



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



**Universidad de las Fuerzas Armadas - Espe**  
**Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción**  
**Carrera de Ingeniería Geoespacial**

Trabajo de integración curricular previo a la obtención del título de Ingeniería Geoespacial

**Análisis de seguridad carcelaria externa para el Grupo de Monitoreo y Reconocimiento Electrónico (GMREC) mediante el uso de herramientas geo informáticas y su visualización mediante realidad mixta**

Autores: Báez Guanochanga, Michelle Patricia; Medina Valencia, Sergio Alejandro; Paucar Hidalgo, Lizbeth Alexandra y Ramírez Campoverde, Angie Estefanía

**Director de proyecto**  
Ing. Eduardo Kirby, Msc



## Objetivos

### Objetivos Específicos


### Objetivo General

Calcular la variación espectral y fenológica en el maíz (*Zea mays*) y el haba (*Vicia faba*), cultivos de ciclo corto, a través del ajuste fotogramétrico de imágenes capturadas por drone (UAV), y cámaras RGB y multiespectral.

Analizar las variaciones de reflectancias aplicando tecnologías de información geoespacial en un área piloto del cantón

Identificar la degradación de la vigorosidad de la alfalfa (*Medicago sativa*) y pasto (*Cynodon dactylon*), cultivos de ciclo largo, a través del ajuste fotogramétrico de imágenes capturadas por drone, y cámaras RGB y multiespectral.

## Metas




Ajustar las fotografías aéreas para la generación de los productos derivados: ortomosaicos, MDS, Índices espectrales e imágenes de reflectancia, del cultivo correspondiente.



Calibrar y configurar las cámaras Zenmuse X3 y Parrot Sequoia para

Calcular y analizar los índices espectrales y las variaciones de reflectancia de los cultivos de maíz, haba, alfalfa y pasto.



Planificar y tomar fotografías aéreas a través de UAV en los cultivos de ciclo corto y ciclo largo.



Story Maps cultivos ciclo corto y ciclo largo.



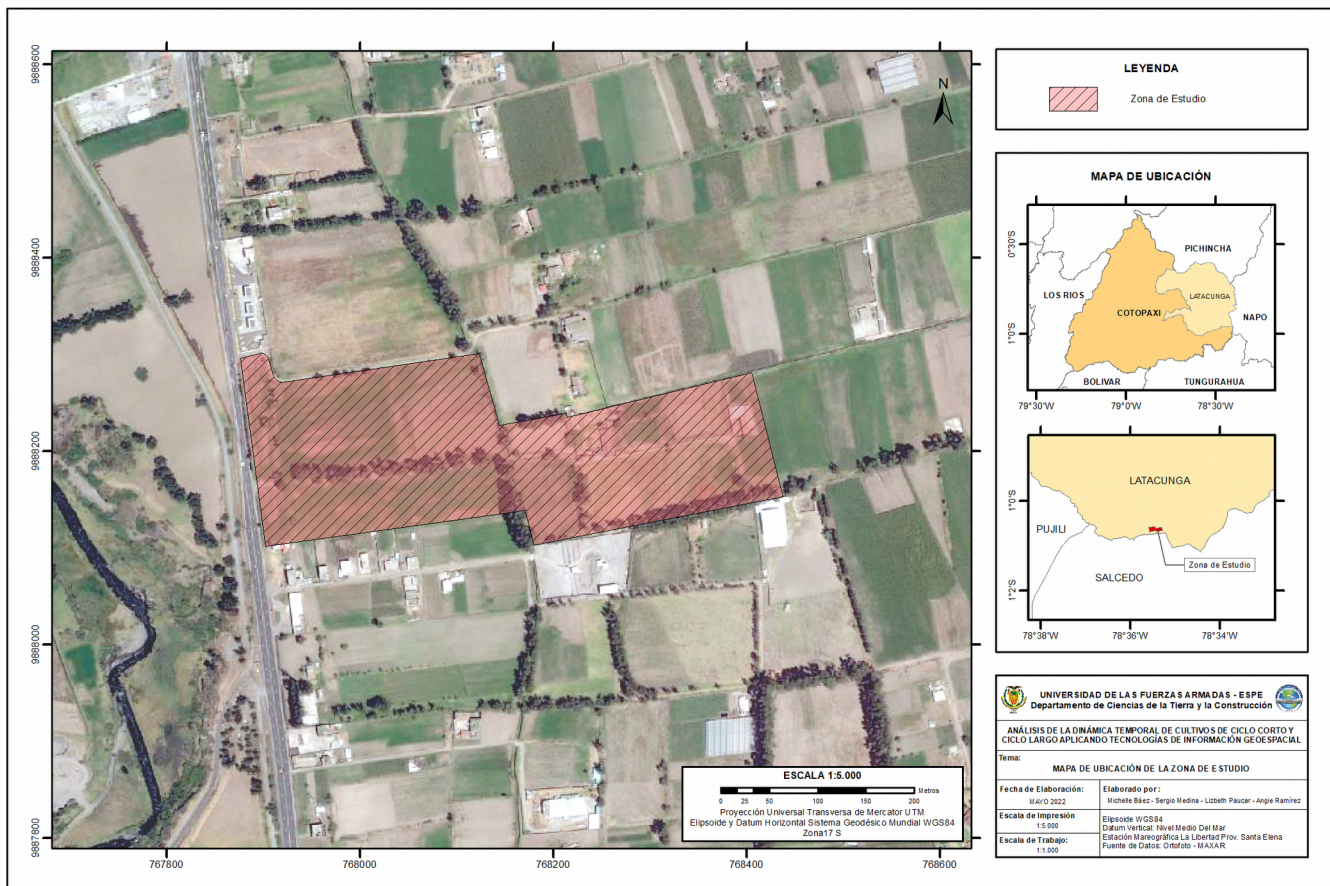
corto y ciclo largo.

## Área de Estudio

1:5.000

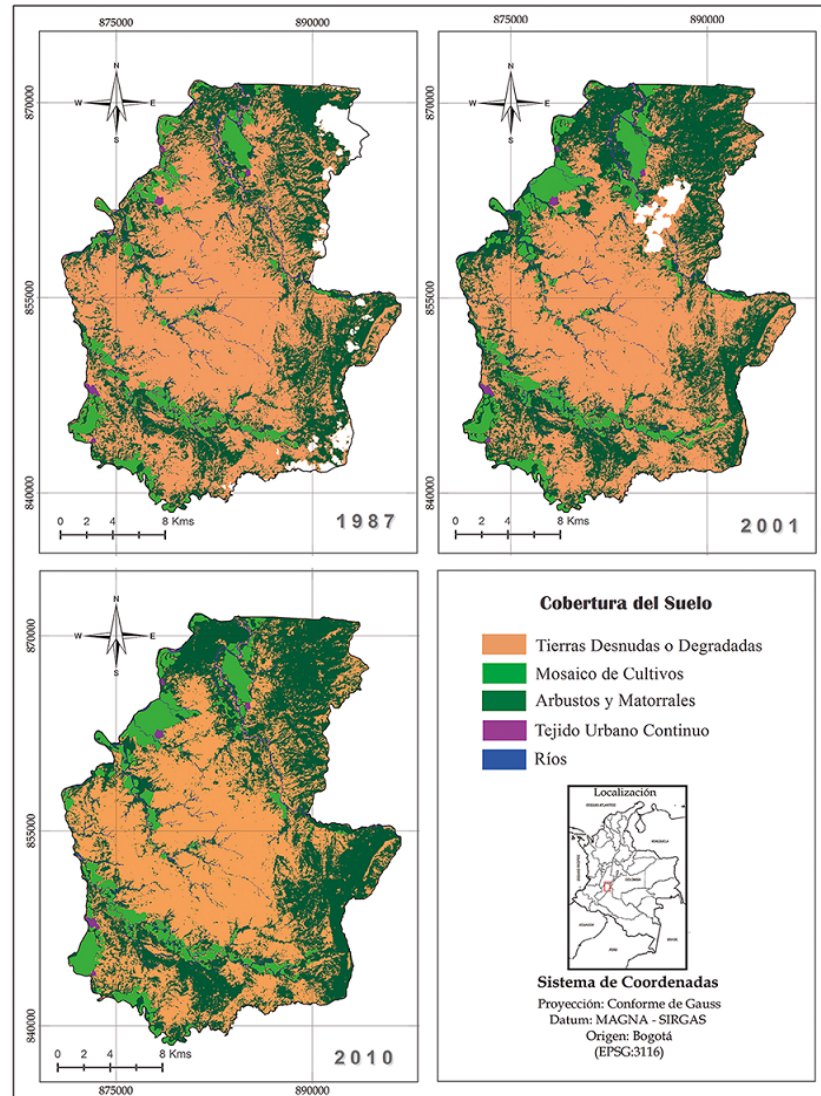
MAPA DE UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

WGS84



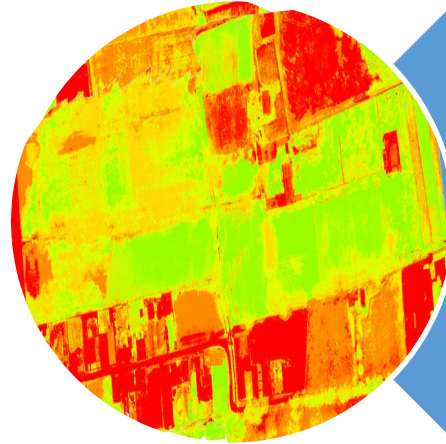
Provincia	Cotopaxi
Cantón	Latacunga
Parroquia	Belisario Quevedo
Altitud	2680 m.s.n.m
Longitud	78°35'25.490"O
Latitud	1°00'38.794"S
Zona	17 S
X	768136,80499
Y	9888196,945792

## Estudios Multitemporales

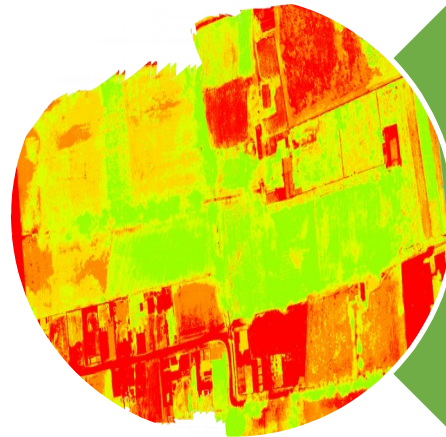


(Rojas et al., 2018)

## Índices Espectrales

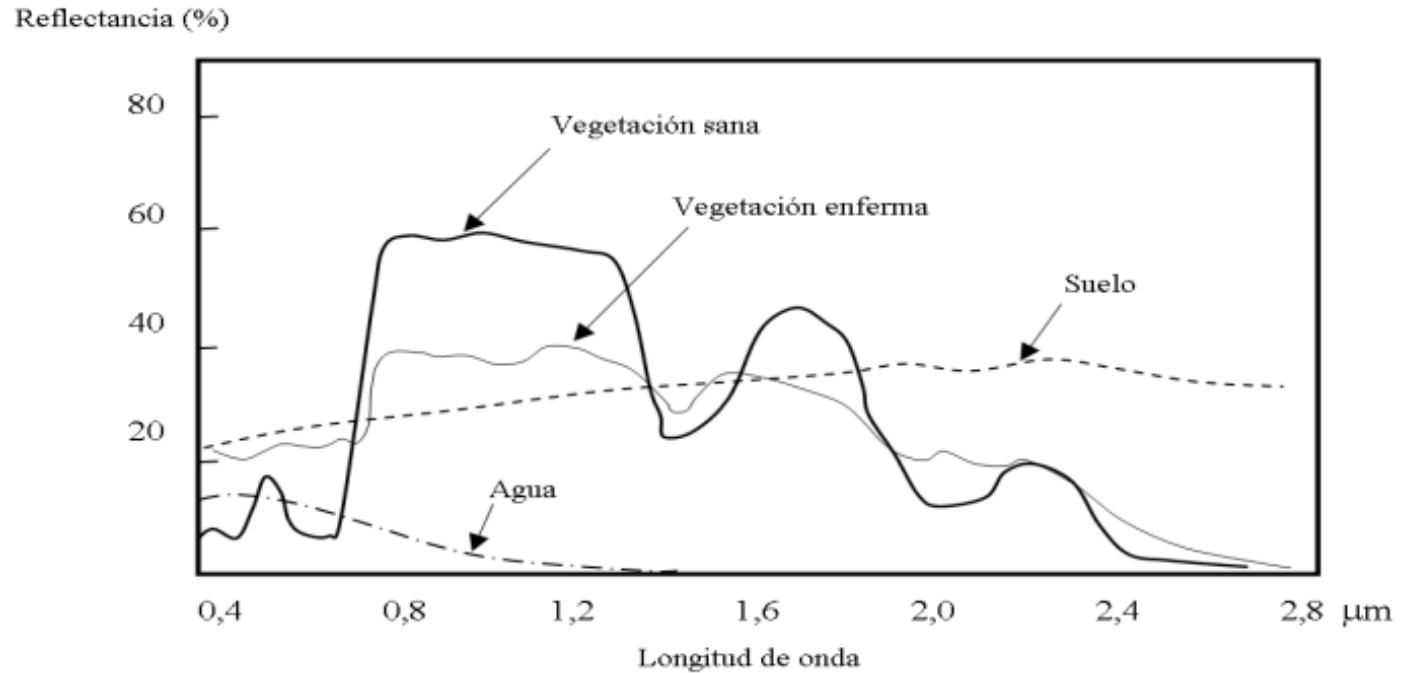


$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L)$$



$$CGI = \frac{NIR}{GREEN} - 1$$

## Firmas Espectrales

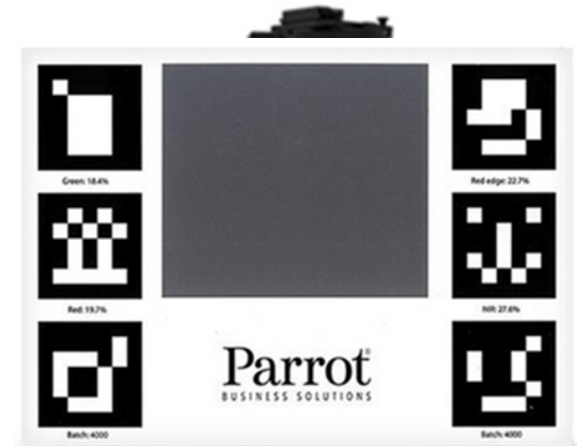


(Hernández & Montaner, 2007).

## Equipos



Cámara Parrot Sequoia  
(DJI, s.f.)  
(PIX4D, s.f.)



Cámara Zenmuse X3  
Tabla de Calibración  
(Parrot, s.f.)





TBC (Trimble Business Center)  
(Trimble Business Center, s.f.)



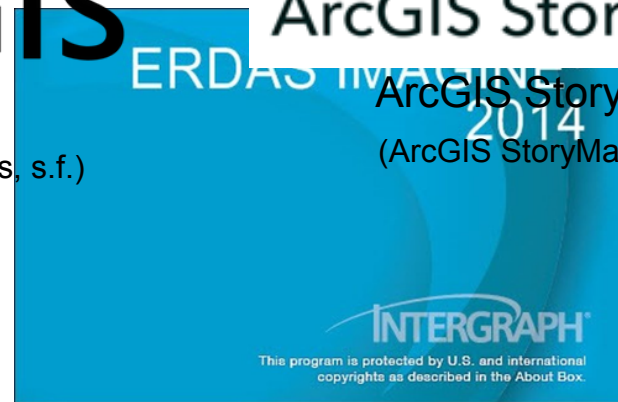
## Software

# ArcGIS

ArcGIS  
(ArcGIS Resources, s.f.)

# ArcGIS StoryMaps

ArcGIS StoryMaps  
(ArcGIS StoryMaps, s.f.)



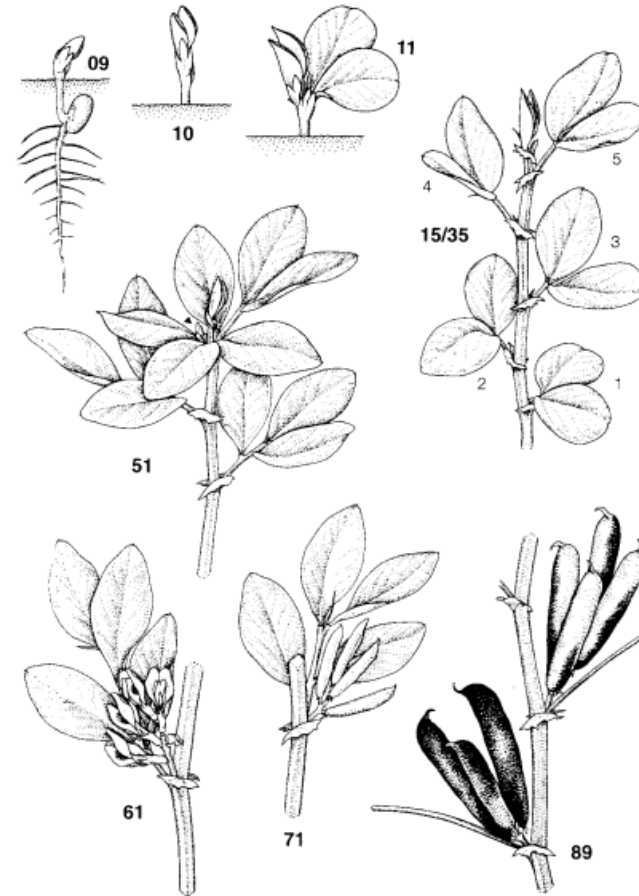
ERDAS Imagine  
(Shopee, s.f.)

## Agricultura de Presición



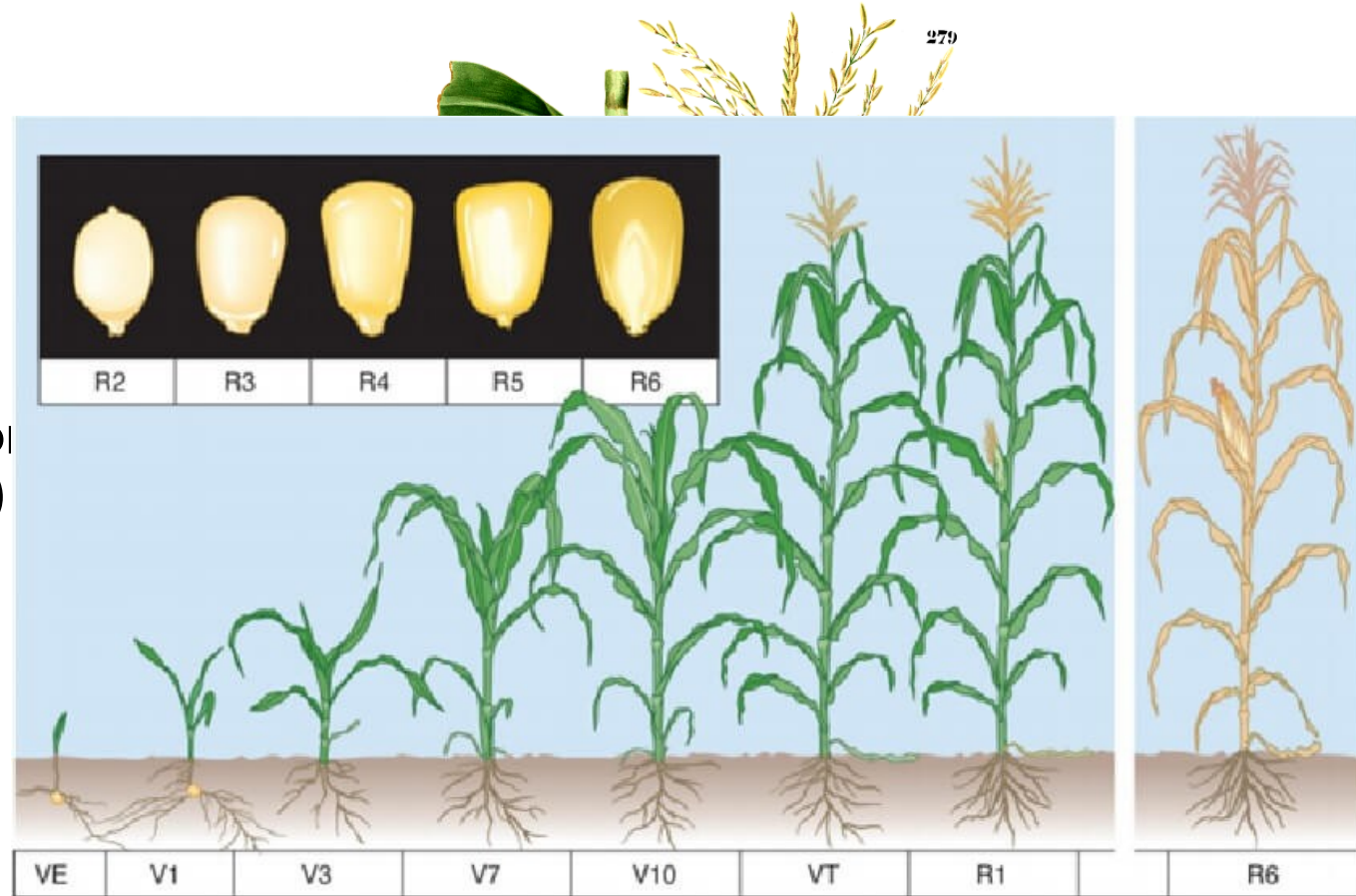
## Cultivo de Haba: Haba (*Vicia faba* L.)

