



---

# ANEJO I

---

Ilustraciones



6 DE SEPTIEMBRE DE 2023

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING  
EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LA COMARCA DE LA RIBERA BAJA, VALENCIA

David Cerezo Rebé

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Satélite Sentinel-2 en barrido de la superficie terrestre.....	2
Ilustración 2: Plataforma Google Earth Engine .....	2
Ilustración 3: Consola del programa Spyder con lenguaje Python .....	3
Ilustración 4: Bandas del satélite Sentinel 2. Fuente: ESA .....	3
<i>Ilustración 5: Escala del índice NDVI.</i> .....	4
Ilustración 6: Esquema de funcionamiento de la interpolación, parte 1.....	4
Ilustración 7: Esquema de funcionamiento de la interpolación, parte 2.....	4
Ilustración 8: Conjunto de píxeles para cálculo de la desviación estándar de NDVI .....	5
Ilustración 9: Esquema de funcionamiento simplificado de un Random Forest. Fuente: .....	5
Ilustración 10: Estructura de una neurona LSTM.....	6
Ilustración 11: Etapas de LSTM. 1) Forget gate layer, 2) Input Gate, 3) Output Gate y 4) Estado de Celda Actualizado. ....	6
Ilustración 12: Estructura de una red BiLSTM.....	7
Ilustración 13: Estructura Red Neuronal del proyecto. Fuente: (Campos-Taberner et al., 2020). ..	7
Ilustración 14: Muestra gráfica de la estructura de una matriz tridimensional .....	8
Ilustración 15: Matriz de confusión general para clasificación multiclase. análisis de celda 1,1. ..	8
Ilustración 16: Matriz de confusión general para clasificación multiclase. análisis de celda 2,2. ..	8

# Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

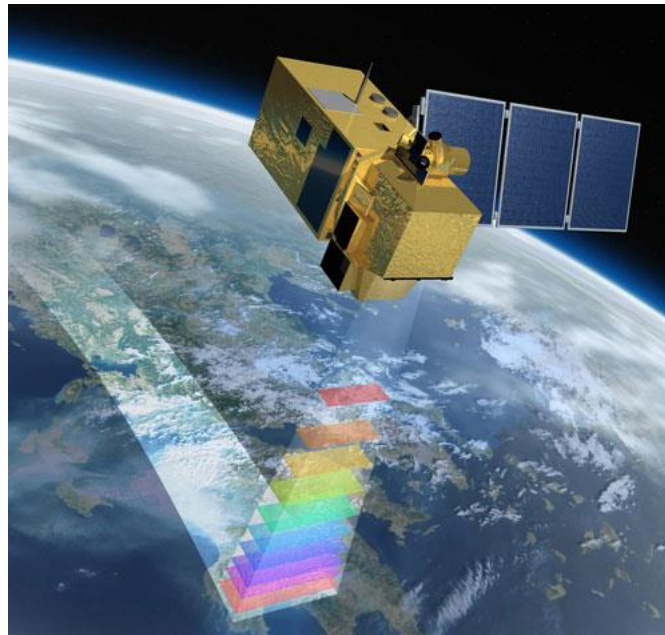


Ilustración 1: Satélite Sentinel-2 en barrido de la superficie terrestre

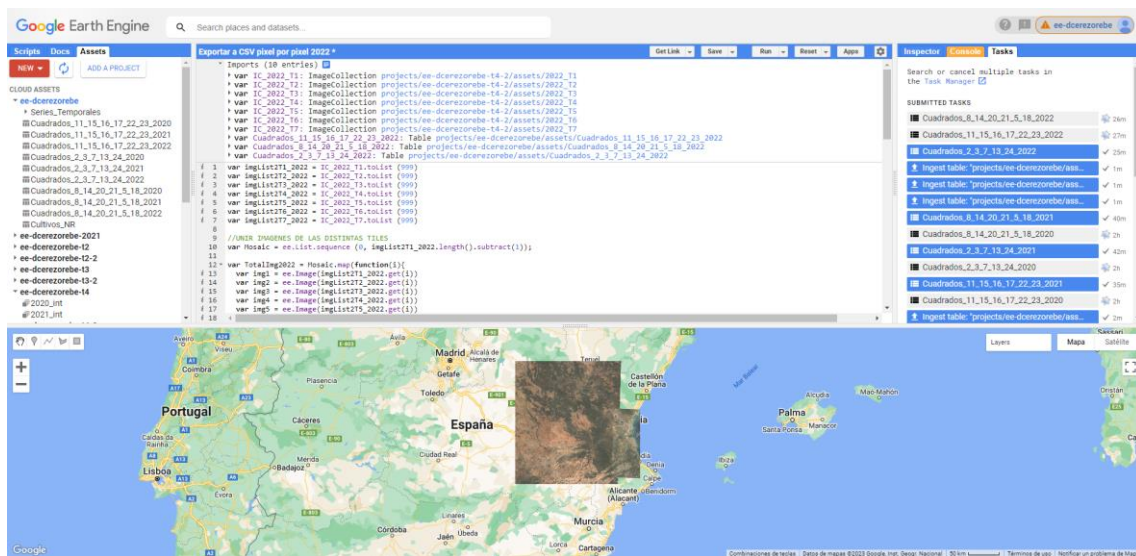


Ilustración 2: Plataforma Google Earth Engine

# Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

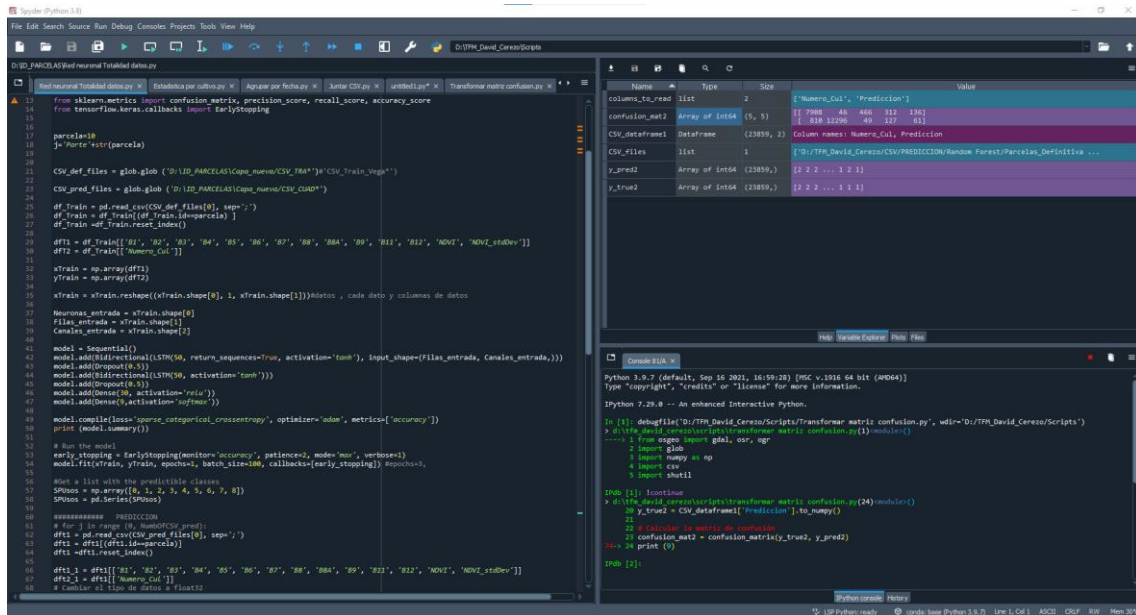


Ilustración 3: Consola del programa Spyder con lenguaje Python

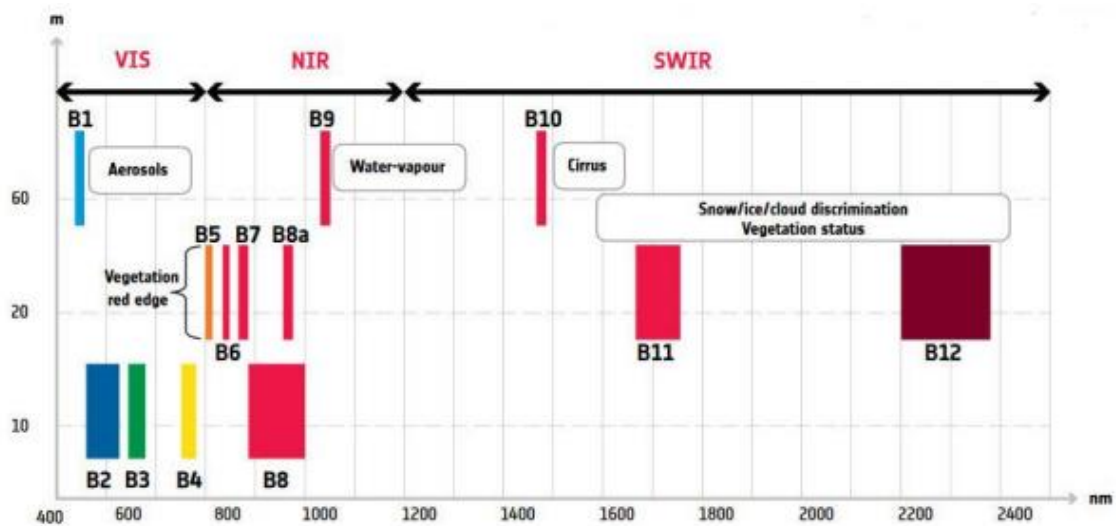


Ilustración 4: Bandas del satélite Sentinel 2. Fuente: ESA



Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

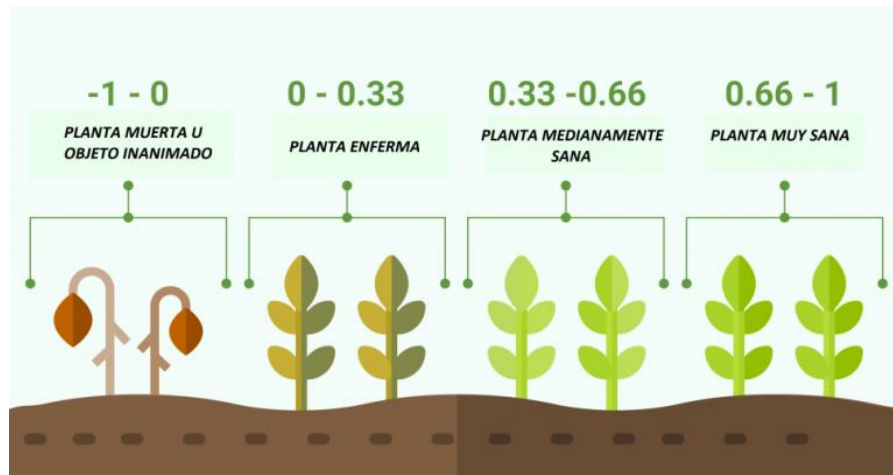


Ilustración 5: Escala del índice NDVI. Fuente: EOS data analytics

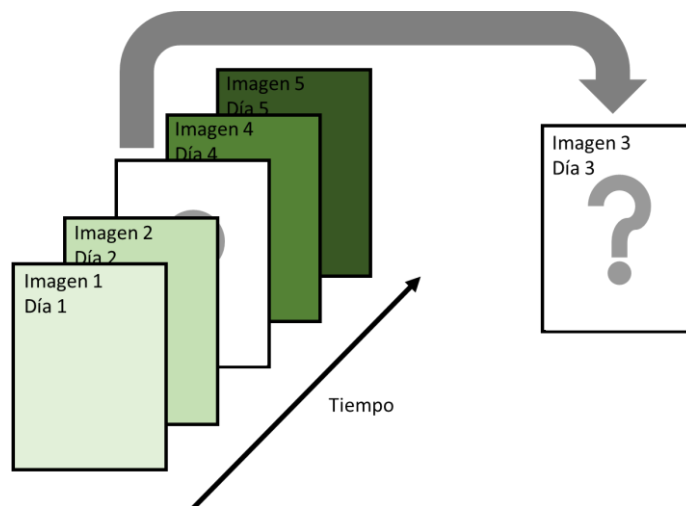


Ilustración 6: Esquema de funcionamiento de la interpolación, parte 1.

