



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

*Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente*

**“Propuesta metodológica para la detección de Fusarium raza 1, Sigatoka Negra y Picudo Negro en banano mediante el análisis de imágenes multiespectrales de muy alta resolución (UAV)”.**

**Autor:** Albarracín Yugcha, Karen Michelle

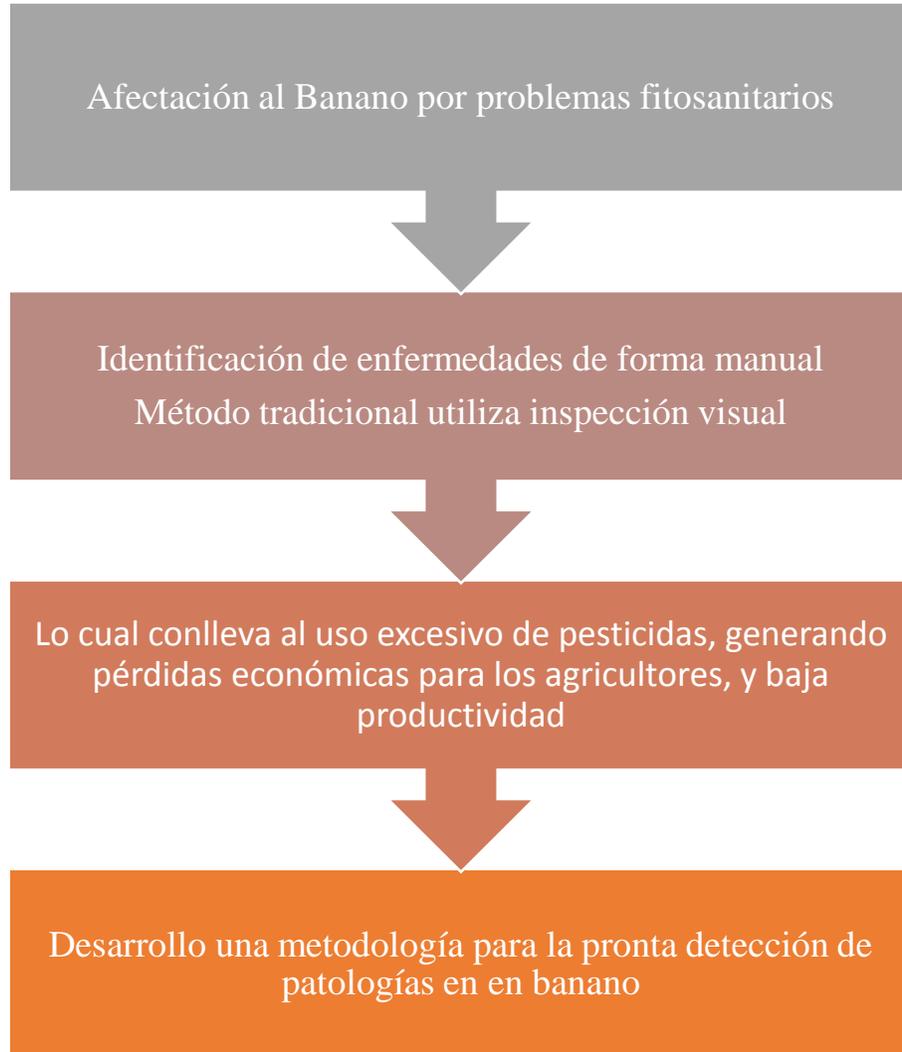
Ing. Leiva González, César Alberto MSc  
**Director del proyecto**

Ing. Izar Sinde González PhD  
**Docente Evaluador**

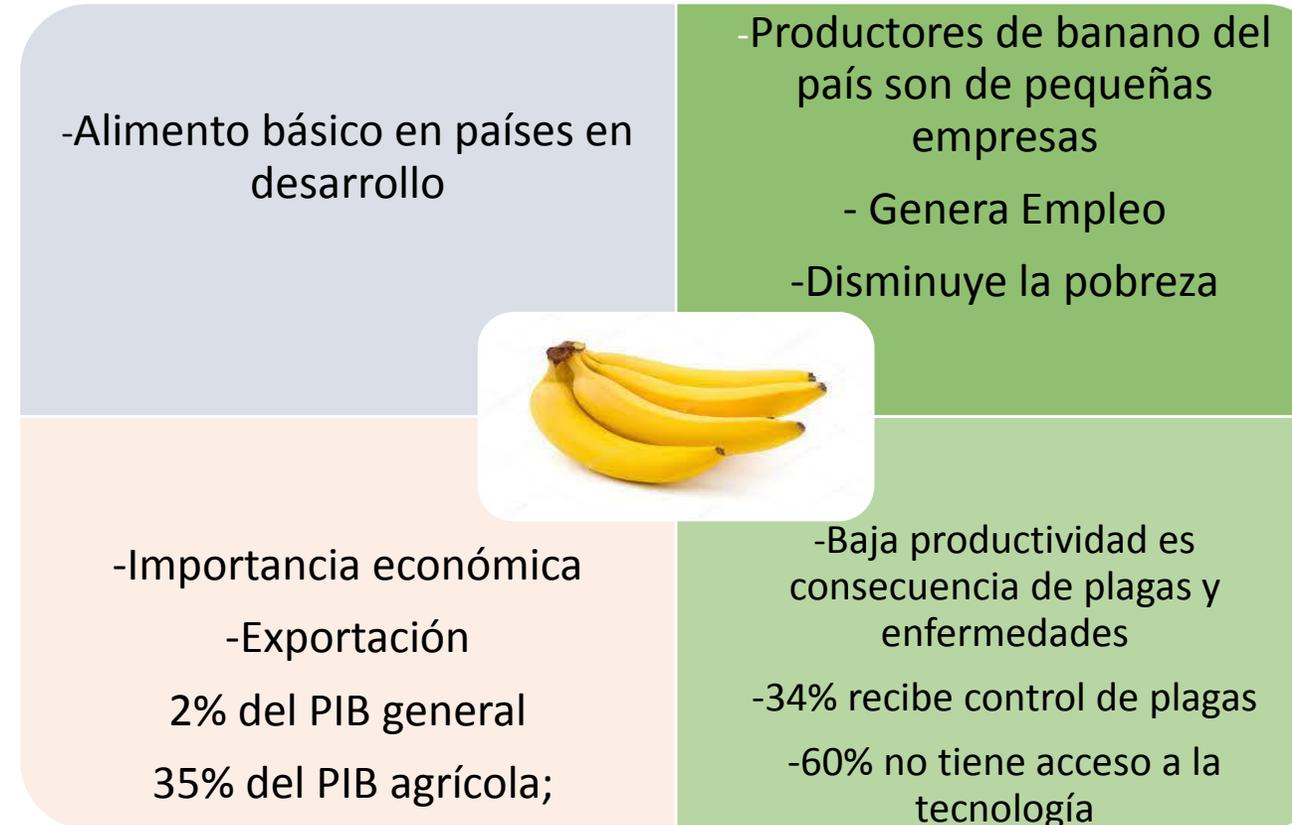
Ing. Alexander Robayo Nieto  
**Director de Carrera**

Abg. Michelle Benavides Guzmán  
**Secretaria Académica**

# Problema



# Justificación

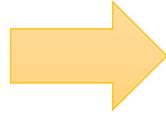


# Fusarium R1 (*Fusarium oxysporum*)

Enfermedad más destructiva



Hojas de color amarillo



Muerte y caída de la hojas



Coloración marrón de tejidos



# Picudo Negro

Pérdida 10%- 70%  
producción



Volcamiento del  
banano



Las larvas perforan  
el cormo



# Sigatoka Negra

En Ecuador la enfermedad que más afecta a los cultivos de banano es la Sigatoka negra