**Haba Común** (*Vicia faba* L.)



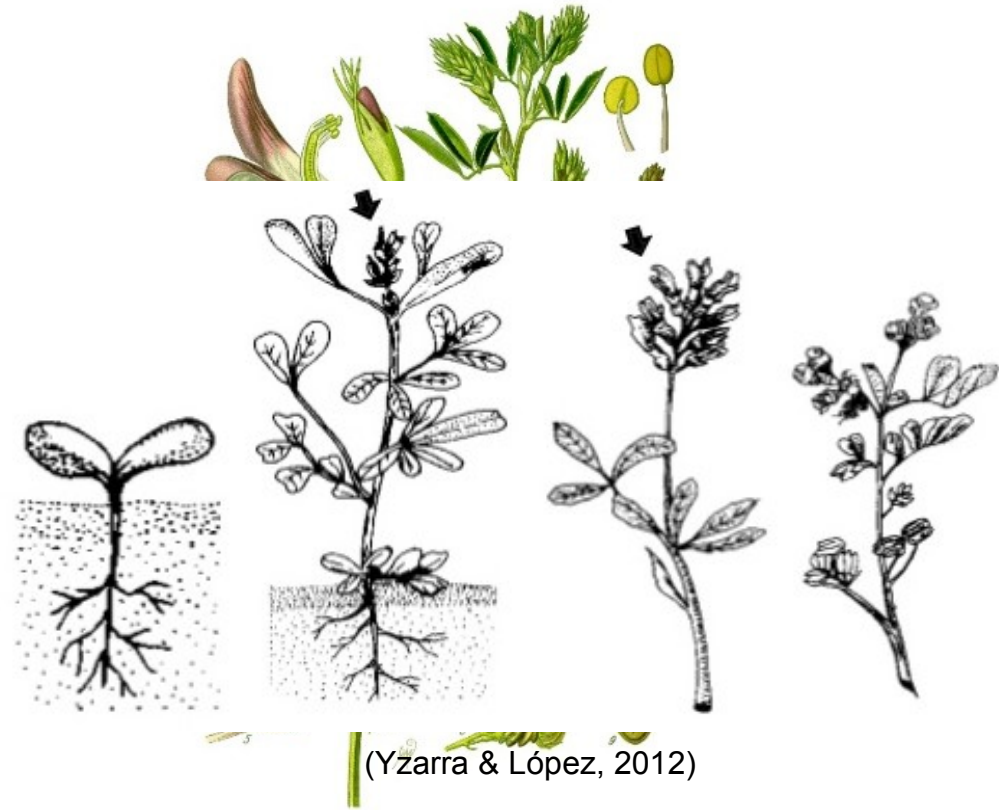
(Meier, 1996)

## Entomología del Maíz Maíz (Zea Mays)



(INTAGRI, 2016)

## **Ciclo de Vida de la Alfalfa (Medicago sativa)**



(Thomé, 1885)

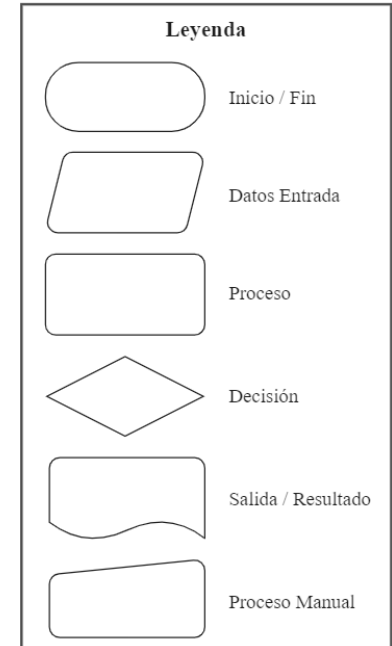
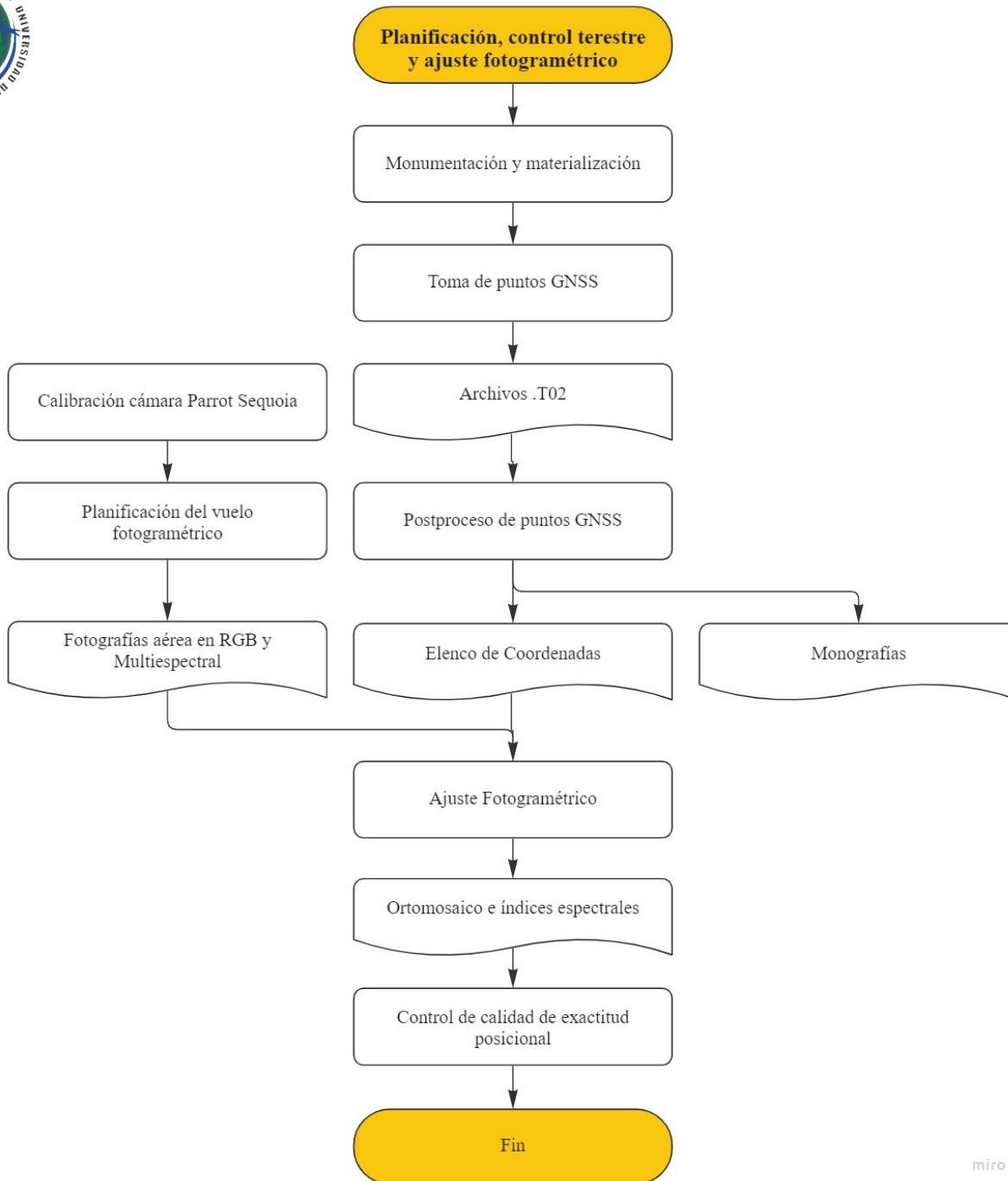
## Crecimiento del Pasto de Bermuda (*Cynodon dactylon*) (Pasto Bermuda)



(Conf. *Exótica*, Granada, 2017)  
(DreamsTime, s.f.)  
(Rare palm seeds, s.f.)

# PLANIFICACIÓN, CONTROL TERRESTRE Y AJUSTE FOTOGRAMÉTRICO









# METODOLOGÍA

## Monografía Toma de puntos (FastStatic)



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE



CARRERA DE INGENIERÍA GEOESPACIAL

ANÁLISIS DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE CULTIVOS DE CICLO CORTO Y DE CICLO LARGO APLICANDO TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOESPACIAL EN LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN, EN UN ÁREA PILOTO EN EL CANTÓN LATACUNGA

PROVINCIA:

COTOPAXI

CANTÓN:

LATACUNGA

PARROQUIA:

BELISARIO QUEVEDO

FECHA:

11-jun-22

ORDEN

PUNTO APOYO FOTOGRAMÉTRICO

NOMBRE DEL PUNTO

BASE

COORDENADAS GEOGRÁFICAS

COORDENADAS UTM:

DATUM:

WGS84

Latitud

S1°00'38,03563"

ZONA

17 S

Época de Referencia

2022,4

Longitud

078°35'23,90531"

NORTE (m):

9888202,505

ITRF

14

Altura Elipsoidal (m)

2722,122

ESTE (m):

768213,741

Elipsoide de Referencia

WGS84

Altura Ortométrica (m)

2689,970

Precisión Horizontal (m)

0,006

Precisión Vertical (m)

0,048



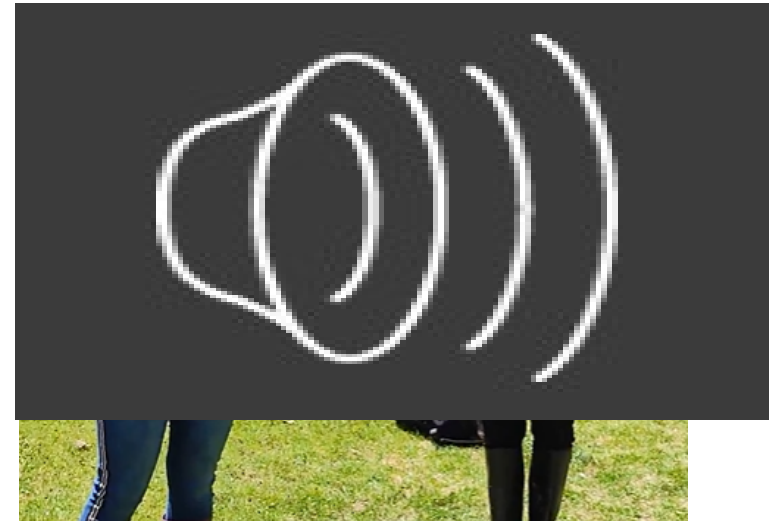
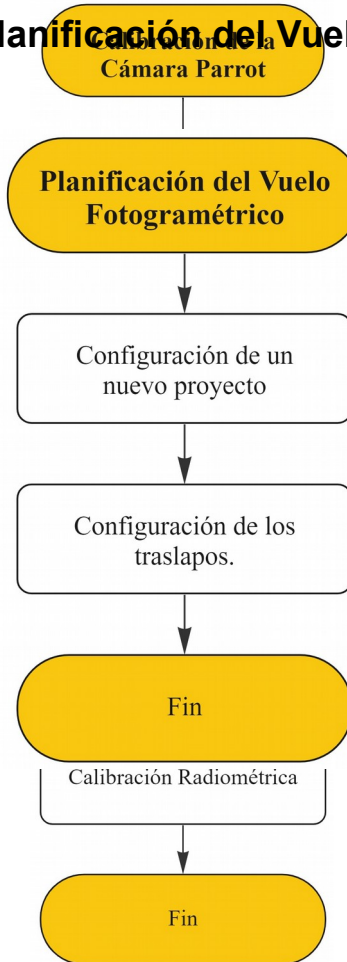
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## Calibración y planificación del vuelo fotogramétrico

### Calibración de la cámara Parrot Sequoia

#### Planificación del Vuelo



Salida	Fecha
Salida 1	11/Junio/2022
Salida 2	16/Julio/2022
Salida 3	26/Septiembre/2022
Salida 4	29/Octubre/2022
Salida 5	15/Diciembre/2022



# METODOLOGÍA

Ajuste  
Fotogramétrico

Calibración Radiométrica

% de reflectancia

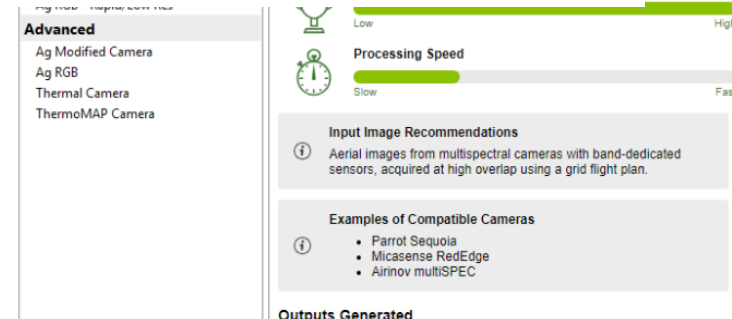
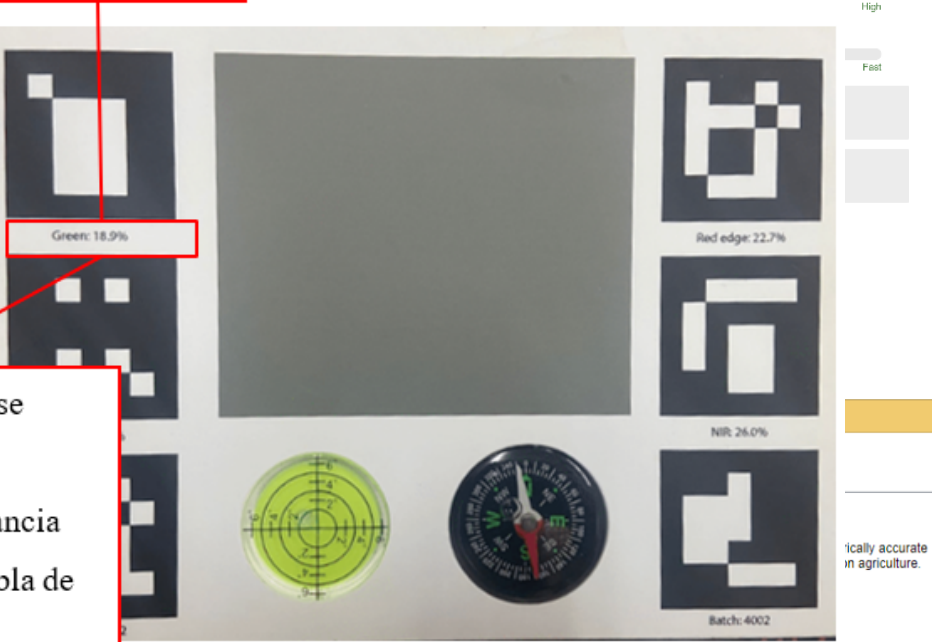
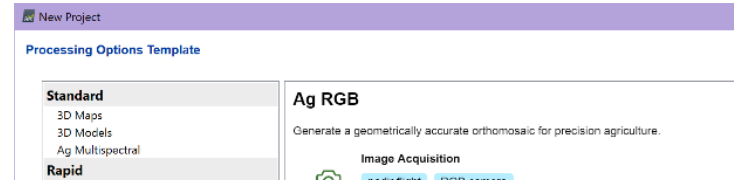
Ajuste  
fotogramétrico



Al marcar el cuadro, se debe verificar que el porcentaje de reflectancia sea el mismo de la tabla de calibración,

Ortomosaico

MDS



Index Map - unnamed

**Reflectance Map Band Selection**

Band	nm	Min	Avg	Max	Stdev	Var
green	550	0.01	0.09	1.02	0.05	0.00
nir	790	0.03	0.33	1.90	0.16	0.02
red	660	0.01	0.08	1.22	0.06	0.00
red_edge	735	0.02	0.25	1.19	0.10	0.01

**Operations**

**Formula**

(nir - red) / (nir + red)

Valid Formula

Index List

**Indices**

	Name	Formula
<input type="checkbox"/>	green	green
<input type="checkbox"/>	nir	nir
<input type="checkbox"/>	red	red
<input type="checkbox"/>	red_edge	red_edge
<input checked="" type="checkbox"/>	ndvi	(nir - red) / (nir + red)
<input checked="" type="checkbox"/>	savi	(nir - red) / (nir + red + 0.5) * (1 + 0.5)
<input checked="" type="checkbox"/>	cgi	nir / green - 1
<input checked="" type="checkbox"/>	gndvi	(nir - green) / (nir + green)

## Control de calidad de

Id	Code	Coordenadas RTK		Coordenadas Ortomosaico		Diferencias		Error Posicional
		Este	Norte	Este	Norte	Este	Norte	
1	p01d1b	767902,816	9888116,919	767902,780	9888116,965	0,036	-0,046	0,058
2	p02d1a	767898,904	9888168,851	767898,846	9888168,907	0,058	-0,056	0,081
3	p03d1a	767883,789	9888294,101	767883,753	9888294,135	0,036	-0,034	0,050
Producto	Media (m)	Mediana (m)	Desviación estándar (m)	Mínimo	Máximo	Exactitud NSSDA (m)	Exactitud IGM (m)	
Ortomosaico 1	0,069	0,058	0,042	0,012	0,184	0,139	0,122	
Ortomosaico 2	0,086	0,093	0,053	0,009	0,009	0,173	0,151	
Ortomosaico 3	0,075	0,072	0,046	0,015	0,177	0,147	0,129	
Ortomosaico 4	0,097	0,095	0,046	0,024	0,179	0,184	0,161	
Ortomosaico 5	0,048	0,032	0,040	0,005	0,136	0,103	0,090	
Promedio	0,075	0,07	0,0454	0,013	0,137	0,1492	0,1306	
12	p18d1b	768392,114	9888235,363	768392,164	9888235,341	-0,050	0,022	0,055
13	p19d1b	768354,974	9888213,312	768354,962	9888213,442	0,012	-0,130	0,131
14	p20d1c	768265,014	9888204,409	768264,925	9888204,464	0,089	-0,055	0,105
15	p17d1b	768411,982	9888253,725	768411,987	9888253,736	-0,005	-0,011	0,012
16	p10d1d	768181,369	9888102,935	768181,365	9888102,877	0,004	0,058	0,058
<b>EMCx</b>						0,055		
<b>EMCy</b>						0,058		
				<b>Exactitud r</b>	0,139	95% de Confianza	NSSDA	
				<b>Exactitud r</b>	0,122	90% de Confianza	IGM	

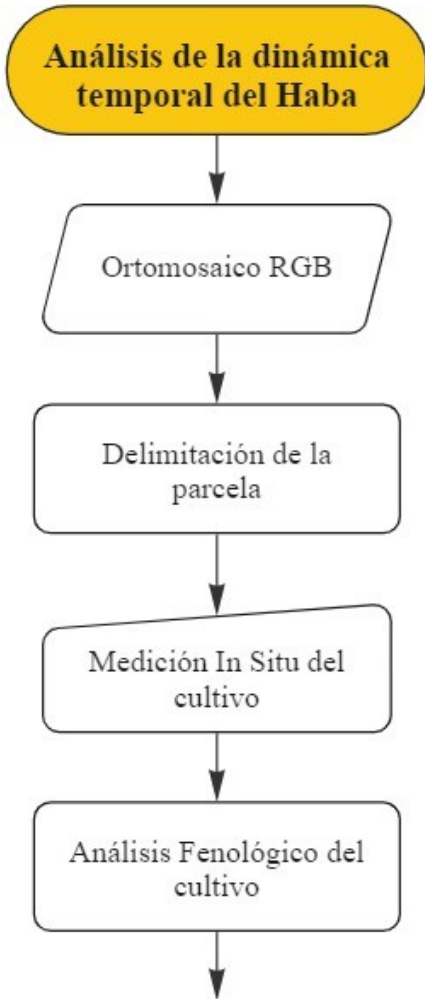
Col



# ANÁLISIS DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE CULTIVOS DE CICLO CORTO

## Análisis Fenológico

Formación de los nodos (1) y  
floración (2), hasta la maduración de frutos y  
crecimiento longitudinal del tallo principal