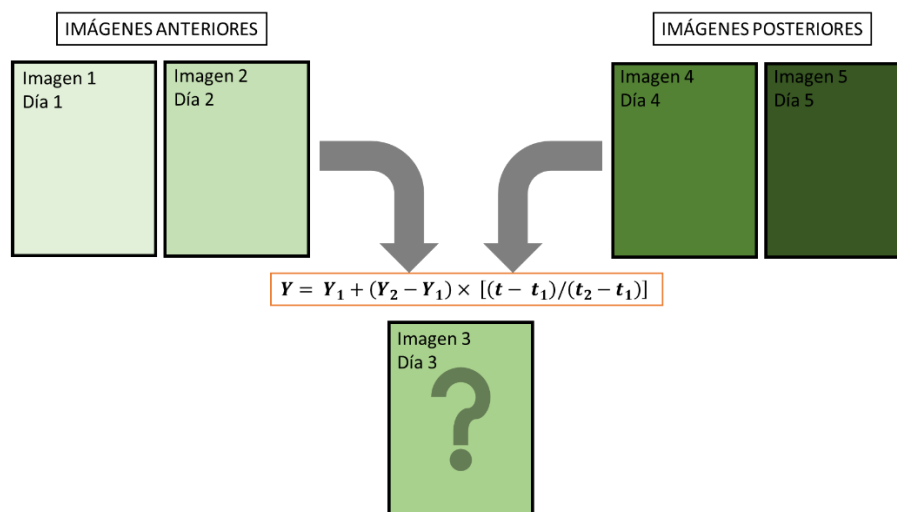


Ilustración 7: Esquema de funcionamiento de la interpolación, parte 2.

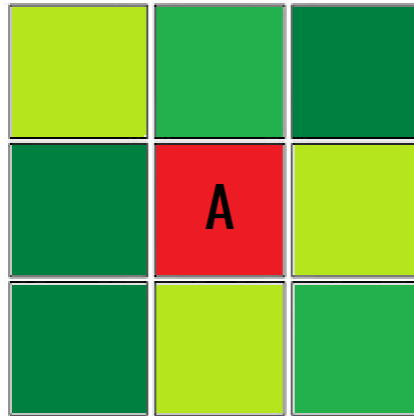


Ilustración 8: Conjunto de píxeles para cálculo de la desviación estándar de NDVI

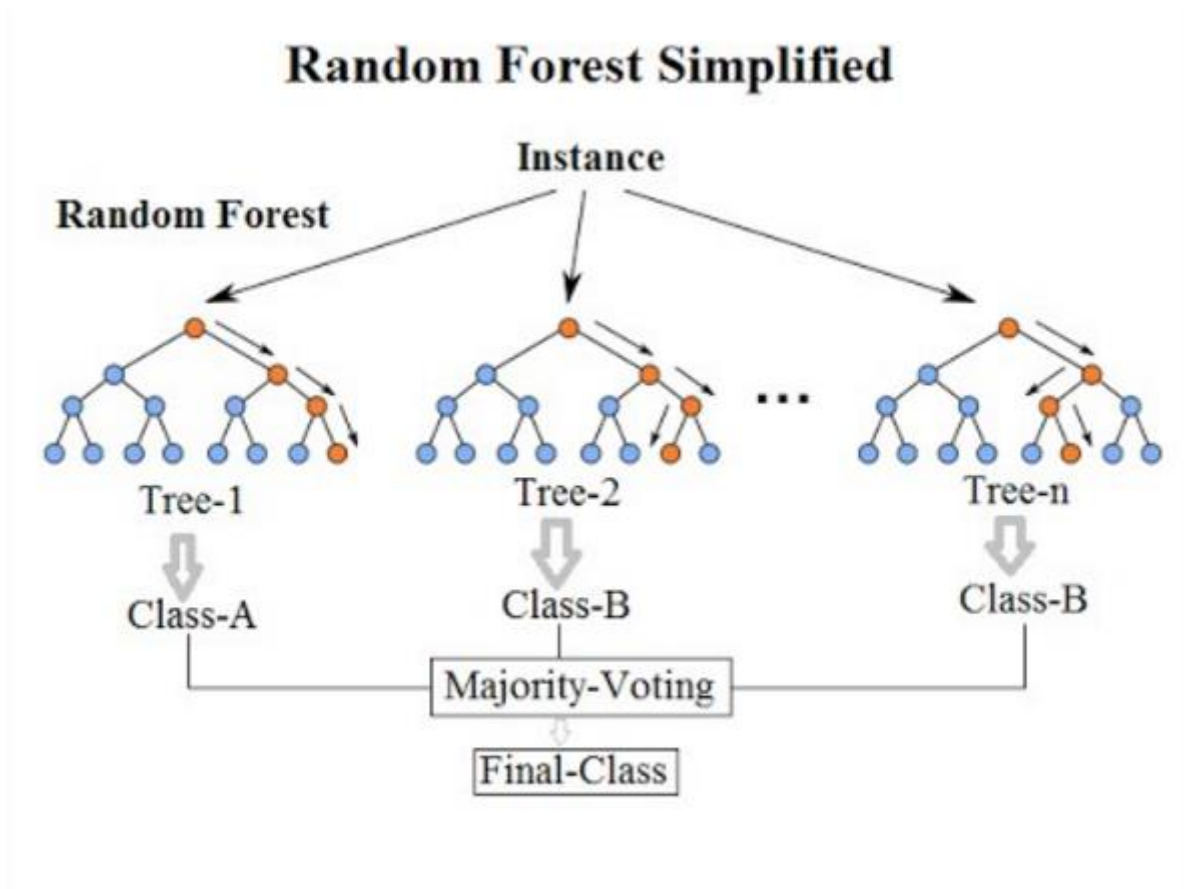


Ilustración 9: Esquema de funcionamiento simplificado de un Random Forest. Fuente: <https://www.feedingthemachine.ai/random-forest-en-regresion-para-machine-learning/>

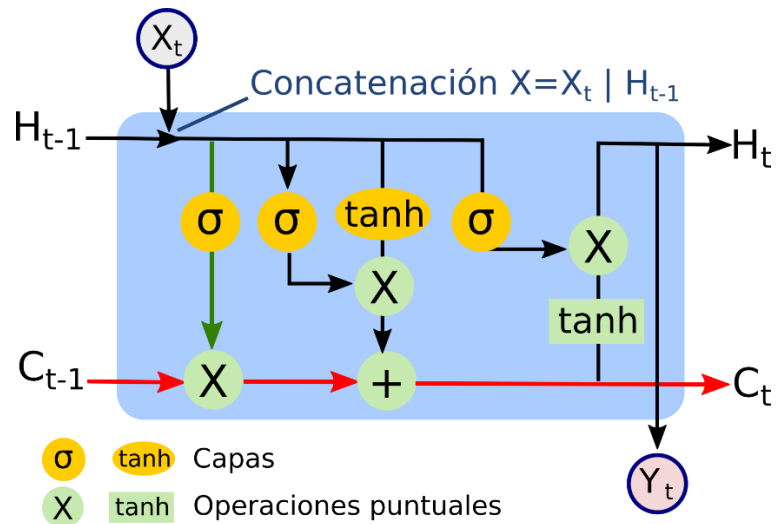


Ilustración 10: Estructura de una neurona LSTM. Fuente: (Procesamiento de Lenguaje Natural con DeepLearning, s. f.)

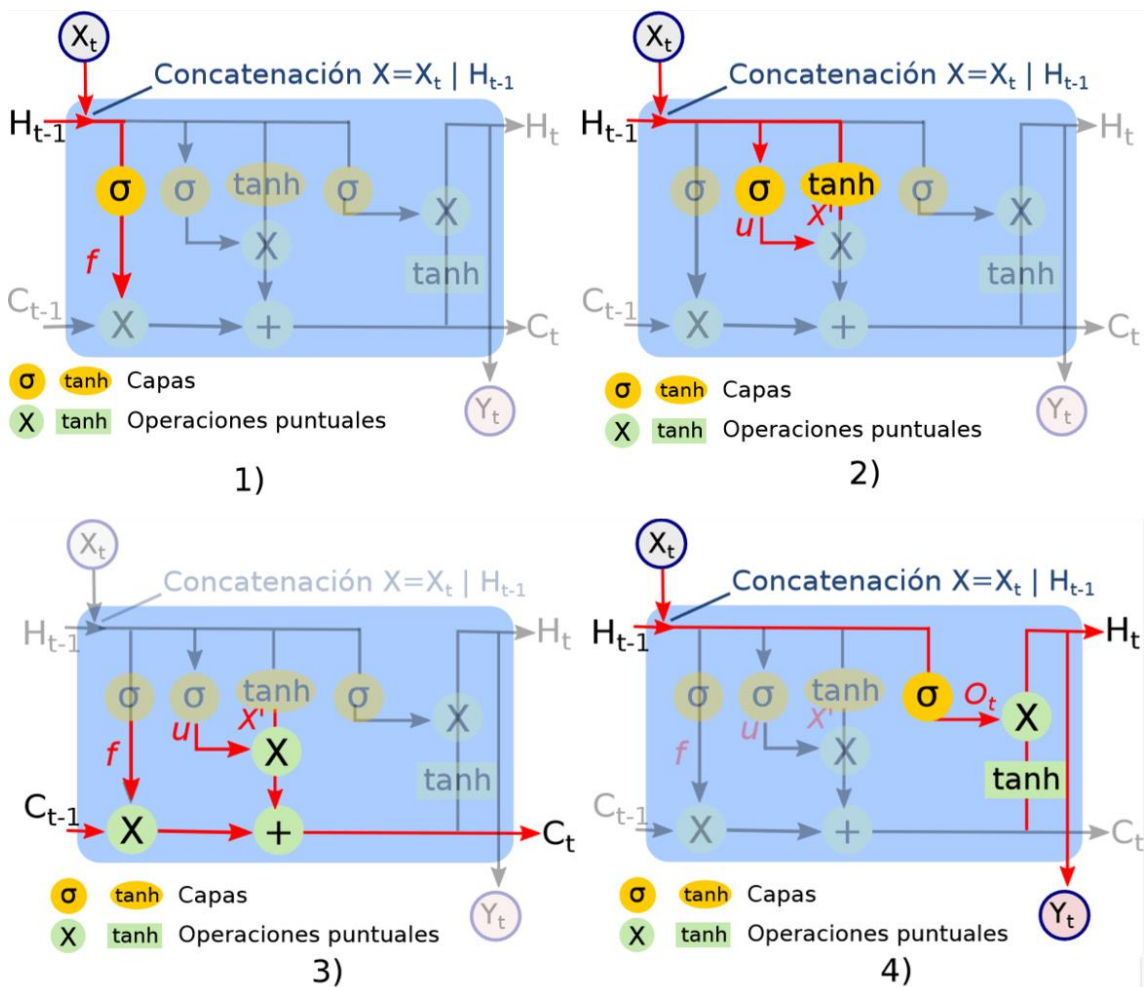


Ilustración 11: Etapas de LSTM. 1) Forget gate layer, 2) Input Gate, 3) Output Gate y 4) Estado de Celda Actualizado. Fuente: (Procesamiento de Lenguaje Natural con DeepLearning, s. f.)

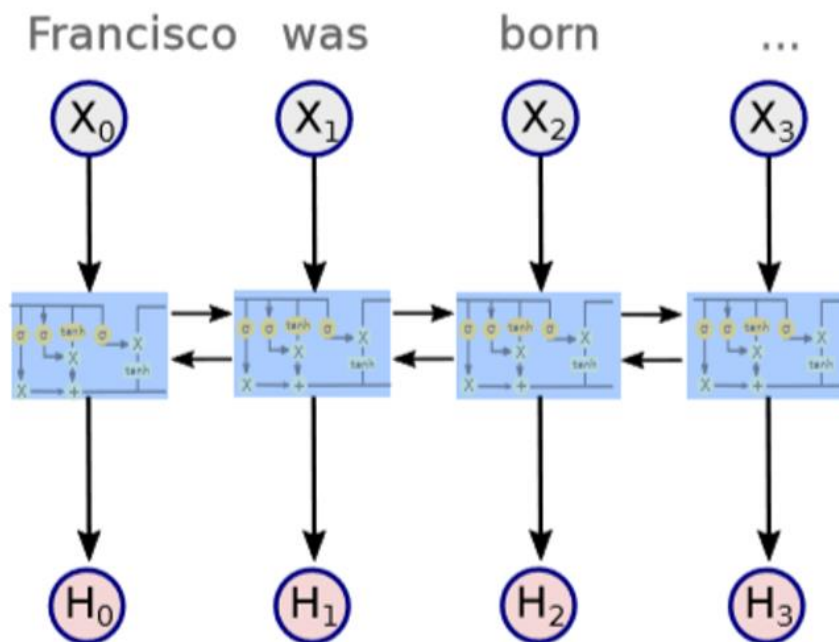


Ilustración 12: Estructura de una red BiLSTM. Fuente: (Procesamiento de Lenguaje Natural con DeepLearning, s. f.)