Control difícil y costoso



Reduce la Fotosíntesis

Afecta crecimiento



# Objetivos

## General

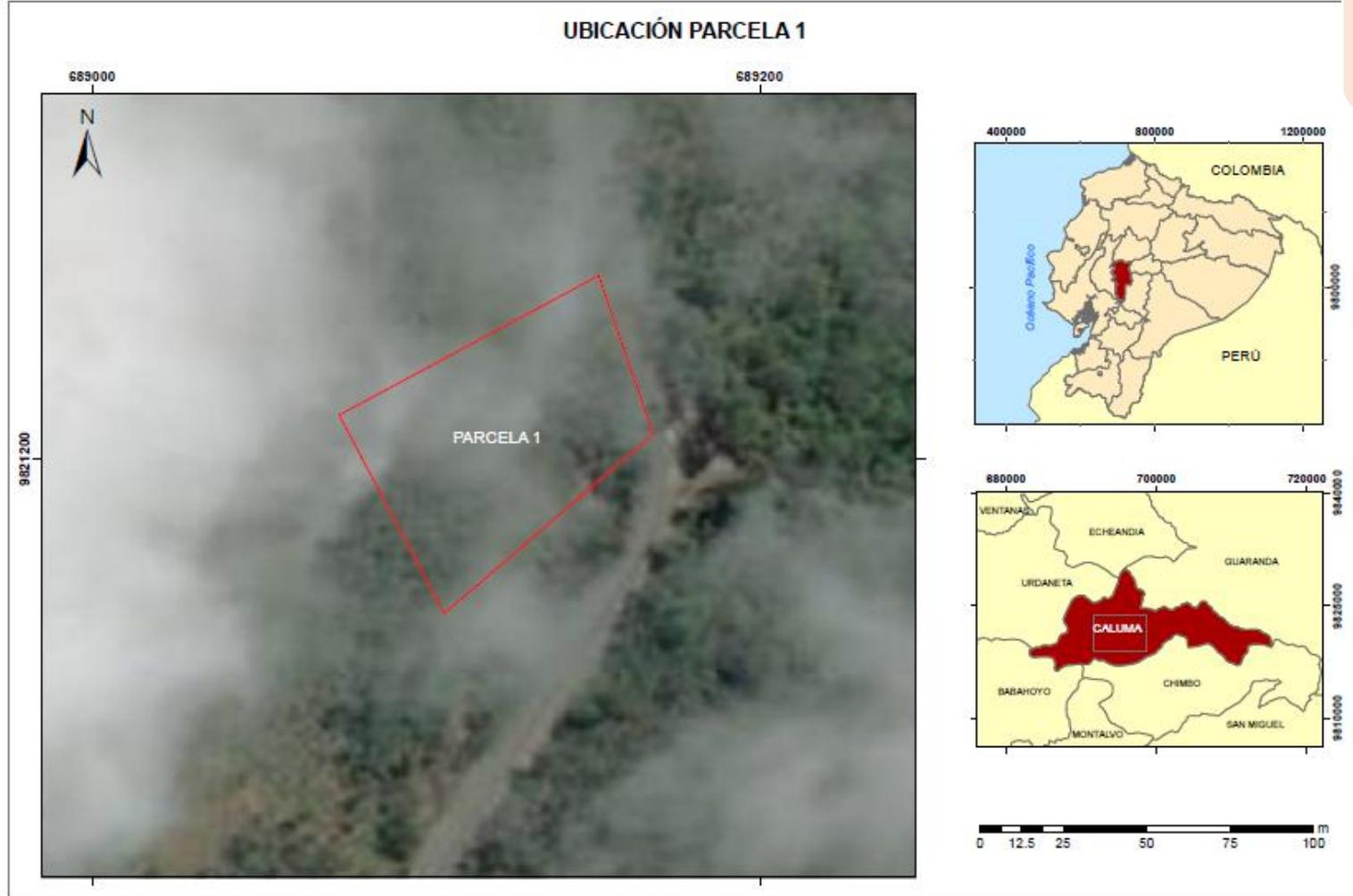
Plantear una metodología para la detección de patologías propias del cultivo de banano mediante índices de vegetación y métodos de clasificación supervisada de imágenes multiespectrales de muy alta resolución tomadas con UAV

## Específicos

- ❑ Capturar imágenes multiespectrales mediante un UAV para obtener información detallada y generar ortomosaicos de las zonas de estudio
- ❑ Obtener los valores de índices de vegetación a partir de los ortomosaicos multispectrales, para analizar la afectación de Fusarium Raza 1, Sigatoka Negra y Picudo Negro en los bananos.
- ❑ Aplicar métodos de clasificación supervisada (machine learning) para analizar la afectación de Fusarium Raza 1, Sigatoka Negra y Picudo Negro en banano.
- ❑ Realizar análisis estadísticos mediante análisis de varianza ANOVA, matrices de confusión e índice kappa para determinar que índices de vegetación y métodos de clasificación son los más adecuados para detección de Fusarium Raza 1, Sigatoka Negra y Picudo Negro



