



**Desarrollo de una metodología para la identificación de la sintomatología de fusarium  
raza 1 en banano mediante el uso de sensores aéreos no tripulados**

Bastidas Guayasamín, Galo Andrés y Naranjo Moina, Emilia Martina

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio  
Ambiente

Ms. C. Sinde González, Izar

02 de febrero del 2022

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	2
Agradecimiento .....	7
Índice de contenidos.....	10
Índice de tablas .....	16
Índice de figuras .....	18
Resumen.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Abstract.....	20
Capítulo I.....	22
Antecedentes.....	22
Planteamiento del problema .....	24
Justificación e Importancia.....	26
Descripción del área de estudio .....	29
Objetivos.....	30
Objetivo General .....	30
Objetivos Específicos .....	30
Hipótesis.....	31

Metas.....	31
Capítulo II.....	33
Teledetección .....	33
Resolución.....	34
Fotogrametría .....	35
Espectro electromagnético.....	36
Imágenes Multiespectrales .....	37
Vehículos aéreos no tripulados (VANT – UAV).....	37
Agricultura de precisión.....	37
Banano .....	39
Fusarium.....	51
Clasificación de imágenes .....	39
Clasificación no supervisada de imágenes.....	39
Clasificación supervisada de imágenes.....	40
Métodos de clasificación.....	40
Algoritmo de clasificación Random Forest (RF).....	40
Mapeo del ángulo espectral (SAM).....	41

Segmentación de imágenes a partir de índices de vegetación .....	42
Firma Espectral.....	43
Índices de vegetación .....	44
Índice Normalizado Diferencial de Vegetación (NDVI).....	45
Índice del borde rojo de diferencia normalizada (NDRE) .....	45
Índice de clorofila verde ( $CI_{green}$ ) .....	46
Índice de clorofila del borde rojo ( $CI_{RE}$ ).....	46
Análisis multitemporal .....	47
Estadística .....	56
Estadística descriptiva .....	56
Estadística inferencial .....	57
Muestreo.....	57
Análisis de la varianza ANOVA.....	60
Prueba de Kolmogorov-Smirnov .....	60
Prueba de Levene.....	61
Prueba de Kruskal-Wallis.....	61
Matriz de confusión.....	61

Índice kappa .....	64
Base Legal.....	65
Capítulo III.....	67
Generalidades .....	67
Fase I.....	69
Materiales y equipos.....	69
Condiciones del área de estudio .....	70
Ubicación y materialización de puntos de apoyo fotogramétrico.....	71
Plan de vuelo .....	73
Ejecución de los vuelos.....	73
Captura de imágenes aéreas UAV .....	74
Georreferenciación de imágenes.....	74
Proceso fotogramétrico de imágenes multiespectrales.....	75
Fichas agronómicas .....	76
Medidas en campo .....	77
Estimación de diámetro y altura de la planta .....	77
Fase II.....	78

Cálculo y obtención de índices de vegetación .....	78
Identificación de plantas con sintomatología de FOC R1.....	79
Métodos de Clasificación.....	81
Spectral Angle Mapper (SAM). .....	81
Segmentación de imágenes a partir de índices espectrales.....	84
Random Forest (RF). .....	84
Fase III.....	85
Análisis estadístico .....	86
Muestreo.....	86
Aplicación de la matriz de confusión. ....	86
Aplicación del índice kappa.....	87
Análisis exploratorio de datos. ....	87
Prueba de normalidad.....	87
Prueba de homogeneidad de varianzas.....	88
Prueba Kruskal-Wallis.....	88
Validación de resultados .....	89
Capítulo IV .....	90

Análisis estadístico de la matriz de confusión .....	90
Análisis estadístico del índice kappa.....	92
Análisis estadístico de índices de vegetación .....	93
Análisis exploratorio .....	93
Aplicación de la metodología en la Estación Experimental Tropical Pichilingue .....	97
Análisis multitemporal del comportamiento de los índices de vegetación.....	100
Análisis de los índices de vegetación en la zona de Caluma .....	111
Aplicación de la metodología en la plantación comercial.....	114
Capítulo V .....	115
Conclusiones .....	115
Recomendaciones .....	118
Referencias bibliográficas.....	120
Anexos .....	129

## Índice de tablas

Tabla 1 Descripción botánica del banano .....	49
Tabla 2 Condiciones agroecológicas del banano.....	51
Tabla 3 Ecuaciones obtenidas a partir de la matriz de confusión.....	63
Tabla 4 Valoración del índice kappa.....	65
Tabla 5 Materiales y equipos .....	69
Tabla 6 Parámetros de los planes de vuelo -UAV DJI Phantom + Parrot Sequoia.....	73
Tabla 7 Ficha agronómica .....	76
Tabla 8 Matriz de confusión de los métodos de clasificación para alturas de 25 m y 35 m .....	90
Tabla 9 Parámetros calculados a partir de la matriz de confusión .....	91
Tabla 10 Índice kappa para cada uno de los métodos de clasificación para alturas de 25 m y 35 m .....	92
Tabla 11 Análisis exploratorio para índices de vegetación tomados con UAV a 35 m ...	94
Tabla 12 Prueba de normalidad (K-S) para índices de vegetación tomados con UAV a 35 m .....	94
Tabla 13 Prueba de homogeneidad para índices de vegetación tomados con UAV a 35 m.....	96



