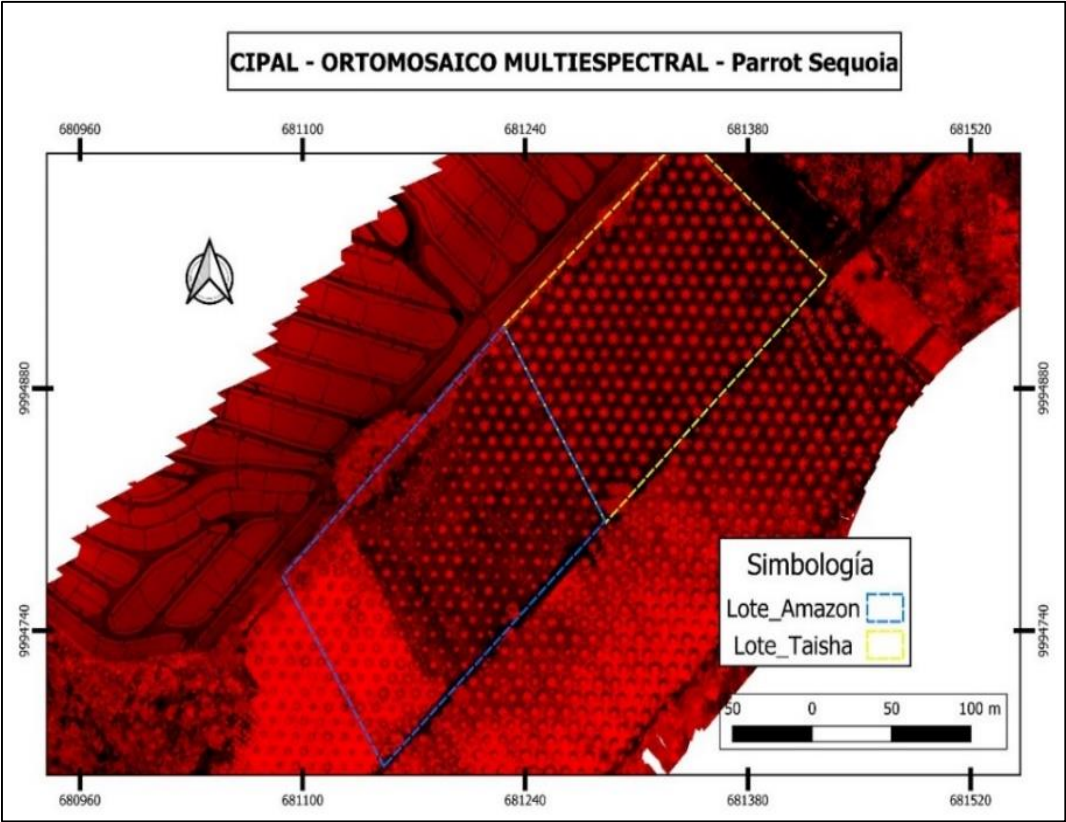
Índices de vegetación generados por espectroradiómetro

| Planta | NDVI | MSRRE | NDRE | TNDVI | GNDVI | RESAVI |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 0.803 | 2.563 | 0.409 | 1.142 | 0.743 | 0.655 |
| 2 | 0.84 | 2.972 | 0.405 | 1.158 | 0.785 | 0.696 |
| 3 | 0.837 | 2.927 | 0.406 | 1.156 | 0.773 | 0.676 |
| 4 | 0.853 | 3.143 | 0.414 | 1.163 | 0.801 | 0.696 |
| 5 | 0.8 | 2.53 | 0.372 | 1.14 | 0.732 | 0.647 |
| 6 | 0.835 | 2.901 | 0.391 | 1.155 | 0.764 | 0.669 |