# Área de estudio (Parcela 1)



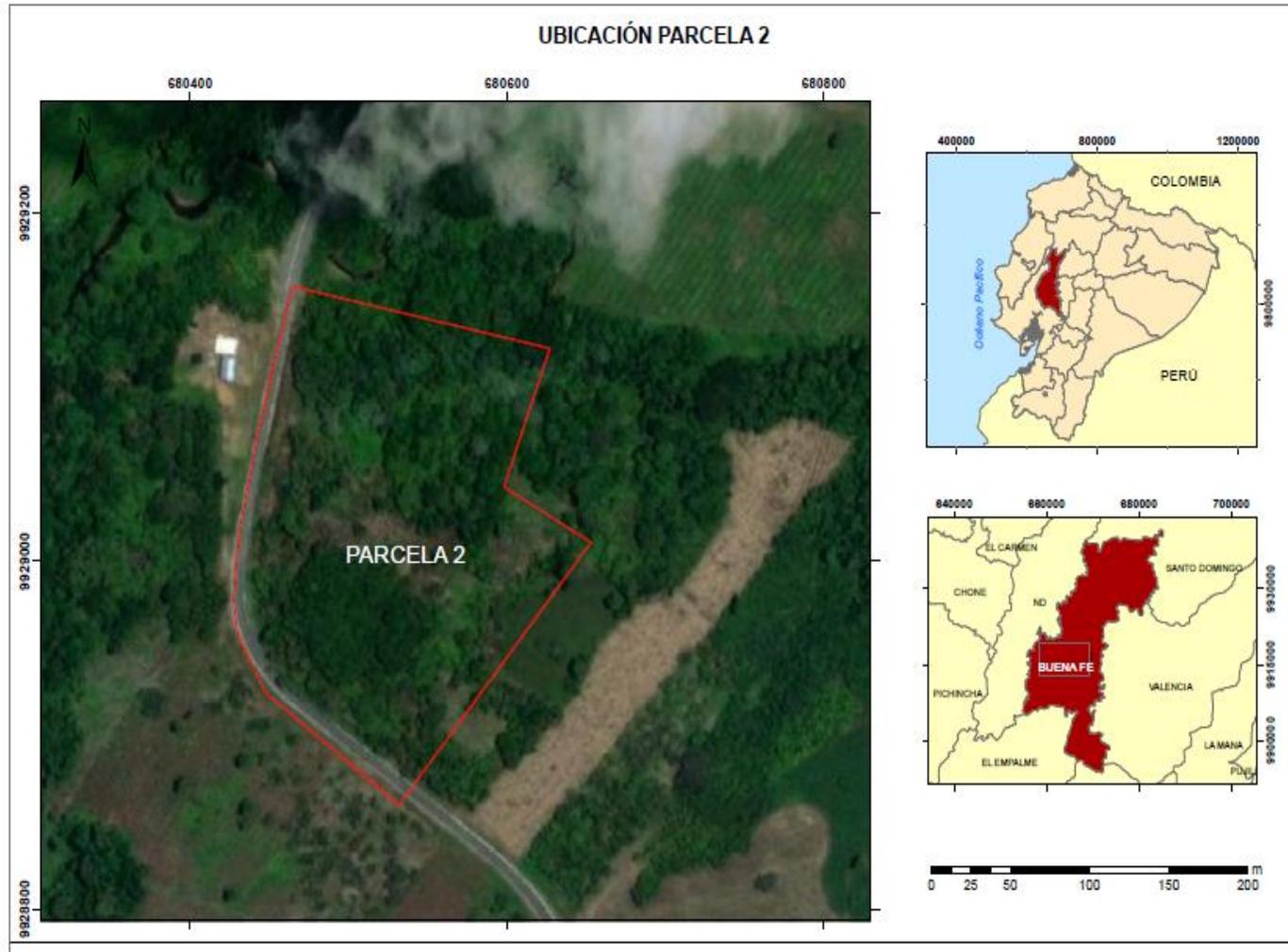
Provincia: Bolívar  
Cantón: Caluma

Fusarium  
Raza 1

0.49 [Ha]



# Área de estudio (Parcela 2)



Provincia: Los Ríos  
Cantón: Buena Fé  
Parroquia Rural:  
Patricia Pilar

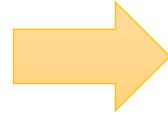
Sigatoka  
Negra y  
Picudo Negro

4.29 [Ha]



# Metodología

## Plan de Vuelo

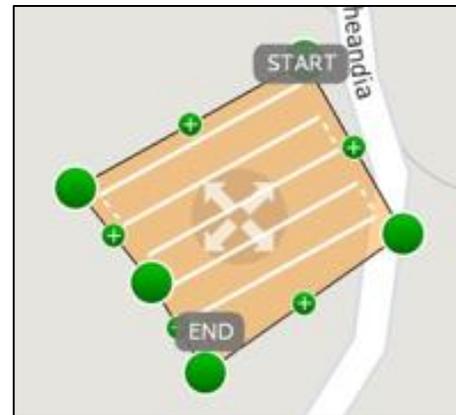


Parámetros	Parcela 1	Parcela 2
Área del terreno	0.4904	4.2918
Altura de vuelos	80 m	80 m
Traslapo Longitudinal	90%	80%
Traslapo Transversal	90%	80%
Tiempo de Vuelo	3 m 35 s	15 m 52 s
Líneas de vuelo	5	13
GSD	3.50 cm/ pixel	3.44cm/pixel

## Ejecución del plan de Vuelo



Parcela 1

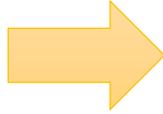


Parcela 2

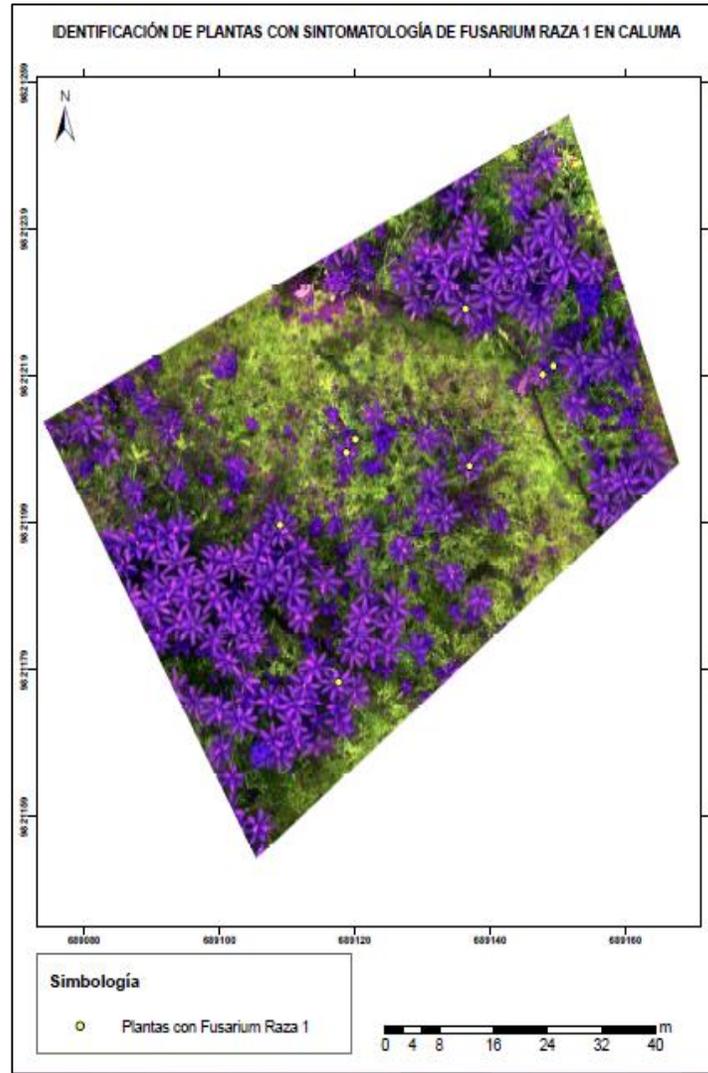


# Metodología

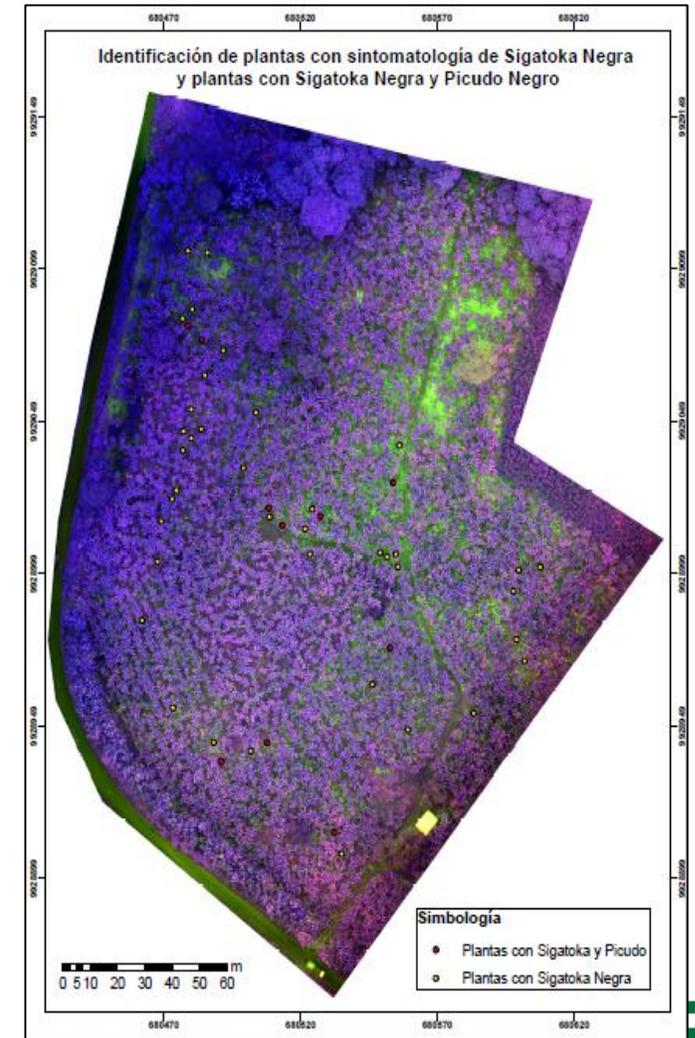
Toma de muestras con GPS



Parcela 1

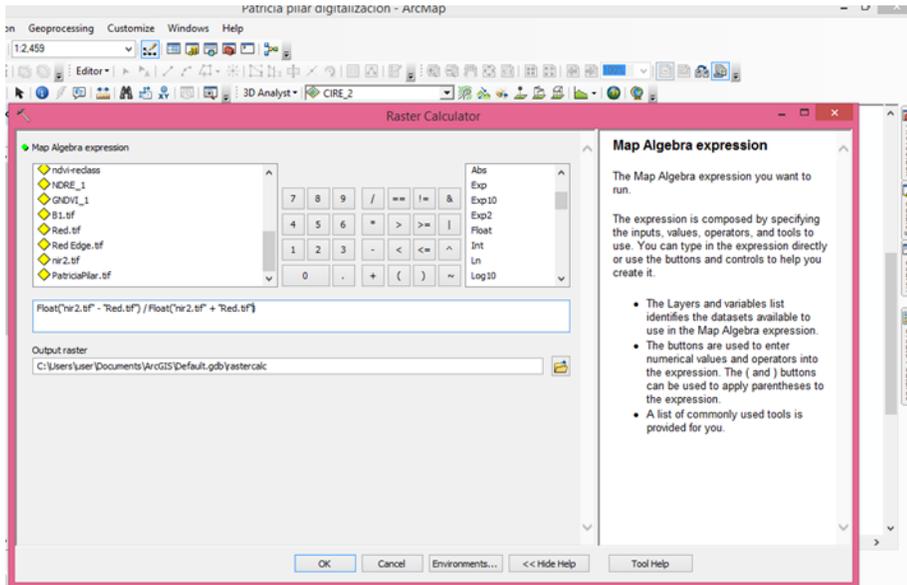


Parcela 2



# Metodología

Obtención de los índices de Vegetación



Calculadora Raster

NDVI



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

GNDVI



$$GNDVI = \frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$$

NDRE



$$NDRE = \frac{NIR - RED\ EDGE}{NIR + RED\ EDGE}$$

CIRE



$$CI_{RE} = \left( \frac{NIR}{RED\ EDGE} \right) - 1$$

CIgreen

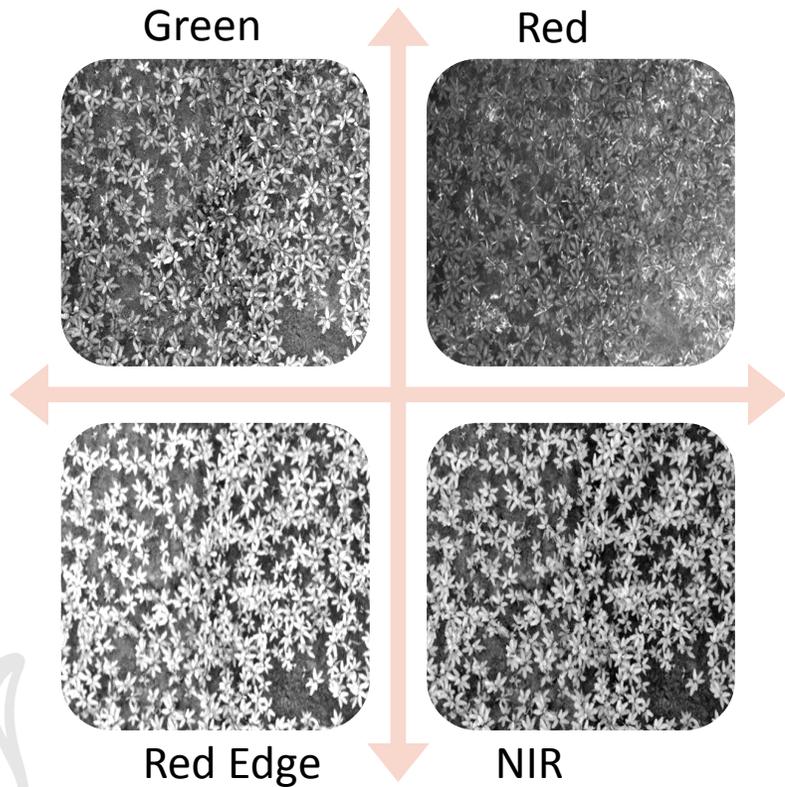


$$CI_{green} = \left( \frac{NIR}{G} \right) - 1$$

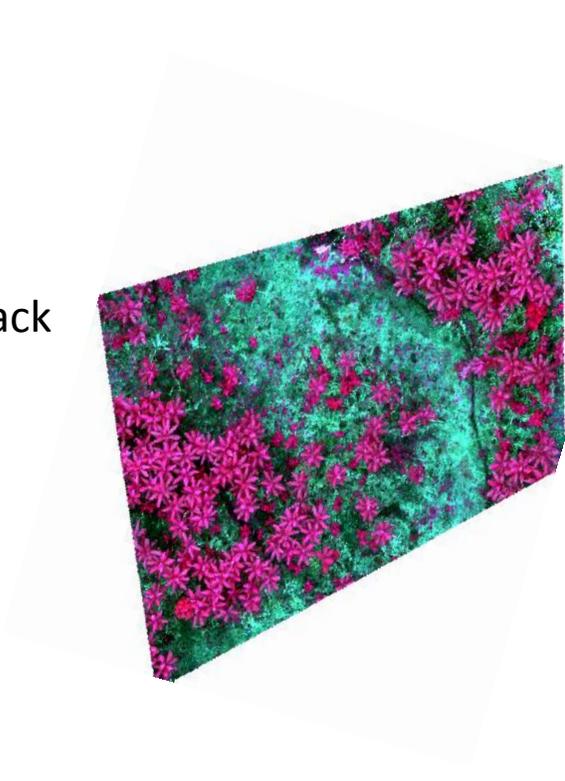
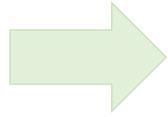


# Metodología

Aplicación de los Métodos de clasificación supervisada



Layer Stack



Support Vector Machine (SVM)

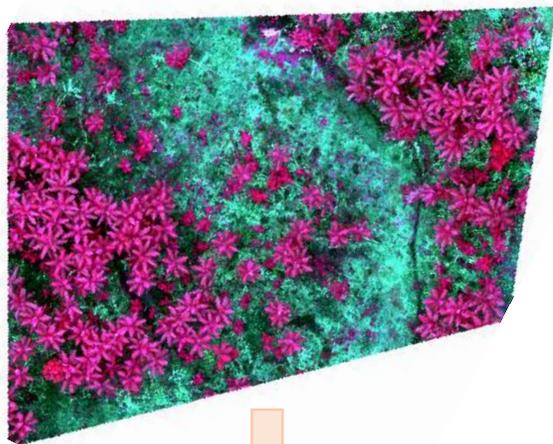
Random Forest



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Support Vector Machine (SVM)

Parcela 1



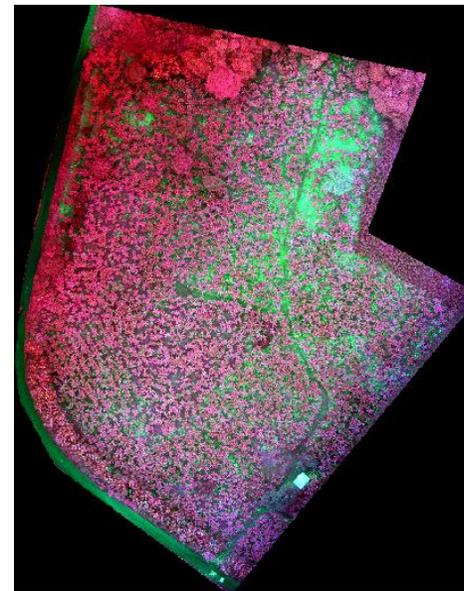
Ortomosaico

Muestras



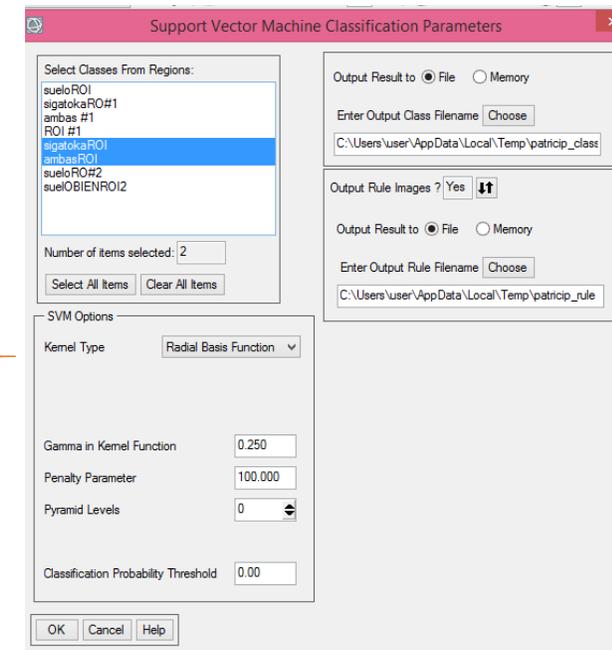
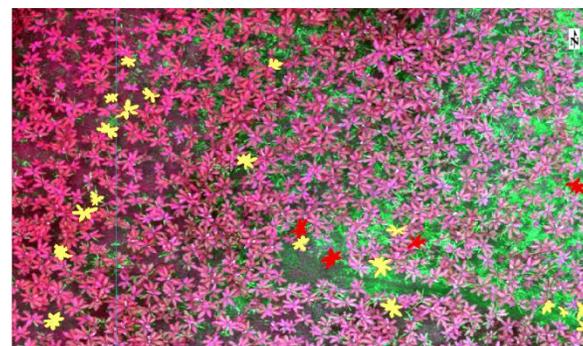
ROI

Parcela 2



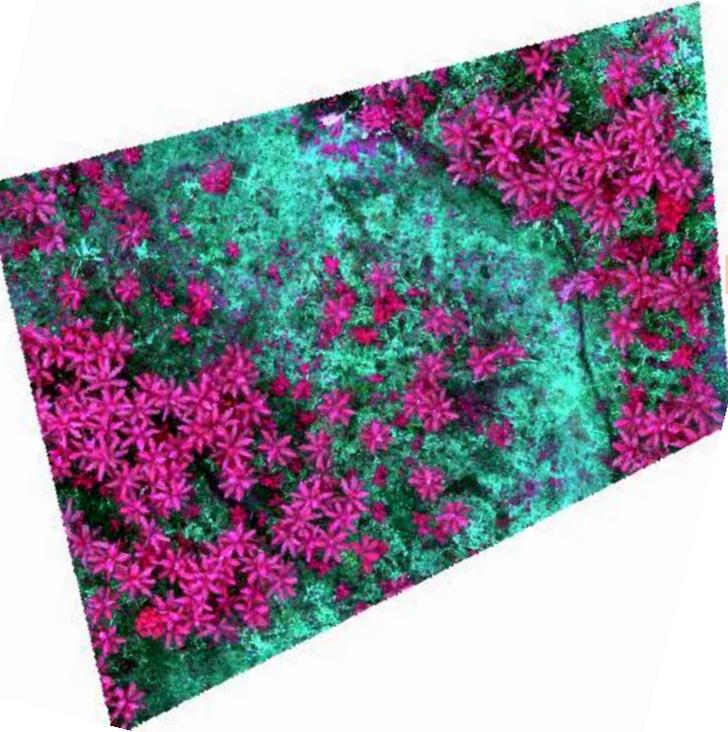
Ortomosaico

Muestras

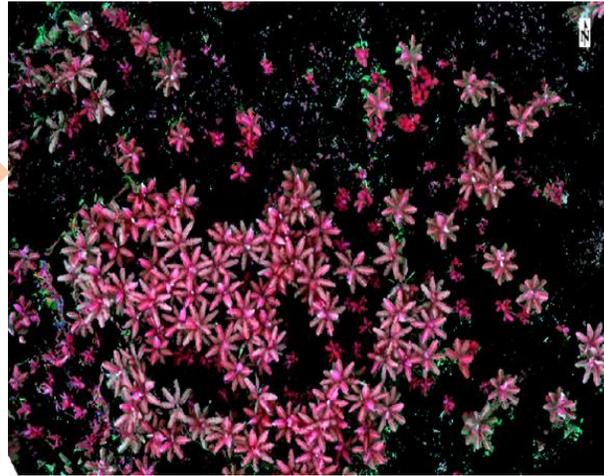


# Random Forest

Ortomosaico

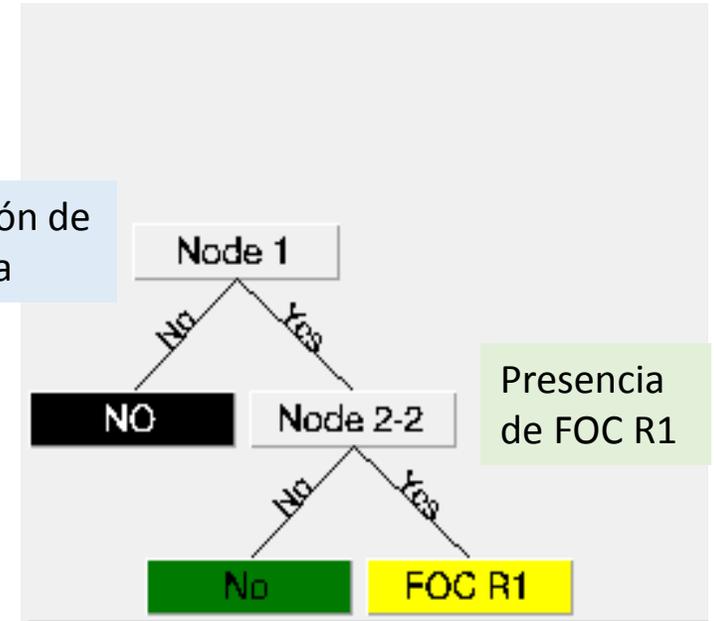


Mascara de suelo

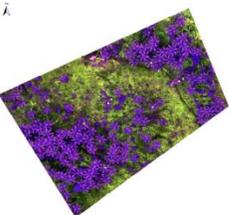


Árbol de decisión

Clasificación de planta



# Metodología (Análisis estadístico)



Parcela 1

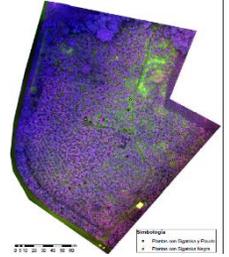
Análisis exploratorio de Datos

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilks)

Prueba de Homogeneidad (Levene)

Sí Cumple

Análisis de Varianza (ANOVA)



Parcela 2

Análisis exploratorio de Datos

Prueba de Normalidad (Shapiro Wilks)

Prueba de Homogeneidad (Levene)

No Cumple

Sí Cumple

Prueba de Kruskal-Wallis



# Metodología (Análisis estadístico)

Matriz de confusión

Índice Kappa

Parcela 1

Parcela 2

Random Forest			
n=25		Predicción	
		FOC R1	Sana
Observación	FOC R1	(VP)	(FN)
	Sana	(FP)	(VN)

Support Vector Machine			
n=49		Predicción	
		Sigatoka y Picudo	Sigatoka
Observación	Sigatoka y Picudo	(VP)	(FN)
	Sigatoka	(FP)	(VN)



$$K = \frac{\left(\frac{VP + VN}{N}\right) - \left(\frac{TP \times TCP + TN \times TCN}{N^2}\right)}{1 - \left(\frac{TP \times TCP + TN \times TCN}{N^2}\right)}$$

VP = Falsos positivos  
 VN= Falsos negativos  
 TN=Total negativos  
 TP= Total positivos  
 TCP= Total de clasificados positivos  
 TCN= Total de clasificados negativos





# Resultados

## Generación de Índices de Vegetación

ÍNDICES DE VEGETACIÓN						
FID	Estado	NDVI	GNDVI	NDRE	Cgreen	CIRE
0	Con FOC R1	0.8711	0.7125	0.1978	5.1486	0.4972
1	Con FOC R1	0.8504	0.6866	0.2017	4.5201	0.5156
2	Con FOC R1	0.8570	0.6887	0.1952	4.5195	0.4895
3	Con FOC R1	0.8541	0.6826	0.1895	4.4099	0.4751
4	Con FOC R1	0.8239	0.6376	0.1579	3.6111	0.3783
5	Con FOC R1	0.8627	0.7073	0.2353	4.9892	0.6225
6	Con FOC R1	0.8812	0.6936	0.1686	4.6546	0.4142
7	Con FOC R1	0.8393	0.6813	0.1982	4.3684	0.4975
8	Sin FOC R1	0.8676	0.7069	0.1836	4.8852	0.4519
9	Sin FOC R1	0.8357	0.6743	0.1907	4.1886	0.4732
10	Sin FOC R1	0.8581	0.6871	0.2017	4.4933	0.5079
11	Sin FOC R1	0.8805	0.7014	0.1820	4.8303	0.4493
12	Sin FOC R1	0.8580	0.6927	0.1915	4.6436	0.4793
13	Sin FOC R1	0.8649	0.6926	0.1864	4.6232	0.4603
14	Sin FOC R1	0.8602	0.6939	0.1914	4.6049	0.4745
15	Sin FOC R1	0.8843	0.6972	0.1754	4.7467	0.4282
16	Sin FOC R1	0.8512	0.6611	0.1599	3.9661	0.3857
17	Sin FOC R1	0.8866	0.7063	0.1720	4.9899	0.4177
18	Sin FOC R1	0.8638	0.6907	0.1768	4.5778	0.4317
19	Sin FOC R1	0.8491	0.6881	0.2024	4.5085	0.5122
20	Sin FOC R1	0.8472	0.6827	0.1998	4.4100	0.5035
21	Sin FOC R1	0.8992	0.7044	0.1658	4.9916	0.4039
22	Sin FOC R1	0.8626	0.6777	0.1777	4.2872	0.4338
23	Sin FOC R1	0.8728	0.7081	0.2023	4.9597	0.5095
24	Sin FOC R1	0.8611	0.6891	0.1769	4.5270	0.4318

ÍNDICES DE VEGETACIÓN						
FID	Enfermedad	NDVI	GNDVI	NDRE	CIRE	Cgreen
0	sigatoka	0.3660	0.0657	-0.0037	-0.0059	0.1453
1	Ambas	0.2039	-0.0390	-0.0144	-0.0269	-0.0692
2	sigatoka	0.4812	0.2293	0.0441	0.0969	0.6216
3	sigatoka	0.4218	0.0633	0.0029	0.0112	0.1416
4	sigatoka	0.4199	0.0588	-0.0172	-0.0317	0.1369
5	sigatoka	0.2176	-0.0043	0.0429	0.0914	0.0041
6	Ambas	0.2131	-0.0415	0.0247	0.0524	-0.0739
7	sigatoka	0.2505	-0.0234	0.0466	0.0992	-0.0387
8	sigatoka	0.2622	-0.0147	0.0701	0.1528	-0.0154
9	sigatoka	0.2728	0.0571	0.0713	0.1556	0.1352
10	sigatoka	0.4781	0.2169	0.0322	0.0684	0.5777
11	sigatoka	0.5410	0.2482	0.0287	0.0615	0.6824
12	Ambas	0.4699	0.1083	0.0025	0.0078	0.2487
13	sigatoka	0.4054	0.1038	-0.0032	-0.0036	0.2393
14	sigatoka	0.4521	0.1396	0.0029	0.0099	0.3375
15	sigatoka	0.4499	0.1367	-0.0056	-0.0092	0.3319
16	sigatoka	0.4192	0.0852	-0.0069	-0.0123	0.1915
17	sigatoka	0.4144	0.0987	0.0009	0.0032	0.2352
18	sigatoka	0.4431	0.1454	0.0098	0.0212	0.3545
19	sigatoka	0.3721	0.1390	0.0269	0.0578	0.3337
20	sigatoka	0.3427	0.0498	0.0099	0.0209	0.1122
21	Ambas	0.2409	-0.0138	0.0033	0.0081	-0.0219
22	sigatoka	0.2669	-0.0115	-0.0069	-0.0123	-0.0161
23	sigatoka	0.3309	0.0675	-0.0049	-0.0060	0.1531
24	sigatoka	0.4227	0.1477	0.0115	0.0257	0.3596
25	sigatoka	0.4120	0.1239	0.0101	0.0230	0.2981
26	sigatoka	0.2657	0.0084	0.0414	0.0873	0.0282
27	Ambas	0.1186	-0.0561	0.0159	0.0349	-0.0973
28	sigatoka	0.2094	-0.0173	0.0244	0.0540	-0.0245
29	sigatoka	0.3057	-0.0246	0.1112	0.2528	-0.0403
30	Ambas	0.2531	0.0448	0.0558	0.1194	0.1040
31	sigatoka	0.2315	-0.0328	0.0053	0.0117	-0.0597
32	sigatoka	0.2231	-0.0087	0.0686	0.1491	-0.0087
33	sigatoka	0.1521	-0.1121	-0.0124	-0.0233	-0.1985
34	sigatoka	0.1635	-0.0582	0.0102	0.0222	-0.1032
35	sigatoka	0.1454	-0.0218	0.0342	0.0728	-0.0302
36	sigatoka	0.1747	0.0016	0.0316	0.0674	0.0160
37	sigatoka	0.1065	-0.1156	-0.0119	-0.0222	-0.2025
38	Ambas	0.1611	-0.0202	0.0257	0.0550	-0.0262
39	sigatoka	0.2209	-0.0111	0.0020	0.0050	-0.0102
40	Ambas	0.4595	0.1431	0.0093	0.0206	0.3437
41	sigatoka	0.2181	-0.0173	-0.0043	-0.0076	-0.0273
42	sigatoka	0.2157	-0.0340	-0.0143	-0.0271	-0.0623
43	Ambas	0.2093	0.0069	0.0030	0.0079	0.0248
44	sigatoka	0.3853	0.0704	0.1308	0.3028	0.1635
45	Ambas	0.2932	0.0046	0.0838	0.1847	0.0185
46	sigatoka	0.3202	0.1068	0.1479	0.3513	0.2593
47	sigatoka	0.2428	-0.0198	0.0570	0.1222	-0.0355
48	sigatoka	0.3379	0.0546	0.0156	0.0336	0.1281

PARCELA 1

PARCELA 1



# Resultados

## Análisis estadístico - Índices de Vegetación

### Análisis Exploratorio

PARCELA 1

Índice	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Varianza
NDVI	0.8617	0.8239	0.8991	0.0169	0
GNDVI	0.6897	0.6376	0.7125	0.0162	0
NDRE	0.1872	0.1579	0.2353	0.0169	0
CIRE	4.5782	3.6111	5.1486	0.3445	0.119
C <sub>Igreen</sub>	0.4658	0.3783	0.6225	0.0522	0.003

PARCELA 2

Índice	Media	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Varianza
NDVI	0.3058	0.1065	0.541	0.1131	0.013
GNDVI	0.0414	-0.1156	0.2482	0.084	0.007
NDRE	0.0247	-0.0172	0.1479	0.0372	0.001
CIRE	0.0558	-0.0317	0.3513	0.0836	0.007
C <sub>Igreen</sub>	0.1136	-0.2025	0.6824	0.2003	0.04



# Resultados

## Analisis estadistico - Indices de Vegetacion

### Prueba de Normalidad

$H_0$ : Los datos se ajustan a una distribución normal

$H_1$ : Los datos no se ajustan a una distribución normal

PARCELA 1

Índice	W*	p-valor
NDVI	0.96	0.7661
GNDVI	0.93	0.22
NDRE	0.98	0.9532
CIRE	0.96	0.6918
CI <sub>green</sub>	0.98	0.9718

### Prueba de Normalidad

$H_0$ : Los datos se ajustan a una distribución normal

$H_1$ : Los datos no se ajustan a una distribución normal

PARCELA 2

Índice	W*	p-valor
NDVI	0.94	0.11
GNDVI	0.95	0.118
NDRE	0.85	<0.0001
CIRE	0.82	<0.0001
CI <sub>green</sub>	0.92	0.01



# Resultados

## Analisis estadistico - Indices de Vegetacion

Prueba de Homogeneidad Levene

$H_0$ : Las varianzas presentan homogeneidad

$H_1$ : Las varianzas no presentan homogeneidad.

Índice	gl	p-valor
NDVI	1	0.816
GNDVI	1	0.332
NDRE	1	0.263
Cire	1	0.415
CI green	1	0.272

PARCELA 1

Prueba de Homogeneidad Levene

$H_0$ : Las varianzas presentan homogeneidad

$H_1$ : Las varianzas no presentan homogeneidad.

Índices	gl	P-VALOR
NDVI	1	0.656
GNDVI	1	0.231
NDRE	1	0.341
CIRE	1	0.341
CI <sub>green</sub>	1	0.229

PARCELA 2



# Resultados

## Analisis estadistico - Indices de Vegetacion

### ANOVA

$H_0$ : Los índices de vegetación no permiten diferenciar plantas de banano con FOC R1 y plantas de banano sin FOC R1

$H_1$ : Los índices de vegetación permiten diferenciar plantas de banano con FOC R1 y plantas de banano sin FOC R1

Índice	gl	p-valor
NDVI	1	0.1758
NDRE	1	0.2462
CI <sub>green</sub>	1	0.6252
CIRE	1	0.1841

### Prueba de Kruskal-Wallis

$H_0$ : No existe diferencia significativa entre plantas de bananos con Sigatoka Negra y bananos con Picudo Negro y Sigatoka Negra.

$H_1$ : Existe diferencia significativa entre plantas de bananos con Sigatoka Negra y bananos con Picudo Negro y Sigatoka Negra.

Índice	gl	p-valor
NDVI	1	0.1433
GNDVI	1	0.2148
NDRE	1	0.9802
CIRE	1	0.9407
CI <sub>green</sub>	1	0.2148

PARCELA 1

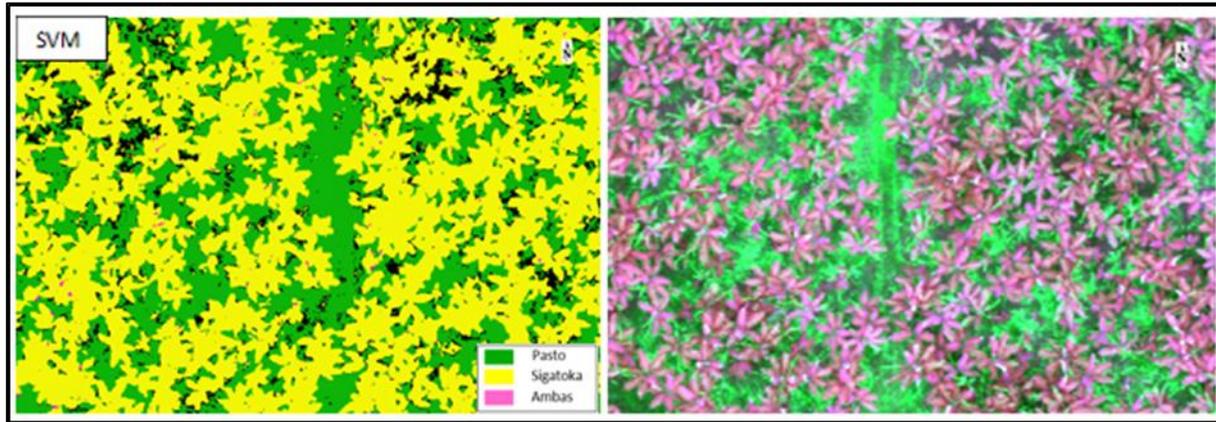
PARCELA 1



# Resultados

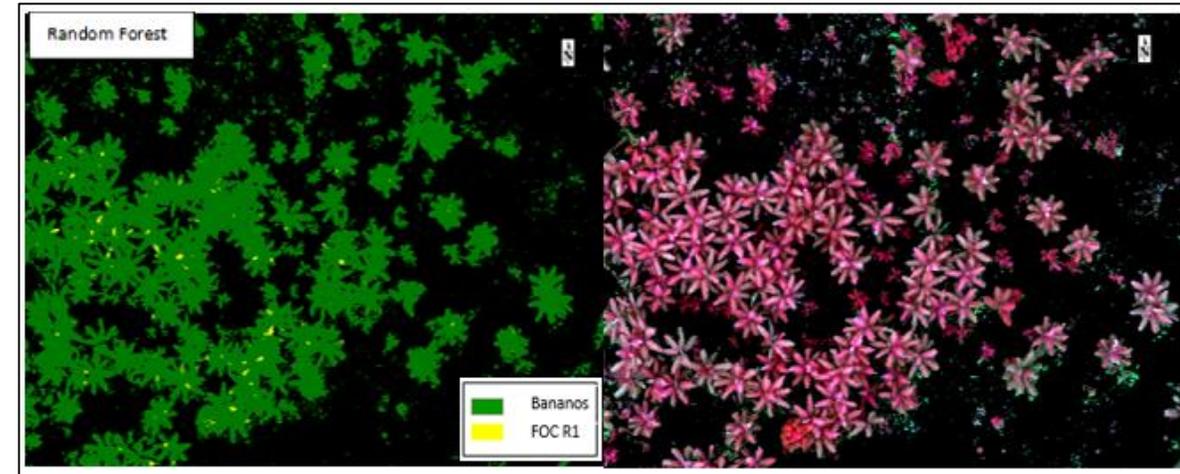
## Support Vector Machine

Parcela 2



## Random Forest

Parcela 1



# Resultados

## Analisis estadístico – Métodos de Clasificación

Matriz de confusión

Random Forest			
n=25		Predicción	
		FOC R1	Sana
Observación	FOC R1	6 (VP)	2 (FN)
	Sana	6 (FP)	11 (VN)

Matriz de confusión

Support Vector Machine			
n=49		Predicción	
		Sigatoka y Picudo	Sigatoka
Observación	Sigatoka y Picudo	1 (VP)	9 (FN)
	Sigatoka	1 (FP)	38 (VN)

PARCELA 1

PARCELA 2

Algoritmo de clasificación	Exactitud	Precisión	Sensibilidad	Tasa de error
Random Forest	0.680	0.5	0.75	0.320
Support Vector Machine	0.796	0.5	0.1	0.204



# Resultados

## Analisis estadístico – Métodos de Clasificación

Random Forest			
n=25		Predicción	
		FOC R1	Sana
Observación	FOC R1	6 (VP)	2 (FN)
	Sana	6 (FP)	11 (VN)

Support Vector Machine			
n=49		Predicción	
		Sigatoka y Picudo	Sigatoka
Observación	Sigatoka y Picudo	1 (VP)	9 (FN)
	Sigatoka	1 (FP)	38 (VN)

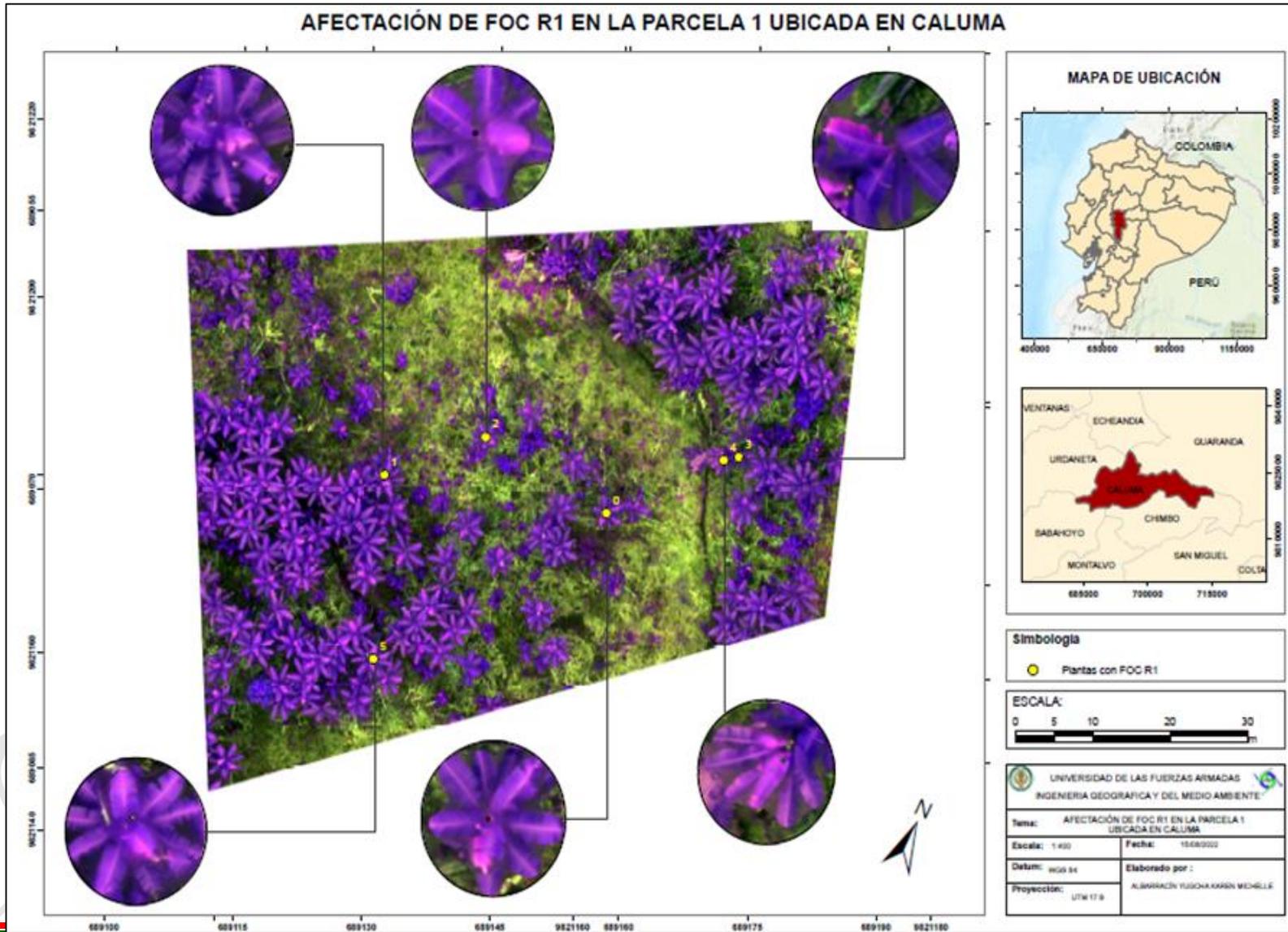
PARCELA 1

PARCELA 2

Parcela	Algoritmo de clasificación	Índice kappa
1	Random Forest	0.351
2	Support Vector Machine	0.106

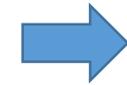


# Resultados



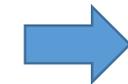
Metodología Aceptada

Altura de Vuelo



80 m

Algoritmo



Random Forest



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Conclusiones

- Se obtuvo un ortomosaico de cada zona de estudio a partir de la cámara multispectral Parrot Sequoia montada en el UAV DJI Phantom IV, con el fin de elegir los índices de vegetación y el algoritmo de clasificación más adecuado, que permitan identificar Fusarium raza 1 en la parcela 1, la cual está ubicada en Caluma, y la identificación de Sigatoka Negra y Picudo Negro en la parcela 2 ubicada en Patricia Pilar.
- En las 2 zonas de estudio se aplicaron 5 índices de vegetación (NDVI, GNDVI, NDRE, CIRE Y  $CI_{green}$ ), estos valores al ser analizados estadísticamente, en la parcela 1 no presentan diferencia significativa entre las plantas con FOC R1 y plantas sin FOC R1, mientras que en la parcela 2 no presentaron diferencia significativa entre plantas con Sigatoka Negra y Plantas con Sigatoka Negra y Picudo Negro.
- En cada zona de estudio se aplicaron 2 algoritmos. En la parcela 1 el algoritmo de clasificación supervisada más adecuado fue el de Random Forest, el cual obtuvo una exactitud del 68%, una precisión del 50%, una sensibilidad del 75% y un índice kappa de 0.35
- En la parcela 2, el algoritmo de Support Vector Machine fue el que identificó las 3 clases, sin embargo al ser analizado estadísticamente se concluye que no es útil. Aunque la exactitud (80%) y la precisión (50%) son aceptables, la sensibilidad (10%) no permite aceptar el algoritmo, debido a que este método clasificó a las plantas con Sigatoka Negra y Picudo Negro como plantas solo con Sigatoka Negra



# Recomendaciones

- Para la identificación de FOC R1 y Sigatoka Negra se recomienda utilizar un espectroradiómetro directamente en las hojas que presenta la sintomatología, teniendo en cuenta que los datos espectrales sean tomados en varias hojas con sintomatología, con el fin de obtener un conjunto de datos más robustos.
- Se recomienda replicar la metodología en una plantación de banano que presente Sigatoka Negra y otra enfermedad que su afectación se evidencie directamente a las hojas de banano
- Se recomienda replicar la metodología en una parcela que no sea muy densa, y que los bananos se encuentren distribuidos correctamente, para evitar el cruce de hojas entre los bananos. También es importante que la parcela se encuentre limpia y sin hojas de bananos en el suelo, ya que esto no permite realizar una clasificación correcta.
- Se recomienda que para la toma de muestras con GPS, esta sea reemplazado por otro método, que presenta una mejor precisión y de esta manera se puede obtener coordenadas más precisas de los bananos que presentan la sintomatología



Gracias  
por su atención





**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

*Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente*

**“Propuesta metodológica para la detección de Fusarium raza 1, Sigatoka Negra y Picudo Negro en banano mediante el análisis de imágenes multiespectrales de muy alta resolución (UAV)”.**

**Autor:** Albarracín Yugcha, Karen Michelle

Ing. Leiva González, César Alberto MSc  
**Director del proyecto**

Ing. Izar Sinde González PhD  
**Docente Evaluador**

Ing. Alexander Robayo Nieto  
**Director de Carrera**

Abg. Michelle Benavides Guzmán  
**Secretaria Académica**