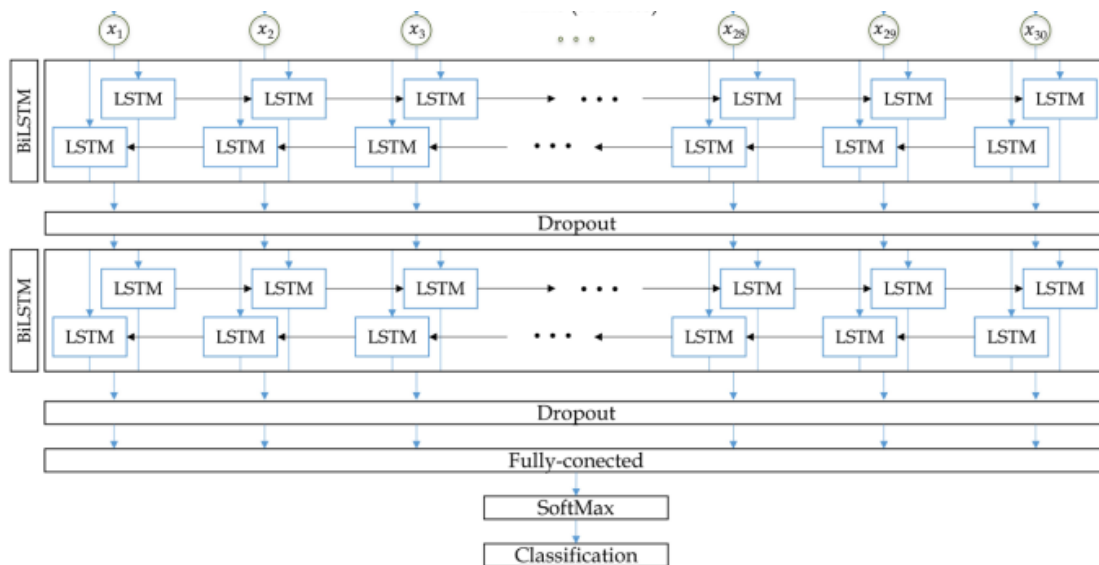


Ilustración 13: Estructura Red Neuronal del proyecto. Fuente: (Campos-Taberner et al., 2020)

Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

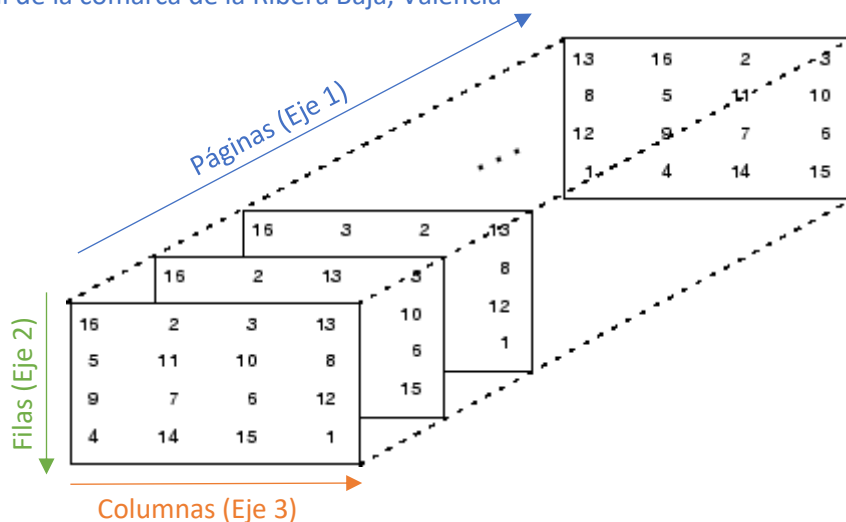


Ilustración 14: Muestra grafica de la estructura de una matriz tridimensional

	Real		
Predicción	TP	FP	FP
	FN	TN	TN
	FN	TN	TN

Ilustración 15: Matriz de confusión general para clasificación multiclase. análisis de celda 1,1.

	Real		
Predicción	TN	FN	TN
	FP	TP	FP
	TN	FN	TN

Ilustración 16: Matriz de confusión general para clasificación multiclase. análisis de celda 2,2.



---

# ANEJO II

---

Tablas



6 DE SEPTIEMBRE DE 2023

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING  
EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LA COMARCA DE LA RIBERA BAJA, VALENCIA

David Cerezo Rebé

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Evolución de la superficie cultivada en la Ribera Baja de Valencia. (Hectáreas) .....	2
Tabla 2: Cultivos de estudio agrupados .....	2
Tabla 3: Bandas de los satélites Sentinel 2. Fuente: MITMA .....	2
Tabla 4: Ejemplo de distribución de días julianos con las fechas propuestas para las series temporales anuales .....	3
Tabla 5: Resultados generales predicción por píxel mediante modelo Random Forest .....	3
Tabla 6: Matriz de confusión predicción por píxel mediante modelo Random Forest .....	3
Tabla 7: Matriz de confusión predicción por parcela mediante modelo Random Forest .....	4
Tabla 8: Resultados generales predicción por píxel mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM4	
Tabla 9: Matriz de confusión predicción por píxel mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM .	4
Tabla 10: Matriz de confusión predicción por parcela mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM .....	5



Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

Tabla 1: Evolución de la superficie cultivada en la Ribera Baja de Valencia. (Hectáreas)

Fuentes: Cámaras Agrarias 1959 y Conselleria d'Agricultura 1995-2016

Año	Cultivada	Arroz	Cítricos	Caqui	Otros frutales	Hortalizas
1959	22,400	13,000	3,404	0	50	5,946
1995	22,323	11,600	8,548	0	71	2,100
2016	20,060	11,367	7,174	444	135	820

Tabla 2: Cultivos de estudio agrupados

Código cultivo	Número cultivo	Cultivo
CI	1	CÍTRICO
AR	2	ARROZ
FR	3	CAQUI
BSP	4	BARBECHO SIN PRODUCCIÓN
BT	5	BARBECHO TRADICIONAL

Tabla 3: Bandas de los satélites Sentinel 2. Fuente: MITMA

Banda Sentinel-2	Longitud de onda central ( $\mu\text{m}$ )	Resolución espacial (m)
Banda 1-Coastal aerosol	0,443	60
Banda 2-azul	0,490	10
Banda 3-verde	0,560	10
Banda 4-rojo	0,665	10
Banda 5-Vegetation Red Edge	0,705	20
Banda 6-Vegetation Red Edge	0,740	20
Banda 7-Vegetation Red Edge	0,783	20
Banda 8-NIR	0,842	10
Banda 8A-Vegetation Red Edge	0,865	20
Banda 9-Vapor de agua	0,945	60
Banda 10-SWIR-cirros	1,375	60
Banda 11-SWIR	1,610	20
Banda 12-SWIR	2,190	20

Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

Tabla 4: Ejemplo de distribución de días julianos con las fechas propuestas para las series temporales anuales

Día juliano	Fecha	Día juliano	Fecha	Día juliano	Fecha
1 _ 2023	01/01/2023	121 _ 2023	01/05/2023	241 _ 2023	29/08/2023
16 _ 2023	16/01/2023	136 _ 2023	16/05/2023	256 _ 2023	13/09/2023
31 _ 2023	31/01/2023	151 _ 2023	31/05/2023	271 _ 2023	28/09/2023
46 _ 2023	15/02/2023	166 _ 2023	15/06/2023	286 _ 2023	13/10/2023
61 _ 2023	02/03/2023	181 _ 2023	30/06/2023	301 _ 2023	28/10/2023
76 _ 2023	17/03/2023	196 _ 2023	15/07/2023	316 _ 2023	12/11/2023
91 _ 2023	01/04/2023	211 _ 2023	30/07/2023	331 _ 2023	27/11/2023
106 _ 2023	16/04/2023	226 _ 2023	14/08/2023	346 _ 2023	12/12/2023

Tabla 5: Resultados generales predicción por píxel mediante modelo Random Forest

Resultados generales Random Forest		
	Por Píxel	Por parcela
<b>Aciertos:</b>	46.776.665	20.945
<b>Fallos:</b>	8.127.494	2.914
<b>Total pixeles/parcelas:</b>	54.904.159	23.859
<b>Precisión:</b>	85,20%	87,79%
<b>Tasa de error:</b>	14,80%	12,21%

Tabla 6: Matriz de confusión predicción por píxel mediante modelo Random Forest

Matriz de confusión Random Forest por píxel						
		Cultivos Reales				
		Cítrico	Arroz	Caqui	Barbecho Sin Producción	Barbecho Tradicional
Cultivos Predicción	Cítrico	9.381.375	1.857.680	748.957	353.259	168.694
	Arroz	2.251.766	36.667.695	183.492	188.625	83.217
	Caqui	936.711	200.724	691.492	65.204	42.400
	Barbecho Sin Producción	314.302	441.969	26.890	30.928	8.179
	Barbecho Tradicional	40.258	178.954	27.165	9.048	5.175
	Precisión por cultivo	72,59%	93,19%	41,21%	4,78%	1,68%

Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

Tabla 7: Matriz de confusión predicción por parcela mediante modelo Random Forest

Matriz de confusión Random Forest por parcela						
		Cultivos Reales				
		Cítrico	Arroz	Caqui	Barbecho Sin Producción	Barbecho Tradicional
Cultivos Predicción	Cítrico	7.908	46	466	312	136
	Arroz	810	12.296	49	127	61
	Caqui	753	8	733	82	40
	Barbecho Sin Producción	11	0	1	8	1
	Barbecho Tradicional	7	1	2	1	0
	Precisión por cultivo	83,34%	99,55%	58,59%	1,51%	0,00%

Tabla 8: Resultados generales predicción por píxel mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM

Resultados generales red Bi-LSTM		
	Por Píxel	Por parcela
<b>Aciertos:</b>	48.588.078	21.954
<b>Fallos:</b>	6.316.081	1.905
<b>Total pixeles/parcelas:</b>	54.904.159	23.859
<b>Precisión:</b>	88,50%	92,02%
<b>Tasa de error:</b>	11,50%	7,98%

Tabla 9: Matriz de confusión predicción por píxel mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM

Matriz de confusión red Bi-LSTM por píxel						
		Cultivos Reales				
		Cítrico	Arroz	Caqui	Barbecho Sin Producción	Barbecho Tradicional
Cultivos Predicción	Cítrico	11.049.023	2.265.924	785.575	448.706	192.755
	Arroz	1.163.631	36.784.540	150.973	117.282	65.213
	Caqui	666.835	141.986	729.964	53.655	37.862
	Barbecho Sin Producción	39.637	148.683	10.760	22.900	10.184
	Barbecho Tradicional	5.286	5.889	724	4.521	1.651
	Precisión por cultivo	85,49%	93,49%	43,50%	3,54%	0,54%

Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera Baja, Valencia

Tabla 10: Matriz de confusión predicción por parcela mediante modelo de red neuronal Bi-LSTM

<b>Matriz de confusión red Bi-LSTM por parcela</b>						
		Cultivos Reales				
		Cítrico	Arroz	Caqui	Barbecho Sin Producción	Barbecho Tradicional
Cultivos Predicción	Cítrico	8.930	30	537	412	176
	Arroz	199	12.320	16	53	26
	Caqui	355	1	698	56	29
	Barbecho Sin Producción	4	0	0	6	7
	Barbecho Tradicional	1	0	0	3	0
	Precisión por cultivo	94,11%	99,75%	55,80%	1,13%	0,00%



---

# ANEJO III

---

Mapas



6 DE SEPTIEMBRE DE 2023

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING  
EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LA COMARCA DE LA RIBERA BAJA, VALENCIA

David Cerezo Rebé

## ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1: Comarca de la ribera baja en valencia provincia

MAPA 2: Totalidad de parcelas, cultivos y variedades existentes en la comarca de la Ribera Baja según datos del FEGA