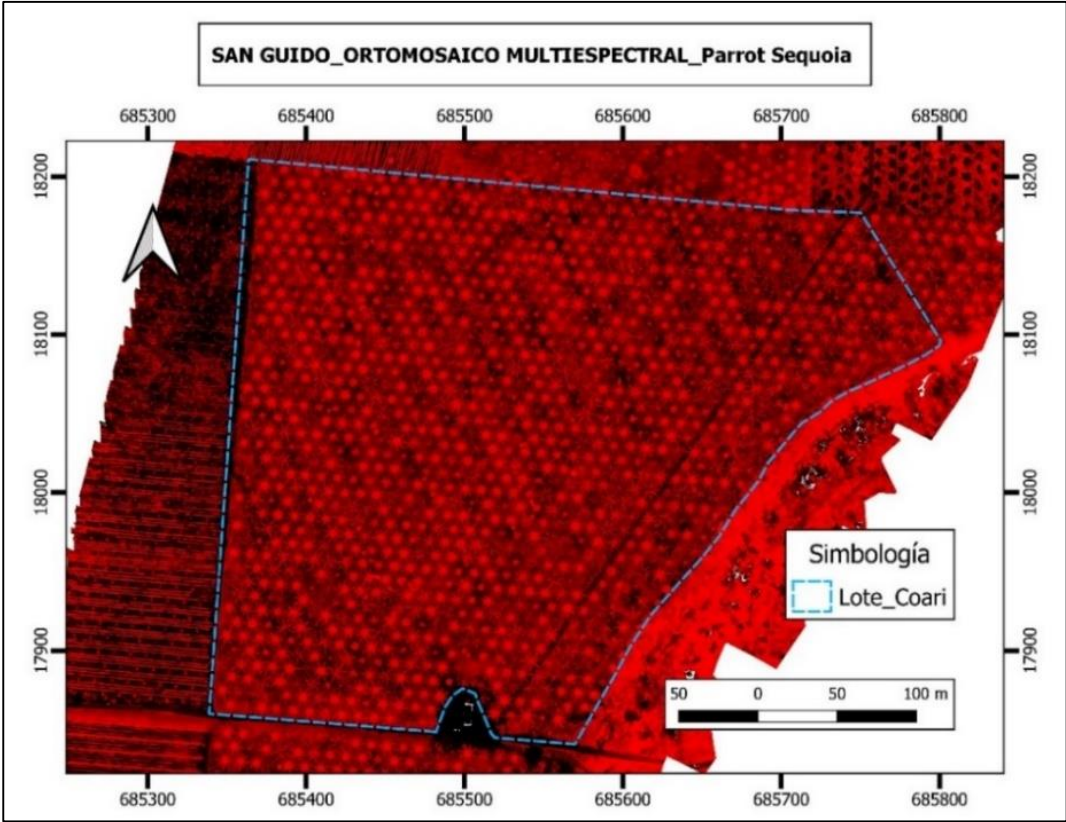


RESULTADOS Y DISCUSIONES

Ortomosaicos multiespectral de la Fase A



Ortomosaicos multiespectral de la Fase B.



RESULTADOS Y DISCUSIONES

Índices de vegetación calculados a partir de espectralradiómetro

| Indices de Vegetacion | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| Indices | Planta 1 | Planta 2 | Planta 3 | Planta 4 | Planta 5 | Planta 6 | Planta 7 | Planta 8 | Promedio |
| NDVI | 0.811 | 0.825 | 0.806 | 0.835 | 0.816 | 0.855 | 0.814 | 0.784 | 0.812 |
| MSRRE | 2.637 | 2.791 | 2.583 | 2.905 | 2.692 | 3.176 | 2.673 | 2.389 | 2.644 |
| NDRE | 0.416 | 0.412 | 0.412 | 0.419 | 0.403 | 0.404 | 0.382 | 0.416 | 0.173 |
| TNDVI | 1.145 | 1.151 | 1.143 | 1.155 | 1.147 | 1.164 | 1.146 | 1.133 | 1.145 |
| GNDVI | 0.754 | 0.766 | 0.745 | 0.783 | 0.759 | 0.798 | 0.754 | 0.740 | 0.754 |
| RESAVI | 0.679 | 0.762 | 0.749 | 0.797 | 0.737 | 0.767 | 0.709 | 0.709 | 0.738 |
| | | | | | | | | | |
| Variedad | Planta | NDVI | MSRRE | NDRE | TNDVI | GNDVI | RESAVI | | |
| Taisha | 1 | 0.811 | 2.637 | 0.416 | 1.145 | 0.754 | 0.679 | | |
| Taisha | 2 | 0.825 | 2.791 | 0.412 | 1.151 | 0.766 | 0.762 | | |
| Taisha | 3 | 0.806 | 2.583 | 0.412 | 1.143 | 0.745 | 0.749 | | |
| Taisha | 4 | 0.835 | 2.905 | 0.419 | 1.155 | 0.783 | 0.797 | | |
| Taisha | 5 | 0.816 | 2.692 | 0.403 | 1.147 | 0.759 | 0.737 | | |
| Taisha | 6 | 0.855 | 3.176 | 0.404 | 1.164 | 0.798 | 0.767 | | |
| Taisha | 7 | 0.814 | 2.673 | 0.382 | 1.146 | 0.754 | 0.709 | | |
| Taisha | 8 | 0.784 | 2.389 | 0.416 | 1.133 | 0.740 | 0.709 | | |