Planta luego de la cosecha, sin hojas, con oscurecimiento del tallo

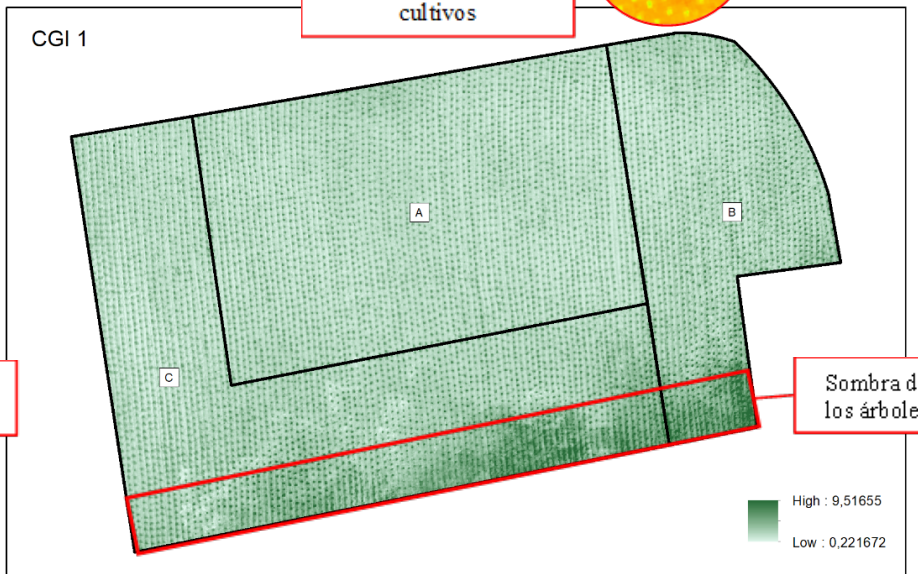
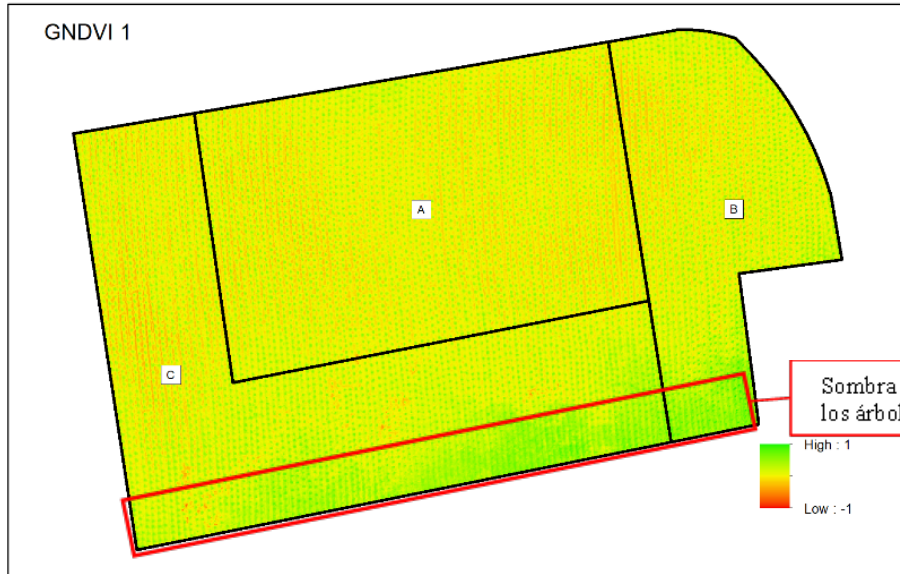
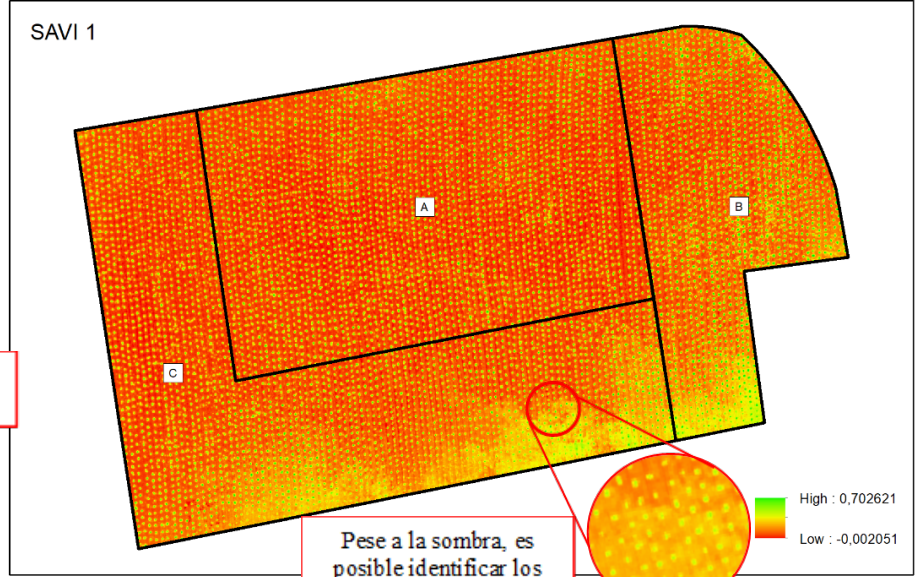
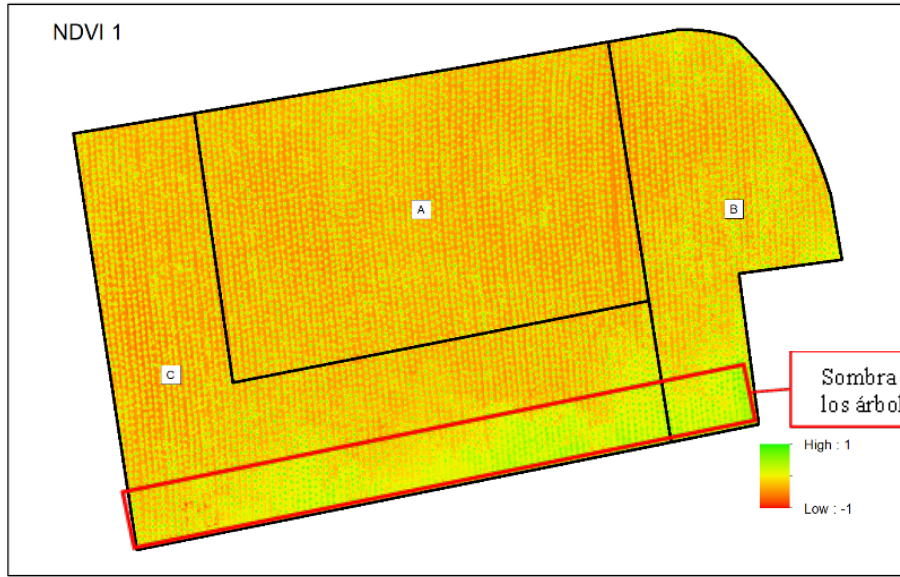
Flores

Crecimiento de la vaina

Crecimiento del grano

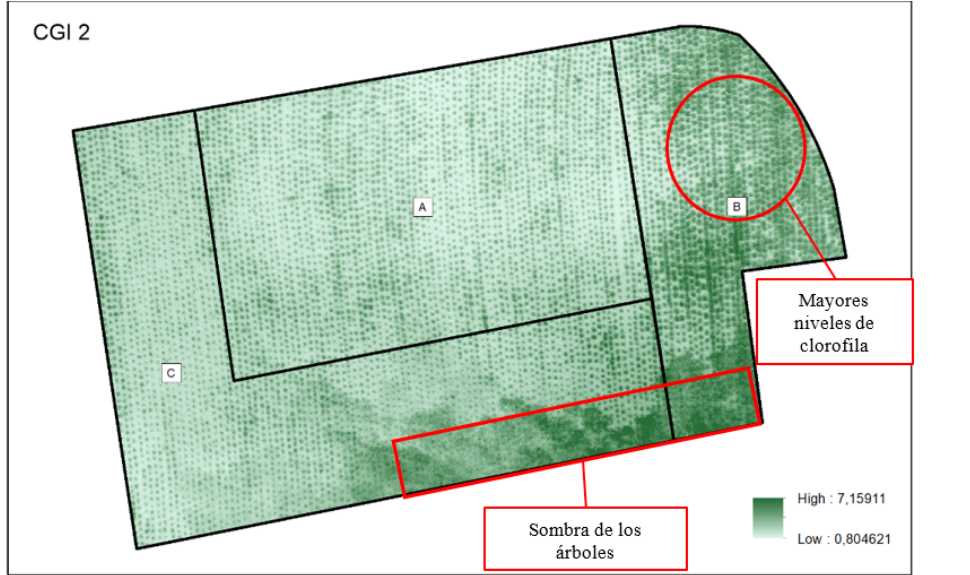
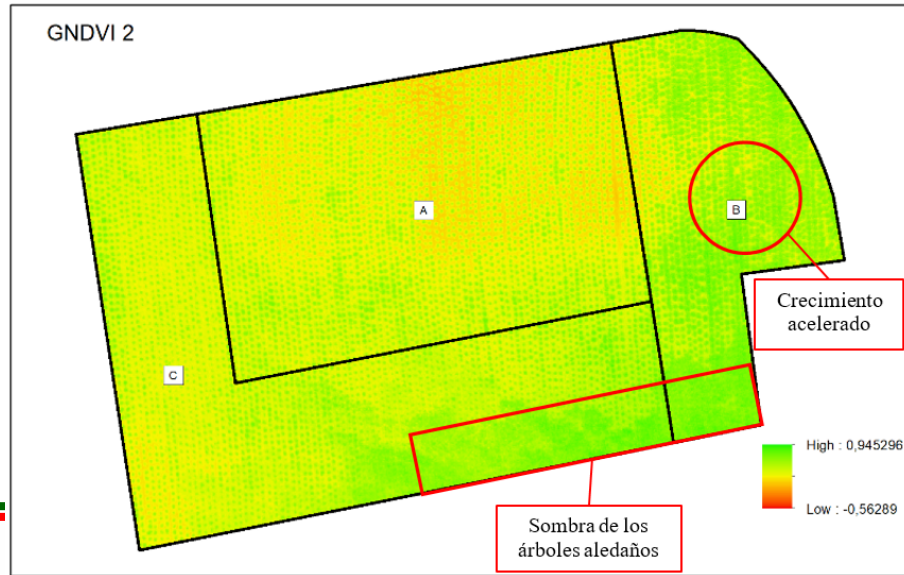
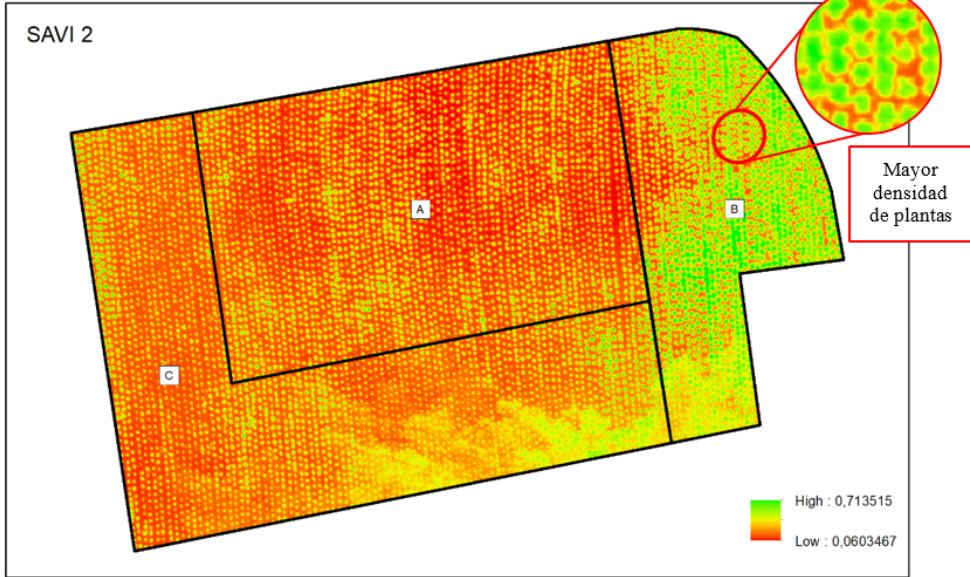
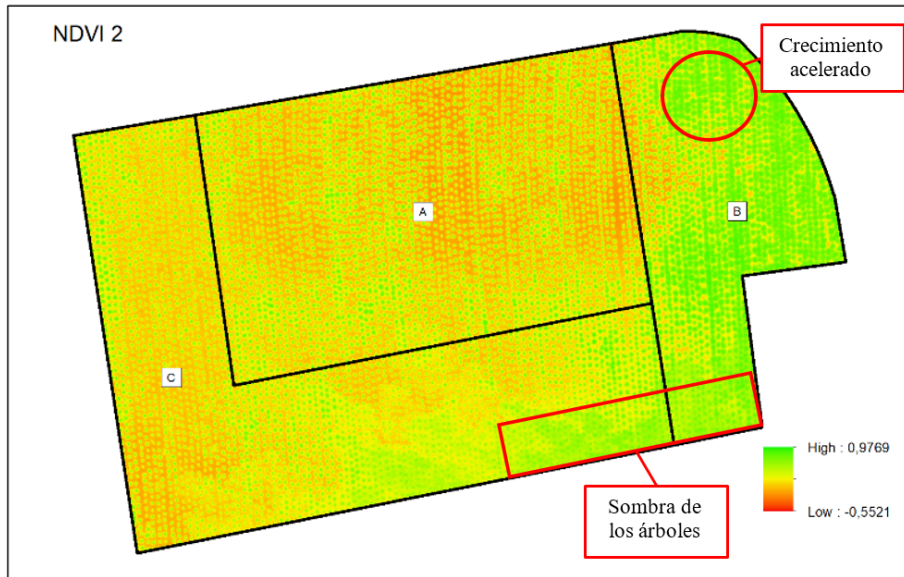
Crecimiento del tallo principal

## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 1

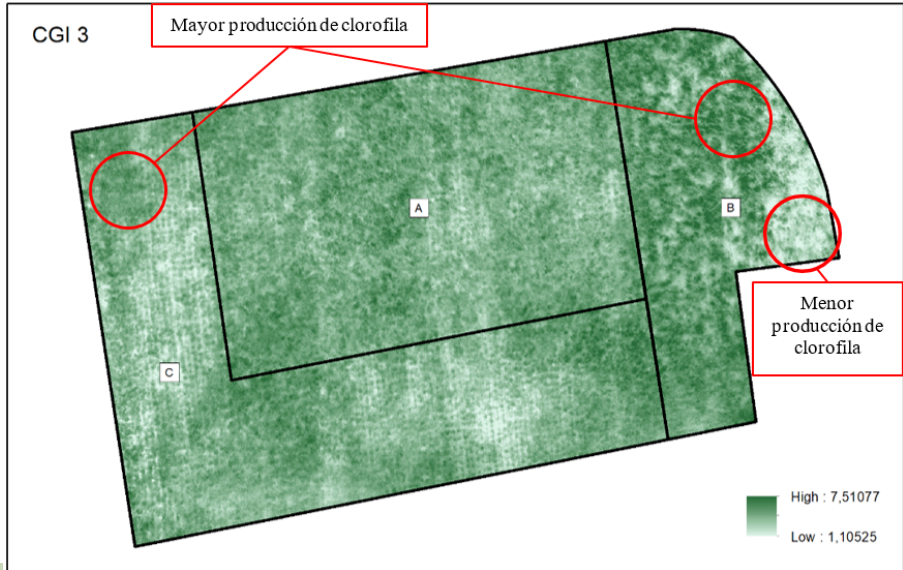
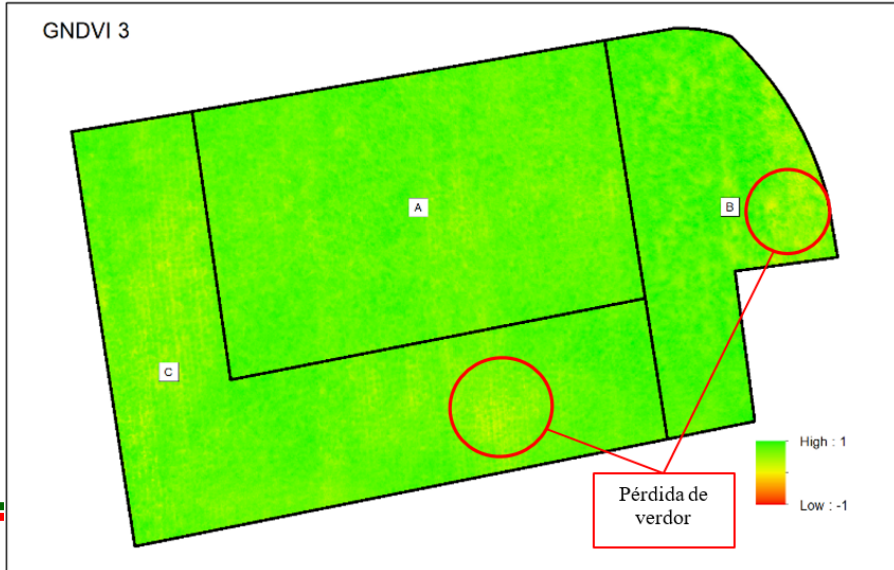
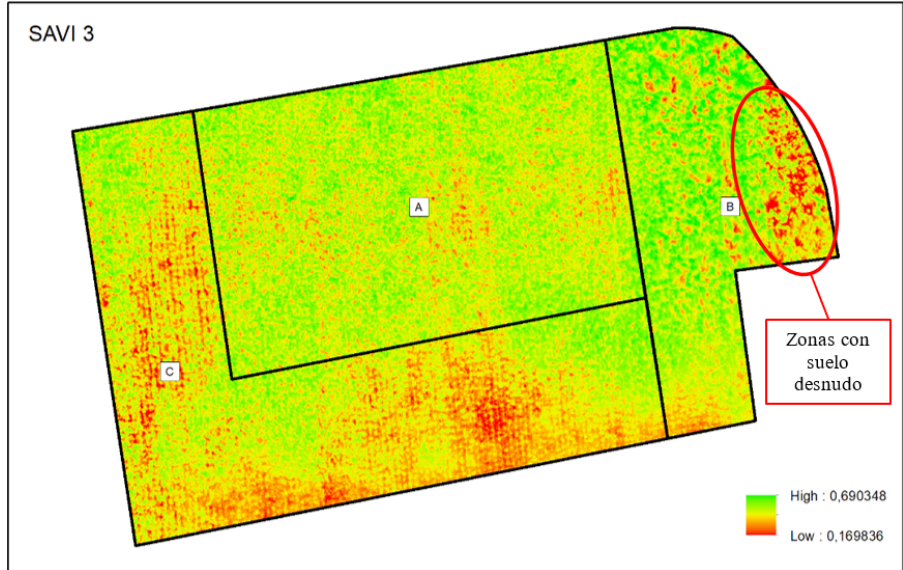
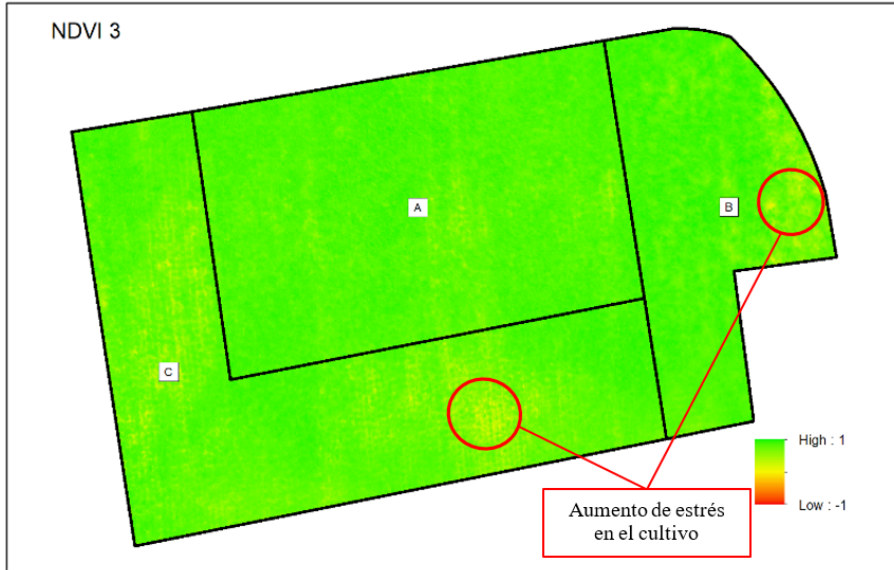




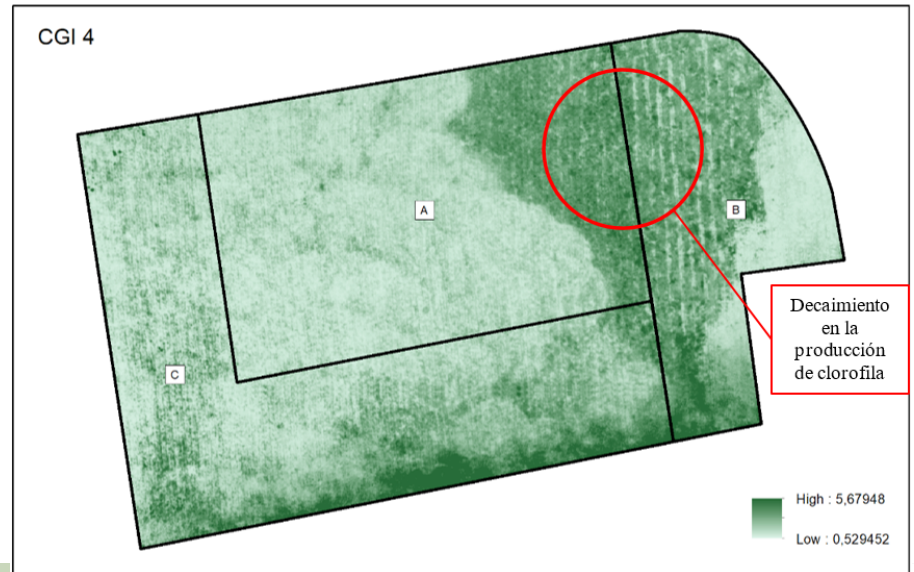
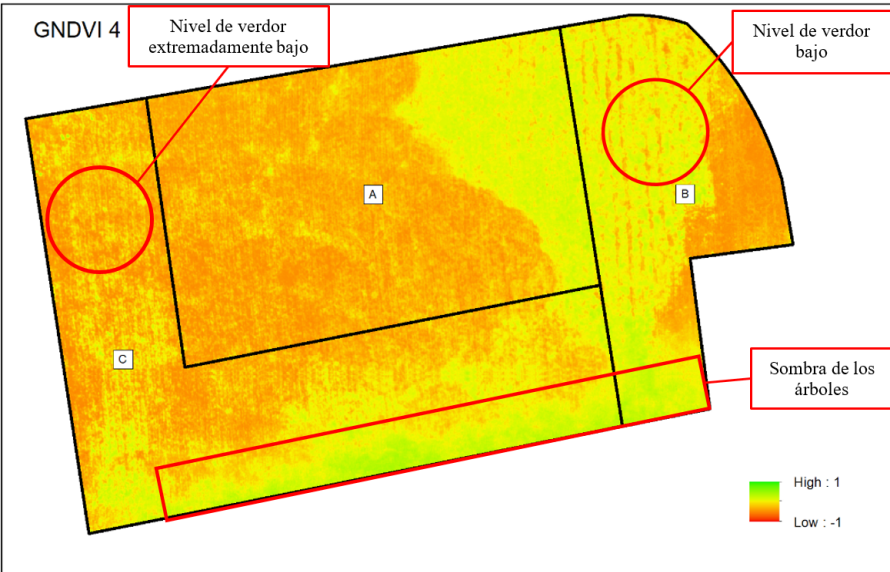
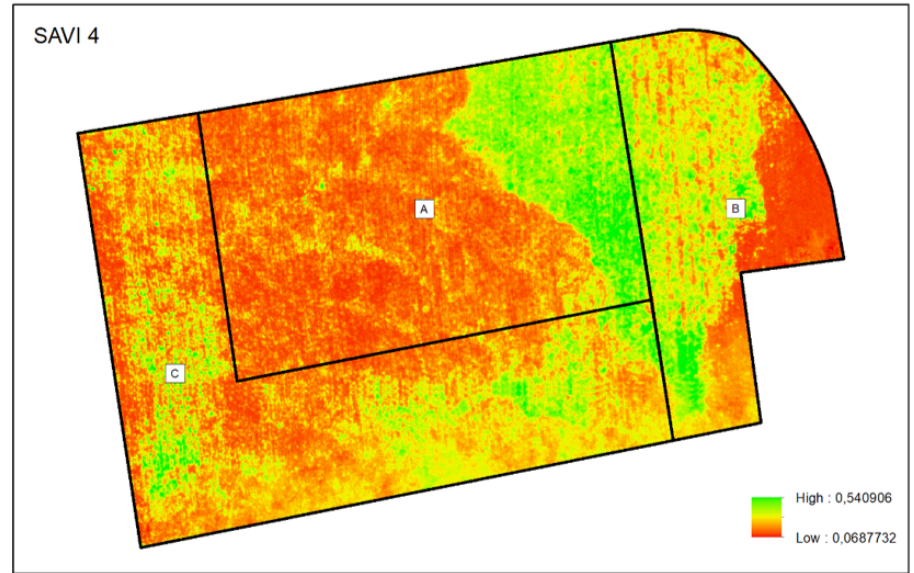
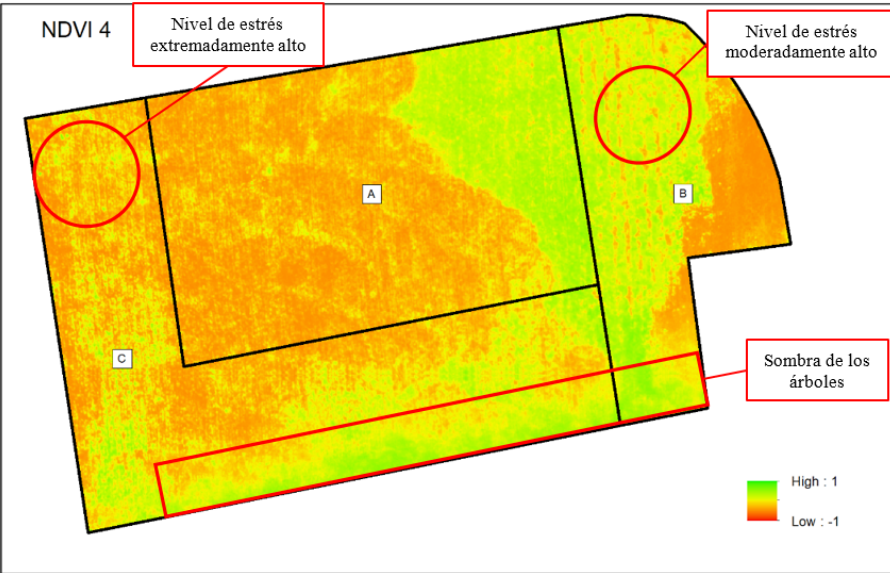
## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 2



## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 3

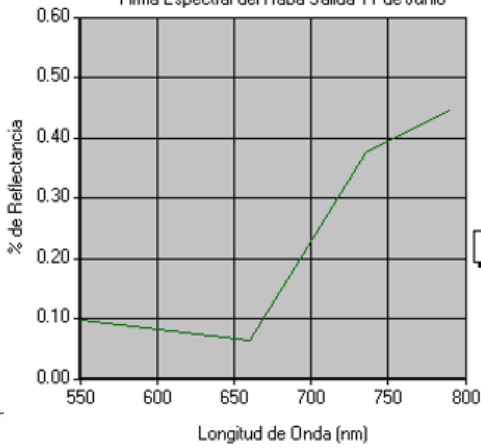


## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 4

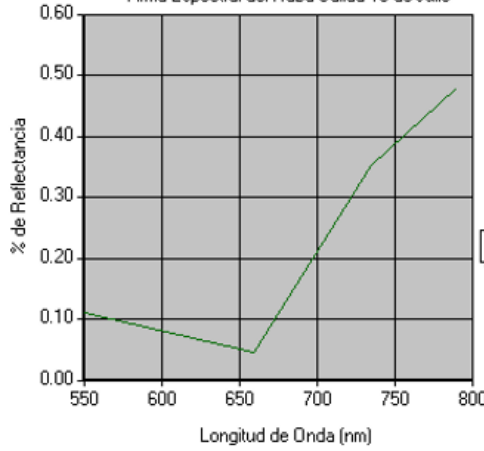


Análisis de la dinámica temporal del Haba

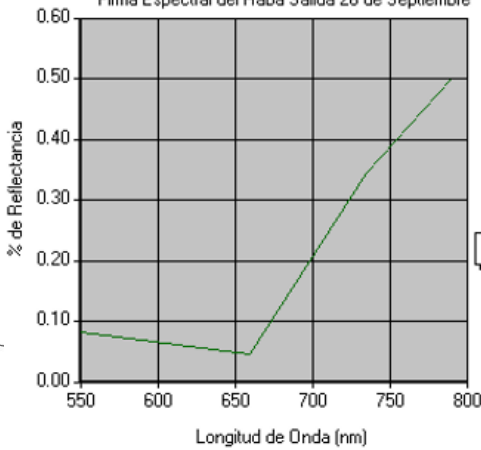
Firma Espectral del Haba Salida 11 de Junio



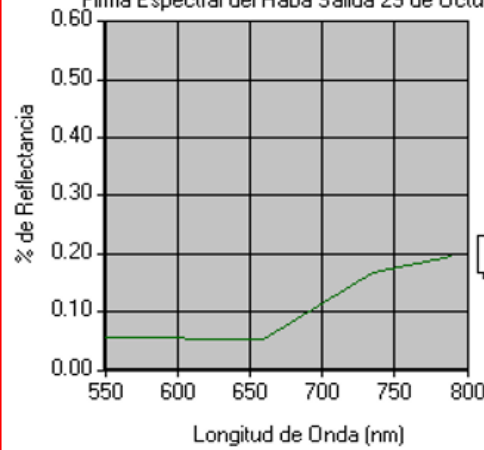
Firma Espectral del Haba Salida 16 de Julio



Firma Espectral del Haba Salida 26 de Septiembre



Firma Espectral del Haba Salida 29 de Octubre



Espectrales

Fin

AS

; th";

Unidad de la longitud de onda

## Análisis de las Firmas Espectrales

th 20; }  
 th 20; }  
 th 05; }  
 th 20; }

longitud de onda media y la mitad del ancho de banda

Análisis de la dinámica temporal del Maíz

Análisis Fenológico del cultivo

Salida 1: 11 de junio

Salida 2: 16 de julio

Salida 3: 26 de septiembre

Salida 4: 29 de octubre

Desarrollo vegetativo ( $V_n$ )

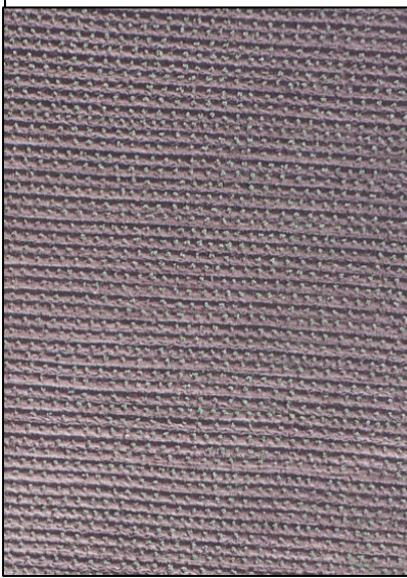
Panojamiento / Floración ( $V_T$ )

- Reproductiva

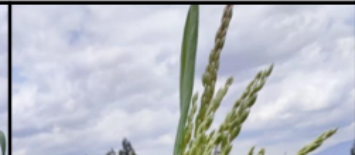
$R_1$  – “blíster”

$R_3$  – maduración

$R_4$  – cosecha

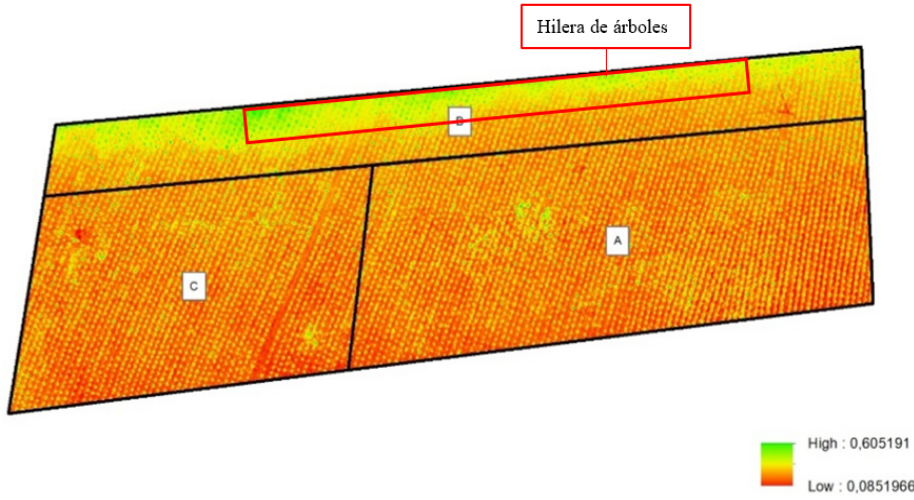


cul

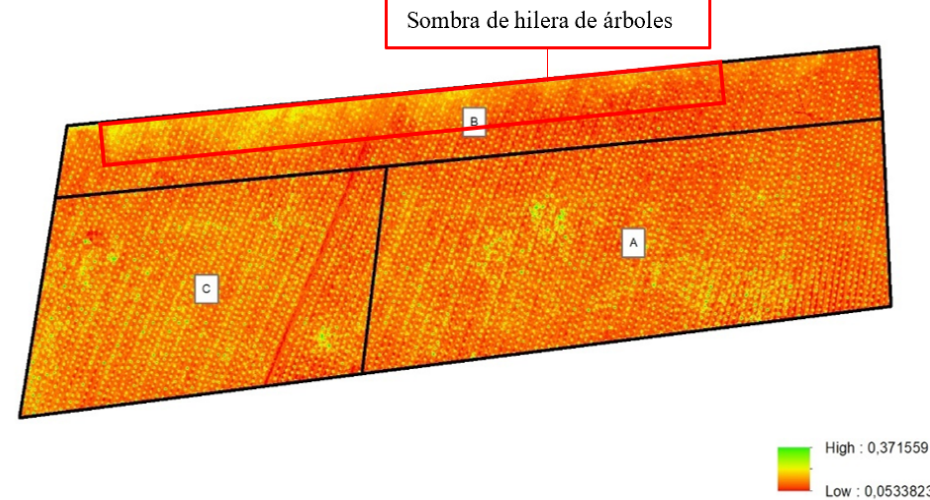


## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 1

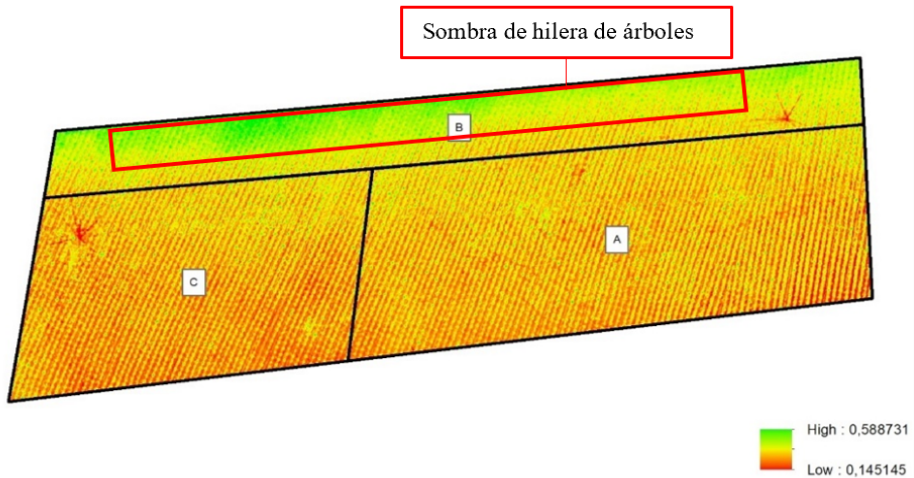
NDVI 1



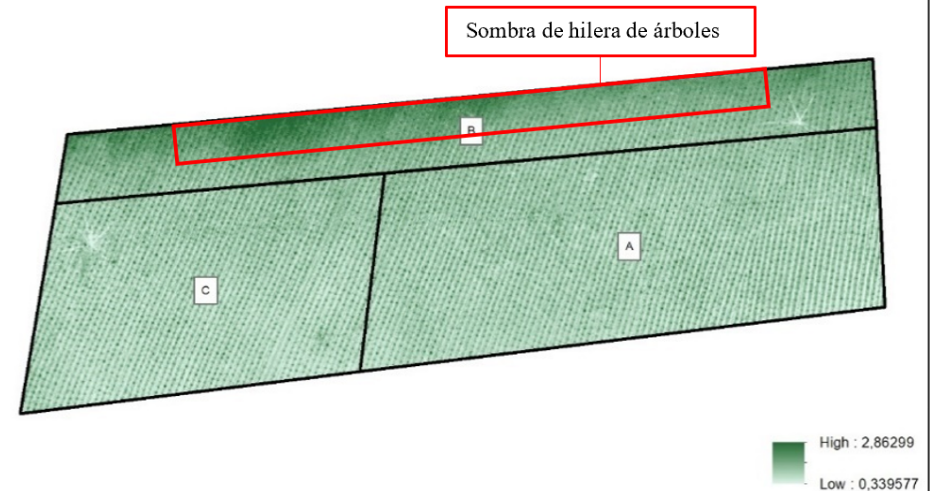
SAVI 1



GNDVI 1

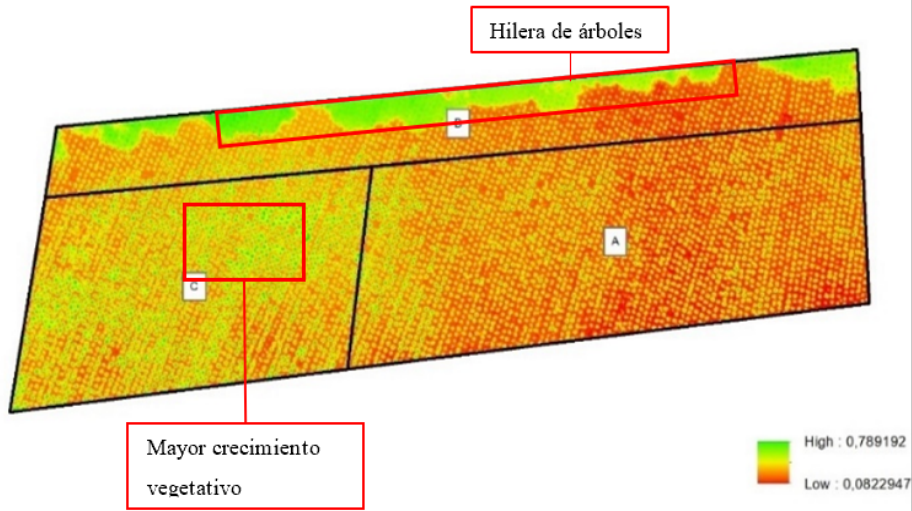


CGI 1

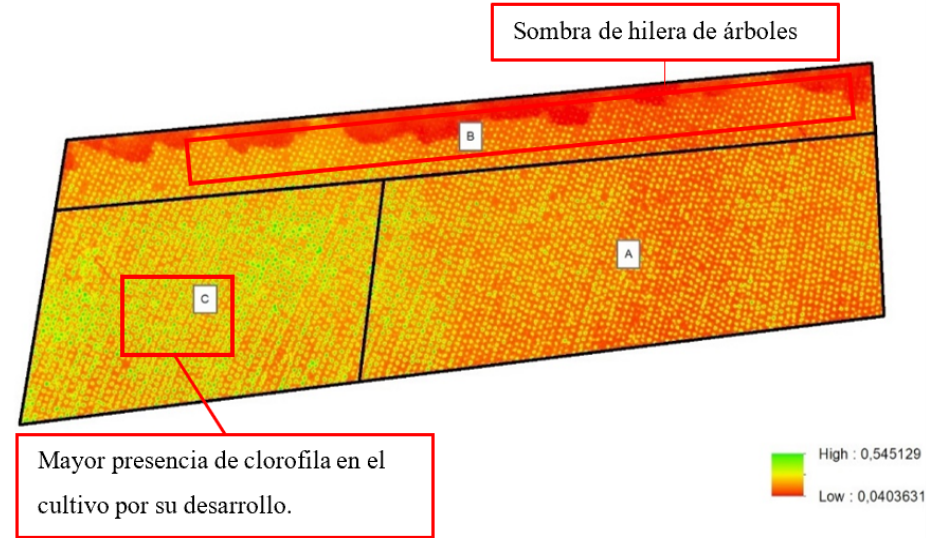


## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 2

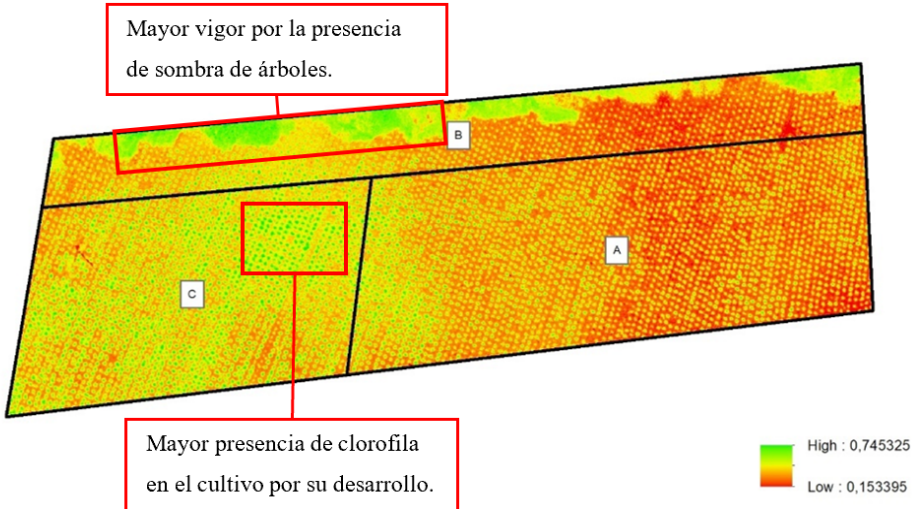
NDVI 2



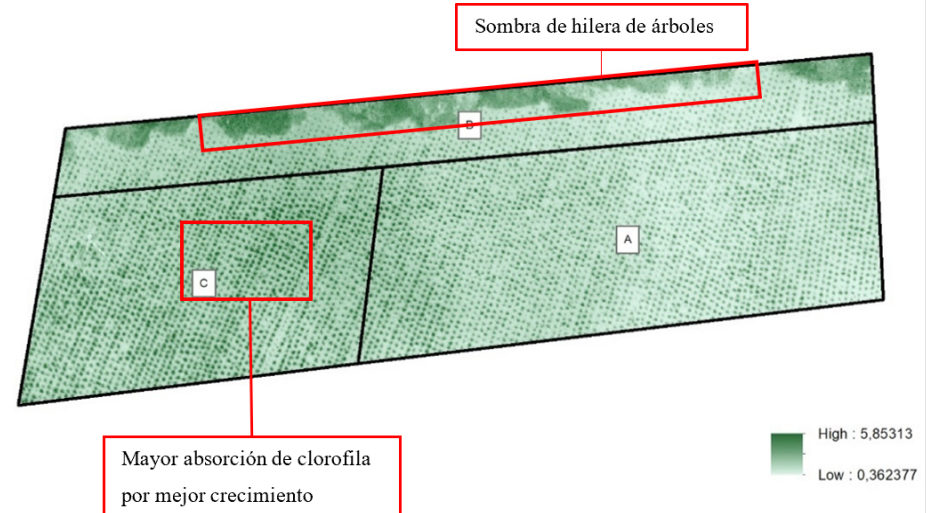
SAVI 2



GNDVI 2



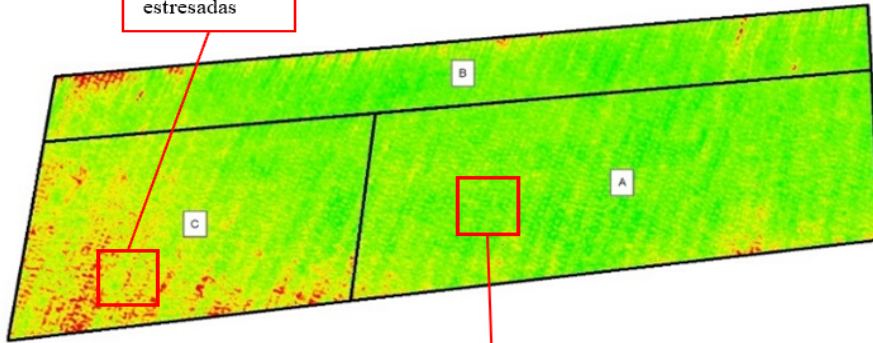
CGI 2



## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 3

NDVI 3

Plantas  
enfermas /  
estresadas

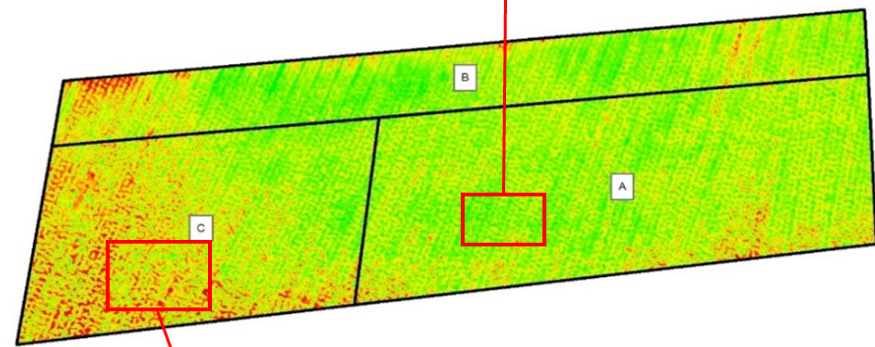


Vegetación  
sana



SAVI 3

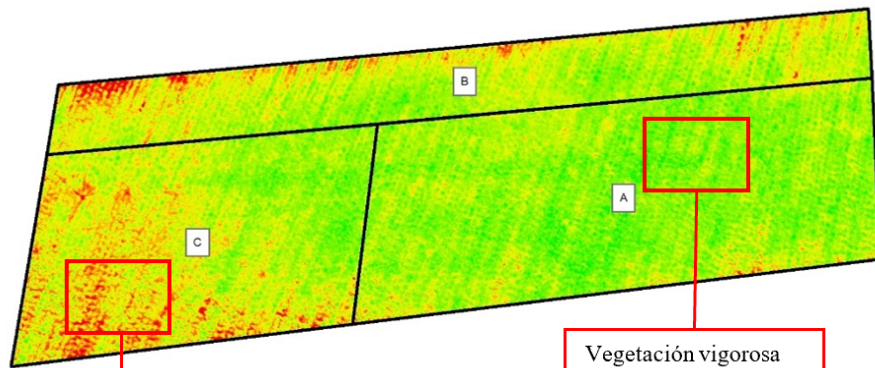
Vegetación vigorosa



Plantas de maíz estresadas por la  
falta de recursos.



GNDVI 3



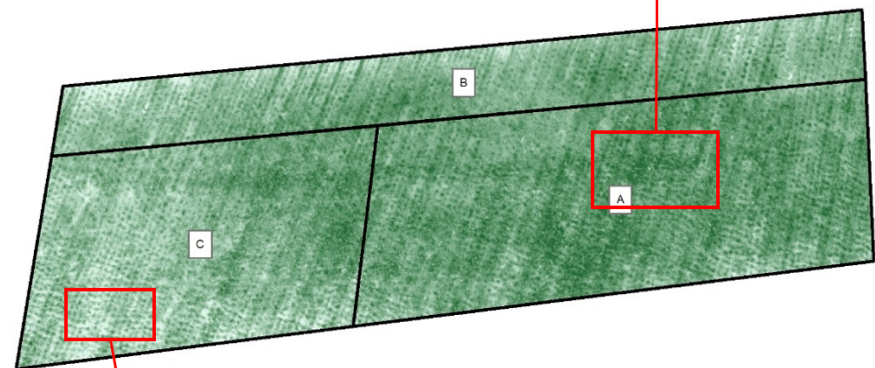
Vegetación deprimida

Vegetación vigorosa



CGI 3

Área con mayor  
índice de clorofila



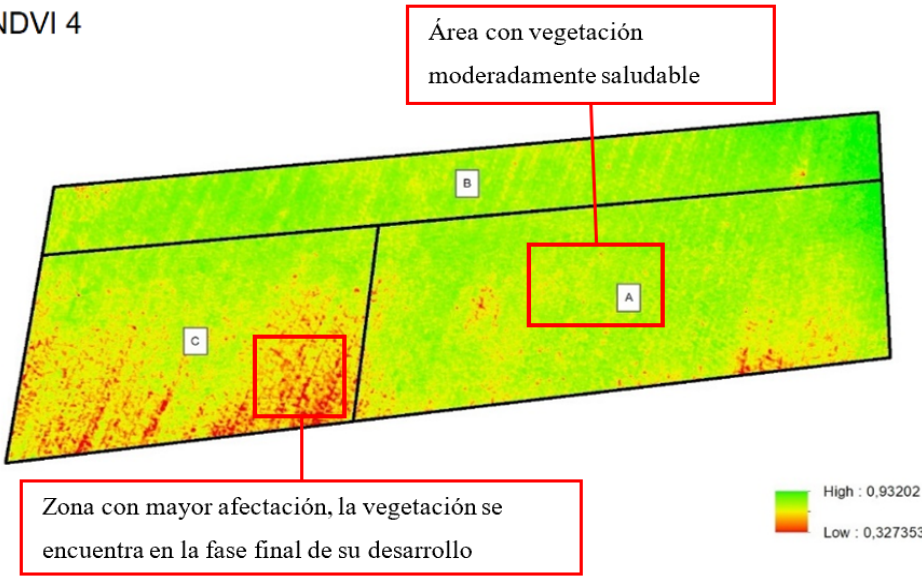
Zona de bajo crecimiento /  
poca absorción de clorofila



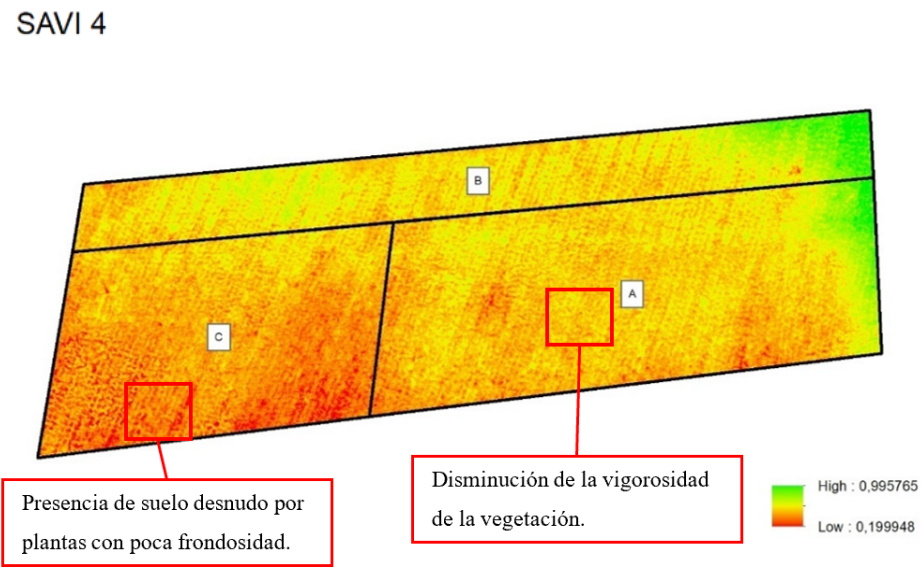


## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 4

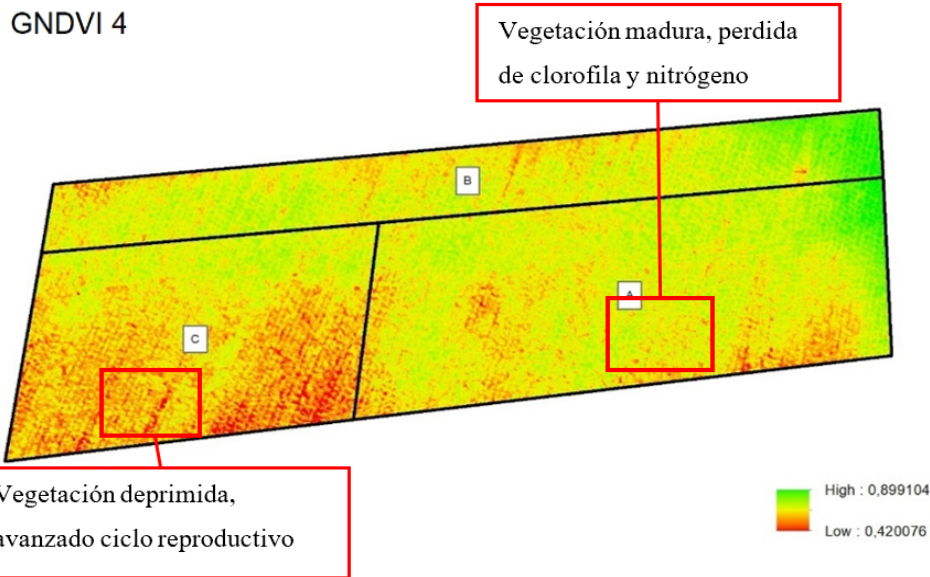
NDVI 4



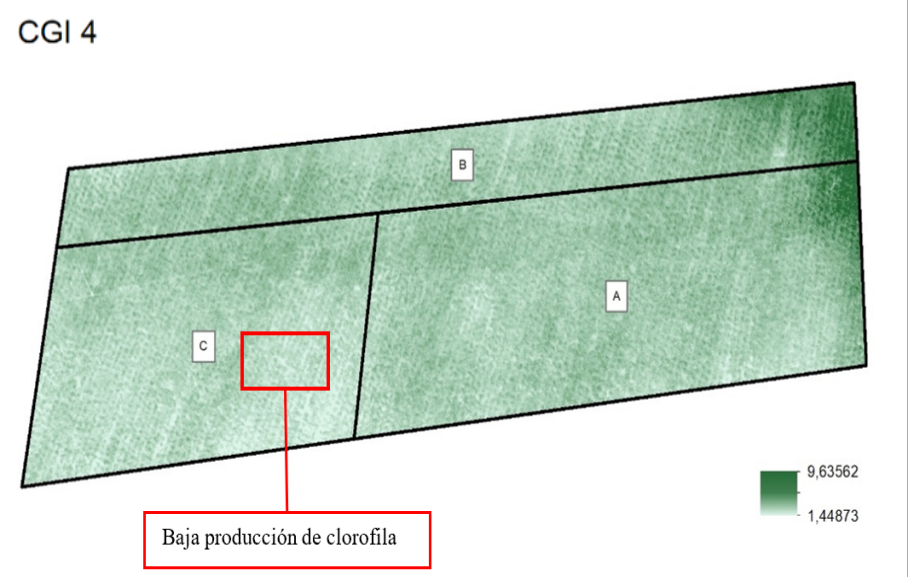
SAVI 4



GNDVI 4



CGI 4



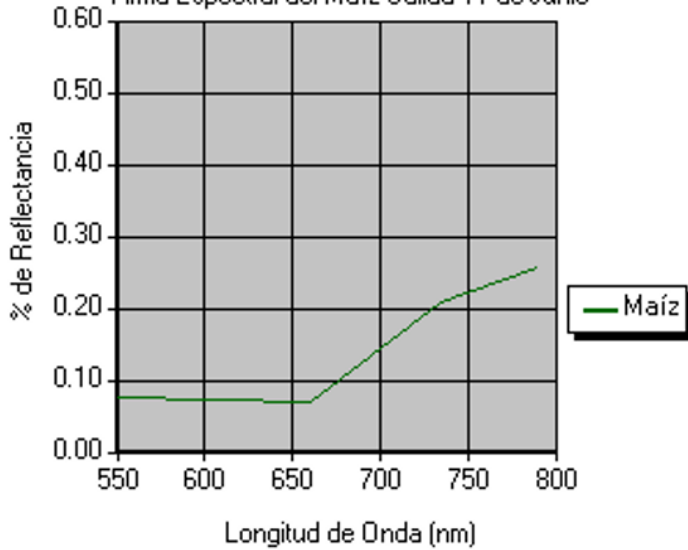


# Maíz

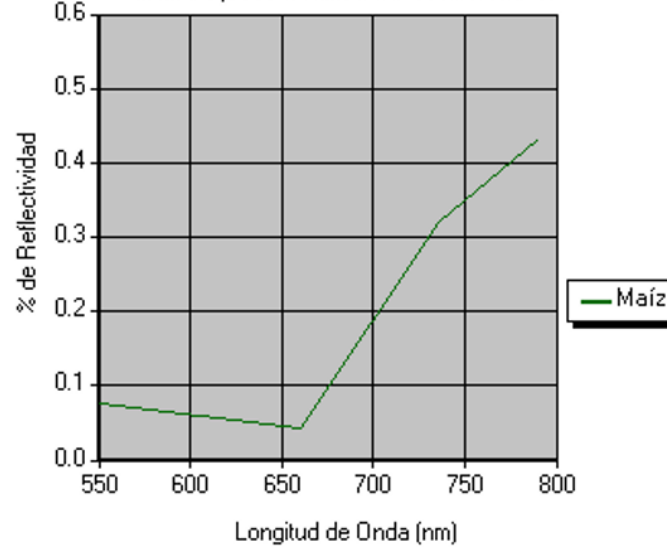
## CICLO CORTO

Análisis de la dinámica  
temporal del Maíz

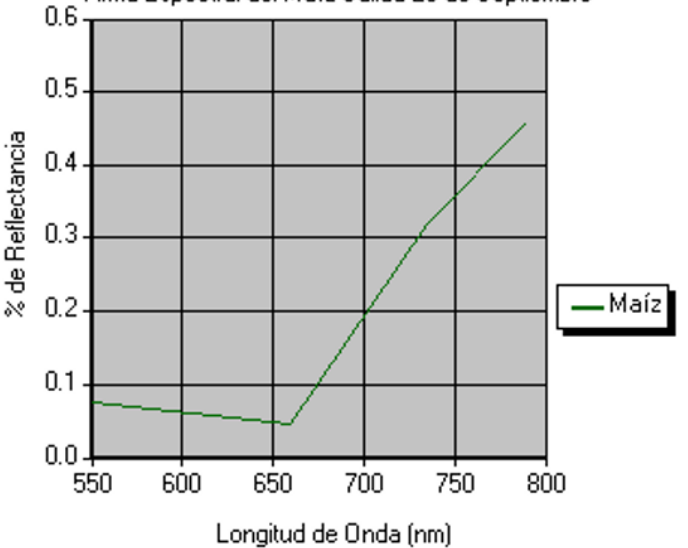
Firma Espectral del Maíz Salida 11 de Junio



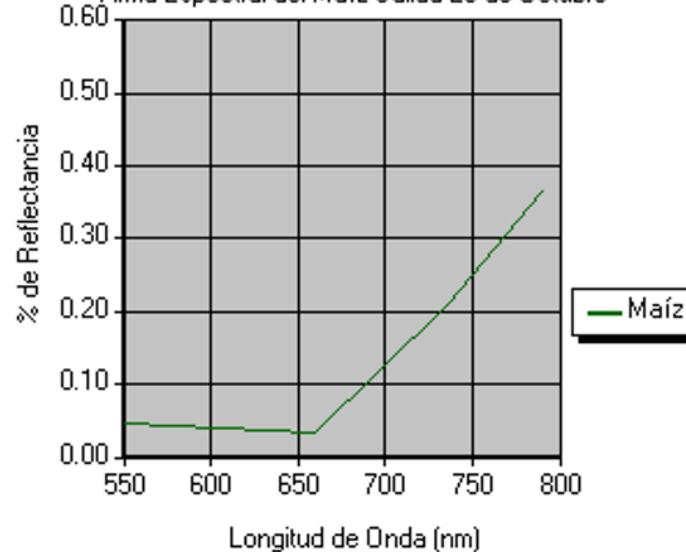
Firma Espectral del Maíz Salida 16 de Julio



Firma Espectral del Maíz Salida 26 de Septiembre



Firma Espectral del Maíz Salida 29 de Octubre



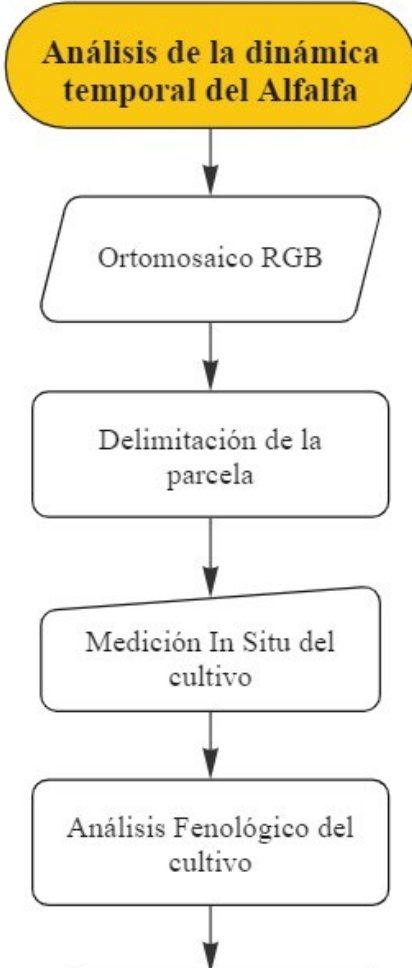
## Análisis de las Firmas Espectrales



**ESPE**  
ESCUOLA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

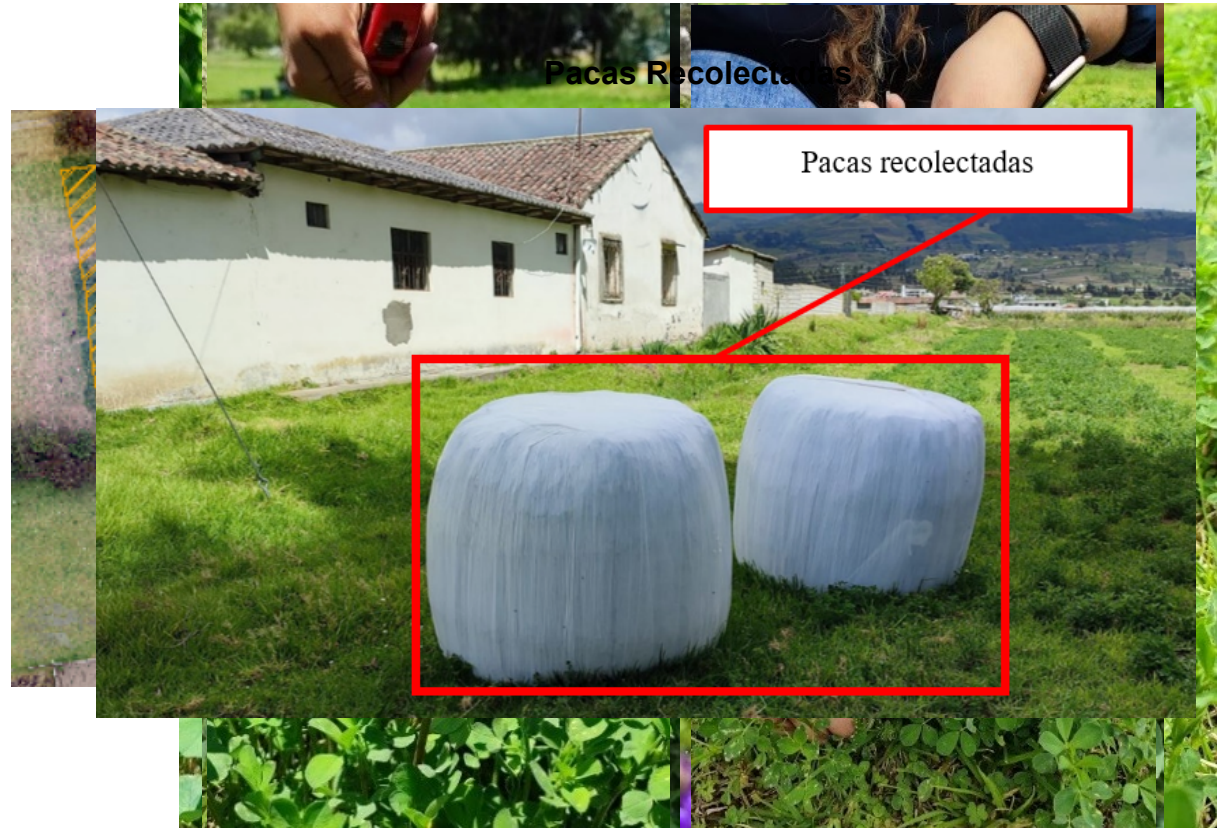
# ANÁLISIS DE LA DINÁMICA TEMPORAL DE CULTIVOS DE CICLO LARGO



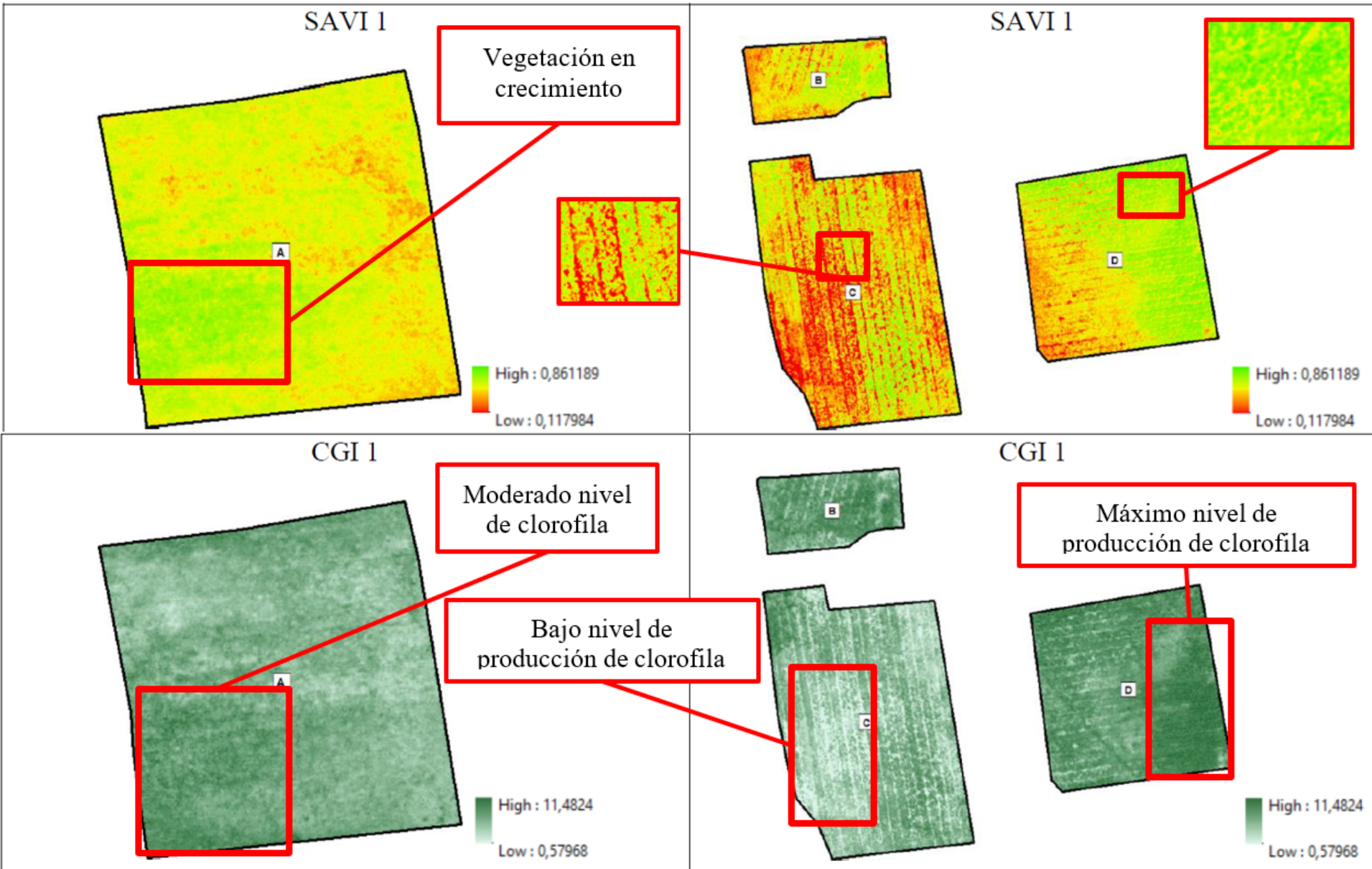


## Análisis Fenológico

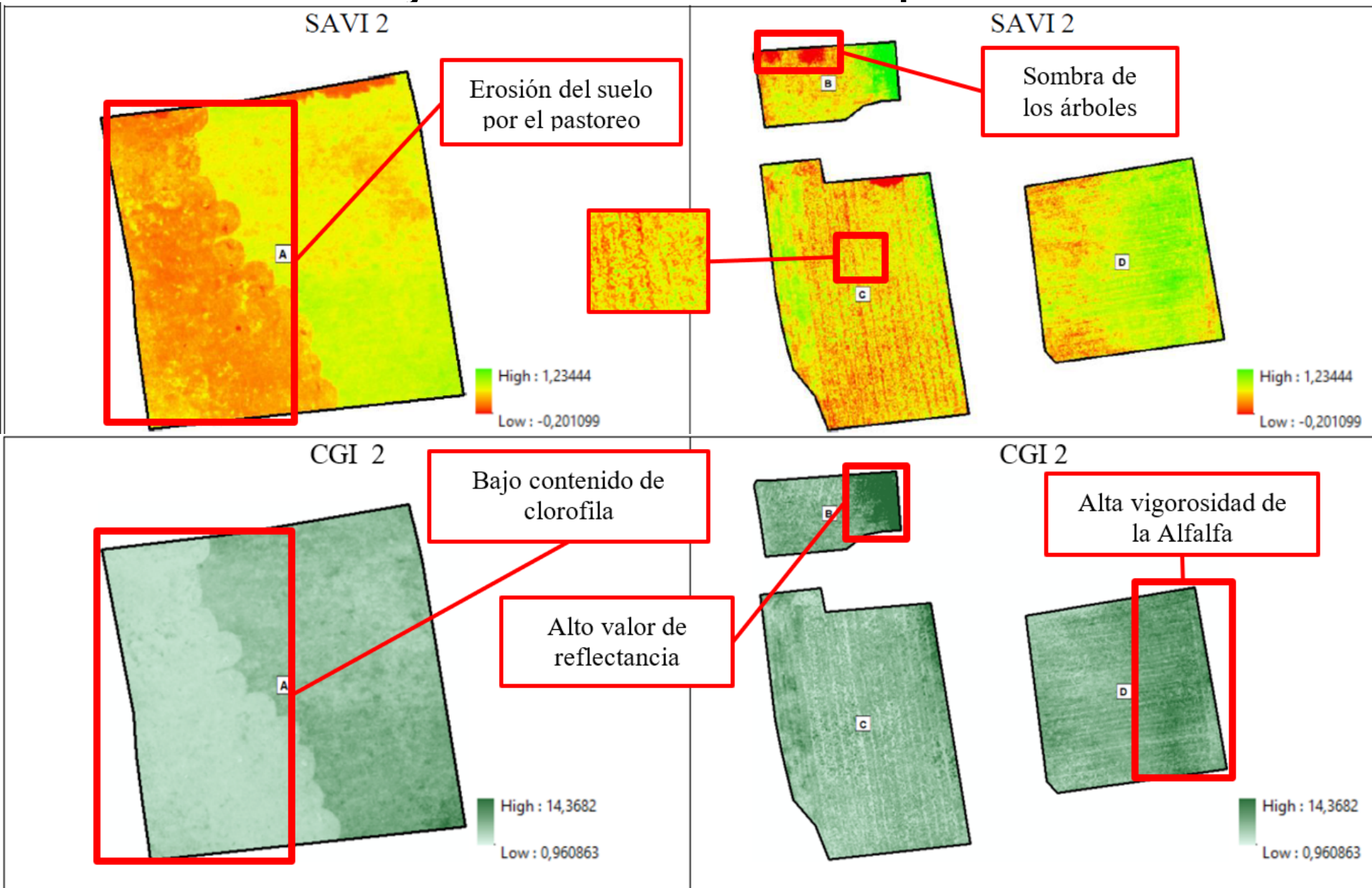
Edad fenológica (1)



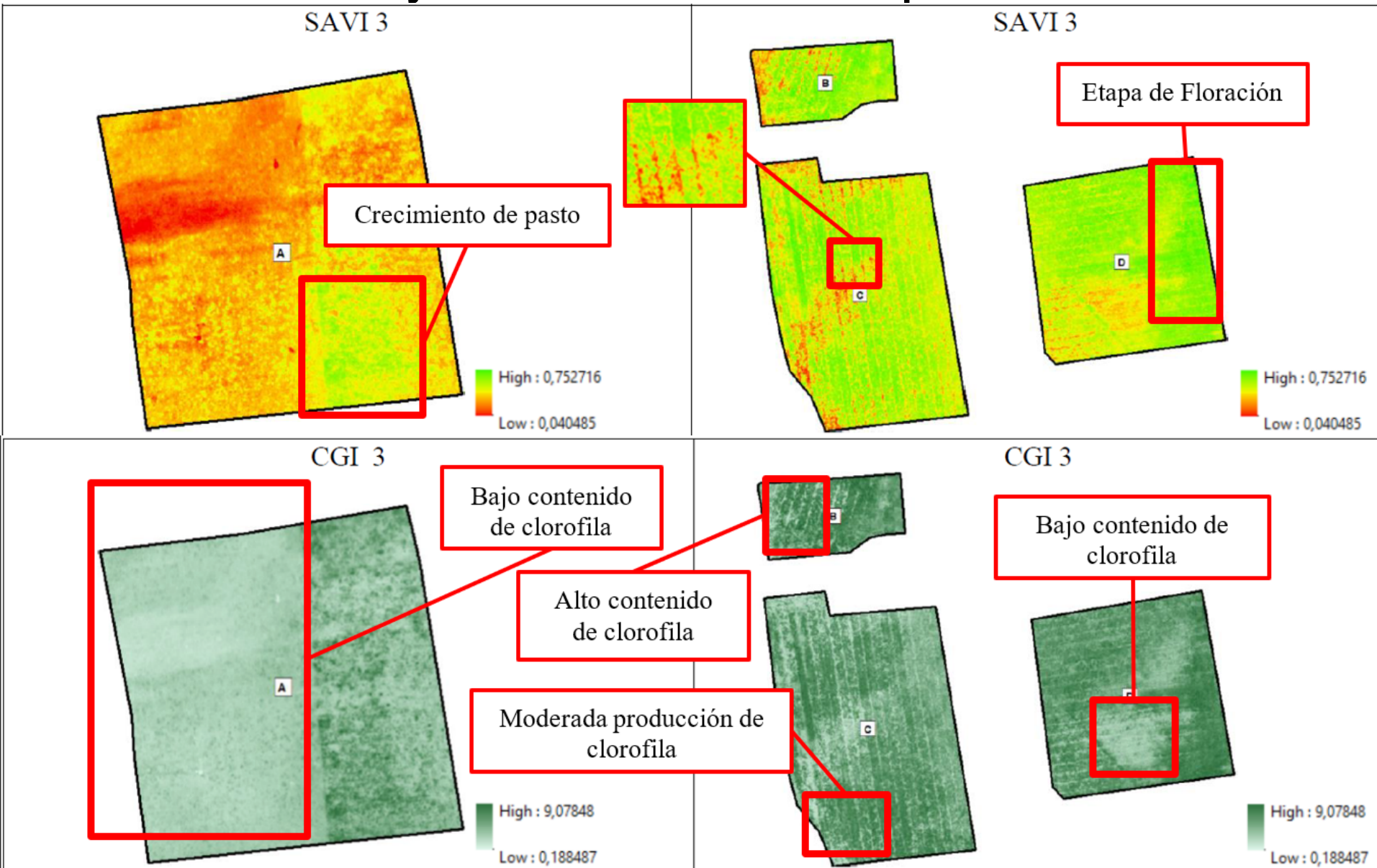
## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 1



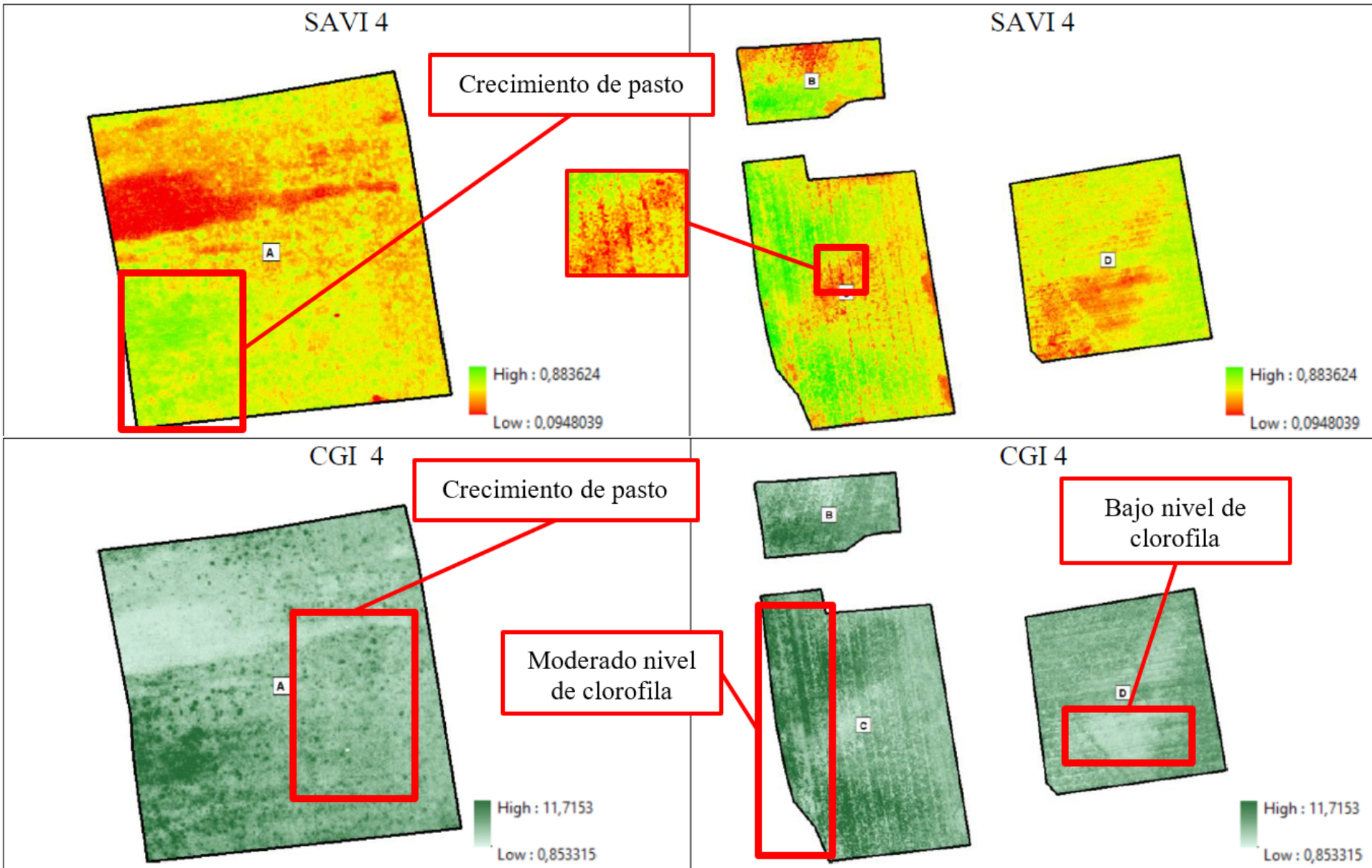
## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 2



## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 3

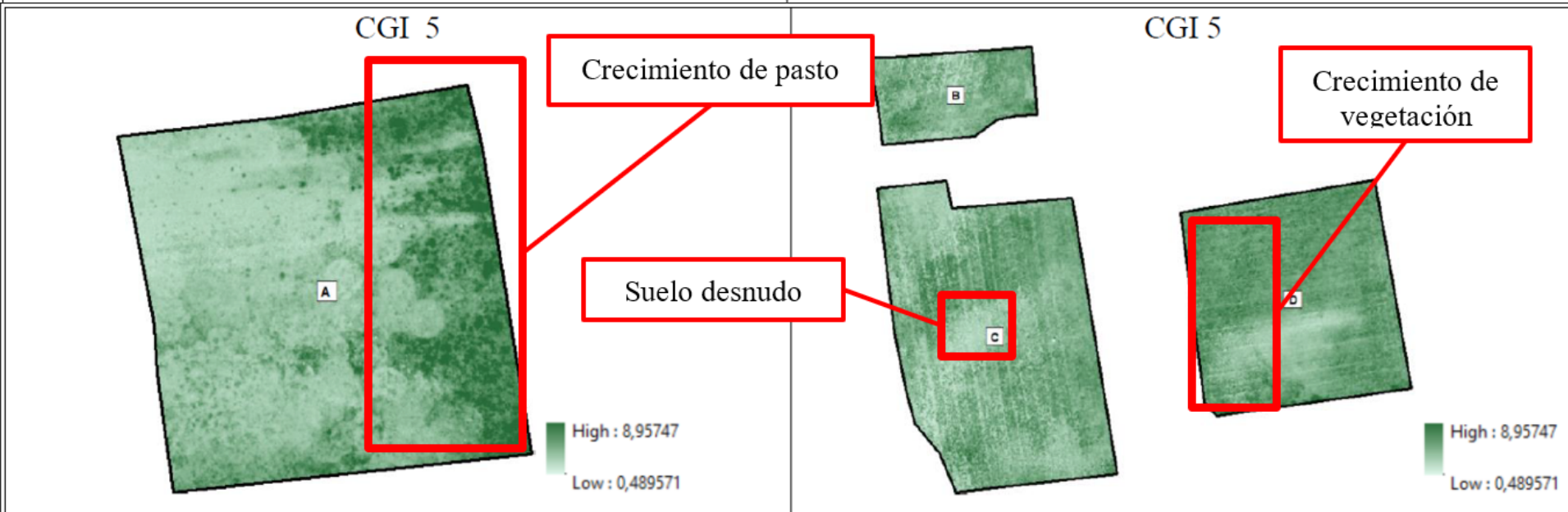
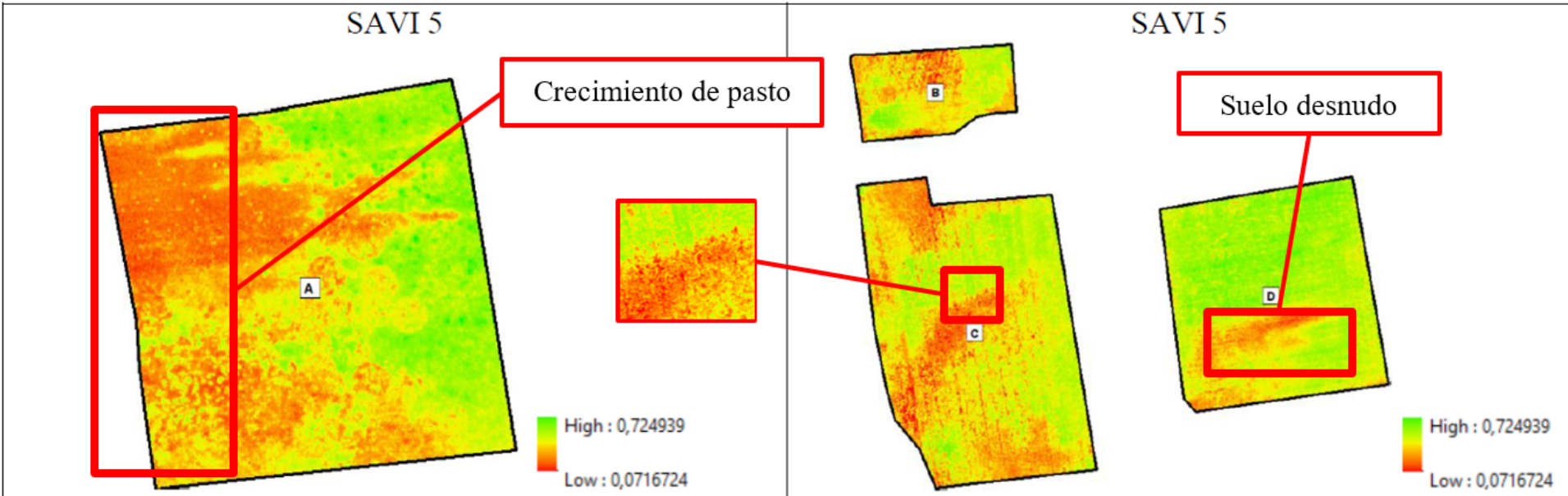


## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 4





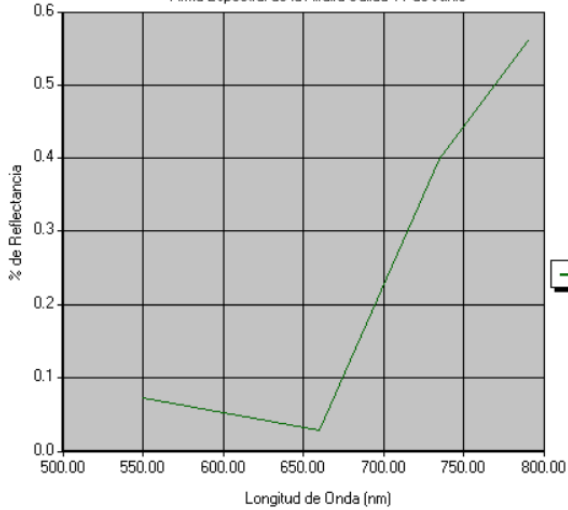
## Cálculo y análisis de los Índices Espectrales: Salida 5



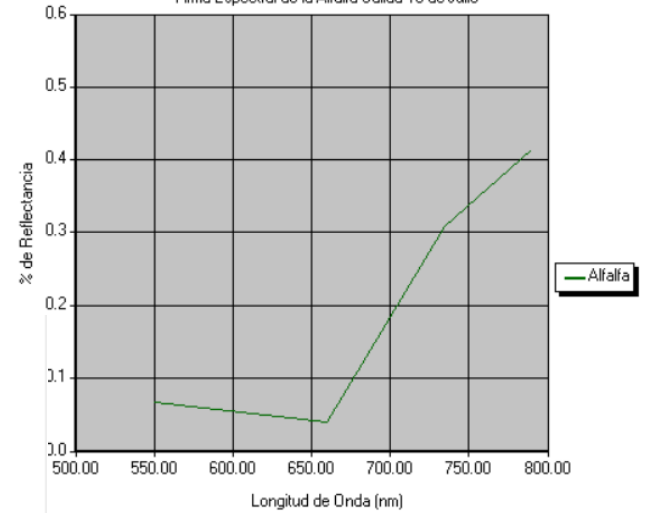
Análisis de la dinámica temporal del Alfalfa

## Análisis de las Firmas Espectrales

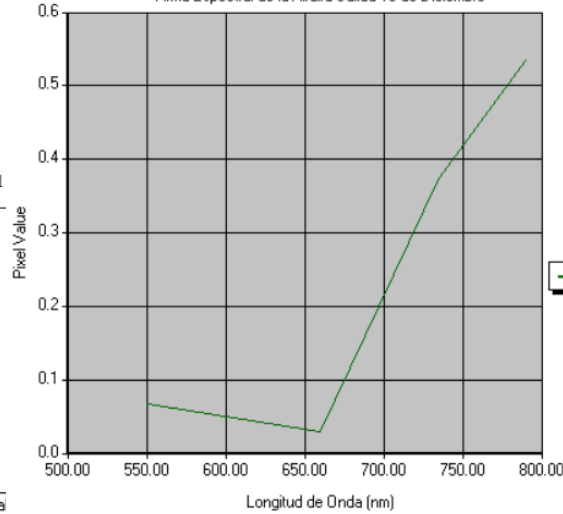
Firma Espectral de la Alfalfa Salida 11 de Junio



Firma Espectral de la Alfalfa Salida 16 de Julio

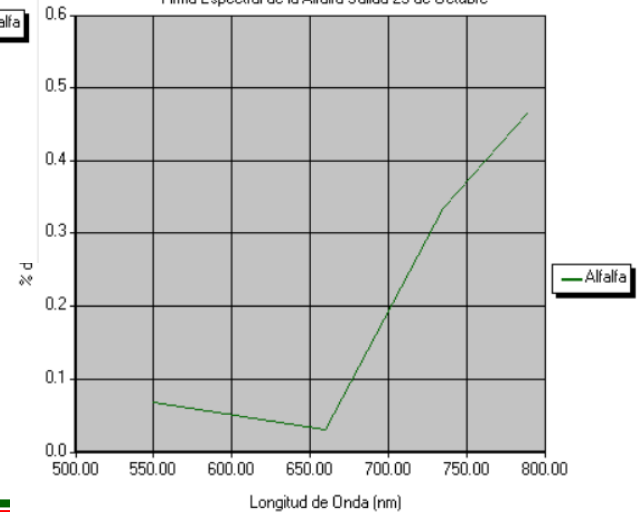


Firma Espectral de la Alfalfa Salida 15 de Diciembre



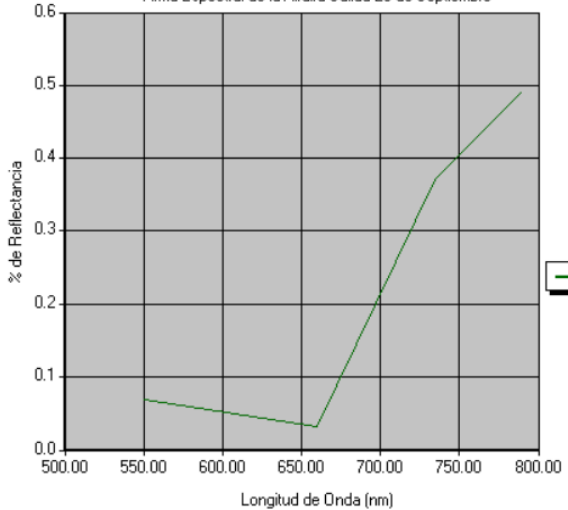
## Firmas Espectrales

Firma Espectral de la Alfalfa Salida 29 de Octubre



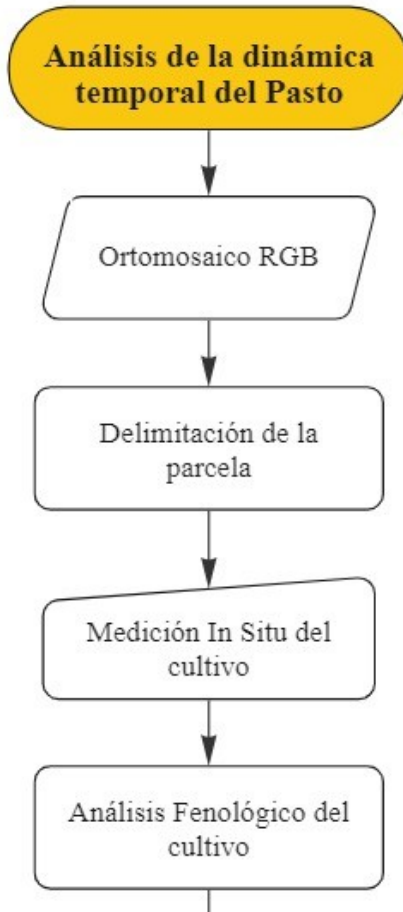
Multiespectral

Firma Espectral de la Alfalfa Salida 26 de Septiembre



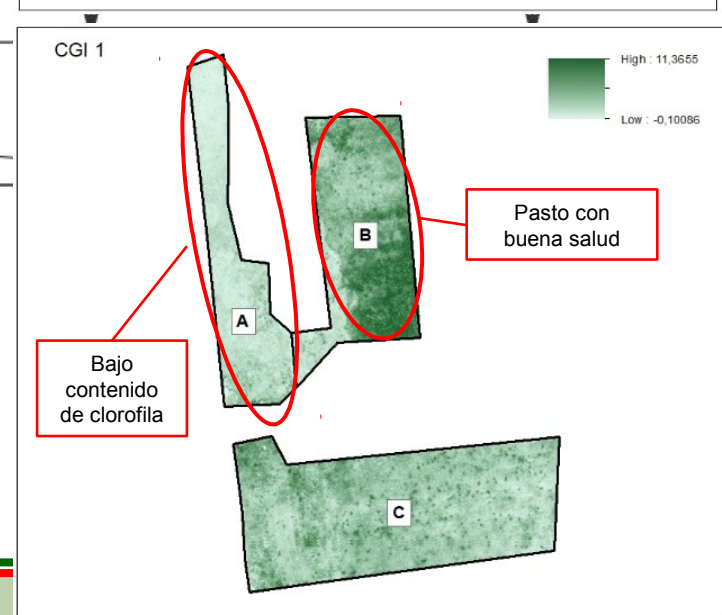
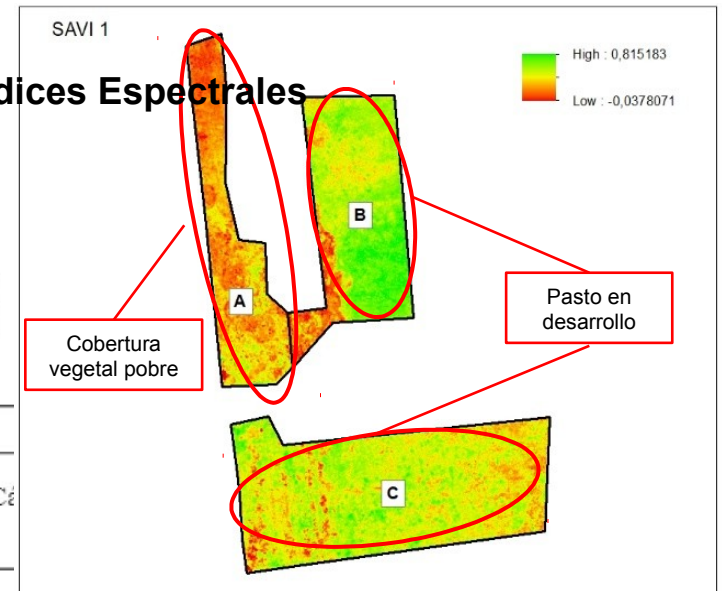
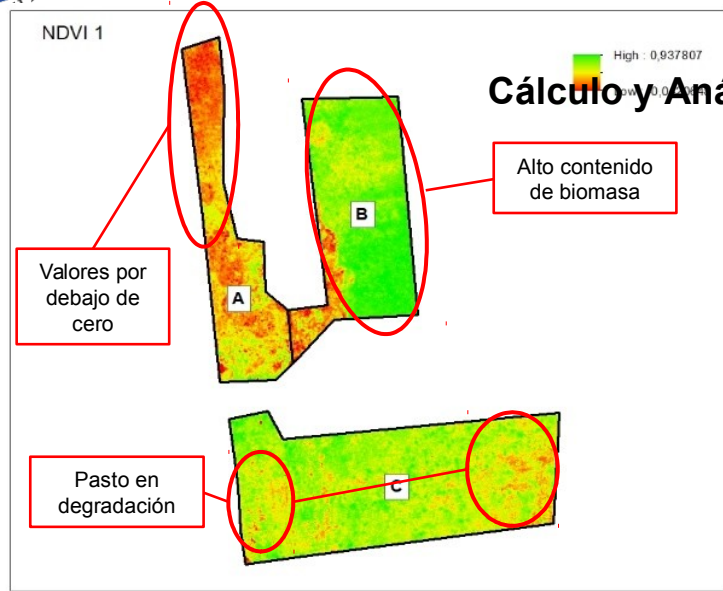
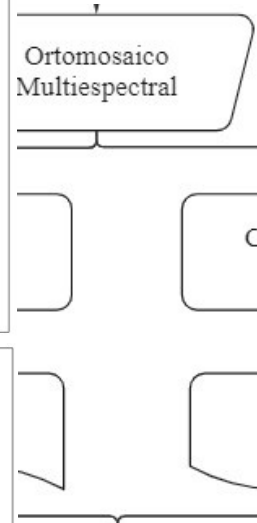
Fin

## Zonificación de las parcelas



## Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales: Salida 1

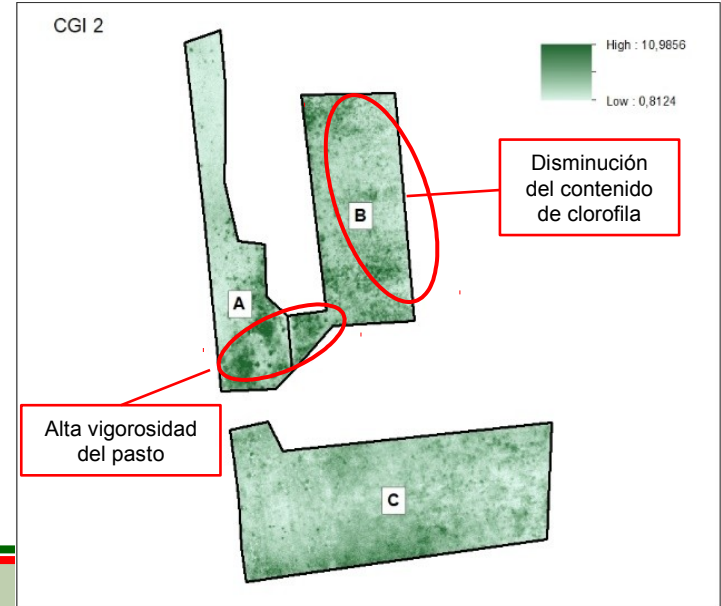
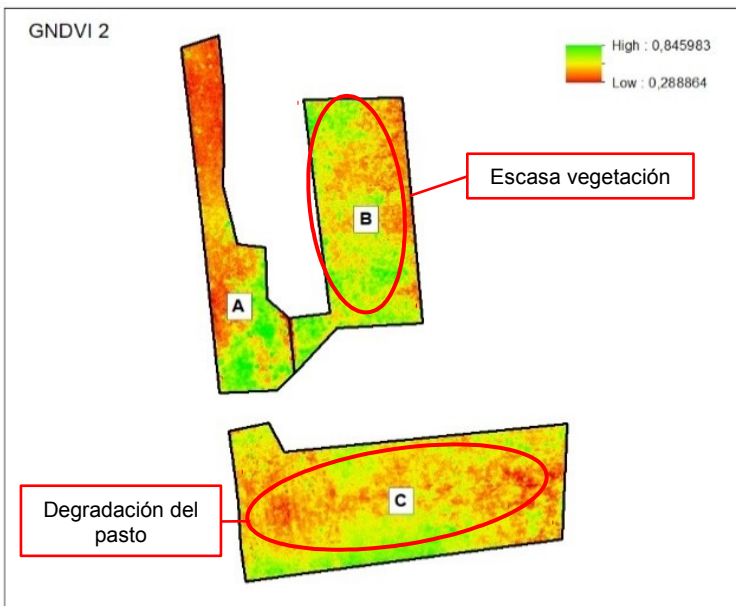
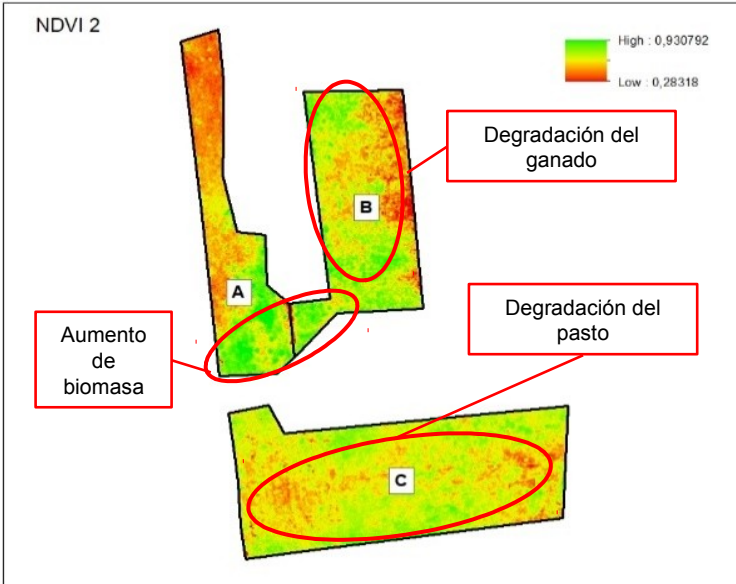
### Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales



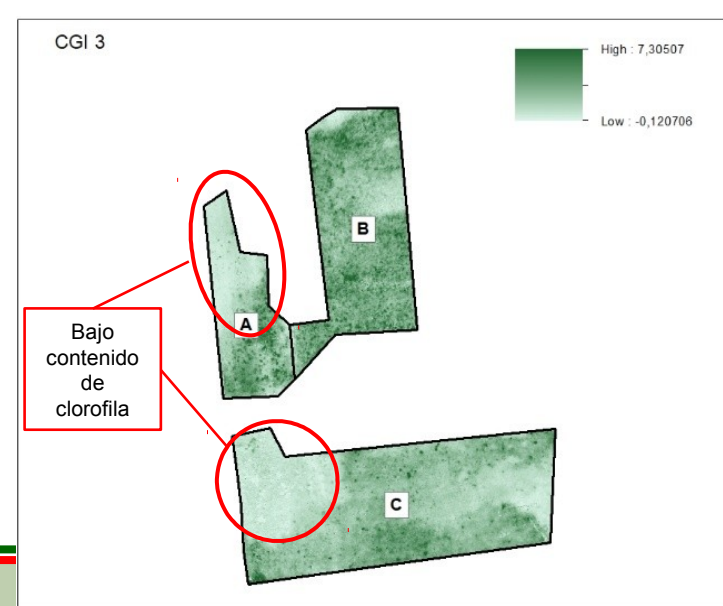
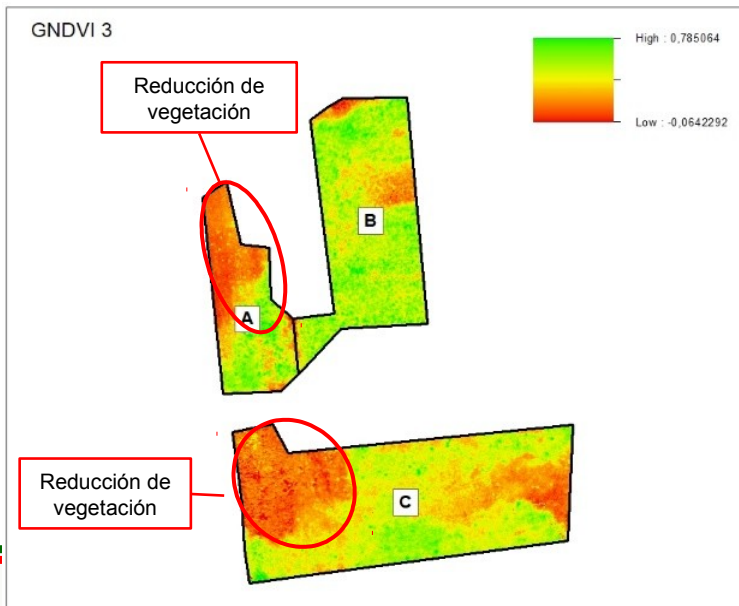
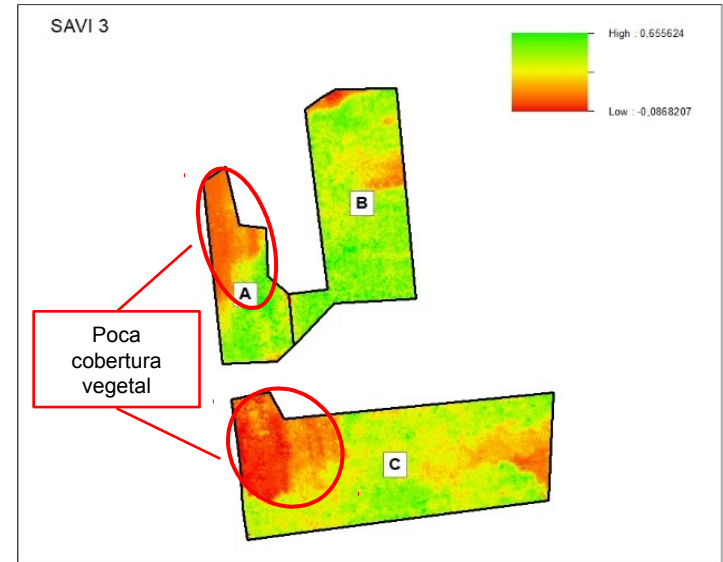
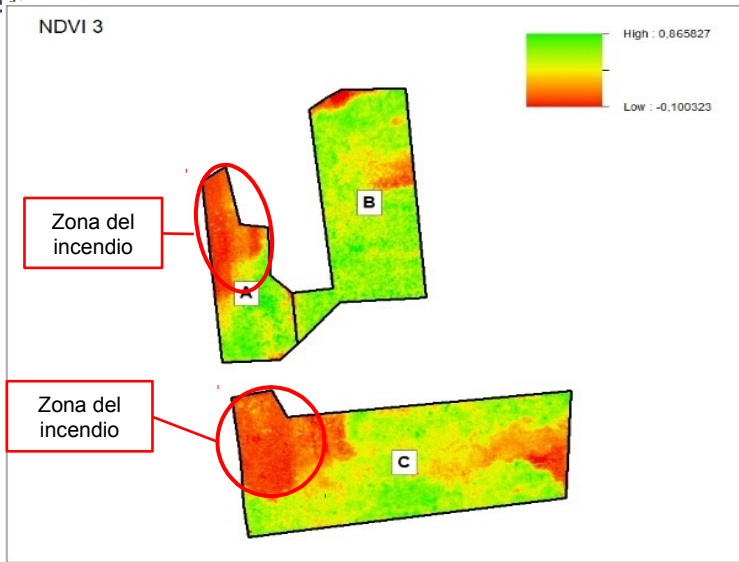
# Pasto

# CICLO LARGO

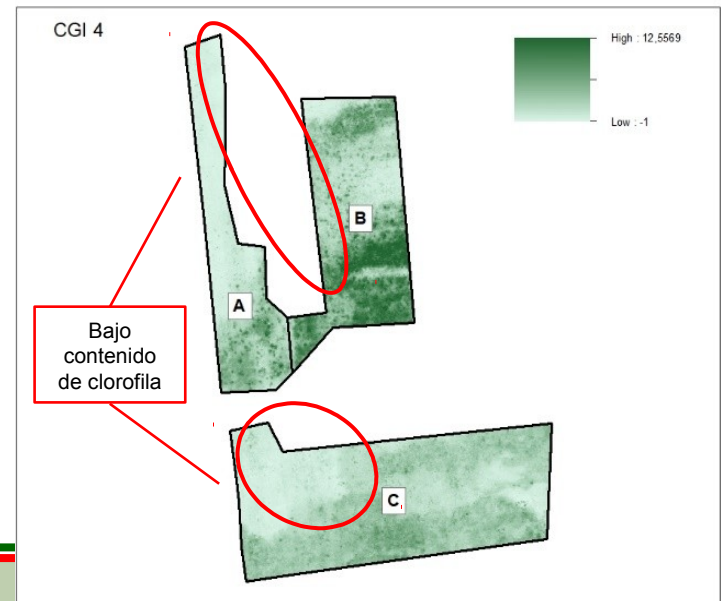
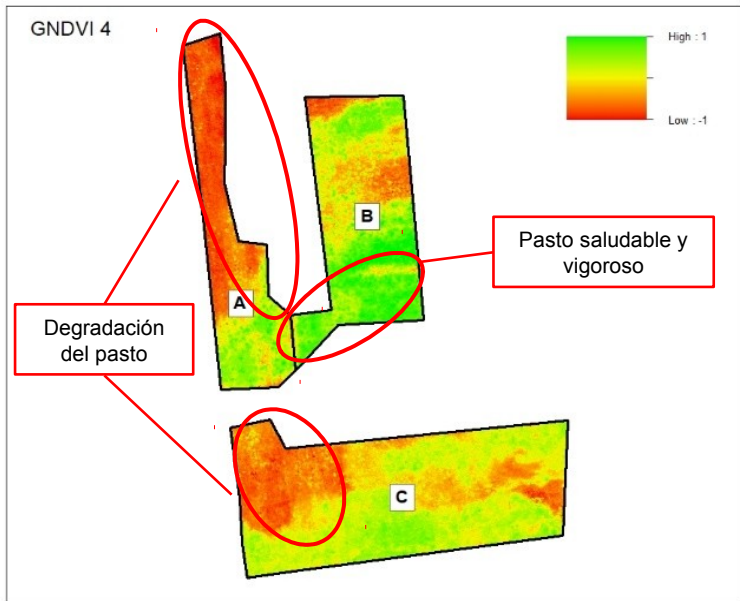
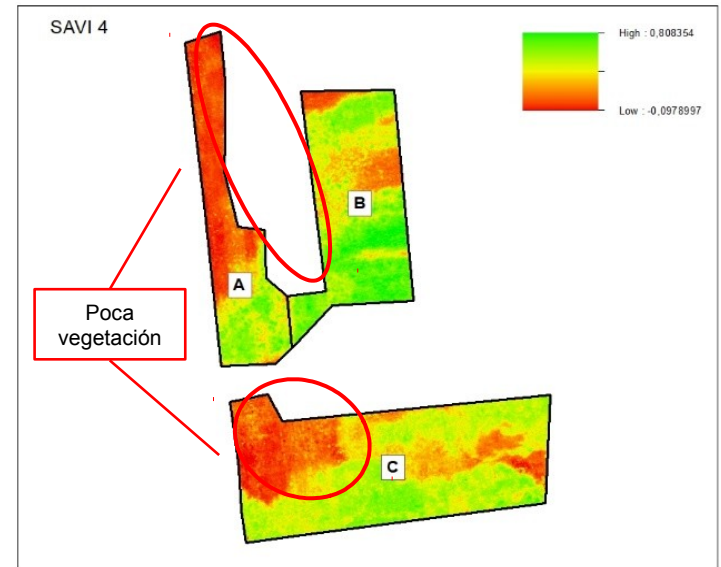
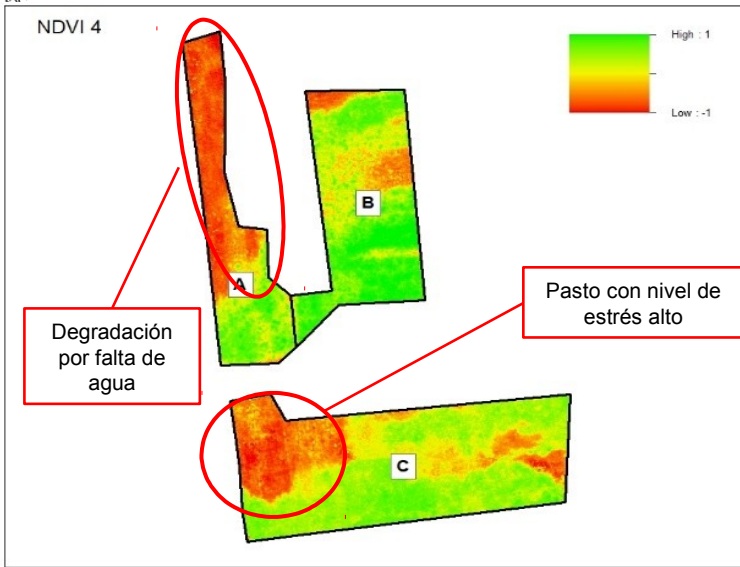
## Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales: Salida 2



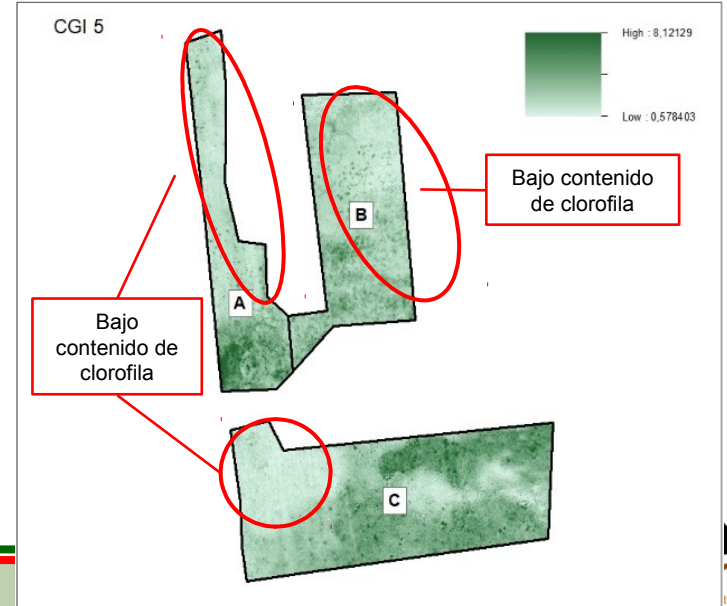
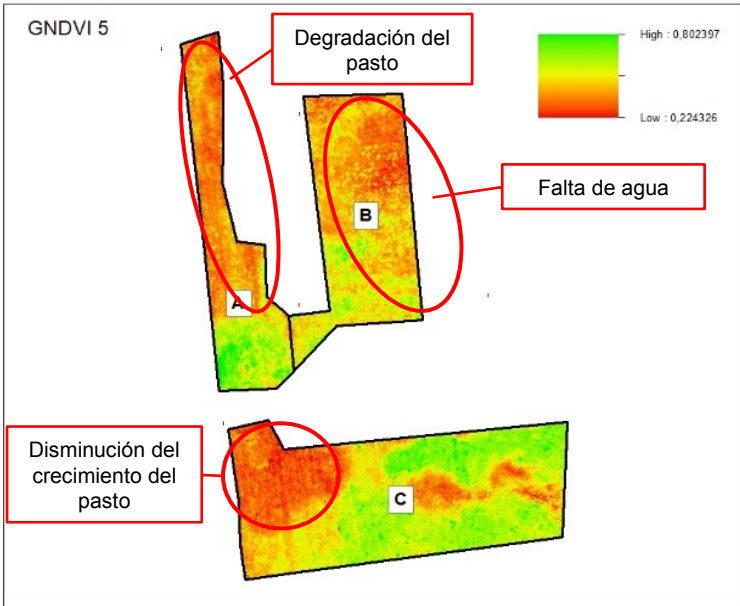
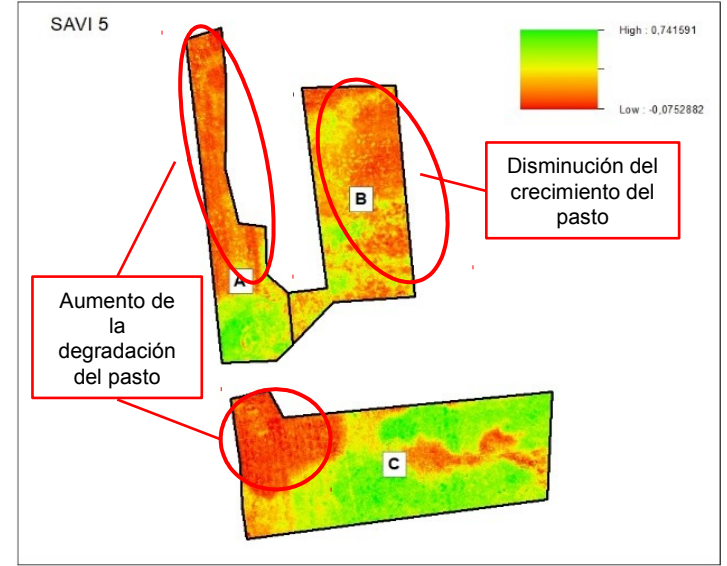
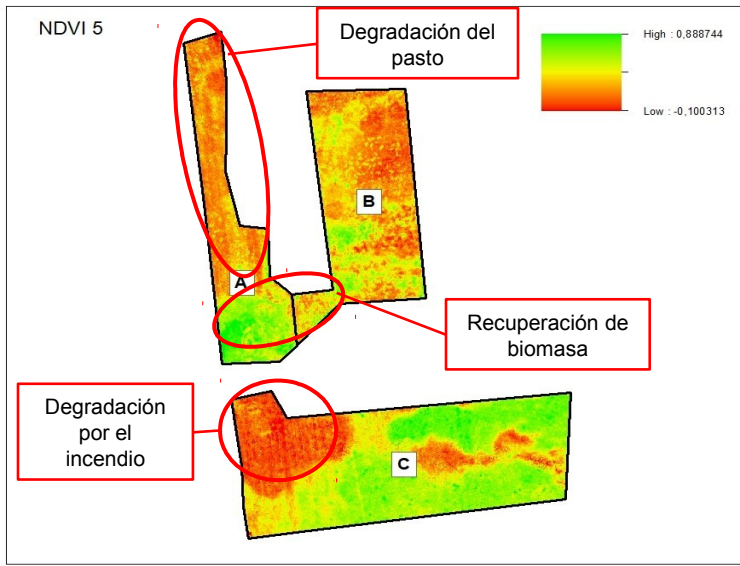
## Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales: Salida 3



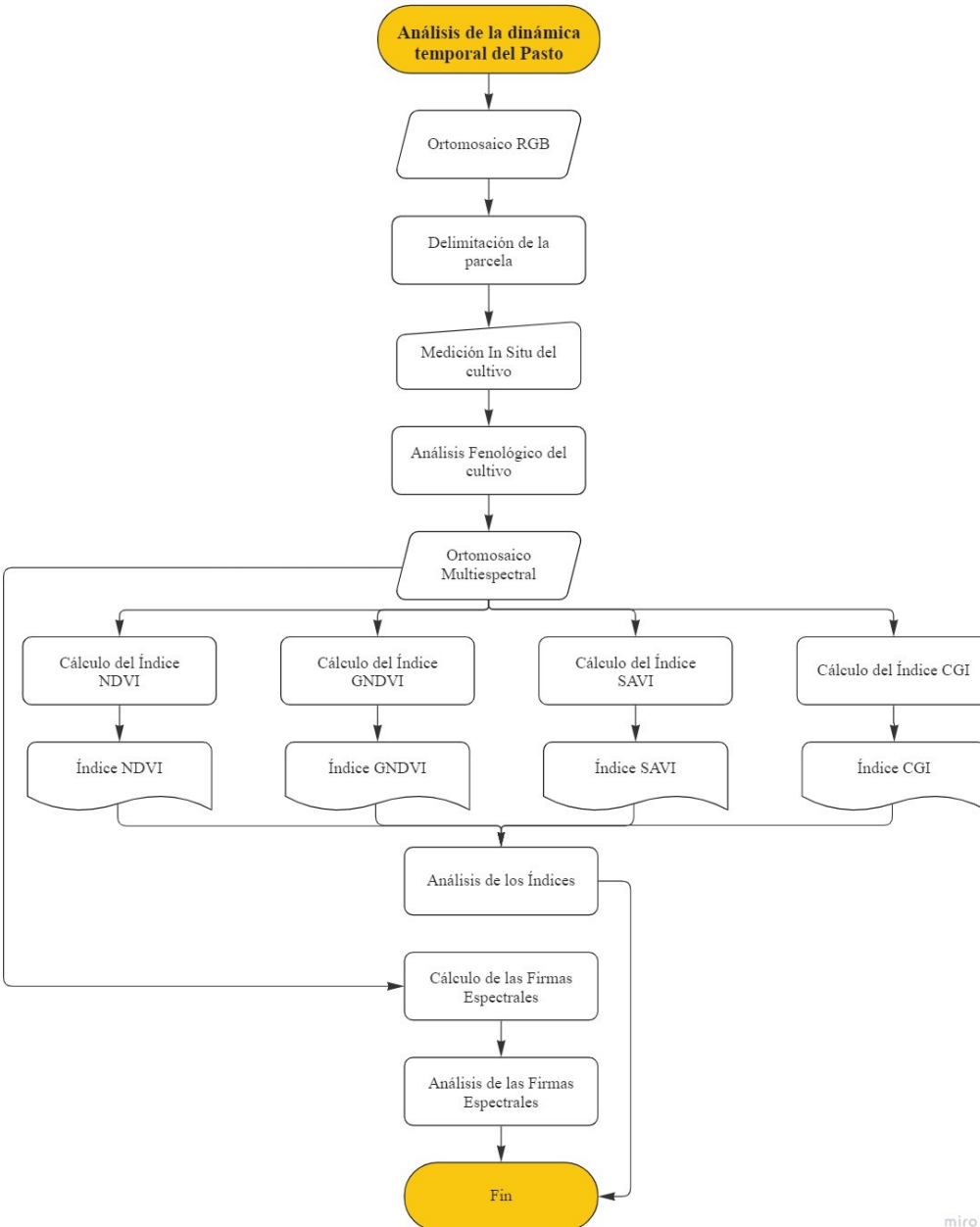
## Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales: Salida 4



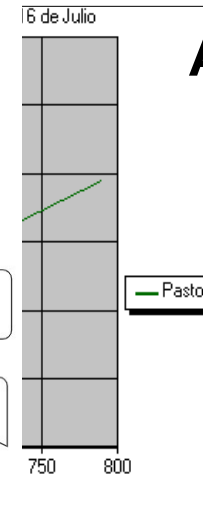
## Cálculo y Análisis de los Índices Espectrales: Salida 5



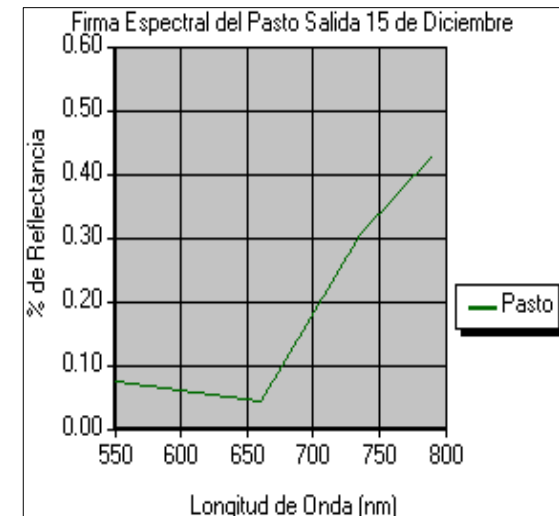
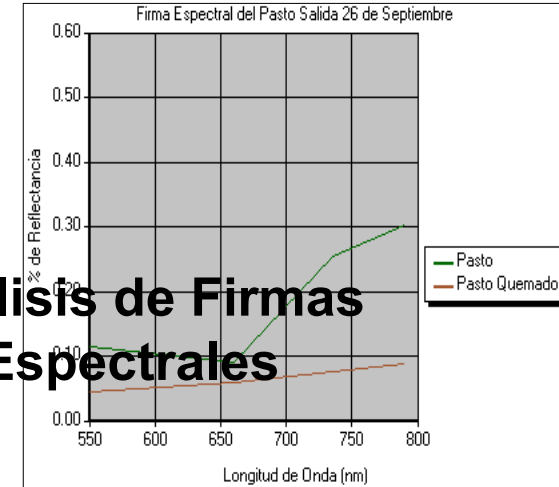




## Firmas Espectrales

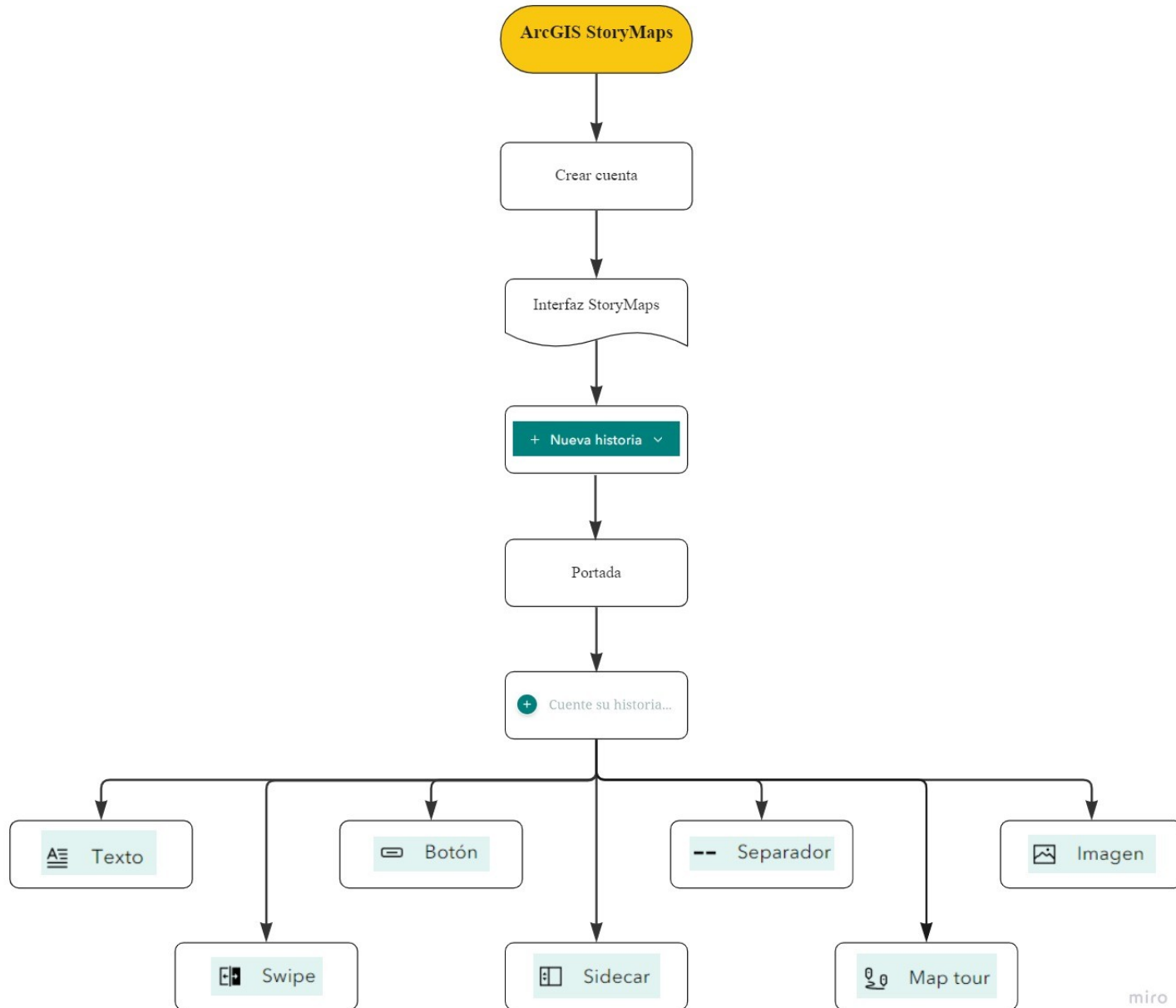


## Análisis de Firmas Espectrales



# ARCGIS STORY MAPS





## StoryMap: Ciclo Agropecuario



<https://storymaps>  
<https://storymaps>



<https://storymaps>  
<https://storymaps>



# CONCLUSIONES



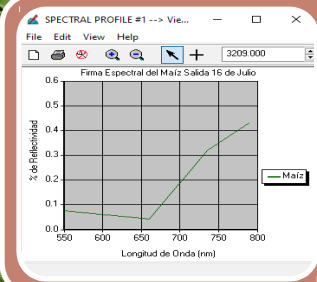
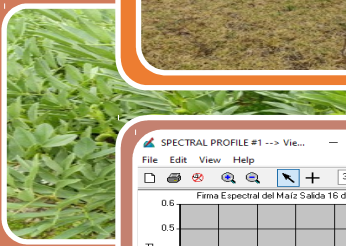
## Tecnologías Geoespaciales



### Cultivo Ciclo Largo: Pasto

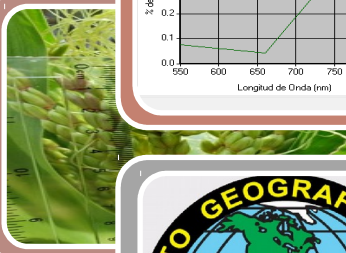
- Fotografías aéreas: cambio de coloración
- Índice SAVI, salida 3
- Disminución de reflectancia en la banda verde

G) y



### Firmas Espectrales

- Cámara multispectral en UAV
- Diferenciación de especies



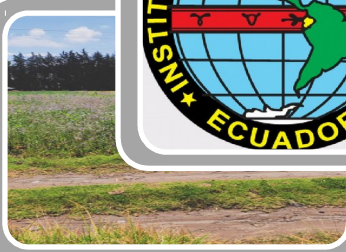
- Area de influencia, raíces de eucalinto

nta



### Exactitud Posicional

- NSSDA, 95%, 0,1306
- IGM, 90%, 0,1492



- Índice SAVI, salida 2



# RECOMENDACIONES

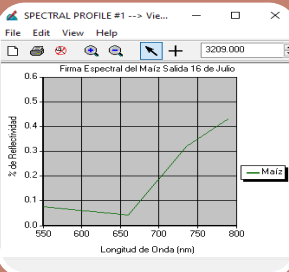
## Tecnologías Geoespaciales



### Cultivo Ciclo Largo: Pasto

- Forraje
- Fertilización con nitrógeno
- Pastoreo rotativo

treo



### Firmas Espectrales

- Espectro radiómetro



### Exactitud Posicional

- Puntos de chequeo

- Rotación al ganado