MAPA 3: Parcelas de interés con los cultivos de estudio agrupados

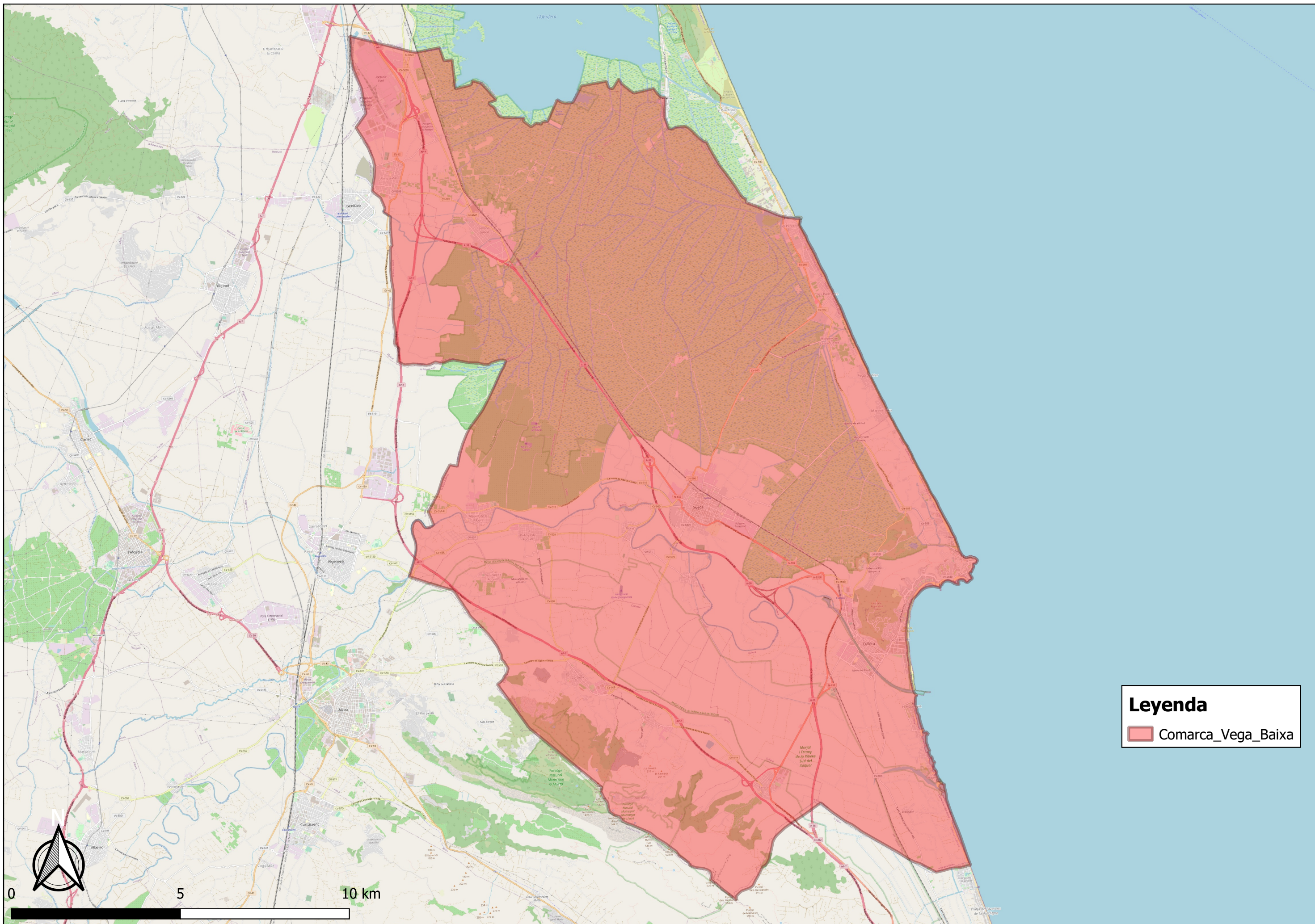
MAPA 4: Parcelas clasificadas según el cultivo predicho por el modelo predictivo *Random Forest*

MAPA 5: Parcelas clasificadas según el cultivo predicho por el modelo predictivo de red neuronal Bi-LSTM

MAPA 6: Parcelas clasificadas según la correcta o incorrecta clasificación de cultivo por parte del modelo predictivo *Random Forest*

MAPA 7: Parcelas clasificadas según la correcta o incorrecta clasificación de cultivos por parte del modelo predictivo de red neuronal Bi-LSTM





**Legenda**  
 Comarca\_Vega\_Baixa

**Identificación de cultivos mediante teledetección y técnicas de machine learning en el ámbito territorial de la comarca de la Ribera**

**MAPA: Comarca de la Ribera Baja en Valencia provincia**

**ESCALA: 1:100000**

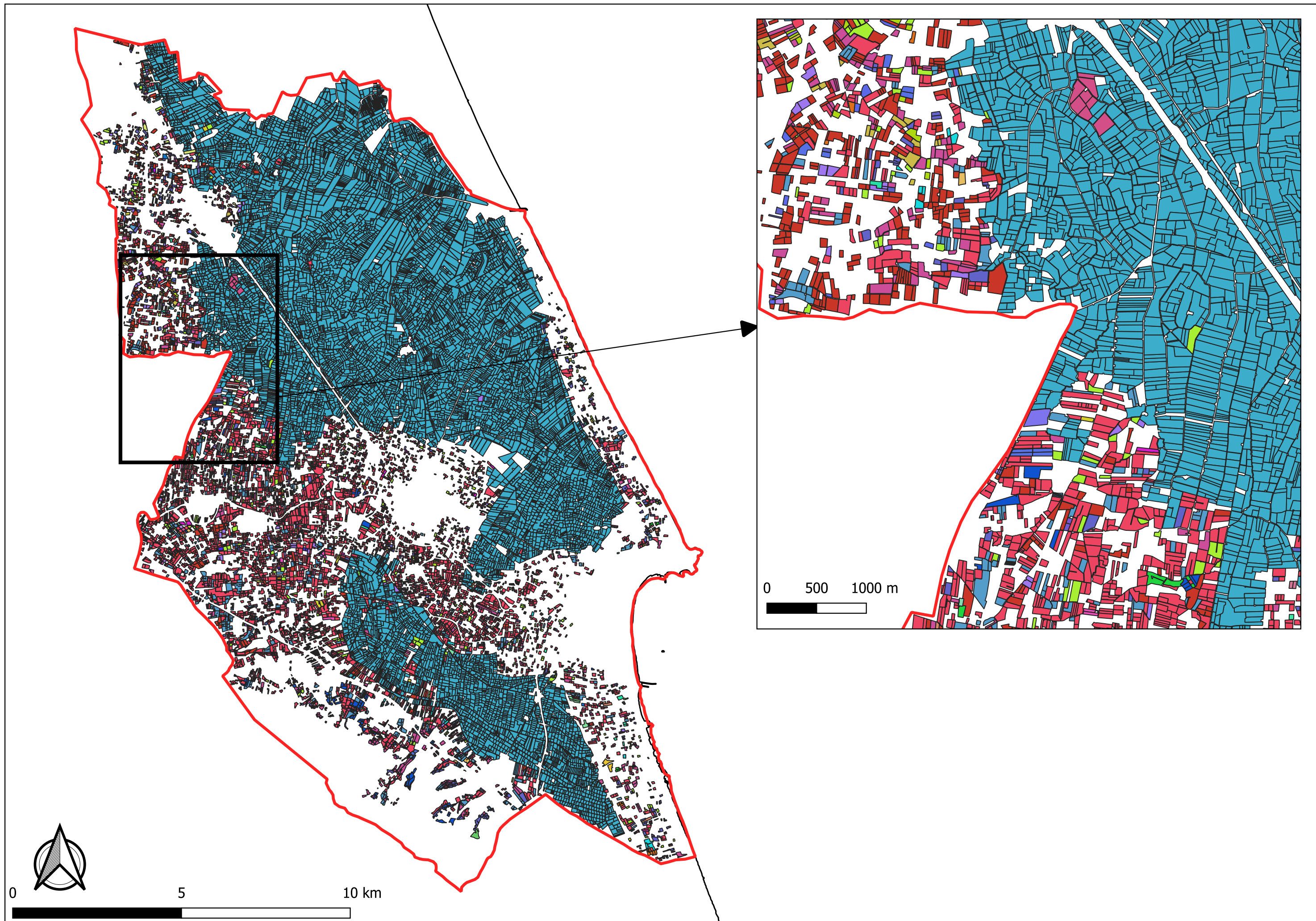
 Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

**SEPTIEMBRE 2023**








**AUTOR: David Cerezo Rebé**

Nº Mapa: 1

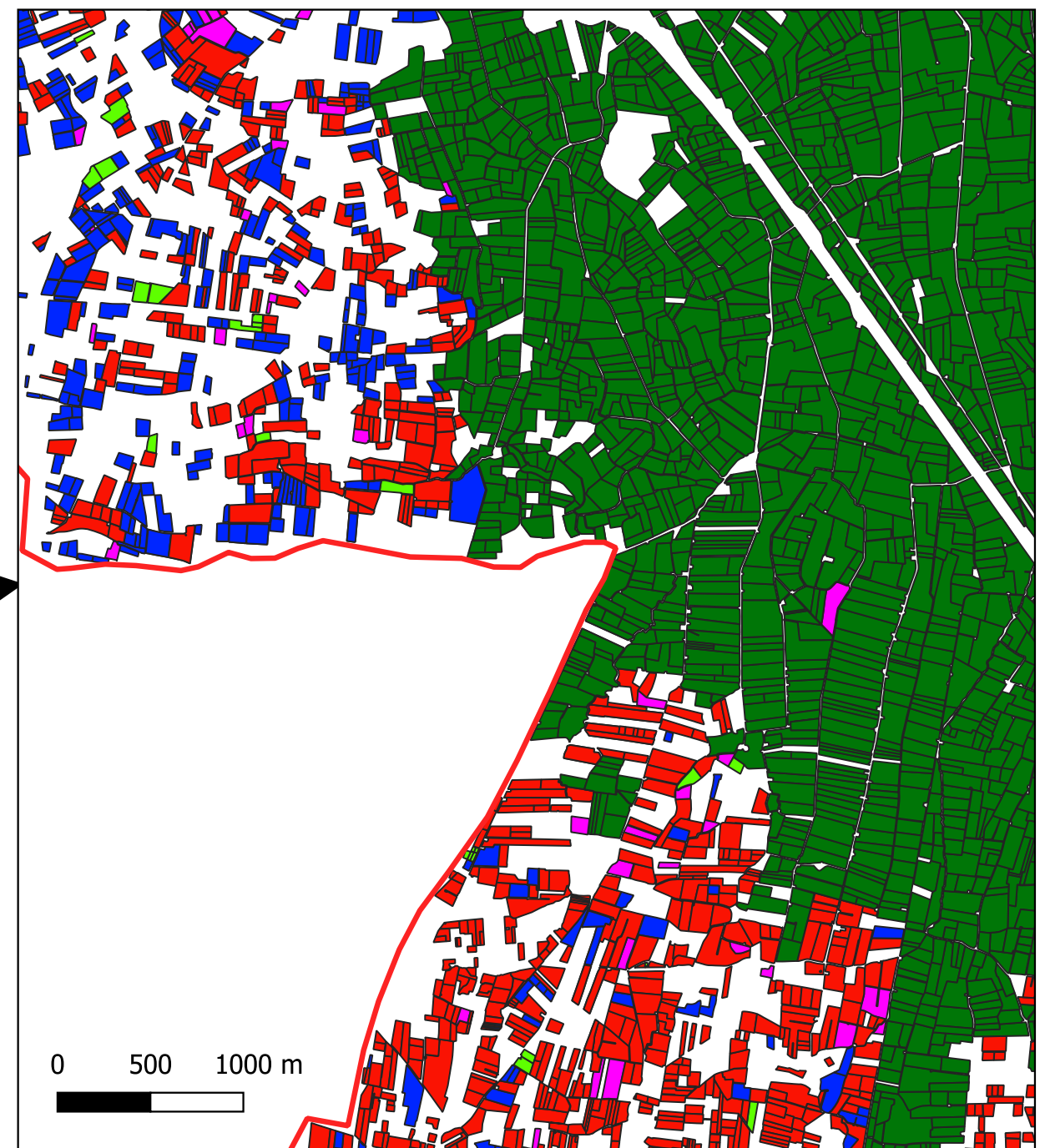
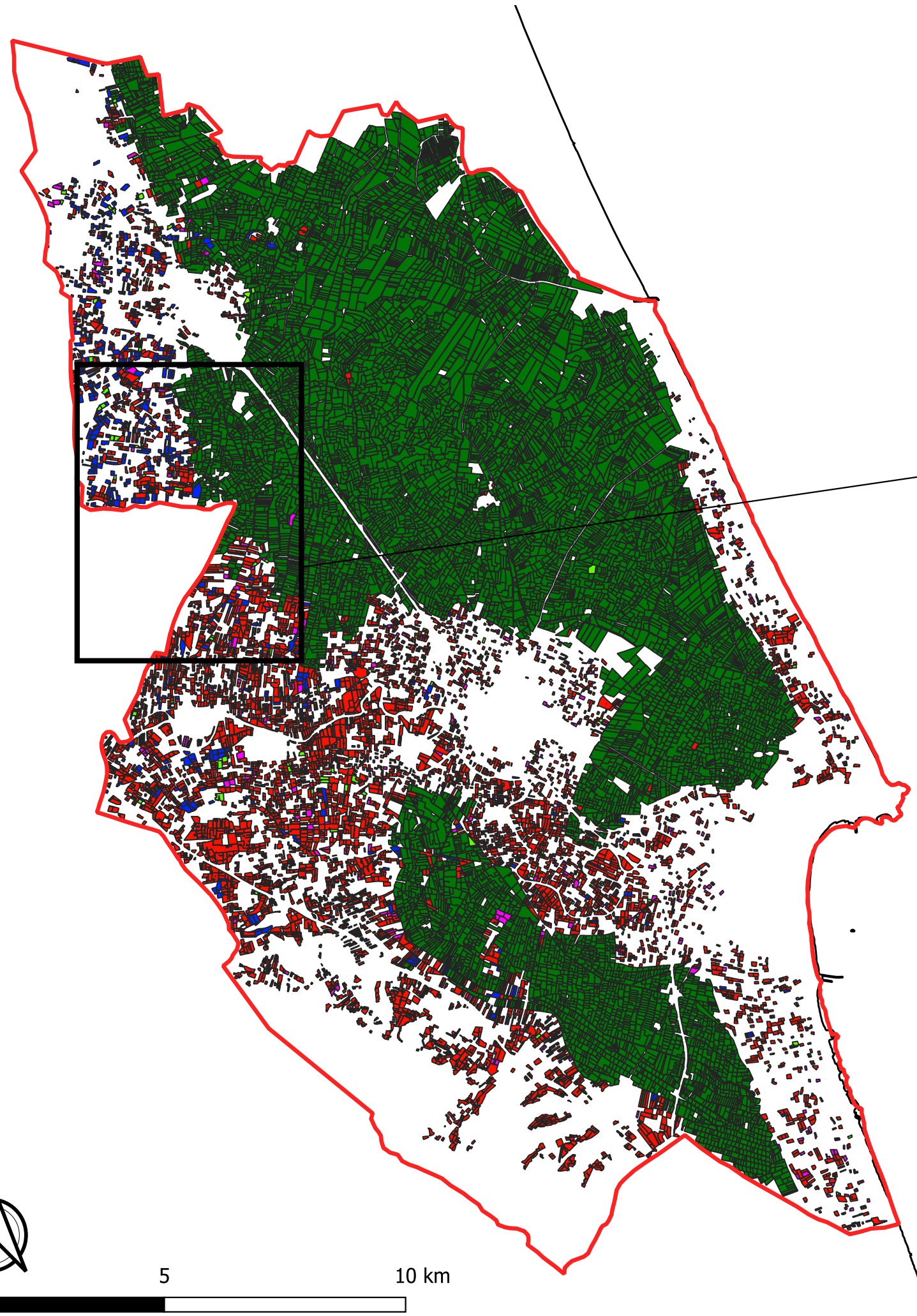




## Leyenda

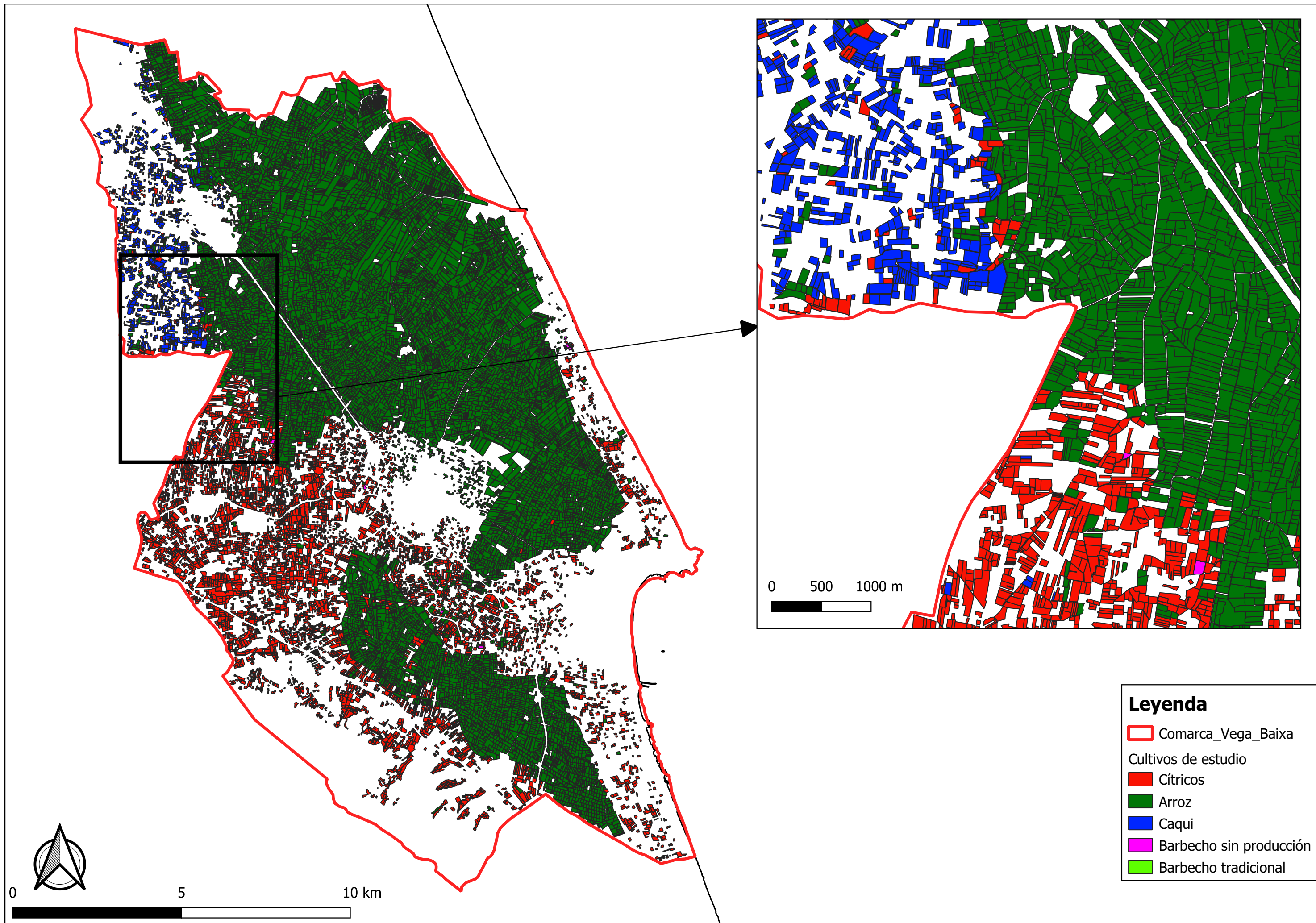
 Comarca_Vega_Baixa	 "COL CHINA"	 "OLIVAR"
Cultivos y variedades originales	 "COL ROJA O LOMBARDA"	 "OTRAS SUPERFICIES FORESTALES"
 "ACELGA"	 "COL"	 "Otras utilizaciones no agrarias ni forestales"
 "ACHICORIA"	 "ESCAROLA"	 "OTROS FRUTALES"
 "AGUACATE"	 "FLORES"	 "PARAGUAYO"
 "AJO"	 "GRANADO"	 "PASTIZAL DE 5 O MAS ANOS"
 "ALBARICOQUEROS"	 "GUAYABO"	 "PASTO ARBUSTIVO DE 5 O MAS ANOS"
 "ALCACHOFA"	 "HABAS"	 "PASTOS PERMANENTES DE 5 O MAS ANOS"
 "ALFALFA"	 "HUERTA"	 "PATATA"
 "ALMENDROS"	 "JUDIA"	 "PIMIENTO"
 "ARROZ"	 "KIWI"	 "PISTACHO"
 "AVENA"	 "KUMQUAT"	 "PITAYA"
 "BARBECHO SIN PRODUCCION"	 "LECHUGA"	 "POMELO"
 "BARBECHO TRADICIONAL"	 "LIMA"	 "REPOLLO"
 "BERENJENA"	 "LIMONERO"	 "SANDIA"
 "BROCOLI"	 "MAIZ"	 "SATSUMAS"
 "CACAHUETE"	 "MANDARINO"	 "SUPERFICIES FORESTALES DE ROTACION CORTA"
 "CALABAZA"	 "MANDARINOS HIBRIDOS"	 "TOMATE"
 "CANA DE AZUCAR"	 "MELOCOTONEROS"	 "UVA DE MESA"
 "CAQUI o PALOSANTO"	 "MELON"	 "VINEDO VINIFICACION"
 "CEBOLLA"	 "NARANJO"	 "VIVEROS"
 "CIRUELOS"	 "NARANJO-AGUACATE"	 "ZANAHORIA"
 "CITRICOS HIBRIDOS-CAQUI"	 "NECTARINOS"	
 "CLEMENTINAS"	 "NOGALES"	



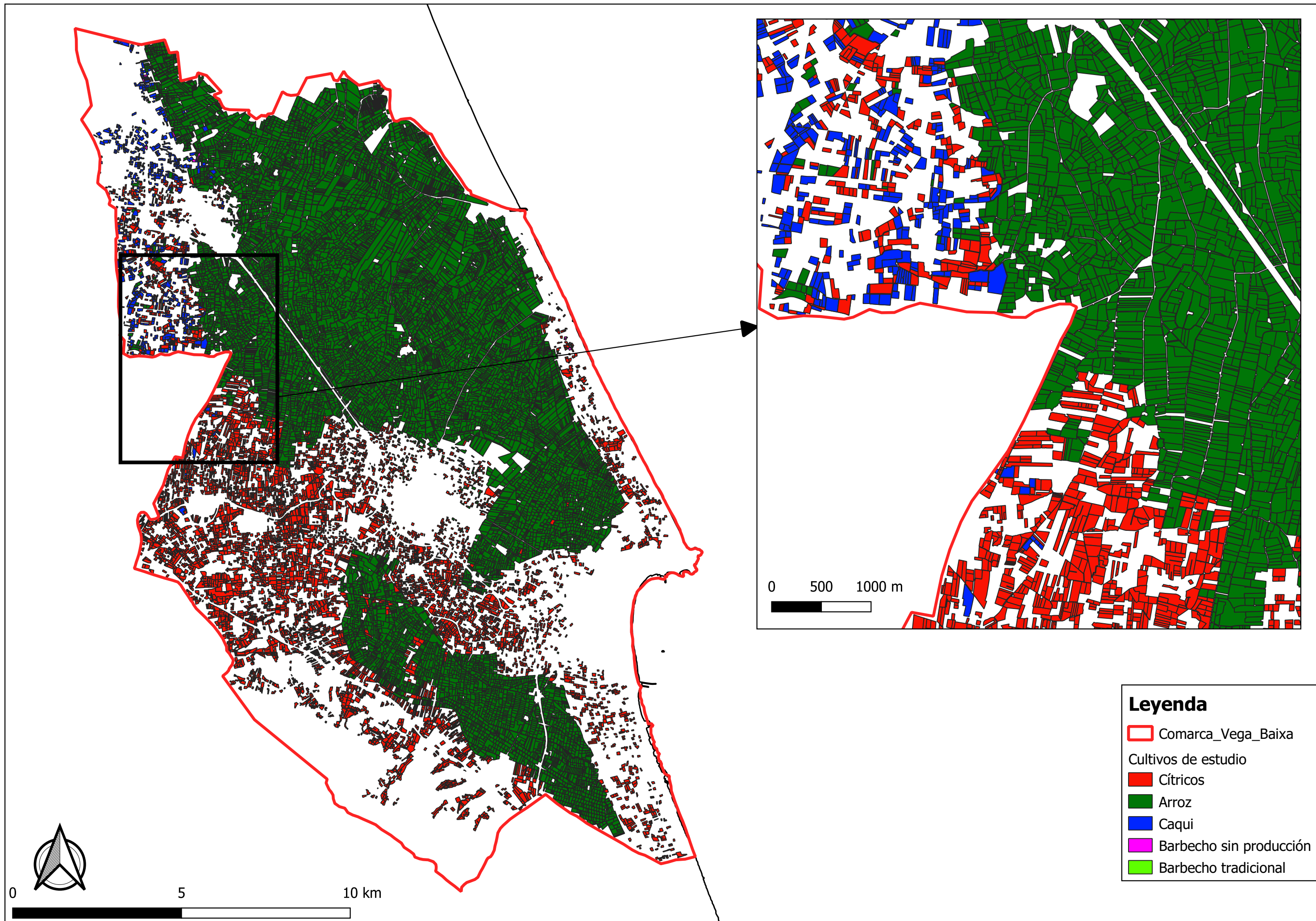


Leyenda	
	Comarca_Vega_Baixa
Culvidos de estudio	
	Cítricos
	Arroz
	Caqui
	Barbecho sin producción
	Barbecho tradicional

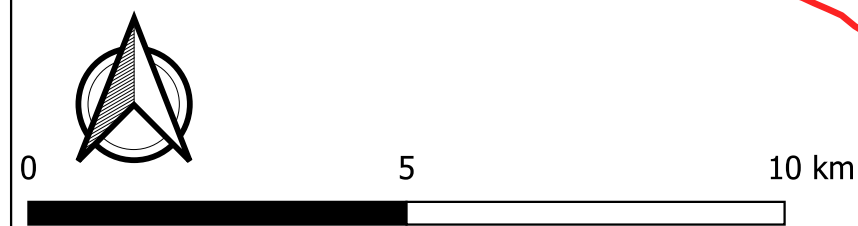
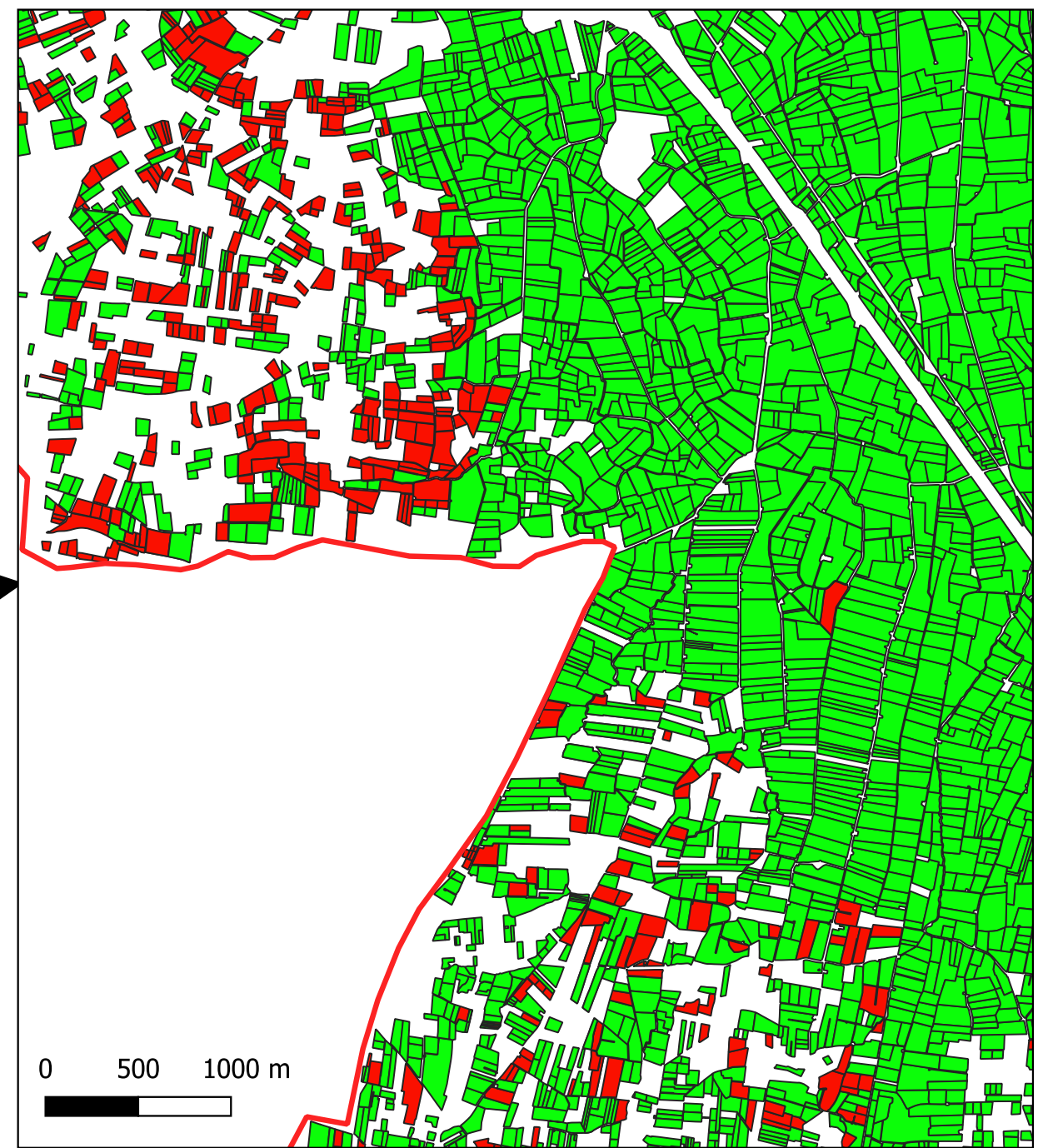
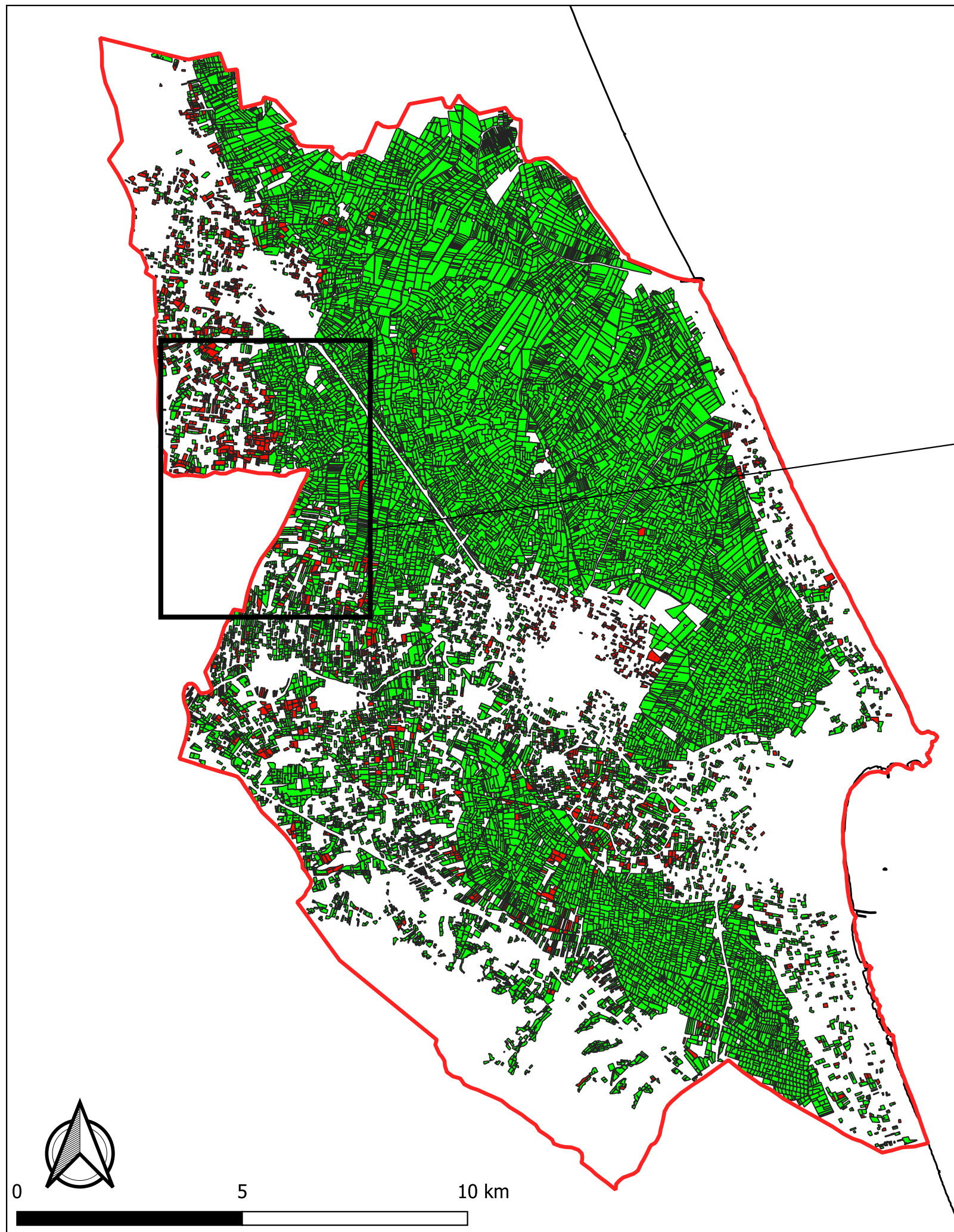








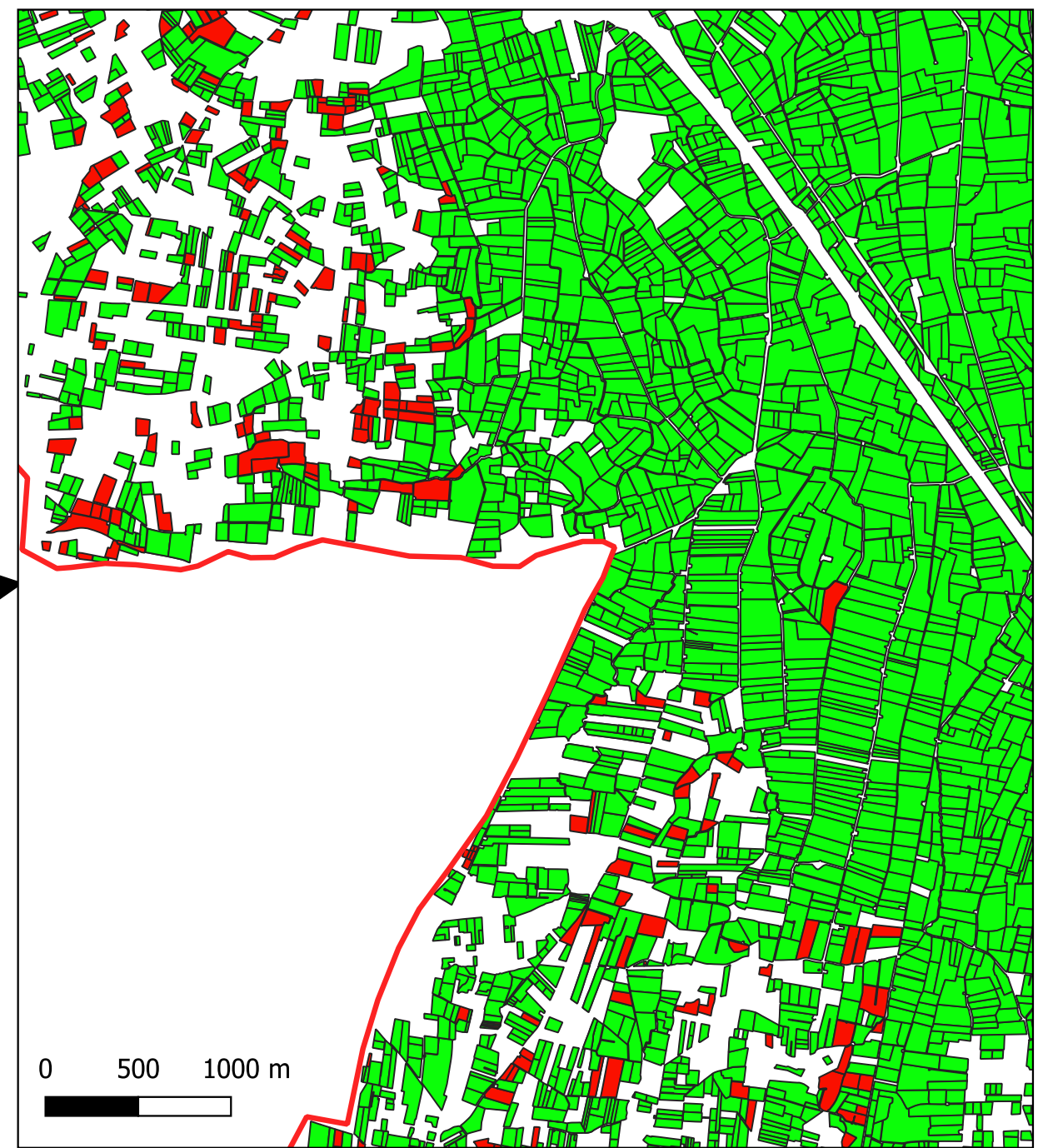
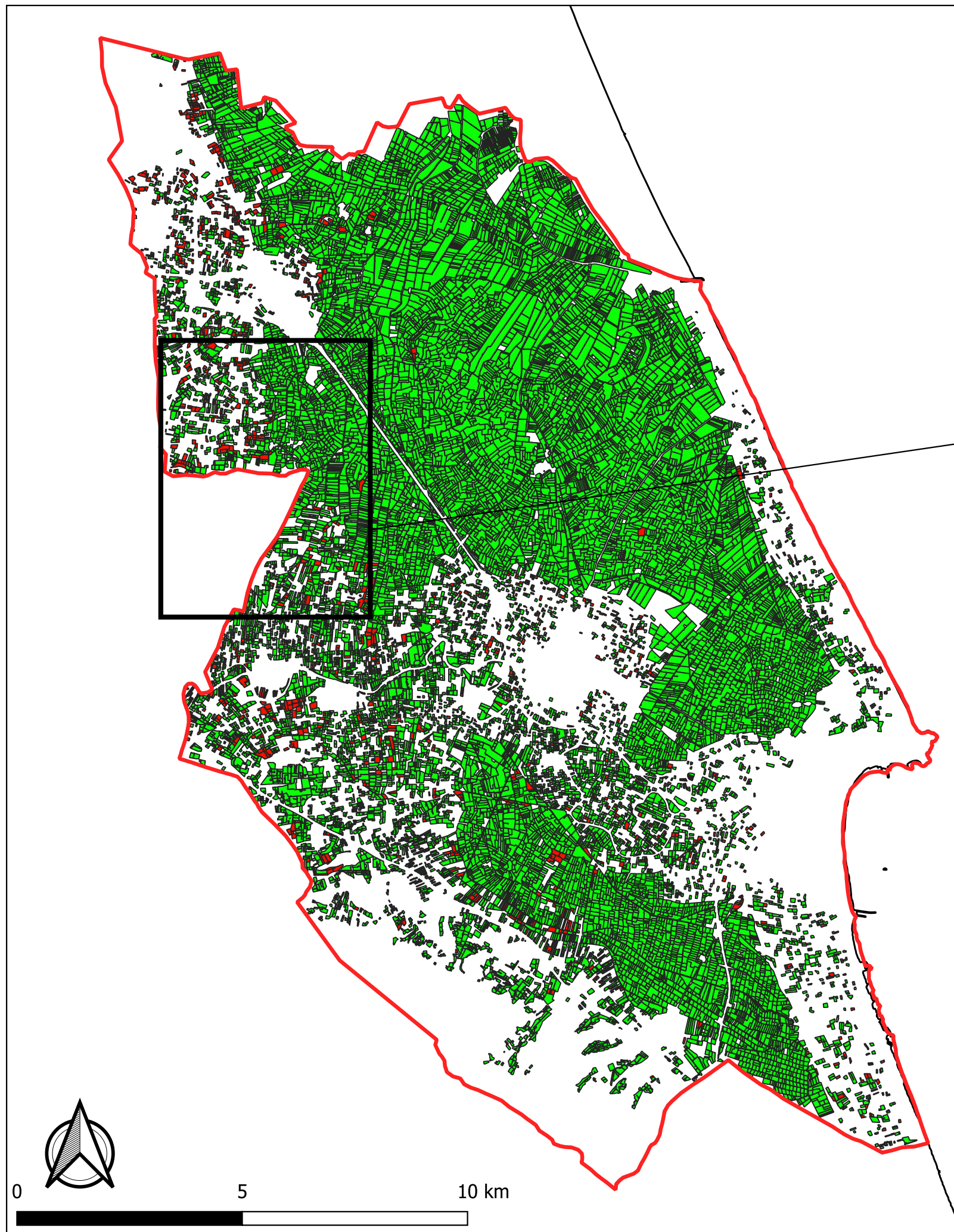




**Leyenda**

- Comarca\_Vega\_Baixa
- Aciertos y errores en la predicción
- Errores
- Aciertos





**Leyenda**

- Comarca\_Vega\_Baixa
- Aciertos y errores en la predicción
- Errores
- Aciertos





---

# ANEJO IV

---

Gráficos



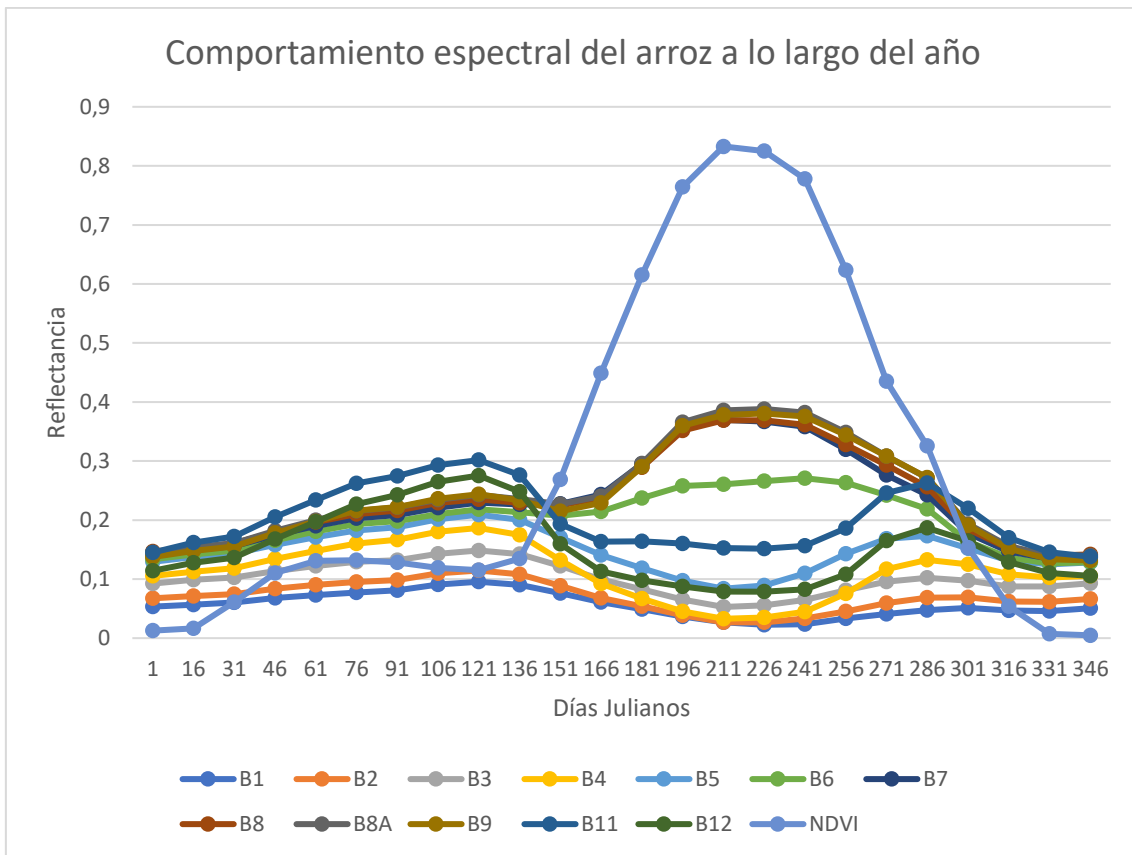
6 DE SEPTIEMBRE DE 2023

IDENTIFICACIÓN DE CULTIVOS MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y TÉCNICAS DE MACHINE LEARNING  
EN EL ÁMBITO TERRITORIAL DE LA COMARCA DE LA RIBERA BAJA, VALENCIA

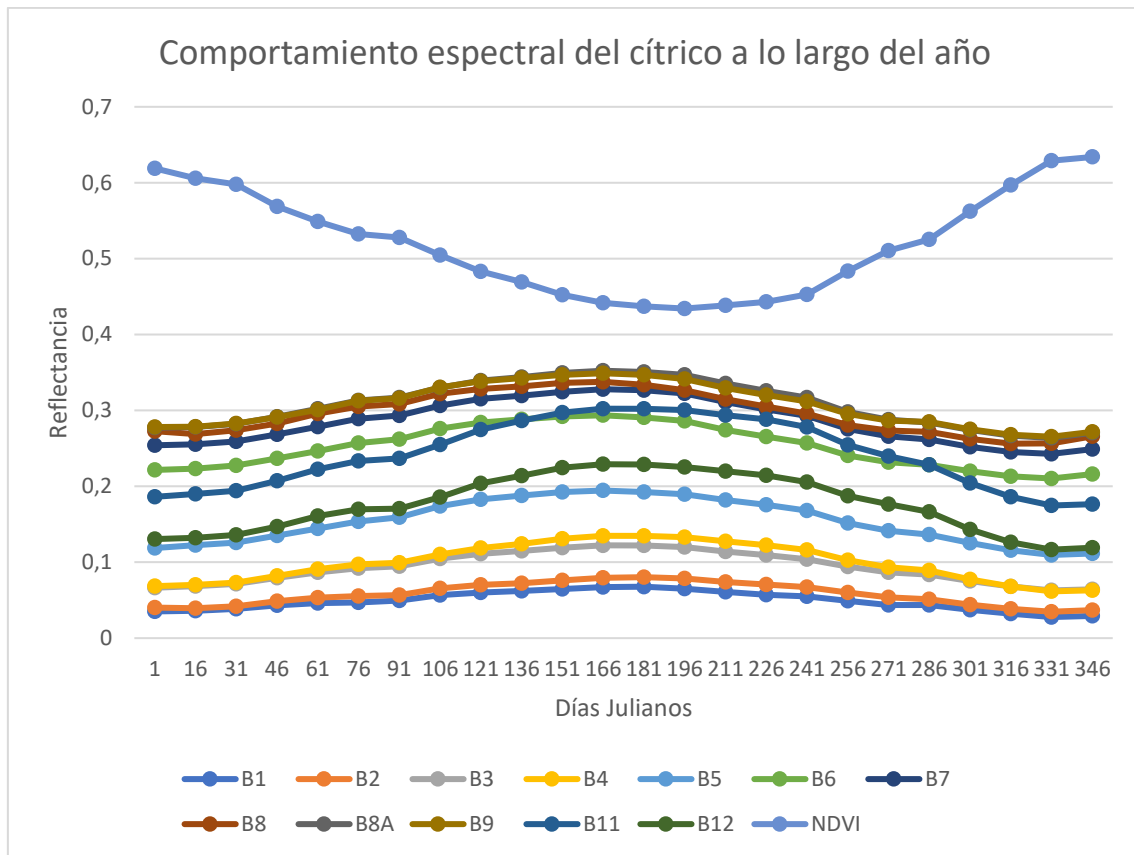
David Cerezo Rebé

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

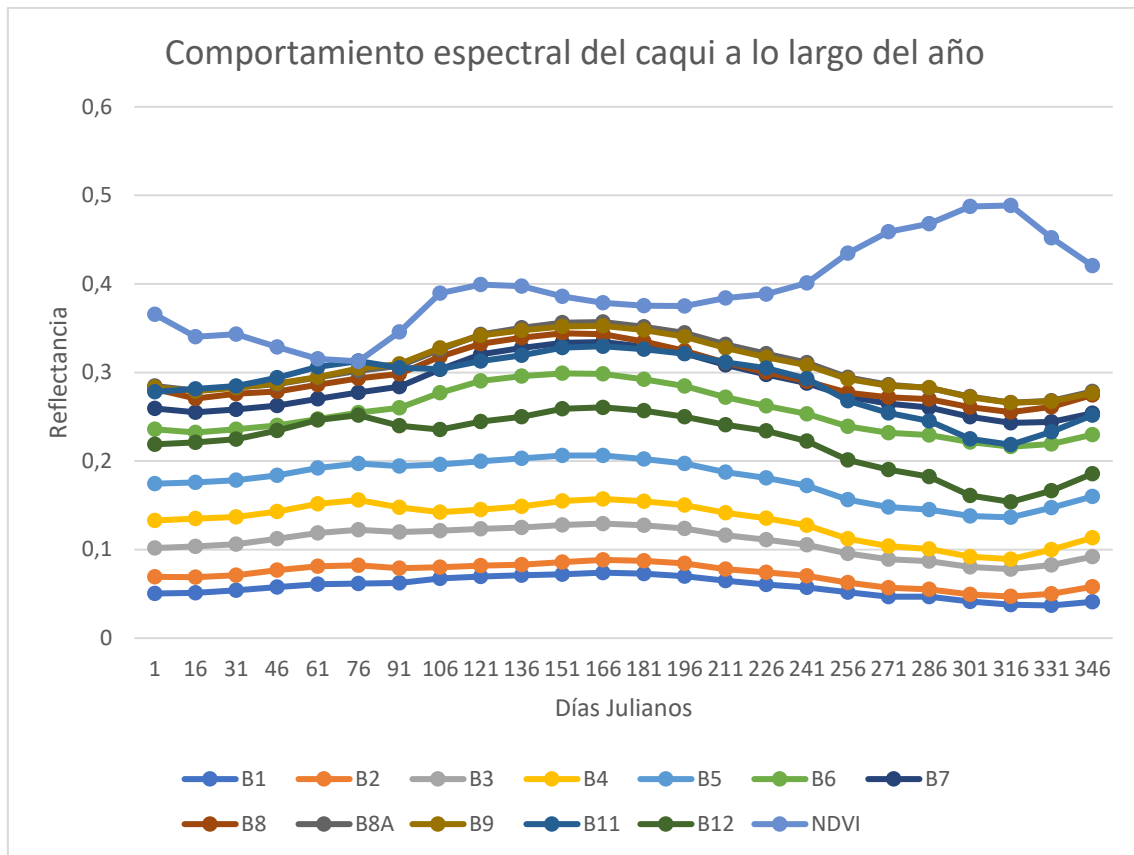
Gráfica 1: Comportamiento espectral del arroz según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 .....	2
Gráfica 2: Comportamiento espectral de los cítricos según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 .....	3
Gráfica 3: Comportamiento espectral del caqui según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 .....	4
Gráfica 4: Comportamiento espectral del barbecho tradicional según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 .....	5
Gráfica 5: Comportamiento espectral del barbecho sin producción según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022 .....	6
Gráfica 6: Comparación medias del índice NDVI de los cultivos de estudio durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021. ....	7
Gráfica 7: Comparación índice NDVI de los cultivos de estudio durante el año 2022.....	7



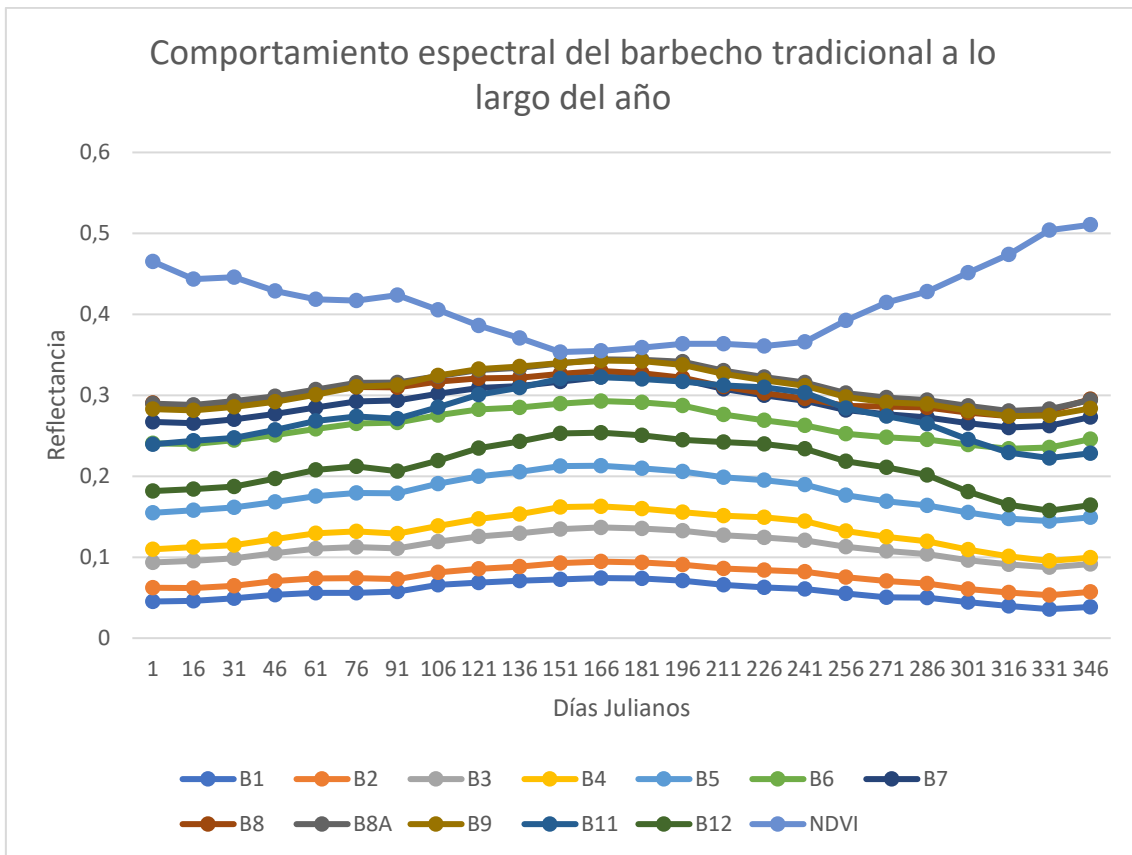
Gráfica 1: Comportamiento espectral del arroz según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022



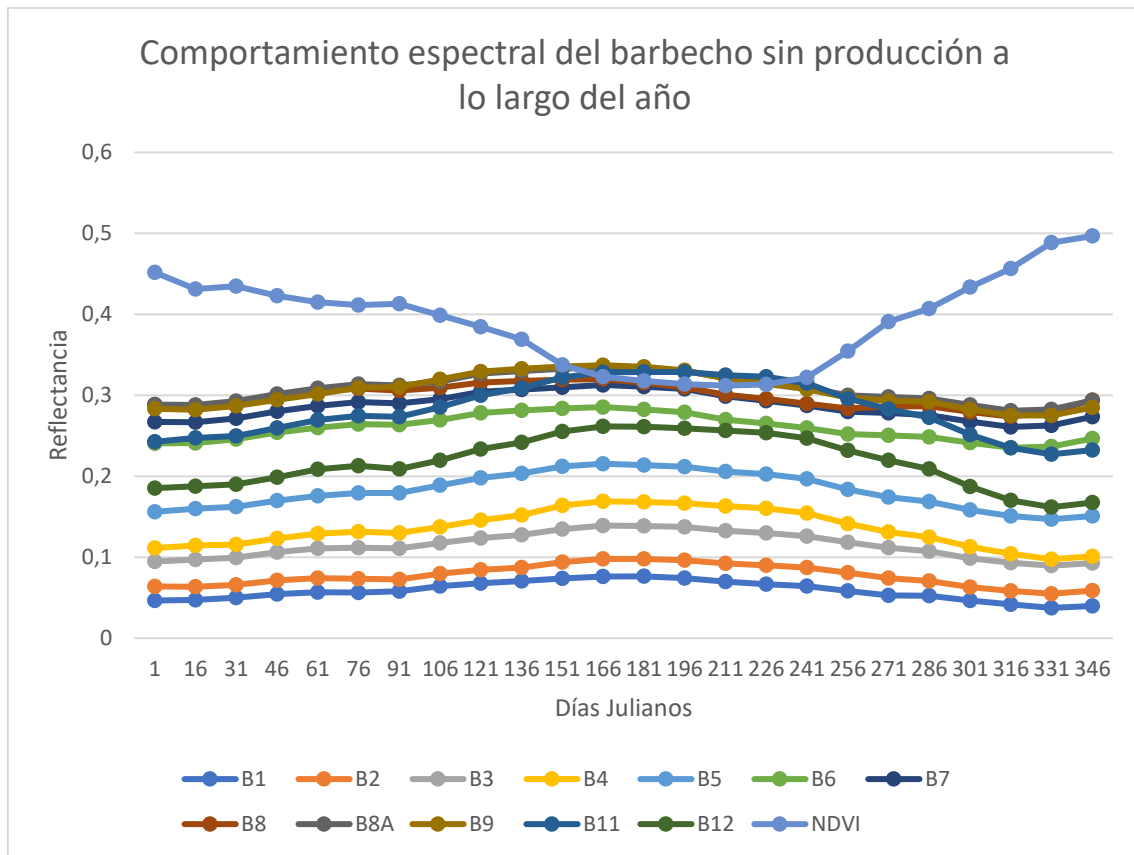
Gráfica 2: Comportamiento espectral de los cítricos según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022



Gráfica 3: Comportamiento espectral del caqui según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022

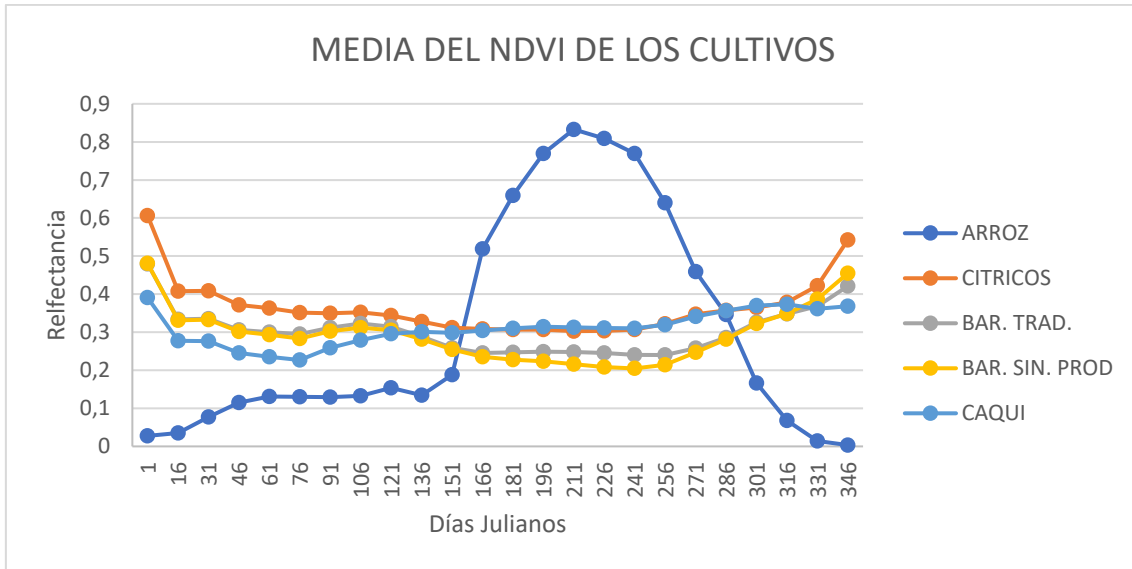


Gráfica 4: Comportamiento espectral del barbecho tradicional según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022

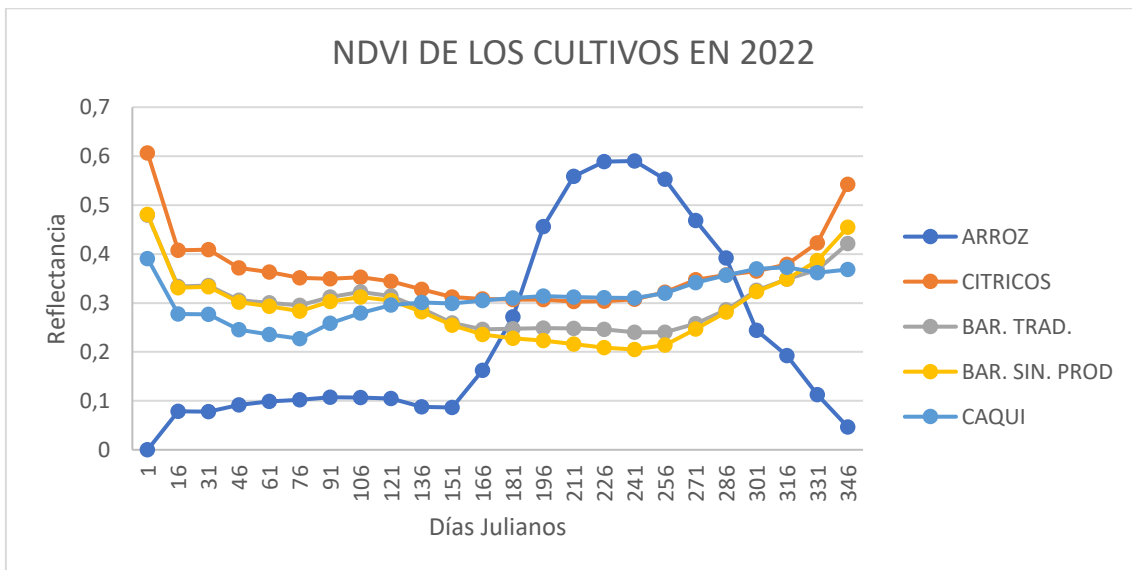


Gráfica 5: Comportamiento espectral del barbecho sin producción según datos de Sentinel-2 a lo largo del año. Media ponderada de los años 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022





Gráfica 6: Comparación medias del índice NDVI de los cultivos de estudio durante los años 2018, 2019, 2020 y 2021.



Gráfica 7: Comparación índice NDVI de los cultivos de estudio durante el año 2022