Índices de vegetación calculados a partir del UAV

| Variedad | # de Planta | NDVI | MSRRE | NDRE | TNDVI | GNDVI | RESAVI | | |
|----------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---|--------|
| 1 | 1 | 0.76861 | 2.25966 | 0.39762 | 1.12632 | 0.71017 | 0.62651 | 1 | Taisha |
| 1 | 2 | 0.80276 | 2.55626 | 0.40349 | 1.14139 | 0.74272 | 0.62972 | 2 | Amazon |
| 1 | 3 | 0.86285 | 3.29504 | 0.40874 | 1.16741 | 0.80277 | 0.66847 | 3 | Coari |
| 1 | 4 | 0.81820 | 2.71381 | 0.38079 | 1.14813 | 0.74110 | 0.62807 | | |
| 1 | 5 | 0.83664 | 2.92739 | 0.41616 | 1.15613 | 0.78105 | 0.67582 | | |
| 1 | 6 | 0.76275 | 2.21461 | 0.38501 | 1.12372 | 0.69592 | 0.62609 | | |
| 1 | 7 | 0.86286 | 3.29508 | 0.40056 | 1.16741 | 0.80170 | 0.71023 | | |
| 1 | 8 | 0.84570 | 3.04477 | 0.39170 | 1.16004 | 0.79504 | 0.68571 | | |
| 2 | 1 | 0.80342 | 2.56262 | 0.40926 | 1.14167 | 0.74260 | 0.65466 | | |
| 2 | 2 | 0.84016 | 2.97185 | 0.40517 | 1.15765 | 0.78460 | 0.69565 | | |
| 2 | 3 | 0.83658 | 2.92669 | 0.40581 | 1.15611 | 0.77292 | 0.67601 | | |
| 2 | 4 | 0.85277 | 3.14308 | 0.41419 | 1.16309 | 0.80054 | 0.69614 | | |
| 2 | 5 | 0.80001 | 2.52994 | 0.37194 | 1.14018 | 0.73242 | 0.64667 | | |
| 2 | 6 | 0.83451 | 2.90104 | 0.39071 | 1.15521 | 0.76365 | 0.66921 | | |
| 2 | 7 | 0.80551 | 2.58310 | 0.40872 | 1.14259 | 0.73999 | 0.63343 | | |
| 2 | 8 | 0.83920 | 2.95962 | 0.41915 | 1.15724 | 0.78544 | 0.65779 | | |
| 3 | 1 | 0.81086 | 2.63670 | 0.41598 | 1.14493 | 0.75392 | 0.67857 | | |
| 3 | 2 | 0.82521 | 2.79136 | 0.41154 | 1.15118 | 0.76568 | 0.76191 | | |
| 3 | 3 | 0.80550 | 2.58300 | 0.41215 | 1.14259 | 0.74453 | 0.74917 | | |
| 3 | 4 | 0.83484 | 2.90511 | 0.41917 | 1.15535 | 0.78271 | 0.79681 | | |