Tabla 14 Prueba de Kruskal-Wallis para índices de vegetación tomados con UAV a 35

m .....96

## Índice de figuras

Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio .....	29
Figura 2 Componentes del proceso de teledetección .....	34
Figura 3 El espectro electromagnético.....	36
Figura 4 Etapas de la agricultura de precisión .....	38
Figura 5 Caracteres botánicos del banano .....	49
Figura 6 Presencia de FOC R1 a nivel vascular .....	53
Figura 7 Distribución global de Fusarium raza 4 .....	55
Figura 8 Curva de invasión y fases de respuesta ante Fusarium raza 4 .....	55
Figura 9 Firmas espectrales de agua, suelo y vegetación .....	44
Figura 10 Matriz de confusión .....	62
Figura 11 Metodología general del proyecto.....	67
Figura 12 Dron DJI Phantom 4 .....	69
Figura 13 Mapa de ubicación de la zona de estudio en Caluma .....	71
Figura 14 Ubicación de los puntos de apoyo fotogramétrico.....	72
Figura 15 Diseño de los vuelos multiespectrales .....	74
Figura 16 Medidas en campo de altura y diámetro de la planta.....	77
Figura 17 Obtención de índices de vegetación en el lote Salvatierra <b>Error! Marcador no definido.</b>	
Figura 18 Toma coordenadas de plantas con sintomatología en campo .....	79

Figura 19 Ubicación de plantas con sintomatología de FOC R1 en la zona de Caluma.	80
Figura 20 Ortomosaico multiespectral .....	82
Figura 21 Máscara de hojas .....	83
Figura 22 Estructura del árbol de decisión puesto a prueba .....	85
Figura 23 Mapa de Identificación de sintomatología de FOC R1 en Caluma .....	93
Figura 24 Gráficos de los índices de vegetación tomados con UAV a 35 m. ....	95
Figura 25 Aplicación de la metodología en la E.E.T.P .....	98
Figura 26 Verificación en campo a través de la numeración de las plantas .....	99
Figura 27 Análisis multitemporal de los índices de vegetación - NDVI.....	101
Figura 28 Análisis multitemporal de los índices de vegetación - NDRE .....	102
Figura 29 Análisis multitemporal de los índices de vegetación - $CI_{green}$ .....	104
Figura 30 Análisis multitemporal de los índices de vegetación – CIRE .....	106
Figura 31 Comportamiento de los índices de vegetación en el lote “Salvatierra” durante los 5 meses .....	108
Figura 32 Índices de vegetación en la zona de Caluma.....	111
Figura 33 Comportamiento de los índices de vegetación entre planta con sintomatología de FOC R1 y sin sintomatología de FOC R1. ....	112
Figura 34 Validación de la metodología en plantación comercial.....	115

## Resumen

El banano es una planta perteneciente a la familia de las Musáceas que se ha visto gravemente afectada por una variedad de enfermedades que debilitan su producción. Una de estas enfermedades es la marchitez por *Fusarium* provocada por el hongo *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (FOC) que ha sido catalogada como una de las diez más devastadoras en torno al campo de la agricultura. El objetivo de este estudio fue desarrollar y validar una metodología para la identificación de la sintomatología de *Fusarium* raza 1 a partir de técnicas geoespaciales mediante el uso de sensores aéreos no tripulados. En la primera fase se realizó el levantamiento de información en campo compuesta por la obtención de imágenes multiespectrales y RGB con UAV, en la segunda fase se realizó el análisis de información a partir de la implementación de cuatro índices de vegetación, NDVI, NDRE, CIRE,  $CI_{green}$ , y tres métodos de clasificación, Algoritmo Random Forest, Algoritmo Spectral Angle Mapper y Método de segmentación de imágenes a partir de índices de vegetación. Finalmente, en la fase 3 se aplicaron diferentes técnicas estadísticas y se realizó la validación de la metodología. Aplicando la matriz de confusión e índice kappa se obtuvo que la altura más adecuada para la identificación de la sintomatología de FOC R1 es la aplicación del método de Random Forest, a partir de una ortofoto multiespectral obtenida a una altura de vuelo de 35 m con una exactitud del 73 % y una tasa de error del 27.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **BANANO**
- **FUSARIUM**
- **ÍNDICES DE VEGETACIÓN**
- **MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN**

## **Abstract**

Banana is a plant belonging to the Musaceae family that has been severely affected by a variety of diseases that weaken its production. One of these diseases is the wilt of *Fusarium* caused by the fungus *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* (FOC) that has been listed as one of the ten most devastating in the field of agriculture. The objective of this study was to develop and validate a methodology for the identification of the symptomatology of *Fusarium* race 1 from geospatial techniques using unmanned aerial sensors. In the first phase was carried out the collection of information in field composed by obtaining multispectral images and RGB with UAV, In the second phase was carried out the analysis of information from the implementation of four vegetation indices, NDVI, NDRE, CIRE,  $CI_{green}$ , and three classification methods, Random Forest Algorithm, Spectral Angle Mapper Algorithm and Image Segmentation Method from Vegetation Indices. Finally, in phase 3 different statistical techniques were applied and the methodology was validated. By applying a matrix of confusion and kappa index it was obtained that the most appropriate height for the identification of the symptomatology of FOC R1 is the application of the Random Forest method, from a multispectral orthophoto obtained at a flight height of 35 m with an accuracy of 73 % and an error rate of 27 %.

### **KEYWORDS:**

- **BANANAS**
- **FUSARIUM**
- **VEGETATION INDICES**
- **CLASSIFICATION METHODS**