RESULTADOS Y DISCUSIONES

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN OBTENIDOS A PARTIR DEL ESPECTRORADIÓMETRO

Tabla 11

p-valor del análisis de la varianza y línea base de 3 variedades de palma aceitera para índices de vegetación obtenidos a partir del espectroradiómetro.

| | F _{2;21} | p | Sign. | Taisha | | Amazon | | Coari | |
|---------------|-------------------|----------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | Media | D.E | Media | D.E | Media | D.E |
| NDVI | 0.190 | 0.830 | - | 0.820 | 0.039 | 0.827 | 0.020 | 0.818 | 0.021 |
| GNDVI | 0.090 | 0.914 | - | 0.759 | 0.042 | 0.765 | 0.025 | 0.762 | 0.020 |
| TNDVI | 0.200 | 0.816 | - | 1.149 | 0.017 | 1.152 | 0.009 | 1.148 | 0.009 |
| RESAVI | 39.061 | < 0.0001 | ** | 0.599 | 0.040 | 0.610 | 0.025 | 0.738 | 0.038 |
| MSRRE | 0.178 | 0.838 | - | 2.788 | 0.425 | 2.822 | 0.230 | 2.731 | 0.234 |
| NDRE | 1.165 | 0.331 | - | 0.398 | 0.012 | 0.403 | 0.015 | 0.408 | 0.012 |

índice VARI generó un p-valor de 0.075 para la variedad Coari (Cisneros, 2021)

Mayor % de reflectancia en variedad Coari, en el intervalo del borde rojo (735nm ± 10nm) y a partir del nanómetro 750 que corresponde al NIR, mismas con las que se estima el índice RESAVI



RESULTADOS Y DISCUSIONES

ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LOS ÍNDICES DE VEGETACIÓN OBTENIDOS A PARTIR DEL UAV

Tabla 18

p-valor del análisis de la varianza y línea base de 3 variedades de palma aceitera para índices de vegetación obtenidos a partir del UAV

| | F _{2;21} | p | Sign. | Taisha | | Amazon | | Coari | |
|---------------|-------------------|----------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | Media | D.E | Media | D.E | Media | D.E |
| NDVI | 6.394 | 0.006 | * | 0.861 | 0.011 | 0.849 | 0.014 | 0.869 | 0.008 |
| GNDVI | 9.073 | 0.001 | * | 0.730 | 0.022 | 0.701 | 0.034 | 0.755 | 0.017 |
| TNDVI | 8.318 | 0.002 | * | 1.167 | 0.005 | 1.159 | 0.008 | 1.170 | 0.003 |
| RESAVI | 36.019 | < 0.0001 | ** | 0.645 | 0.018 | 0.632 | 0.038 | 0.740 | 0.024 |
| MSRRE | 9.589 | 0.001 | * | 3.342 | 0.158 | 3.095 | 0.224 | 3.472 | 0.129 |
| NDRE | 128.160 | < 0.0001 | ** | 0.201 | 0.022 | 0.167 | 0.032 | 0.365 | 0.024 |

NDVI, GNDVI, TNDVI y MSRRE, diferencia significativa entre Amazon a comparación de Taisha y Coari.

RESAVI, diferencia significativa entre Coari a comparación de Taisha y Amazon

NDRE, diferencia significativa entre las tres variedades

RESAVI, REDVI y RERDVI diferencia significativa (Cisneros, 2021)

RESAVI, misma diferencia significativa con espectrorradiómetro

Diferencia en línea base de NDVI y GNDVI, por tipo de sensor (Viera, 2019).



RESULTADOS Y DISCUSIONES

CORRELACIONES ENTRE ÍNDICES CALCULADOS DEL UAV Y ESPECTRORADIÓMETRO

Tabla 19

Tabla resumen de los coeficientes de correlación de Pearson entre métodos de medición para las variedades de palma aceitera

| Método de medición | | | | |
|--------------------|--------|----|---------|----------|
| Espectroradiómetro | UAV | n | Pearson | p-valor |
| NDVI | NDVI | 16 | 0.520 | 0.041* |
| GNDVI | GNDVI | 16 | 0.400 | 0.125 |
| TNDVI | TNDVI | 16 | 0.520 | 0.039* |
| MSRRE | MSRRE | 16 | 0.410 | 0.115 |
| RESAVI | RESAVI | 24 | 0.830 | <0.0001* |

(NDVI y TNDVI), representan una correlación positiva entre los métodos de medición

RESAVI análisis para las tres variedades con una muestra de 24 unidades con las que se presentaron una correlación positiva muy alta de 0.830 con un p-valor < 0.0001

Se rechaza la hipótesis nula

H0: Los índices calculados con el espectroradiómetro no se correlacionan significativamente con los del UAV

Diferenciación de los estados fenológicos de *Lupinus*

mutabilis a través de espectroradiometría e imágenes de UAV donde se compara el NDVI (Sinde-González, 2022)



CONCLUSIONES

Se generó una librería espectral de tres variedades de palma aceitera (Taisha, Amazon y Coari), a partir de las firmas espectrales estimadas por el espectralradiómetro PRS-1100, se evidencia en la exposición de la librería espectral que se generó a través del diseño y programación de una página web utilizando el Software WebStorm V2021.3.2, por medio de React, una biblioteca de JavaScript para la construcción de interfaces de usuario de forma interactiva y sencilla.

Con los índices estimados a partir del espectralradiómetro, tras analizar los resultados y las discusiones se concluye que por medio del índice RESAVI la variedad Coari puede ser identificada de las variedades Taisha y Amazon, mientras que con los demás índices no se obtuvo ninguna diferencia significativa entre las variedades.



CONCLUSIONES

Con los índices estimados del UAV se concluye que el NDVI, GNDVI, TNDVI y MSRRE permiten diferenciar e identificar la variedad Amazon de las variedades Taisha y Coari, en el caso del RESAVI se concluye que se puede utilizar para diferenciar la variedad Coari con respecto a las variedades Taisha y Amazon, Finalmente se identificó que el índice NDRE se puede utilizar para diferenciar entre las tres variedades Taisha, Amazon y Coari.

La correlación, para el (NDVI, GNDVI, TNDVI y MSRRE) se realizó entre una muestra de 16 plantas, 8 de la variedad Taisha y 8 de la variedad Coari, teniendo en cuenta que independientemente del método de medición en estas no existe una diferencia significativa entre las dos variedades y al correlacionar los dos métodos para estos índices se concluyó que el NDVI y TNDVI ($p < 0.05$) tiene una correlación significativa, en el caso del índice RESAVI se realizó en una muestra de 24 palmas identificando que existe la misma diferencia significativa entre las variedades de palma, obteniendo así una alta correlación ($p < 0.0001$).



RECOMENDACIONES

- Para la generación de la librería de firmas espectrales se recomienda utilizar más variedades de Palma aceitera, incluyendo las variedades no híbridas tales como *Elaeis guineensis jacq*, (Palma africana) que es una de las más utilizadas y estudiadas a nivel mundial, así ampliar el rango de perspectiva de las firmas espectrales de palma y generar datos base para futuras investigaciones o de referencia para alteraciones de los componentes espectrales de las variedades de palma.
- Con respecto a la generación de los índices de vegetación a partir de ortofotos tomadas desde el UAV se recomienda calibrar durante el procesamiento la opción de ángulo solar para generar un óptimo modelo digital de superficie ya que podría mejorar la estimación de los índices para cada una de las palmas en el lote seleccionado.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda para próximas investigaciones ampliar el tamaño de la muestra para la captura de firmas espectrales en las distintas variedades de palma y así poder aumentar los datos para el análisis de varianza entre variedades y el análisis de correlación para los métodos de medición.
- Para el índice RESAVI se recomienda trabajar con una regresión lineal aumentando el número de muestras, debido a su alto grado de asociatividad entre los dos métodos de medición.



AGRADECIMIENTOS



ANCUA
Ing. Vladimir Bravo Yandún.



Ing. Izar Sinde, Ph.D.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA