



POLITÉCNICA



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Aplicación de herramientas de teledetección para analizar el impacto de la DANA (2024) en Valencia y realizar una estimación económica de los daños producidos en las parcelas agrícolas. Caso de estudio del municipio de Catarroja.

TRABAJO FIN DE GRADO

Autor/a: Amir Alejandro Subhi-Issa Marín

Tutor/a: Carmen Marín Ferrer

Julio de 2025

AGRADECIMIENTOS

A mi tutora, Carmen Marín Ferrer, por su dedicación, orientación y apoyo incondicional durante todo el proceso, gracias de corazón.

RESUMEN

Este trabajo presenta una metodología integral para analizar el impacto de un evento meteorológico extremo denominado Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) sobre las superficies agrícolas del municipio de Catarroja (Valencia) y que se produjo en octubre de 2024, utilizando herramientas de teledetección y análisis geoespacial. Se han empleado imágenes ópticas (Sentinel-2) y radar (Sentinel-1) y técnicas de análisis multitemporal para detectar zonas inundadas, depósitos de barro y pérdidas de vegetación. A partir de la información ráster generada, se ha identificado las fuentes de impacto derivadas de las distintas huellas calculadas, permitiendo cuantificar la superficie afectada.

Finalmente, se ha desarrollado un modelo de estimación económica basado en el cruce de las zonas dañadas con el uso del suelo (SIGPAC) y precios unitarios de referencia. El estudio del estado fenológico de los cultivos ha permitido estimar las pérdidas económicas asociadas a la posible pérdida de producción en cultivos típicos del municipio.

La integración de esta dimensión económica permite ofrecer una visión más completa del impacto, cuantificando las consecuencias directas del evento sobre la productividad agrícola y sirviendo como base para futuras estrategias de respuesta y compensación.

ABSTRACT

This study presents a comprehensive methodology for analyzing the impact of an extreme weather event known as a Cut-Off Low (DANA) on the agricultural areas of the municipality of Catarroja (Valencia), which occurred in October 2024, using remote sensing tools and geospatial analysis. Optical (Sentinel-2) and radar (Sentinel-1) imagery, along with multitemporal analysis techniques, were employed to detect flooded areas, mud deposits, and vegetation loss. Based on the generated raster data, sources of impact derived from the different identified footprints were mapped, allowing the quantification of the affected surface area.

Finally, an economic estimation model was developed by intersecting the damaged areas with land use data (SIGPAC) and reference unit prices. The assessment of the phenological state of the crops enabled the estimation of economic losses associated with the potential reduction in yield of typical local crops.

The integration of this economic dimension provides a more complete view of the impact, quantifying the direct consequences of the event on agricultural productivity and serving as a basis for future response and compensation strategies.

Índice

RESUMEN	4
ABSTRACT	5
Índice	6
Índice de figuras	9
Índice de tablas	13
1 INTRODUCCIÓN	14
2 MARCO TEÓRICO	16
2.1 Depresiones aisladas en niveles altos (DANA)	17
2.2 Efectos ambientales de las inundaciones provocadas por la DANA en los cultivos agrícolas	19
2.3 Teledetección	20
2.3.1 Definición de teledetección	21
2.3.2 El espectro electromagnético	22
2.3.3 Tipos de sensores remotos	23
2.3.4 El programa Copernicus	24
2.3.5 Plataformas Sentinel	25
2.4 Sistemas de información geográfica	34
2.5 Análisis multitemporales	35
3 OBJETIVOS	37
4 ÁREA DE ESTUDIO	38
4.1 Situación geográfica	38
4.2 Relieve	40
4.3 Climatología	42
4.4 Hidrología	45
4.5 Geología	46
4.6 Edafología	47

4.7	Vegetación	47
4.8	Fauna	49
4.9	Espacios protegidos	51
5	METODOLOGÍA.....	52
5.1	Materiales	52
5.2	Análisis del impacto	54
5.2.1	Delimitación de la huella de inundación	54
5.2.2	Delimitación de la huella de barro.....	57
5.2.3	Análisis visual con imágenes Sentinel-2	57
5.2.4	Índices de vegetación.....	58
5.3	Análisis multitemporal	59
5.3.1	Composiciones multitemporales	59
5.3.2	Diferencia entre imágenes	60
5.3.3	Análisis de componentes principales (ACP)	60
5.4	Mapa de impacto	60
5.5	Estimación de los daños producidos en cultivos agrícolas.....	62
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
6.1	La huella de la inundación.....	66
6.2	La huella de barro	71
6.3	Análisis del impacto	72
6.3.1	Composiciones en color	72
6.3.2	Índices de vegetación.....	77
6.4	Análisis multitemporal	79
6.4.1	Análisis visual de composiciones multitemporales.....	79
6.4.2	Análisis por diferencia entre imágenes.....	86
6.4.3	Análisis de componentes principales.....	87
6.5	Mapa de impacto	90

6.6	Estimación económica de los daños	94
7	CONCLUSIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA.....	102
	ANEXOS.....	108

Figura 1. El sistema básico de la circulación atmosférica donde se representan las corrientes en chorro polar y subtropical. Fuente: Martín, 2003.	17
Figura 2. Proceso de formación y evolución de una DANA en la circulación en chorro en niveles altos. Fuente: Martín, 2003.....	18
Figura 3. Plantación de cítricos que presenta defoliación (izquierda) y caída acusada de frutos y desecación del arbolado (derecha). Fuente: Machetti, 2019.	19
Figura 4. Rango del espectro electromagnético. Fuente: (Blacus, 2012).....	22
Figura 5. Esquema de funcionamiento de un sensor pasivo (a) y un sensor activo (b)..	24
Figura 6. Modos de adquisición de Sentinel-1 (a la izquierda el modo IW).....	26
Figura 7. Nomenclatura del producto con el nivel de procesamiento Nivel-1 GRD de Sentinel-1.....	27
Figura 8. Representación de la propagación de un pulso de radar.	28
Figura 9. Mecanismos de dispersión De izquierda a derecha: reflexión especular por superficie lisa, dispersión por superficie rugosa, dispersión por doble rebote y dispersión por volumen.	29
Figura 10. Nomenclatura de los productos con nivel de procesamiento 1C/2A de Sentinel-2.....	31
Figura 11. Esquema de formación de una imagen multispectral de Sentinel-2.....	31
Figura 12. Representación de una imagen digital (7x9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre y cada uno hace referencia a distintos niveles de energía detectada.	32
Figura 13. Resolución espacial para cada banda del satélite Sentinel-2.	32
Figura 14. Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: Pérez et al., 2020.....	33
Figura 15. Ejemplo de esquema de datos SIG.....	35
Figura 16. Situación geográfica (1) del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia con datos de la Base Cartográfica Nacional de Valencia (BCN200) y Mapa Provincial (MP200).	39
Figura 17. Situación geográfica (2) del municipio de Catarroja. Distribución de recintos SIGPAC. Fuente: elaboración propia con datos de la Base Cartográfica Nacional de Valencia (BCN200) y Mapa Provincial (MP200).....	40

Figura 18. Mapa de altitudes del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia con datos del MTD en formato ráster con paso de malla de 5 metros de píxel proporcionado por la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales.....	41
Figura 19. Gradiente de pendientes propuesto por FAO.	41
Figura 20. Mapa de pendientes del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia calculado a partir del MTD en formato ráster con paso de malla de 5 metros de píxel proporcionado por la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales.....	42
Figura 21. Valores de temperatura y precipitación media mensual en la región de Valencia.	43
Figura 22. Mapa de precipitaciones de la provincia de Valencia con datos del día 29 de octubre de 2024. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de las estaciones de la AVAMET y la AEMET.....	44
Figura 23. Mapa de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la CHJ.	45
Figura 24. Mapa de usos SIGPAC. Fuente: Elaboración propia con bases de datos de ocupación del suelo.	48
Figura 25. Flujo de trabajo para el procesamiento de imágenes Sentinel-1	54
Figura 26. Fenómeno de dispersión en tierras de cultivo inundadas. De A a B, la retrodispersión aumenta con la humedad del suelo. C, al aumentar el nivel del agua, la retrodispersión se debilita como consecuencia de la reflexión especular. Fuente: (Podest, Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. Sesión 1: Introducción al Radar de Apertura Sintética, 2024)	55
Figura 27. Respuesta relativa de señal SAR en tierras de cultivo. Al aumentar la humedad del suelo la señal se vuelve más brillante. Cuando el suelo se inunda por completo, se produce la dispersión especular y la zona se representa con píxeles más oscuros. Fuente: (Podest, Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. Sesión 1: Introducción al Radar de Apertura Sintética, 2024)...	56
Figura 28. Histogramas de cada uno de los filtros de la imagen radar del 31 de octubre de 2024. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: Sin filtro, Lee 3x3, Lee 5x5, Boxcar 3x3, Frost 5x5, Idan, Refined Lee, Gamma Map 3x3, Gamma Map 5x5..	67
Figura 29. Imagen radar del 31 de octubre de 2024 con los filtros aplicados. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: Sin filtro, Lee 3x3, Boxcar 3x3, Frost 5x5, IDAN, Refined Lee, Gamma Map 5x5, Gamma Map 3x3, Lee 5x5.....	68

Figura 30. Diferencias entre la polarización VH (izquierda) y VV (derecha) de la imagen del 31 de octubre de 2024 sin procesar y en valores de amplitud.	68
Figura 31. Histogramas de la imagen radar del 31 de octubre de 2024 con filtro IDAN. La figura de la izquierda representa el histograma con polarización VH, la de la derecha la polarización VV.....	69
Figura 32. Diferencias entre la polarización VH (izquierda) y la polarización VV (derecha), ambas imágenes del 31 de octubre de 2024 con filtro IDAN.....	69
Figura 33. Mapa de la huella de la inundación.....	70
Figura 34. Mapa de la huella de barro.	71
Figura 35. Selección de parcelas para análisis de firmas espectrales. A la derecha, la imagen del 26/10/2024; a la izquierda, la imagen del 31/10/2024.....	72
Figura 36. Firmas espectrales de cada una de las parcelas seleccionadas. El gráfico superior representa la firma espectral de las parcelas seleccionadas de la imagen del 26/10/2024. El inferior, de la imagen del 31/10/2024. El apilamiento de bandas se ha realizado, para ambas imágenes, en el siguiente orden: banda 2, 3, 4, 8, 11 y 12.	73
Figura 37. Composición en color verdadero para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).....	74
Figura 38. Composición en IR color para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).....	75
Figura 39. Composición en SWIR color para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).....	76
Figura 40. Índices NDVI para las fechas de 26/10/2024 (izquierda) y 10/11/2024 (derecha).	77
Figura 41. Índices SAVI para las fechas de 26/10/2024 (izquierda) y 10/11/2024 (derecha).	78
Figura 42. Composición multitemporal (SAR) de polarización VH entre imágenes antes (19/10/2024) y después del evento (31/10/2024).	79
Figura 43. Composición multitemporal de la banda 2 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	80
Figura 44. Composición multitemporal de la banda 4 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	81

Figura 45. Composición multitemporal de la banda 8 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	82
Figura 46. Composición multitemporal de la banda 12 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	83
Figura 47. Composición multitemporal NDVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	84
Figura 48. Composición multitemporal SAVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	85
Figura 49. Composición multitemporal dNDVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	86
Figura 50. Composición multitemporal dSAVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).	87
Figura 51. Componente principal 3 (arriba) y 4 (abajo).	88
Figura 52. Composición RGB del ACP. En el canal rojo, CP3; en el verde, CP4 y en azul, CP5.	90
Figura 53. Mapa de clasificación de fuentes de impacto de la DANA (2024) en el municipio de Catarroja.	91
Figura 54. Representación espacial de la superficie de inundación elaborada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio y la superficie de inundación calculada... ..	92
Figura 55. Comparativo de precios según tipo de cultivo.	96
Figura 56. Porcentajes en función del valor económico para cada tipo de cultivo.	97

Índice de tablas

Tabla 1. Superficies de cada uso SIGPAC en el municipio de Catarroja.	49
Tabla 2. Características de las imágenes Sentinel-1	53
Tabla 3. Características de las imágenes Sentinel-2	53
Tabla 4. Valores de retrodispersión en función de distintas superficies. Fuente: Pérez et al., 2020	56
Tabla 5. Valores identificativos asignados por capa para el cálculo del mapa de afecciones.	61
Tabla 6. Clasificación de las fuentes de impacto y sus combinaciones del mapa de afecciones	61
Tabla 7. Códigos de usos de suelo para cada una de las bases de datos empleadas. Fuente: elaboración propia con datos de la Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca de la Generalitat Valenciana y el MAPA.....	64
Tabla 8. Valores estadísticos para cada uno de los filtros empleados.....	66
Tabla 9. Autovalores y varianza de las componentes principales calculadas. Fuente: elaboración propia	89
Tabla 10. Superficie de las fuentes de impacto.	92
Tabla 11. Superficie de inundación oficial y de los resultados obtenidos.	93
Tabla 12. Superficies afectadas por la DANA.....	94
Tabla 13. Listado de precios por usos SIGPAC.....	95
Tabla 14. Estimación económica de daños en función de la ocupación del suelo.	95
Tabla 15. Balance de pérdidas económicas de los productos cultivados más característicos de Catarroja.....	99

1 INTRODUCCIÓN

Las Depresiones Aisladas en Niveles Altos, en adelante DANA, son fenómenos meteorológicos que, en función de su intensidad y extensión, pueden provocar impactos significativos en entornos urbanos y agrícolas, afectando a infraestructuras y cultivos, produciendo alteraciones en los ecosistemas locales de las zonas afectadas. El fenómeno de la DANA, como veremos en los siguientes capítulos, no justifica el desastre, si no que, puede ser un desencadenante de otros fenómenos, como lluvias intensas, precipitaciones torrenciales, fuertes vientos, etc. y que se reflejan en la superficie causando un impacto en el entorno. En el año 2024, la Comunidad Valenciana sufrió un evento de DANA que generó inundaciones asociadas a precipitaciones torrenciales.

El municipio de Catarroja, objeto de este estudio, fue uno de los afectados, con importantes daños en terrenos agrícolas y urbanos, provocando pérdidas tanto en el ámbito social como el económico.

El fenómeno de la DANA ha sido históricamente conocido en España con el término popular de "gota fría", un nombre de origen coloquial que intentaba describir los efectos de las lluvias intensas asociadas a este fenómeno. Con el avance de la meteorología y el perfeccionamiento de los modelos de predicción, los expertos decidieron adoptar el término Depresión Aislada en Niveles Altos, ya que describe de manera más precisa y científica el proceso. Esta terminología permite entender el fenómeno de forma más clara, definiendo directamente la dinámica del aire frío en niveles altos y su interacción con las capas de la atmósfera (Martín, 2003).

Como método de evaluación de desastres naturales, la teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para evaluar los efectos de estos eventos extremos sobre el territorio. Gracias a las imágenes de satélite obtenidas mediante sensores remotos, es posible analizar el impacto de los eventos producidos por una DANA, permitiendo la identificación de áreas afectadas y la cuantificación de los daños sufridos.

En este contexto, la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y técnicas de análisis multitemporal facilitan la comparación de imágenes antes y después del evento, proporcionando una visión clara de su evolución y sus consecuencias.

El presente estudio tiene como objetivo principal aplicar herramientas de teledetección para analizar el impacto de la DANA de 2024 en el municipio de Catarroja y estimar los daños económicos sobre las parcelas agrícolas afectadas.

Para ello, se utilizarán imágenes de radar de apertura sintética (SAR), que permiten detectar la presencia de agua en la superficie cuando las condiciones meteorológicas son adversas, así como imágenes de sensores ópticos, para obtener índices espectrales adecuados para la evaluación de la vegetación y la humedad del suelo.

A nivel técnico, este estudio busca contribuir al desarrollo de metodologías eficientes para la evaluación de catástrofes naturales mediante técnicas de teledetección y SIG. La caracterización de las zonas afectadas y la estimación de daños económicos pueden servir como referencia para la planificación de estrategias de mitigación y recuperación, así como para la toma de decisiones en futuras situaciones similares.

2 MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico desarrolla los conceptos fundamentales para comprender el fenómeno de la DANA y su impacto en la agricultura, así como las herramientas utilizadas en este estudio.

En primer lugar, se aborda el concepto de Depresiones Aisladas en Niveles Altos (DANA), explicando su origen, formación y características principales, así como su relación con las precipitaciones intensas en la región mediterránea. A continuación, se analizan los efectos ambientales del evento provocados por la DANA en los cultivos agrícolas, detallando las consecuencias más relevantes, como el encharcamiento del suelo, la erosión, la proliferación de enfermedades y los daños en infraestructuras agrícolas.

Seguidamente, se introduce la teledetección, explicando qué son los sensores remotos y cómo permiten la identificación y caracterización de áreas afectadas por inundaciones. Se describen las principales tecnologías empleadas y sus ventajas y desventajas ante diversas situaciones.

Asimismo, se presentan los Sistemas de Información Geográfica (SIG), herramientas clave para el análisis espacial de los datos recopilados. Se explica cómo se integra la información georreferenciada, la generación de mapas y su utilidad para representar datos de forma clara y visual.

Finalmente, se desarrolla el concepto de análisis multitemporal, una técnica esencial para evaluar la evolución de los efectos de la DANA a lo largo del tiempo. Se describe cómo la comparación de imágenes satelitales de distintos momentos permite cuantificar cambios en la superficie afectada y estimar la recuperación del terreno.

Este marco teórico sienta las bases metodológicas del estudio y justifica el uso de las herramientas seleccionadas para el análisis del impacto de la DANA en el municipio de Catarroja.

2.1 Depresiones aisladas en niveles altos (DANA)

Las DANA, son estructuras atmosféricas que se forman cuando una masa de aire frío en niveles altos de la atmósfera queda aislada y separada completamente del flujo asociado a la corriente en chorro (Martín, 2003).

Las corrientes en chorro son circulaciones concentradas en niveles altos que circunvalan la Tierra, como el chorro polar o el chorro subtropical, cada uno se sitúa a una latitud y altura concreta. Los ascensos de aire cálido y los descensos de aire frío provocan dorsales y vaguadas, respectivamente sobre la circulación del chorro (Figura 1).

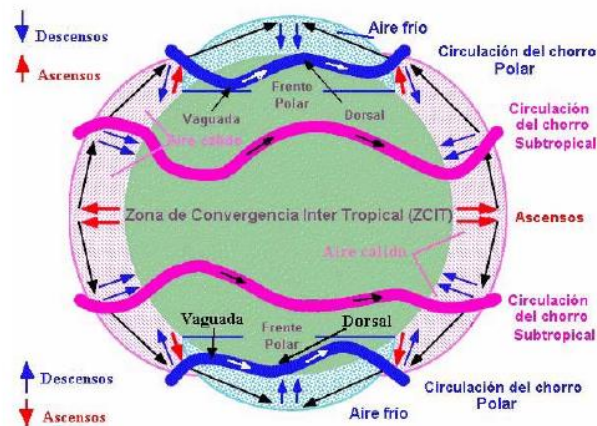


Figura 1. El sistema básico de la circulación atmosférica donde se representan las corrientes en chorro polar y subtropical. Fuente: Martín, 2003.

El concepto de DANA hace referencia al mecanismo de formación. Las perturbaciones en las capas altas de la atmósfera provocan el desplazamiento de las ondas térmicas retrasadas con respecto a la masa de aire en la circulación en chorro (Olalla, 2005).

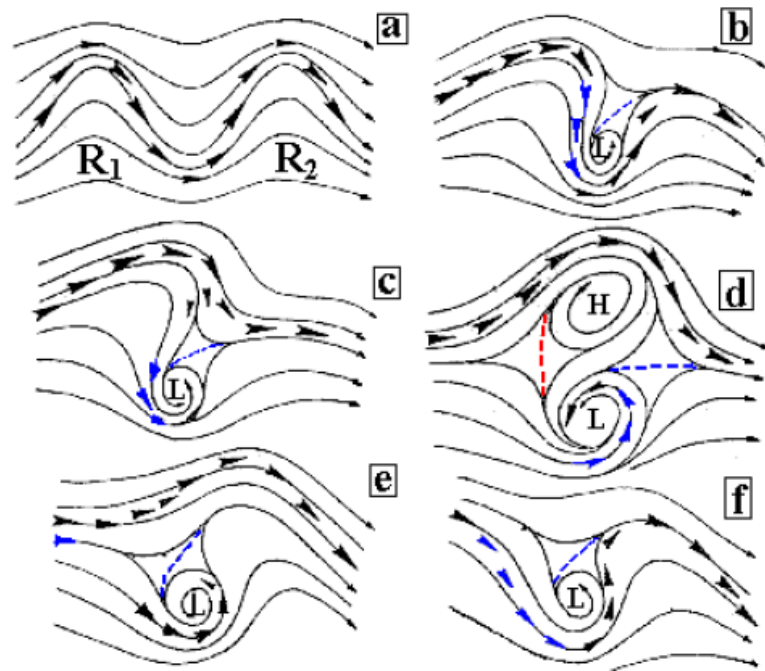


Figura 2. Proceso de formación y evolución de una DANA en la circulación en chorro en niveles altos.
Fuente: Martín, 2003.

La Figura 2 representa el proceso de formación de una DANA en la circulación en chorro en niveles altos. Martín (2005) explica el ciclo de vida más común de una DANA y lo divide en seis fases:

Fase 1. Se produce la ondulación de la corriente en chorro lo que provoca dorsales (R1 y R2). Entre ellas se forma una vaguada (Figura 2a).

Fase 2. Se genera un incremento de la componente meridional del viento en la parte descendente de la dorsal R1 debido su crecimiento e inclinación. L indicaría la DANA en sus momentos iniciales (Figura 2b).

Fase 3. La circulación en chorro en las latitudes más altas se recompone. Comienza el aislamiento inicial de la circulación de la DANA (Figura 2c).

Fase 4. Se produce el aislamiento total. La DANA desarrolla su propia circulación, independiente de la corriente de chorro original quedando separada completamente (Figura 2d). En ocasiones, se desarrolla en su parte norte una región de altas presiones (H).

Fase 5. Un ramal del chorro (en azul) asociado a una vaguada tiende a absorber y a capturar a la DANA (Figura 2e).

Fase 6. La circulación del chorro recurva por la parte occidental de la DANA a la vez que ésta sube hacia latitudes más altas y es reintegrada a la circulación original (Figura 2f).

Este fenómeno puede generar un reflejo en superficie que provoca inestabilidad atmosférica y, en combinación con masas de aire cálido y húmedo, puede dar lugar a precipitaciones intensas. La convección es el proceso que explica la formación de tormentas intensas, y para que se produzca son necesarios tres elementos: calor, baja presión en superficie y aire húmedo en altura. Cuando una burbuja de aire caliente asciende, se enfría progresivamente; si esta sigue elevándose en lugar de detenerse, el vapor de agua que contiene se condensa y da lugar a la formación de nubes. Este ascenso se ve favorecido cuando existe un embolsamiento de aire frío en capas altas de la atmósfera, lo que puede intensificar el desarrollo de nubes de gran desarrollo vertical, como los cumulonimbos, responsables de tormentas fuertes. (Fernández Barrera, 2023).

2.2 Efectos ambientales de las inundaciones provocadas por la DANA en los cultivos agrícolas

Las precipitaciones extremas derivadas de una DANA pueden tener consecuencias graves sobre los cultivos agrícolas. Machetti (2019), presidente de Agroseguro, explica los riesgos de las inundaciones en la agricultura y como afectan a este sector.

Los daños causados por este tipo de siniestros pueden ser diversos y van a depender de las características del evento, del cultivo afectado y de su estado fenológico.

Los principales daños directos se dan principalmente en zonas donde el agua se ha acumulado en gran cantidad y durante un período de tiempo prolongado. En esta situación, los síntomas más usuales son el enlodamiento, desecación y posterior defoliación del arbolado. Además, se produce la caída de los frutos que han permanecido en contacto con el agua.



Figura 3. Plantación de cítricos que presenta defoliación (izquierda) y caída acusada de frutos y desecación del arbolado (derecha). Fuente: Machetti, 2019.

Los cultivos hortícolas, por cultivarse a ras de suelo, son afectados por la acumulación de agua. La sintomatología es la muerte de la planta, enterramiento, enlodamiento y arrastre de frutos.

Debido a la fuerza de la riada, se pueden producir arrastre de ramas y otros materiales, incluso la caída o arranque de los árboles. La acumulación de estos materiales en las partes bajas produce pinchazos y rozaduras en los frutos.

En otoño de 2019, las inundaciones provocadas por una DANA provocaron la germinación de las semillas en las variedades precoces en el cultivo de arroz, donde no se había iniciado la recolección.

El rajado de los frutos junto con la acumulación de humedad, pueden provocar la pudrición de estos.

Además, en las explotaciones se producen daños indirectos, como son la imposibilidad de realizar la recolección en el tiempo adecuado o aplicar los tratamientos necesarios.

Por otro lado, la fuerza de la riada produce la caída de vallas y muretes, desaparición de los límites de parcelas y de la capa arable, arrastre de tierras y acumulación de todo tipo de materiales arrastrados.

2.3 Teledetección

La teledetección es una disciplina que permite la obtención de información del territorio mediante sensores remotos instalados en satélites o aeronaves. Estos sensores capturan datos en diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético, permitiendo analizar características físicas y químicas de la superficie terrestre.

En el estudio de inundaciones, las imágenes de radar de apertura sintética (SAR) son especialmente útiles, ya que pueden penetrar la cobertura nubosa y detectar la presencia de agua en la superficie, cuando las condiciones meteorológicas no son favorables. Además, la obtención de índices espectrales a partir de datos de sensores ópticos permite evaluar el estado de la vegetación y la humedad del terreno tras una inundación.

La aplicación de la teledetección permite cartografiar y determinar los límites que se pretenden estudiar tras una catástrofe con el fin de ayudar a la gestión y a la toma de decisiones ante de un desastre de estas características.

2.3.1 Definición de teledetección

La teledetección es el conjunto de técnicas que permite obtener información sobre la superficie terrestre sin estar en contacto directo con ella, a través del análisis de la energía electromagnética registrada por sensores instalados en plataformas aéreas o espaciales (Lillesand et al., 2015).

El Plan Nacional de Teledetección (PNT), liderado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) define la teledetección como la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

Se entiende por plataforma, al satélite o avión que transporta los sensores encargados de captar las imágenes a distancia, así como los sistemas necesarios para su almacenamiento y transmisión.

Mediante diversos sensores, se recopilan datos de forma remota que pueden analizarse para obtener información sobre los objetos, áreas o fenómenos que se pretenden investigar. Esta disciplina resulta especialmente útil para el monitoreo ambiental, ya que permite captar cambios espaciales y temporales en el territorio con una cobertura amplia y una periodicidad elevada.

Cabe destacar que las principales ventajas que aporta la teledetección frente al trabajo de campo son:

- La monitorización global de la tierra.
- Permite realizar estudios en regiones más amplias
- Capacidad de observación a distintas escalas.
- Permite realizar estudios multitemporales con mayor periodicidad.

Todas estas ventajas han ayudado al desarrollo de esta tecnología de manera sistemática en múltiples disciplinas como la agricultura, medio ambiente, gestión de desastres, estudios de biodiversidad, entre otras.

2.3.2 El espectro electromagnético

El rango completo de todas las longitudes de onda posibles de la radiación electromagnética, es decir, de la energía que viaja en forma de ondas a través del espacio se denomina espectro electromagnético. Esta radiación incluye desde ondas de radio de muy baja frecuencia hasta los rayos gamma de alta energía (Figura 4).

La radiación electromagnética se compone de campos eléctricos y magnéticos que oscilan perpendicularmente entre sí y a la dirección de propagación de la onda. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan a la velocidad de la luz en el vacío, pero se diferencian entre sí por su longitud de onda o frecuencia. El espectro electromagnético se divide en varias regiones, cada una con características y aplicaciones específicas.

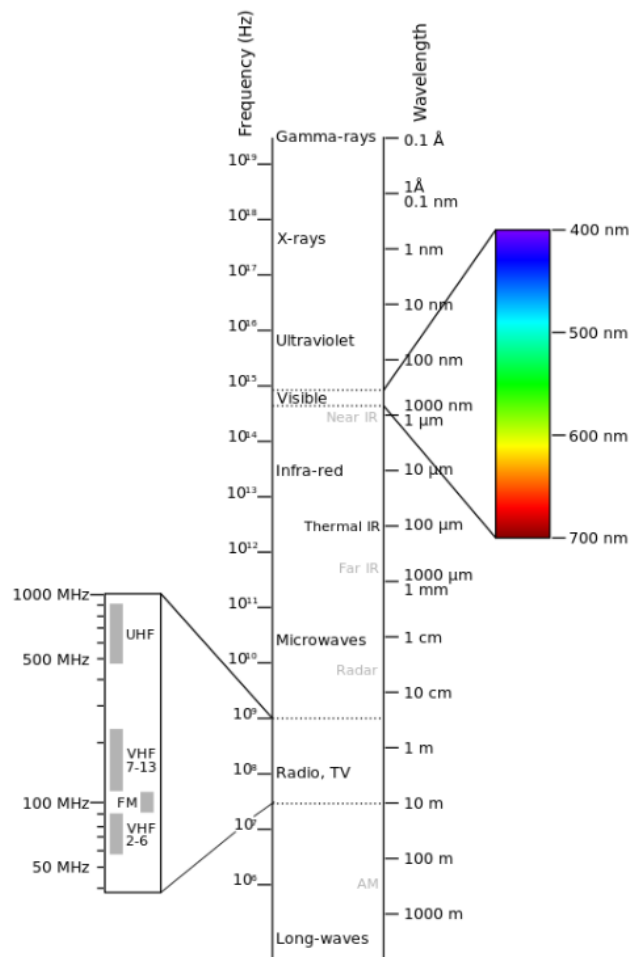


Figura 4. Rango del espectro electromagnético. Fuente: (Blacus, 2012)

Las regiones del espectro electromagnético más utilizadas en teledetección varían según la longitud de onda, y cada una aporta información específica sobre las características de los objetos observados. A continuación, se describen las más relevantes para la observación del territorio:

- Espectro visible (VIS): comprende las longitudes de onda entre aproximadamente 0,4 y 0,7 micrómetros. Es la única parte del espectro que puede ser percibida por el ojo humano. Se subdivide en tres franjas principales: azul (0,4–0,5 μm), verde (0,5–0,6 μm) y rojo (0,6–0,7 μm).
- Infrarrojo cercano (NIR, Near Infrared): abarca el intervalo entre 0,7 y 1,2 micrómetros. Es especialmente útil para la detección de vegetación y contenido de humedad, ya que la vegetación sana presenta una alta reflectancia en esta región.
- Infrarrojo de onda corta (SWIR, Short Wave Infrared): cubre el rango aproximado entre 1,2 y 2,5 micrómetros. Esta banda es adecuada para la estimación de contenido de humedad en vegetación y suelos, y también para la detección de focos de temperatura.
- Infrarrojo térmico (TIR, Thermal Infrared): se sitúa entre 8 y 14 micrómetros, aproximadamente. Esta región permite medir la radiación térmica emitida por los objetos, lo cual es útil para identificar variaciones de temperatura en la superficie terrestre.
- Microondas: esta región comprende longitudes de onda entre 1 milímetro y 1 metro. Estas ondas pueden atravesar la cobertura nubosa y funcionar en condiciones de escasa iluminación.

2.3.3 Tipos de sensores remotos

En función de la fuente de energía empleada, los sensores remotos se clasifican en dos grandes categorías: sensores pasivos y sensores activos. Ambos tipos son complementarios y presentan características que los hacen adecuados para diferentes aplicaciones.

- Sensores pasivos: Los sensores pasivos detectan la radiación electromagnética natural emitida o reflejada por los objetos de la superficie terrestre, principalmente la radiación solar. Funcionan en condiciones de iluminación natural, por lo que su capacidad de observación está limitada por la presencia de nubes y la disponibilidad de luz solar (Figura 5a).

- Sensores activos: Los sensores activos, por el contrario, emiten su propia fuente de energía hacia la superficie terrestre y miden la energía que es reflejada de vuelta al sensor. De esta forma, no dependen de la luz solar ni de las condiciones atmosféricas, siendo capaces de operar tanto de día como de noche, y en presencia de nubes, niebla o lluvia (Figura 5b)

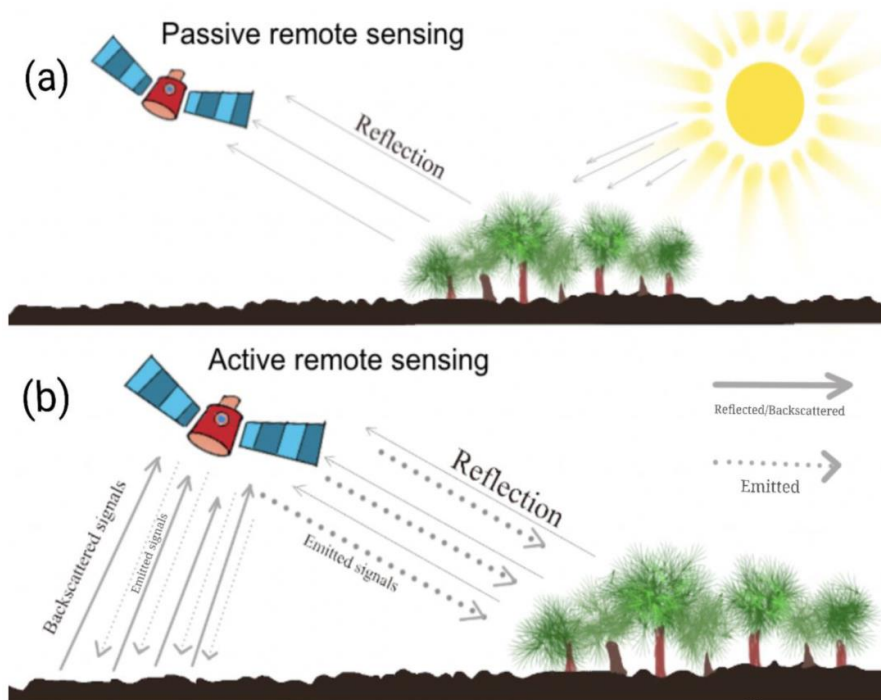


Figura 5. Esquema de funcionamiento de un sensor pasivo (a) y un sensor activo (b).
 Fuente: Janga et al., 2023.

Ambos tipos de sensores proporcionan información distinta pero complementaria. Debido a las características propias de cada sensor se ha optado por combinar imágenes ópticas de Sentinel-2 con imágenes SAR de Sentinel-1, lo que permitirá un análisis más robusto y completo del impacto de la DANA en el municipio de Catarroja.

2.3.4 El programa Copernicus

El programa Copernicus representa la iniciativa más ambiciosa hasta la fecha en lo que respecta a la observación del planeta Tierra. Su finalidad es ofrecer información geográfica precisa, actualizada y accesible, facilitando así una mejor gestión ambiental, el seguimiento del cambio climático y el refuerzo de la seguridad ciudadana.

La Comisión Europea y la Agencia Espacial Europea (ESA) pusieron en marcha de forma conjunta un proyecto destinado a establecer un sistema de vigilancia global en materia de

medio ambiente y seguridad. Esta iniciativa recibió inicialmente el nombre de GMES (Global Monitoring for Environment and Security).

Actualmente, la Comisión Europea actúa en representación de la Unión Europea como entidad encargada de definir los requisitos del programa y de coordinar sus distintos servicios, mientras que la ESA se ocupa de la organización y distribución de los datos generados.

Copernicus persigue, como objetivo principal, el desarrollo de una capacidad europea autónoma y sostenible que permita generar y distribuir información geográfica útil para aplicar políticas en materia ambiental y de protección civil. De esta forma, el programa contribuye de manera directa a la protección de la ciudadanía ante riesgos derivados de catástrofes naturales o provocadas por el ser humano.

Para responder a las necesidades de los usuarios en términos de información geoespacial, Copernicus se estructura en dos grandes componentes. Por un lado, el componente in situ recopila datos desde estaciones terrestres, marinas y aéreas. Por otro, el componente espacial permite obtener información global desde el espacio, aportando un valor estratégico clave para la monitorización continua del estado del planeta (Pérez, 2020).

2.3.5 Plataformas Sentinel

Para este estudio se ha decidido utilizar imágenes de Sentinel-1 y Sentinel-2. Sus características principales se describen a continuación.

2.3.5.1 Sentinel-1

La misión Sentinel-1 está formada por una constelación de dos satélites, Sentinel-1A y Sentinel-1B, que comparten el mismo plano orbital. Ambos están equipados con un radar de apertura sintética (SAR) que opera en banda C (longitud de onda de 5 cm), permitiendo la adquisición de imágenes independientemente de las condiciones de luz o nubosidad, tanto de día como de noche y bajo prácticamente cualquier circunstancia meteorológica.

El sistema puede trabajar en cuatro modos distintos de adquisición, ofreciendo diferentes combinaciones de resolución (hasta 5 metros) y cobertura espacial (hasta 400 km), con capacidad de polarización, cortos tiempos de revisita y entrega rápida de los productos.

El funcionamiento de Sentinel-1 está automatizado mediante una programación previa que asegura la captura sistemática de imágenes de alta resolución sobre todas las masas

terrestres, zonas litorales y rutas de navegación en aguas europeas, así como observaciones regulares en océanos a escala global. Esta estrategia proporciona un archivo de datos homogéneo y fiable, pensado para el desarrollo de aplicaciones basadas en series temporales prolongadas.

Sentinel-1A y Sentinel-1B comparten el mismo plano orbital, casi polar, sincrónico con el Sol, con una diferencia de fase orbital de 180° , con un ciclo de repetición de 12 días. Por tanto, un solo satélite Sentinel-1 es potencialmente capaz de cartografiar masas terrestres globales en el modo Interferometric Wide Swath (IW) una vez cada 12 días, en una sola pasada (ascendente o descendente). La constelación combinada de los dos satélites ofrece por tanto un ciclo de repetición exacto de 6 días en el ecuador.

El modo de adquisición seleccionado para este estudio es el de franja de cobertura IW que combina un ancho de barrido (swath) de 250 km con una resolución geométrica moderada de 5 x 20 metros. Es el modo de adquisición predeterminado y principal de Sentinel-1 sobre tierra con resoluciones geométrica y radiométrica adecuadas para la mayoría de las aplicaciones.

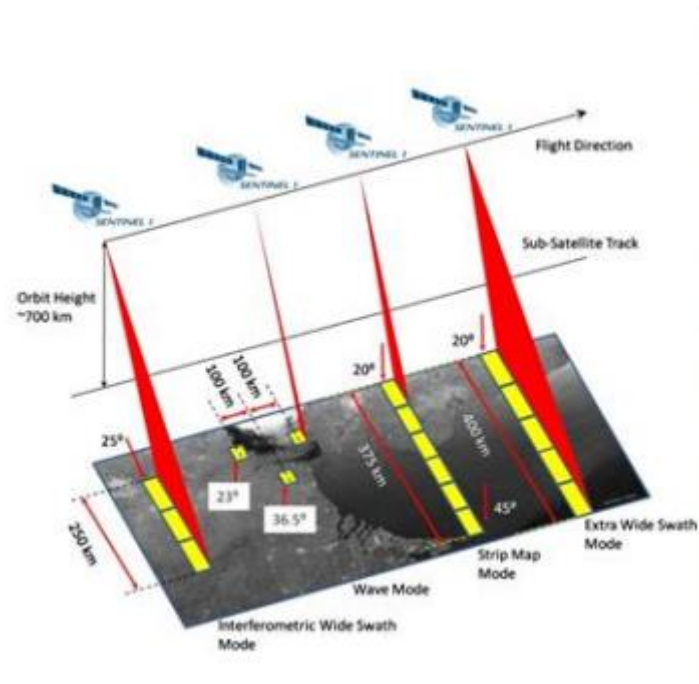


Figura 6. Modos de adquisición de Sentinel-1 (a la izquierda el modo IW).
Fuente: Pérez et al., 2020.

El producto generado y distribuido por la ESA utilizado en este estudio es el nivel de procesamiento Nivel-1 GRD (Ground Range Detected), es decir, cada píxel representa el promedio de varias medidas en la dirección de azimut.

Estos productos consisten en datos SAR procesados utilizando un modelo elipsoidal WGS84. Los píxeles incluyen el valor de amplitud o la fuerza del eco reflejado (Podest, 2024).

Para una mayor comprensión de la estructura de un archivo tipo, se presenta en la Figura 7 la nomenclatura de los productos distribuidos.

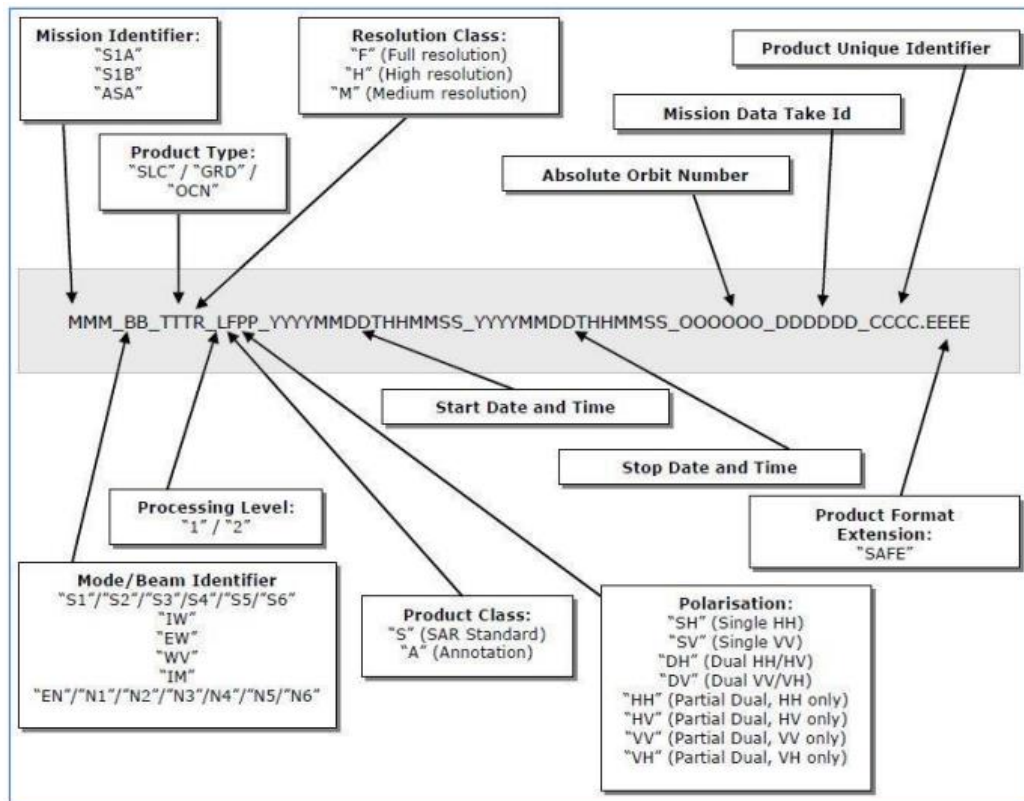


Figura 7. Nomenclatura del producto con el nivel de procesamiento Nivel-1 GRD de Sentinel-1.
Fuente: Pérez, 2020.

El modo de adquisición IW tiene muchas aplicaciones en estudios ambientales entre los que se destaca la vigilancia marina, estudios en agricultura y forestales, cartografía urbana, inundaciones y análisis de terremotos.

2.3.5.1.1 Principios de formación de una imagen radar

Una imagen radar se basa en el principio de que el sensor emite un pulso de energía en el rango de las microondas (Figura 4). Analizando el tiempo que transcurre desde que se emite el pulso hasta que regresa, junto con la intensidad del eco recibido, es posible calcular a qué distancia del sensor se encuentra el objeto sobre el que ha rebotado esa señal.

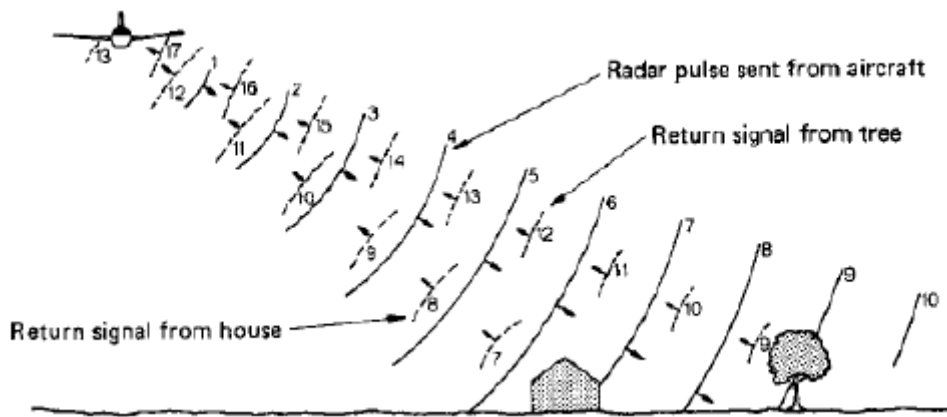


Figura 8. Representación de la propagación de un pulso de radar.
 Fuente: Lillesand et al., 2015.

La señal que regresa al sensor y que este registra depende de varios factores. Para poder identificar un objeto a partir de esa señal, se utiliza un parámetro clave conocido como coeficiente de retrodispersión. Este coeficiente indica cuánto rebota la señal sobre la superficie del objeto, algo que viene condicionado tanto por su forma como por sus propiedades dieléctricas (es decir, cómo responde a un campo electromagnético). Este coeficiente se expresa habitualmente en decibelios (dB). Esta medida puede variar dependiendo del ángulo con el que llega la señal, de la polarización y de la longitud de onda utilizada por el radar.

En teledetección radar, el ángulo de incidencia es el que forma el haz del radar con la vertical del terreno. Este ángulo varía en función de la posición del sensor respecto al relieve, lo que hace que la geometría de la imagen cambie a lo largo de la dirección del alcance. Este parámetro va a influir en la intensidad de cada píxel y al retorno de la dispersión superficial.

La polarización hace referencia a la orientación del campo eléctrico de una onda electromagnética (Álvarez, 2024). Los sensores radar transmiten un pulso y reciben el pulso retrodispersado. En este caso se tiene en cuenta la polarización del pulso transmitido y la del pulso recibido, con lo que la polarización en la que opera un sensor se denomina mediante dos letras (en base lineal horizontal (H) o vertical (V)) y puede ser directa (HH o VV) o cruzada (HV o VH).

La capacidad de penetración de una señal radar en vegetación o suelos secos depende tanto de la frecuencia como de la polarización. En general, cuanto mayor sea la longitud de onda, mayor será su penetración en la superficie. En cuanto a la polarización, las

combinaciones cruzadas (VH o HV) tienden a penetrar menos que las polarizaciones en la misma dirección (HH o VV).

A diferencia de la teledetección óptica, en la señal radar las ondas pueden penetrar algo en el terreno, por lo que la señal reflejada depende tanto de la superficie como del interior. La rugosidad, la humedad y las propiedades del material influyen en la respuesta. Los mecanismos de dispersión más dominantes son:

- Dispersión especular: Las superficies lisas reflejan poca o ninguna de la energía emitida de vuelta al sensor radar, y por eso saldrán oscuras en la imagen.
- Dispersión en superficie: A mayor rugosidad en superficie mayor será la retro-dispersión y más brillante se observará en la imagen radar.
- Dispersión por doble rebote. La señal del radar golpea un objeto vertical, se refleja hacia una superficie lisa, y luego se refleja nuevamente hacia el sensor del radar. Estas áreas se observarán con tonos muy brillantes.
- Dispersión por volumen: La vegetación tiene una rugosidad moderada comparada con la escala de las longitudes de onda radar y por eso aparecerán representadas en grises o grises claros en una imagen radar.

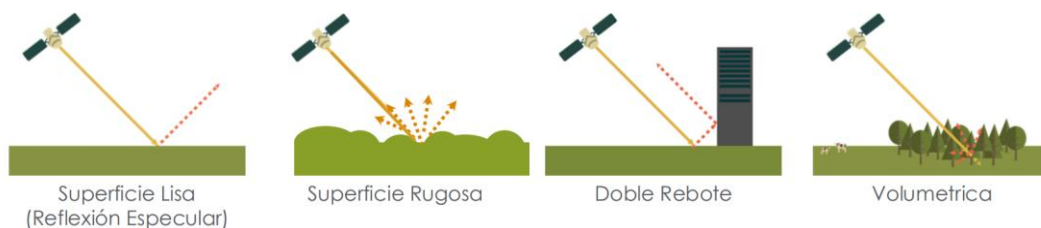


Figura 9. Mecanismos de dispersión De izquierda a derecha: reflexión especular por superficie lisa, dispersión por superficie rugosa, dispersión por doble rebote y dispersión por volumen.

Fuente: Podest, 2024.

En cada píxel de una imagen radar se agrupan muchas superficies y objetos que reflejan la señal, y lo que vemos es el resultado de la suma de todas esas interacciones. Debido a que estas señales individuales pueden interferir entre sí de forma aleatoria, las imágenes pueden aparecer con variaciones de brillo, generando una textura granulada. Este efecto es conocido como speckle o efecto "sal y pimienta".

Al aplicar filtros espaciales sobre áreas locales de píxeles para suavizar una imagen, se consigue reducir el efecto granulada a cambio de una menor resolución.

2.3.5.2 Sentinel-2

La misión Sentinel-2, desarrollada por la ESA en colaboración con la Comisión Europea y otros actores del sector espacial, estuvo formada inicialmente por dos satélites gemelos (Sentinel-2A y 2B). Actualmente los satélites gemelos son el Sentinel-2B y 2C y siguen la misma órbita, desfasados 180 grados entre sí, lo que permite una revisita de 5 días a la misma zona en el ecuador. Esta misión ofrece una amplia cobertura global entre los 56°S y 84°N, capturando datos de la superficie terrestre, aguas costeras y grandes islas.

Cada satélite está equipado con un sensor multiespectral (MSI) capaz de registrar 13 bandas espectrales con resoluciones de 10, 20 y 60 metros, facilitando el análisis de coberturas, cambios del terreno y aplicaciones como la ordenación territorial, seguimiento de cultivos y bosques, o monitorización de recursos naturales.

La órbita de la misión Sentinel-2 está sincronizada con el Sol (es de tipo heliosíncrona), permitiendo garantizar que el ángulo de la luz solar sobre la superficie de la Tierra se mantenga aproximadamente constante. Además de las pequeñas variaciones estacionales, el anclaje de la órbita de los satélites al ángulo del Sol minimiza el impacto potencial de las sombras y los cambios en los niveles de iluminación en el suelo, lo que contribuye a facilitar la coherencia en el tiempo, lo que es imprescindible en aplicaciones que hagan uso de series temporales de datos.

El nivel de procesamiento utilizado para este estudio de toda la gama de productos Sentinel-2 es el Nivel-2A (L2A). En este nivel se aplican correcciones atmosféricas para proporcionar las imágenes con niveles digitales expresados en valores de reflectancia reales a nivel de superficie (BOA, Bottom-Of-Atmosphere reflectances). Este producto posee unas dimensiones de 100 x 100 km.

El formato de nomenclatura de los productos Nivel-2A de Sentinel 2 se presenta en la Figura 10.

MMM_MSILNN_YYYYMMDDHHMMSS_Nxxyy_ROOO_Txxxxx_<Product Discriminator>.SAFE

Los productos contienen dos fechas:

- La primera fecha (YYYYMMDDHHMMSS) corresponde a la adquisición.
- La segunda fecha es el campo "<Product Discriminator>", que tiene una longitud de 15 caracteres y se utiliza para distinguir entre diferentes productos para usuarios finales.

Los otros componentes del nombre de archivo son:

- **MMM**: es el ID de misión y satélite (S2A / S2B).
- **MSILNN**: denota el nivel del producto nivel (1C/2A).
- **YYYYMMDDHHMMSS**: la hora de inicio de la detección del Datatake.
- **Nxxyy**: el número de línea de base de procesamiento.
- **ROOO**: Número de órbita relativa (R001 - R143).
- **Txxxxx**: Código de identificación del tile.
- **SAFE**: Formato de producto (Formato de archivo estándar para Europa)

Figura 10. Nomenclatura de los productos con nivel de procesamiento 1C/2A de Sentinel-2.

Fuente: Pérez et al., 2020.

2.3.5.2.1 Características de las imágenes Sentinel-2

El principio físico que interviene en la formación de una imagen Sentinel-2 se basa en la captura del sensor de la energía electromagnética que refleja la Tierra procedente del sol, la almacena y la transmite a una estación de recepción y procesamiento donde los datos se convierten en imágenes digitales. La imagen procesada se interpreta, para extraer información acerca de los objetos que fueron iluminados.

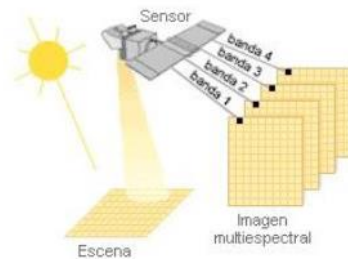


Figura 11. Esquema de formación de una imagen multispectral de Sentinel-2.

Fuente: Pérez et al., 2020

La señal que captura el sensor es un fenómeno continuo en cuatro dimensiones: espacio, tiempo, longitud de onda y detección de energía. Por esta razón, las características principales de las imágenes de satélite comprenden cuatro tipos de resolución.

La resolución temporal de cada satélite de la misión Sentinel-2 por separado es de 10 días, duplicándose la frecuencia al estar los dos operativos, alcanzándose por tanto una resolución temporal de 5 días bajo las mismas condiciones de iluminación.

La resolución espacial es una medida de la distancia angular o lineal más pequeña que puede captar un sensor remoto de la superficie de la Tierra, y viene representada por un píxel. Un píxel es la unidad mínima que conforma una imagen digital (Labrador et al., 2012).

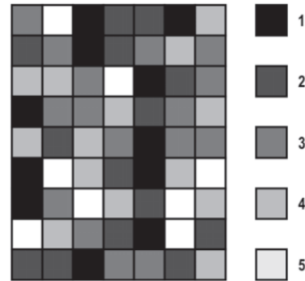


Figura 12. Representación de una imagen digital (7x9 píxeles). Cada píxel representa un área de la superficie terrestre y cada uno hace referencia a distintos niveles de energía detectada.
Fuente: Labrador et al., 2012.

La resolución espacial de cada una de las bandas de Sentinel-2 es de 10, 20 y 60 metros y se resume en la Figura 13.

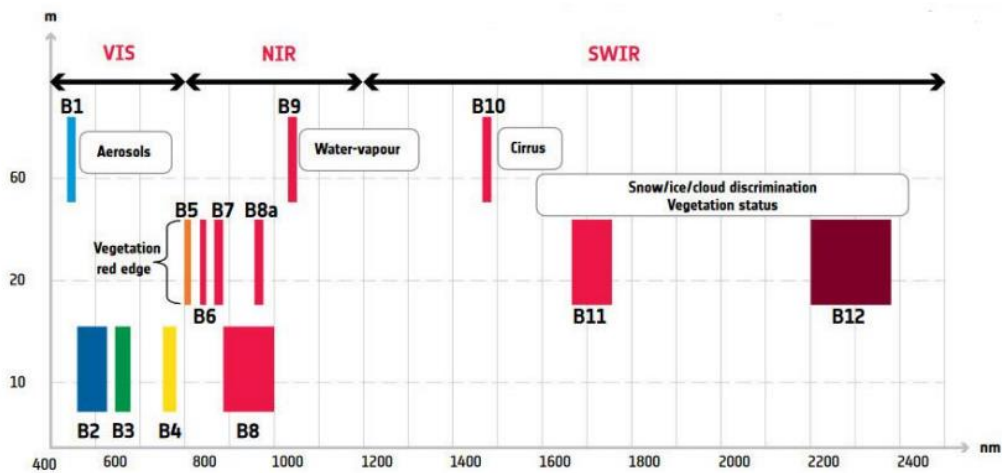


Figura 13. Resolución espacial para cada banda del satélite Sentinel-2.
Fuente: Toribio, 2019

La resolución radiométrica hace referencia a la capacidad de un sensor para detectar pequeñas diferencias en la energía reflejada o emitida por los objetos en la superficie terrestre. En términos prácticos, indica cuántos niveles digitales (ND) pueden asignarse a la intensidad de la señal captada. En el caso del instrumento MSI, esta resolución es de 12 bits, lo que significa que cada píxel puede registrar valores de intensidad de luz en un rango que va de 0 a 4095, permitiendo una mayor precisión en la representación de variaciones sutiles en la reflectancia.

Los sensores de teledetección no captan todo el espectro electromagnético, sino que registran la radiación en rangos específicos de longitudes de onda, conocidos como bandas espectrales o canales. La resolución espectral se refiere a la cantidad de bandas y al grado de precisión con que un sensor puede distinguir entre diferentes longitudes de onda (Labrador et al., 2012).

Los datos de Sentinel-2 se adquieren en 13 bandas tal y como muestra la Figura 14.

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (µm)	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

Figura 14. Bandas del satélite Sentinel-2. Fuente: Pérez et al., 2020.

Los índices radiométricos son cálculos matemáticos realizados a partir de los valores de reflectancia registrados en diferentes bandas espectrales de sensores ópticos satelitales (Chuvienco, 2008). Estos índices permiten resaltar determinadas propiedades biofísicas de la superficie terrestre, como la cobertura vegetal, la humedad del suelo o la presencia de barro.

Se basan en la relación entre bandas espectrales específicas, que tienen distinto comportamiento según el tipo de cobertura del terreno. Las bandas disponibles y sus posibles combinaciones hacen que existan gran variedad de índices. A continuación, se destacan los que se utilizarán en el estudio:

- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI): es el índice más utilizado para estimar la vigorosidad y densidad de la vegetación y está asociado a la respuesta del infrarrojo cercano y rojo (Jensen, 2007).

- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (Soil Adjusted Vegetation Index, SAVI): es una variante del NDVI que introduce un factor de corrección del suelo para minimizar su influencia en áreas con escasa vegetación. Es especialmente útil en regiones donde el suelo desnudo puede alterar los valores del NDVI (Huete, 1988).
- Índice de barro de inundación (Flood Mud Index, FMI): útil para áreas inundadas con alta carga de sedimentos, como las zonas fangosas. El índice utiliza la banda roja y azul, ya que mejora la capacidad de detección de este tipo de inundaciones turbias (Alcaras, 2025).

2.4 Sistemas de información geográfica

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta que permite almacenar, gestionar, analizar y representar datos espaciales (Longley et al., 2015). Es decir, combina información geográfica (la localización de objetos o fenómenos sobre la superficie terrestre) con información alfanumérica (atributos o características de esos objetos).

Gracias a los SIG, es posible trabajar con mapas de forma digital, integrando distintas fuentes de datos para analizar relaciones espaciales, identificar patrones y tomar decisiones fundamentadas.

Los formatos utilizados en este estudio son los siguientes:

- Capas vectoriales: Representan los elementos geográficos mediante geometrías como puntos, líneas y polígonos. Cada geometría está asociada a una tabla de atributos que almacena la información de ese objeto.
- Capas ráster: Se basa en una estructura de celdas o píxeles. Cada píxel tiene un valor asociado, que puede representar distintas características. Las capas ráster son más adecuadas para representar fenómenos continuos.



Figura 15. Ejemplo de esquema de datos SIG.
Fuente: Sergieieva, 2022.

2.5 Análisis multitemporales

El análisis multitemporal se basa en comparar imágenes tomadas en diferentes fechas con el objetivo de detectar cambios en el territorio a lo largo del tiempo (Ochoa, 2023). En el contexto de inundaciones causadas por una DANA, esta herramienta resulta muy útil para:

- Comparar el antes y el después del evento, identificando claramente las zonas afectadas.
- Observar cómo evoluciona el nivel del agua con el paso del tiempo y cómo se recupera el terreno.
- Medir la pérdida de vegetación y valorar el posible impacto en la producción agrícola.

Para abordar estos aspectos relacionados con el cambio, es necesario considerar la duración temporal del fenómeno y la persistencia de los efectos que se han generado. Debido a que la comparación de imágenes se realiza a nivel de píxel, es necesario aplicar ciertas correcciones debido a las diferencias entre las fechas de adquisición.

La detección de cambios es una técnica de análisis multitemporal que consiste en analizar las modificaciones que ha sufrido una región entre dos o más fechas.

Algunas técnicas para detección de cambios que propone Chuvieco (1998), enfocadas en el ámbito ambiental, son:

- Composiciones multitemporales. La composición en color formada por imágenes de distintas fechas permite detectar los cambios visualmente. Asignando cada

imagen con una fecha distinta a los distintos cañones RGB (Red, Green, Blue) se visualizarán las áreas con diferentes tonalidades en función de si han variado o no los niveles digitales.

- Diferencia entre imágenes. Mediante una comparación aritmética de bandas procedentes de dos fechas, es posible detectar si ha habido cambios en sus niveles digitales. Valores cercanos a cero indicarán zonas estables mientras que valores significativamente distintos a este valor indicarán cambios.
- Componentes principales. De manera general, esta técnica se emplea para sintetizar información y eliminar la redundante en un conjunto de variables. En el caso de la detección de cambios, las primeras componentes no son las más interesantes ya que contienen la información común de ambas fechas o, en otras palabras, la estable. Por otro lado, las últimas componentes ofrecen la información útil en este contexto.

3 OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es evaluar el impacto de la DANA (2024) en el municipio de Catarroja mediante el análisis de imágenes de satélite y realizar una estimación económica de los daños producidos en las parcelas agrícolas.

La evaluación tiene como fin la discusión de los resultados a los cuales se llegarán mediante una serie de etapas.

En primer lugar, se va a poner en contexto el entorno natural, analizar la zona geográfica y caracterizarla mediante Sistemas de Información Geográfica para comprender el alcance del impacto.

Seguidamente, se expondrá la metodología para obtener y delimitar las áreas afectadas por el evento con diferentes técnicas de teledetección.

El análisis multitemporal permitirá la observación de los cambios.

Para finalizar, se va a estimar el impacto económico sobre las parcelas agrícolas del municipio, en función de los daños producidos.

4 ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se centra en analizar el impacto de las inundaciones provocadas por una DANA en Catarroja (Comunidad Valenciana), a finales de octubre de 2024. Para poner en contexto la situación, se pretende realizar un estudio geográfico y describir el entorno natural de la zona afectada.

La información cartográfica se ha trabajado en el sistema de coordenadas oficial ETRS89 y proyectadas en el sistema UTM Zona 30N. Las imágenes que se descargan en el sistema WGS84 también se han proyectado en el sistema antes mencionado.

Para la descripción del entorno natural se han consultado numerosas fuentes de información, tales como:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN)
- Infraestructura de Datos Espaciales de Valencia (IDEV)
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)
- Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET)
- Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ)
- Ministerio para la transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)

4.1 Situación geográfica

Catarroja es un municipio que pertenece a la provincia de Valencia, ubicado al sureste de la península ibérica, dentro de la comarca de L’Horta Sud. Se encuentra a escasos 8 km de la ciudad de Valencia, lo que la sitúa en una posición estratégica dentro del área metropolitana de la capital. Esta cercanía la convierte en una zona muy influenciada por la dinámica urbana y de servicios del entorno valenciano.

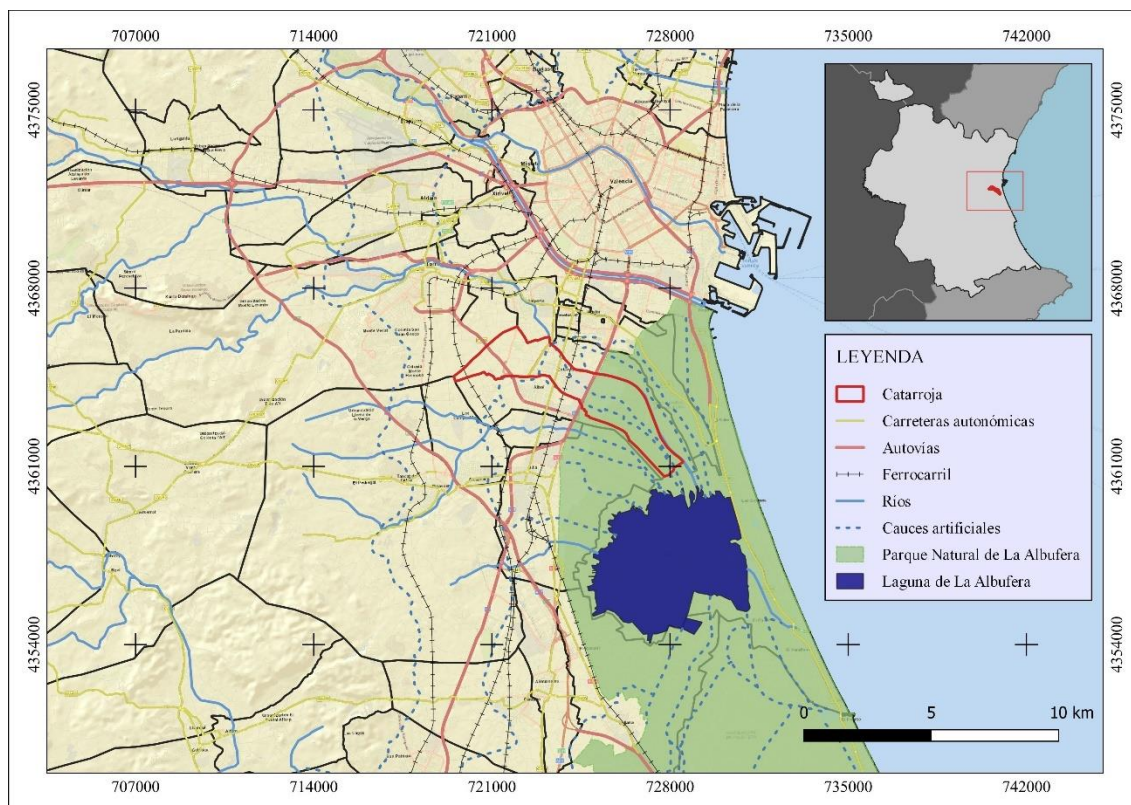


Figura 16. Situación geográfica (1) del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia con datos de la Base Cartográfica Nacional de Valencia (BCN200) y Mapa Provincial (MP200).

Limita al norte con Albal y Benetússer, al este con Alfafar y Massanassa, al sur con Albal y al oeste con la zona agrícola del entorno del Parque Natural de La Albufera. Su término municipal es relativamente pequeño, con una superficie de aproximadamente 13 km², pero muy diverso en cuanto a usos del suelo: encontramos tanto áreas urbanizadas y de servicios, como superficies agrícolas intensivas y espacios naturales protegidos.

Uno de los aspectos más relevantes desde el punto de vista geográfico es su relación directa con el Parque Natural de la Albufera (Figura 16). La parte oriental del municipio está integrada en este entorno, por lo que parte del término se encuentra condicionado por normativas de protección ambiental. Esto influye tanto en los usos del suelo como en la gestión de los recursos hídricos, especialmente en todo lo relacionado con la actividad agrícola (principalmente arrozales) y la conservación del ecosistema.

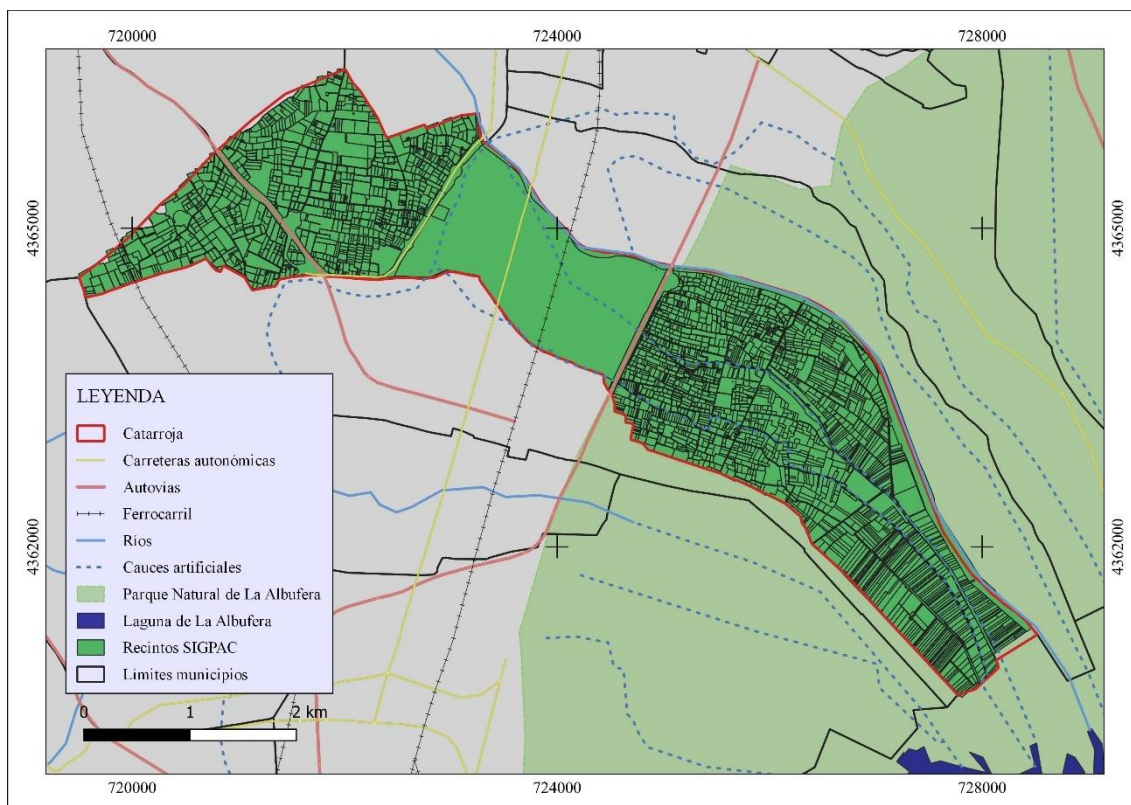


Figura 17. Situación geográfica (2) del municipio de Catarroja. Distribución de recintos SIGPAC. Fuente: elaboración propia con datos de la Base Cartográfica Nacional de Valencia (BCN200) y Mapa Provincial (MP200).

En resumen, Catarroja es un municipio con una ubicación privilegiada y compleja: está en una zona de transición entre lo urbano y lo rural, con alto valor agrícola, fuerte presión urbanística y una clara sensibilidad ambiental por su conexión directa con la Albufera. Todos estos elementos condicionan su desarrollo y también lo convierten en un caso de estudio especialmente interesante para trabajos de análisis territorial y ambiental.

4.2 Relieve

Para el estudio del relieve se ha utilizado el Modelo Digital del Terreno (MTD) proporcionado por la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales, con paso de malla de 5 metros de píxel generado a partir de vuelo LiDAR de 0,5 puntos por metro cuadrado.

El relieve de Catarroja es predominantemente llano, con una altitud media que ronda los 10 metros sobre el nivel del mar (Figura 18), lo que, junto a su proximidad a zonas húmedas y la red de acequias tradicionales, la convierte en una zona muy sensible a eventos meteorológicos extremos como lluvias torrenciales o episodios de inundación.

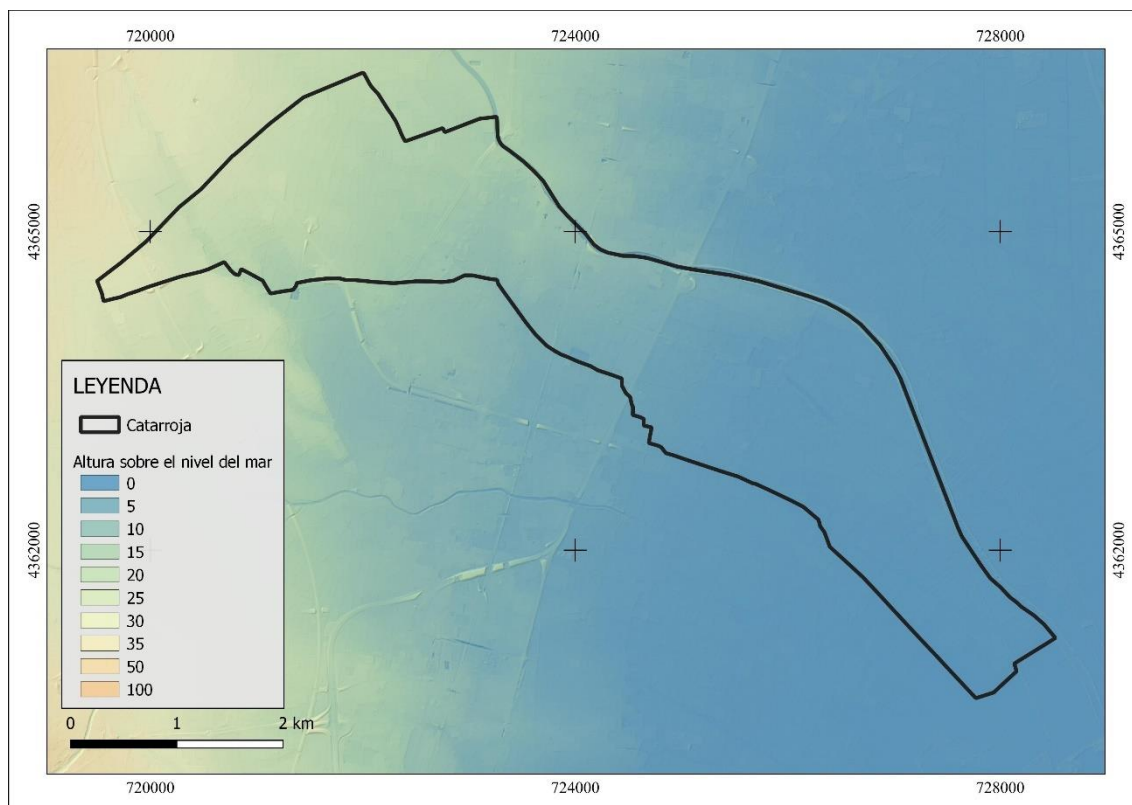


Figura 18. Mapa de altitudes del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia con datos del MTD en formato ráster con paso de malla de 5 metros de píxel proporcionado por la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales.

A partir del MTD05 en formato ráster, mediante la herramienta “Pendiente” de QGIS, se ha elaborado el mapa de pendientes (Figura 20). La clasificación se ha realizado en función del gradiente de pendientes propuesto por la organización Food and Agriculture Organization (FAO).

Clase	Descripción	%
01	Plano	0-0,2
02	Nivel	0,2-0,5
03	Cercano al nivel	0,5-1,0
04	Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
05	Ligeramente inclinado	2-5
06	Inclinado	5-10
07	Fuertemente inclinado	10-15
08	Moderadamente escarpado	15-30
09	Escarpado	30-60
10	Muy escarpado	> 60

Figura 19. Gradiente de pendientes propuesto por FAO.

La zona se encuentra clasificada como clase 3, donde las pendientes se distribuyen entre el 0 y 1% en la mayoría del territorio. En las zonas cercanas a cauces y barrancos la pendiente alcanza el 30%.

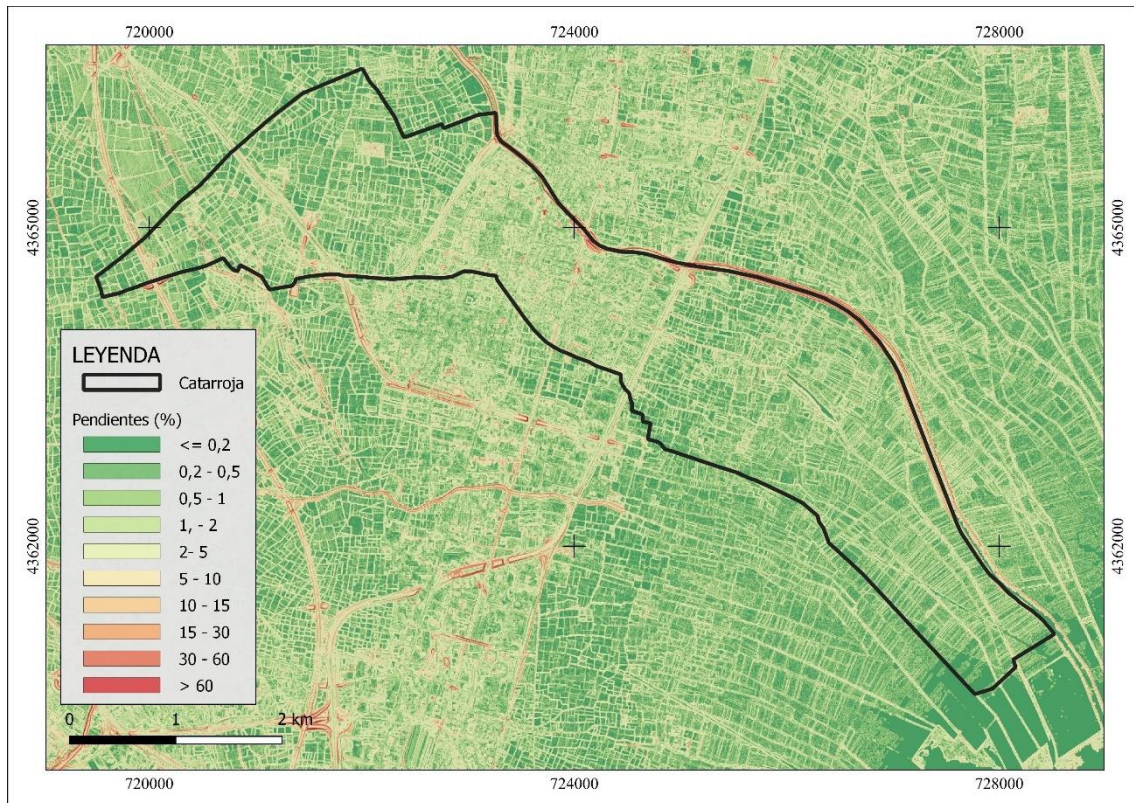


Figura 20. Mapa de pendientes del municipio de Catarroja. Fuente: elaboración propia calculado a partir del MTD en formato ráster con paso de malla de 5 metros de píxel proporcionado por la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales.

4.3 Climatología

Catarroja tiene un clima mediterráneo con veranos cálidos y secos, e inviernos suaves y algo lluviosos, influido por su cercanía al mar y su posición en la llanura aluvial junto al lago de la Albufera.

El clima mediterráneo típico, Csa en la clasificación climática de Köppen, es un tipo de clima mediterráneo y subtropical que se caracteriza por veranos secos, calurosos y con temperaturas medias por encima de los 22 °C; e inviernos húmedos y lluviosos, con temperaturas suaves.

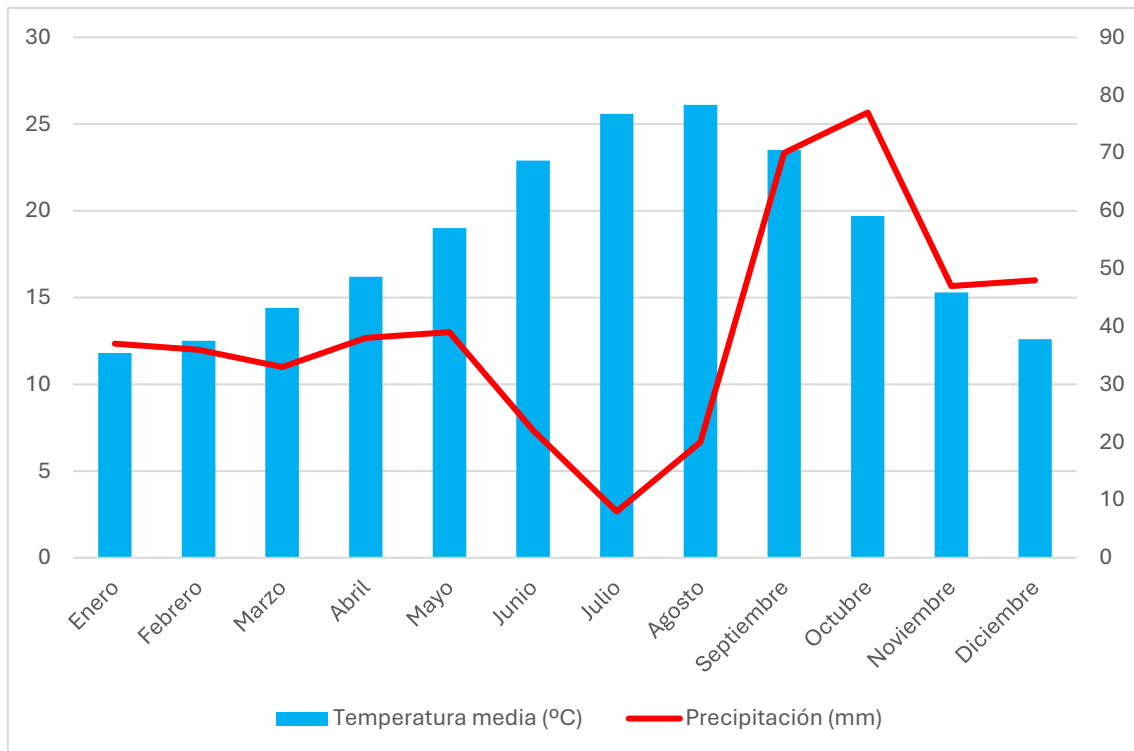


Figura 21. Valores de temperatura y precipitación media mensual en la región de Valencia. Fuente: elaboración propia con datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de la estación de Valencia 8416.

Las temperaturas medias máximas se alcanzan en los meses de julio y agosto, alcanzando los 26 °C. El mes más frío es enero con casi 12 °C de temperatura media.

El período seco coincide con los meses de verano, siendo julio la temporada más seca del año. La temporada de lluvias comienza en septiembre y octubre con una precipitación media de 70 mm. Las lluvias se mantienen estables durante el invierno y la primavera con una precipitación media mensual de aproximadamente 40 mm.

El día 29 de octubre de 2024 las autoridades advirtieron del paso de una DANA por la región mediterránea que provocó fuertes lluvias y graves inundaciones en la Comunidad Valenciana. El fenómeno dejó registros de lluvia históricos, con hasta 600 l/m² en 5 horas en Turís, y más de 250-300 litros por metro cuadrado en muchas zonas de Valencia (Gómez, 2024)

Gracias a los datos proporcionados por la Asociación Valenciana de Meteorología (AVAMET) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), se ha realizado un mapa de precipitaciones en la provincia de Valencia para ese día.

Se han utilizado las estaciones propiedad de AVAMET, algunas estaciones asociadas y auditadas por la organización y las estaciones de la AEMET. Estos datos, formado por

una capa de puntos geolocalizados, contienen los valores de precipitación del día 29 de octubre. Mediante la interpolación inversa de la distancia ponderada (IDW), se han estimado los valores de precipitación en ubicaciones no muestreadas mediante un método basado en la distancia a los puntos de muestra conocidos.

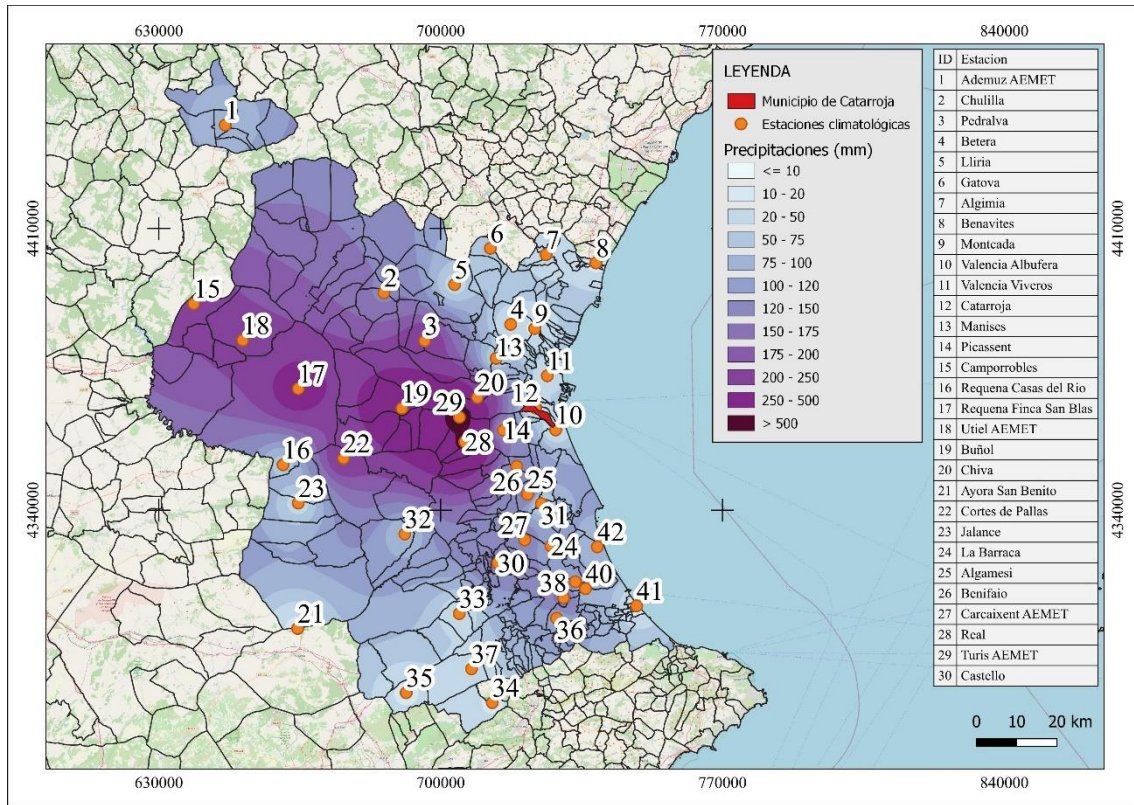


Figura 22. Mapa de precipitaciones de la provincia de Valencia con datos del día 29 de octubre de 2024. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de las estaciones de la AVAMET y la AEMET.

Como muestra la Figura 22 el frente nuboso aparece por la zona occidental de la provincia dejando unas precipitaciones de más de 500 mm en la región de Turís, seguido del municipio de Requena con precipitaciones entre 250 y 500 mm. Como se observa, el frente se disipa hacia la costa de Valencia.

De igual forma, estas lluvias aumentaron el caudal de los cauces en toda la región, desde las zonas con mayores precipitaciones hasta las zonas cercanas al nivel del mar, lo que ha provocado el desbordamiento en números puntos a lo largo de la extensión de estos cauces y barrancos.

4.4 Hidrología

El municipio se encuentra casi dividido a la mitad por las subcuencas del Barranco de Torrent y el Barranco de Picassent, que pertenecen a la Cuenca Hidrográfica del Júcar. El río Bajo Turia recorre los límites del municipio desde el norte hasta el suroeste. Esta parte del río está catalogado por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) como zona de riesgo potencial de inundación.

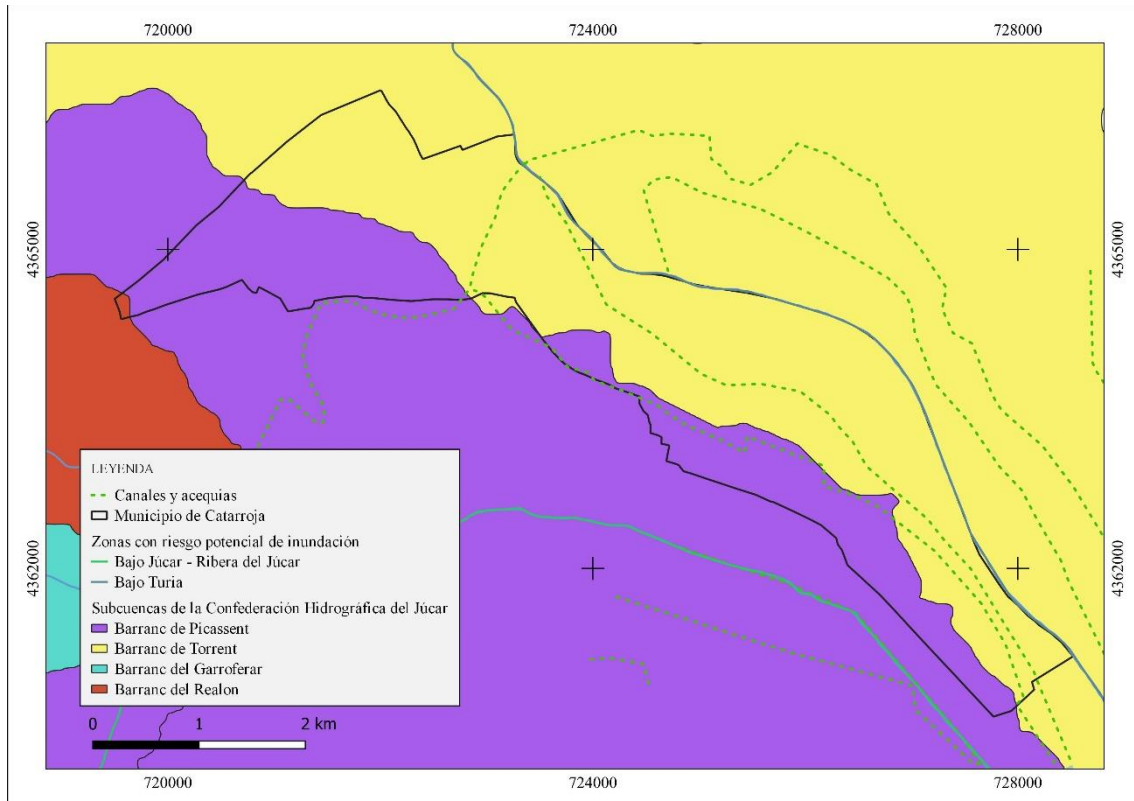


Figura 23. Mapa de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la CHJ.

Desde el punto de vista hidrológico, el municipio está atravesado por una densa red de canales, acequias y sistemas de drenaje que forman parte del sistema histórico de riego de la huerta valenciana.

4.5 Geología

La geología del municipio de Catarroja está marcada por su ubicación en una llanura costera muy cercana a la costa mediterránea y junto a la Albufera de Valencia. El terreno sobre el que se asienta se compone principalmente de abanicos aluviales recientes, conos de deyección y depósitos propios del entorno lacustre de la Albufera. Estos elementos condicionan tanto la morfología del terreno como su uso agrícola y urbano.

Por un lado, los abanicos aluviales son formaciones típicas de zonas donde cursos de agua que descienden desde áreas más elevadas pierden pendiente y velocidad, lo que provoca que los sedimentos arrastrados (gravas, arenas, limos) se depositen en forma de abanico al pie de la pendiente (Gómez et al., 1988). En el caso de Catarroja, estos abanicos provienen de materiales arrastrados desde el interior de la provincia por ramblas y barrancos intermitentes.

Junto a ellos encontramos los conos de deyección, que son formaciones similares a los abanicos aluviales, pero que suelen estar más relacionados con depósitos torrenciales. En general, ambos tipos de depósitos son típicos de zonas con dinámica fluvial activa, aunque en este caso se consideran recientes (cuaternarios), es decir, geológicamente jóvenes. Además, una parte importante del territorio de Catarroja está influida directamente por su proximidad a la Albufera de Valencia, un entorno húmedo con suelos muy planos, ricos en materiales arcillosos, limosos y orgánicos, resultado de siglos de sedimentación en un ambiente de marjales. Este tipo de suelos son típicos en zonas palustres o de humedales, con una alta presencia de materia orgánica y muy influenciados por el nivel freático superficial (de Santiesteban et al., 2009).

En resumen, la geología de Catarroja es el resultado de procesos recientes ligados a la deposición de sedimentos en zonas bajas, lo que da lugar a suelos fértiles, planos y con ciertas limitaciones en cuanto a drenaje natural. Todo ello ha condicionado históricamente el uso agrícola intensivo de la zona, especialmente el cultivo de arroz, así como su vulnerabilidad ante fenómenos de inundación.

4.6 Edafología

Según la clasificación de la FAO, en el término municipal de Catarroja predominan los Fluvisoles, un tipo de suelo típico de zonas con depósitos aluviales recientes (Añó et al., 2023). Estos suelos se forman a partir de materiales transportados por ríos.

En concreto, en Catarroja es frecuente el Fluvisol Éútrico, que presenta:

- Un horizonte superficial (A) ócrico.
- Alta saturación de bases.
- Un perfil poco desarrollado, tipo AC, con restos de estratificación que dificultan la diferenciación clara de horizontes.

Además, estos suelos suelen encontrarse en zonas bajas y próximas a cursos de agua, por lo que:

- Necesitan buen drenaje artificial.
- Son propensos a inundaciones, sobre todo si no se gestionan correctamente.
- Se usan tradicionalmente en huertas y cultivos de regadío.
- En caso de drenaje excesivo, pueden acidificarse rápidamente.

4.7 Vegetación

La vegetación natural de Catarroja está profundamente condicionada por su ubicación en la llanura aluvial de la Albufera, su uso agrícola intensivo y la proximidad al Parque Natural de la Albufera. Aunque hoy gran parte del territorio está transformado por la actividad humana, especialmente por el cultivo de arroz y la horticultura, aún se conservan algunos elementos de la vegetación original, sobre todo en las zonas más próximas a la lámina de agua y a los marjales.

En su estado natural, sin intervención humana, el paisaje estaría dominado por bosques de ribera, en zonas húmedas, con sauces, álamos y olmos.

Según las series de vegetación de Rivas Martínez, Catarroja pertenece a las Geomegaserias riparias mediterráneas y regadíos en la región mediterránea.

La vegetación de esta serie corresponde a bosques de ribera que se disponen en mayor o menor medida próximos al cauce en función de los diferentes requerimientos hídricos. Entre las especies de vegetación ribereña que definen estos paisajes se encuentran el *Salix alba*, *Salix fragilis*, *Populus alba*, *Ulmus minor* y *Fraxinus angustifolia*.

También pueden aparecer algunas especies halófitas, plantas que viven total o parcialmente sumergidas, como la lenteja de agua, ranúnculos acuáticos y algas y fitoplancton, que son base de la cadena trófica del ecosistema.

Para la clasificación de los cultivos en el municipio, se ha descargado la capa vectorial de recintos del Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas (SIGPAC) de 2025, utilizando el plugin de QGIS “SIGPAC Downloader” con el código de municipio de Catarroja 46096.

La capa de recintos SIGPAC no tiene catalogadas las parcelas donde se realiza el cultivo de arroz y, por esta razón, se ha realizado una modificación en los atributos de esta capa. Las tierras arables clasificadas en los usos SIGPAC y que están integradas en el recinto del Parque Natural están catalogadas por el Corine Land Cover (CLC) de 2018 como arrozales. Mediante técnicas de selección por atributos y localización se ha reclasificado la capa de recintos con el fin de representar este cultivo tan característico de la zona de Valencia.

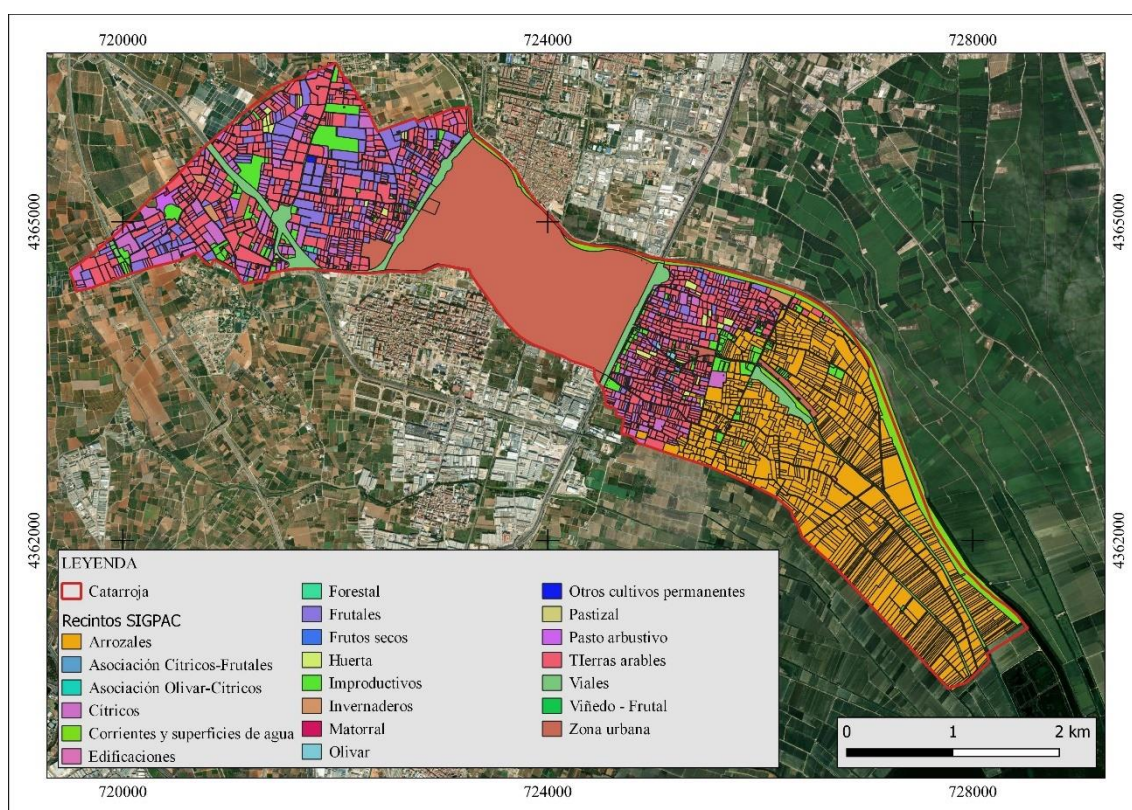


Figura 24. Mapa de usos SIGPAC. Fuente: Elaboración propia con bases de datos de ocupación del suelo.

La clasificación por usos SIGPAC y superficie se muestra en la siguiente tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Superficies de cada uso SIGPAC en el municipio de Catarroja.

Usos SIGPAC	Superficie (ha)
Arrozales	386,23
Asociación cítricos-frutales	0,08
Asociación olivar-cítricos	0,16
Cítricos	108,37
Corrientes y superficies de agua	80,46
Edificaciones	0,45
Forestal	0,77
Frutales	73,73
Frutos secos	0,57
Huerta	7,46
Improductivos	58,35
Invernaderos y cultivos bajo plástico	4,20
Matorral	2,59
Olivar	0,91
Otros cultivos permanentes	0,46
Pastizal	1,86
Pasto arbustivo	4,06
Tierras arables	245,26
Viales	76,66
Viñedo - frutal	0,02
Zona urbana	260,06
TOTAL	1312,74

4.8 Fauna

Catarroja se encuentra en un entorno especialmente rico en fauna debido a su ubicación estratégica entre la laguna de la Albufera, los arrozales, y las acequias y marjales que conectan el medio natural con el urbano. Esto favorece la presencia de una biodiversidad notable, especialmente en aves acuáticas, peces autóctonos y algunos reptiles y mamíferos asociados a zonas húmedas.

El grupo faunístico más abundante y emblemático es el de las aves acuáticas y limícolas, muchas de ellas protegidas. Algunas especies clave son:

- Garza real (*Ardea cinerea*) y garza imperial (*Ardea purpurea*)
- Garceta común (*Egretta garzetta*)
- Ánade real (*Anas platyrhynchos*)
- Focha común (*Fulica atra*)

- Cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*), en peligro de extinción
- Chorlitejo chico (*Charadrius dubius*) y otras limícolas
- Zampullín chico (*Tachybaptus ruficollis*)
- Flamenco común (*Phoenicopterus roseus*), ocasionalmente

Además, es una zona clave de paso migratorio, con una gran concentración de aves durante los periodos de migración e invernada. También hay numerosas especies de aves insectívoras y paseriformes ligadas a los cultivos de arroz y huerta.

Las acequias, canales y la propia laguna albergan varias especies de peces, algunas autóctonas y otras introducidas:

- Fartet (*Aphanius iberus*), endémico y protegido
- Samaruc (*Valencia hispanica*), otra especie amenazada
- Carpa común, gambusia, anguila europea, etc.

Entre los anfibios y reptiles más comunes:

- Gallipato (*Pleurodeles waltl*)
- Sapo corredor, rana común
- Culebra viperina, muy habitual en zonas húmedas

Aunque menos visibles, también encontramos mamíferos adaptados a este medio:

- Nutria paleártica (*Lutra lutra*), en recuperación
- Rata de agua, erizo común
- Pequeños roedores y murciélagos, especialmente en los márgenes agrícolas y urbanos

El entorno húmedo y agrícola favorece también una gran diversidad de insectos, muchos de ellos polinizadores o bioindicadores, como:

- Libélulas y caballitos del diablo
- Mariposas de humedal
- Numerosos coleópteros acuáticos

4.9 Espacios protegidos

El Parque Natural de la Albufera es uno de los humedales más importantes del Mediterráneo occidental, tanto por su valor ecológico como por su diversidad de hábitats y especies. Desde hace décadas cuenta con diversas figuras de protección ambiental, entre ellas su declaración como Lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) dentro de la Red Natura 2000 de la Unión Europea.

Un LIC es una zona designada por albergar hábitats o especies de interés para la conservación a nivel europeo, de acuerdo con la Directiva Hábitats (92/43/CEE). En el caso de la Albufera, se protege por la presencia de:

- Humedales temporales mediterráneos.
- Zonas de praderas halófilas.
- Sistemas de dunas litorales con vegetación adaptada.
- Comunidades acuáticas y marjales.
- Presencia de especies como el fartet, un pez endémico en peligro de extinción.

Una ZEPA está recogida en la Directiva Aves (2009/147/CE) y tiene como objetivo conservar especies de aves silvestres y sus hábitats. La ZEPA de la Albufera es una de las más relevantes del sur de Europa porque:

- Es un punto clave para la migración de aves entre África y Europa.
- Alberga colonias de cría de especies emblemáticas.

Además, el ecosistema del arrozal juega aquí un papel crucial, ya que, aunque es artificial, actúa como hábitat complementario, alimenticio y de descanso para muchas de estas aves.

En el caso de La Albufera, estas protecciones han sido clave para frenar su degradación y promover su recuperación ecológica, aunque todavía existen retos importantes relacionados con la calidad del agua, la presión urbanística y la compatibilidad con la agricultura.

5 METODOLOGÍA

El presente trabajo plantea una metodología basada en el uso combinado de imágenes de satélite para analizar las consecuencias de la DANA que afectó al municipio de Catarroja en 2024. El objetivo no es solo identificar las zonas inundadas, sino también estimar el impacto económico sobre las superficies agrícolas.

Para extraer la superficie inundada, se utilizarán imágenes radar de apertura sintética (SAR), concretamente procedentes del satélite Sentinel-1, que resultan especialmente útiles en contextos de nubosidad intensa y precipitaciones, al no depender de la luz solar ni de condiciones atmosféricas ópticas para captar la información del terreno.

En paralelo, se recurrirá a imágenes de sensores ópticos, como Sentinel-2, que ofrecen bandas espectrales en el visible e infrarrojo cercano (NIR), ideales para calcular índices radiométricos que permiten evaluar el estado de la vegetación, estimar la humedad del suelo y detectar presencia de barro o sedimentos en zonas donde el radar puede ofrecer información difícilmente interpretable.

La integración de ambas tecnologías permitirá realizar un análisis multitemporal, comparando el estado del terreno antes y después del evento meteorológico.

Posteriormente, los resultados se cruzarán con la información de los usos del suelo para cuantificar la superficie dañada y estimar el impacto económico.

5.1 Materiales

Las imágenes han sido descargadas desde Copernicus Open Access Hub, la plataforma del programa Copernicus.

En cuanto a la selección de las imágenes de Sentinel-1 (Tabla 2), se han tenido en cuenta algunos criterios:

- Dirección de la órbita ascendente. Esta condición se establece porque la imagen de mayor relevancia para el análisis es adquirida en órbita ascendente. De esta manera, se mantiene la variabilidad geométrica en todas las imágenes.
- Número relativo de órbita: 103
- El área de interés debe estar contenida en una misma tesela (huella).

Tabla 2. Características de las imágenes Sentinel-1

Plataforma	Modo de adquisición	Nivel de procesamiento	Polarización	Fecha de captura
Sentinel-1A	IW	Nivel-1 GRD	VV+VH	19 de octubre de 2024
Sentinel-1A	IW	Nivel-1 GRD	VV+VH	31 de octubre de 2024

Los criterios de selección de imágenes de Sentinel-2 (Tabla 3) son los siguientes:

- Nivel de procesamiento: L2A.
- ID de la tesela: 30SYJ, ya que abarca por completo la zona de interés.
- Número relativo de órbita: 51

Tabla 3. Características de las imágenes Sentinel-2

Plataforma	Instrumento	Nivel de procesamiento	Fecha de captura
Sentinel-2A	MSI	Nivel-2A	26 de octubre de 2024
Sentinel-2B	MSI	Nivel-2A	31 de octubre de 2024
Sentinel-2B	MSI	Nivel-2A	10 de noviembre de 2024

La imagen del 31 de octubre es la imagen disponible más próxima al evento, pero debido a la alta cobertura nubosa (57%), sólo será utilizada para estimar la superficie de barro y realizar las composiciones en color.

Por otro lado, con el fin de que los índices representen valores lo más cercanos a la realidad se van a utilizar las imágenes del 26 de octubre (antes del evento) y 10 de noviembre (después del evento), ya que la cobertura nubosa es del 21% y 35% respectivamente.

En general, las imágenes del evento deben ser de fechas próximas a él para que las condiciones sean similares.

Como herramienta para el procesado y análisis de las imágenes se ha utilizado SNAP versión 11.0 como motor principal junto con QGIS, versión 3.16; ArcGIS Pro, versión 3.2 y ERDAS IMAGINE, versión 9.1.

5.2 Análisis del impacto

5.2.1 Delimitación de la huella de inundación

Antes de proceder a la extracción de las zonas inundadas, es imprescindible aplicar una serie de operaciones de preprocesamiento a las imágenes SAR. Este tratamiento tiene como objetivo mejorar la calidad geométrica y radiométrica de los datos originales, así como eliminar el ruido de este tipo de sensores. El flujo seguido se basa principalmente en las directrices del programa Copernicus y en los materiales formativos de la NASA (ARSET), y se resume en los siguientes pasos:

1. Corrección orbital. Permite mejorar la precisión geométrica de la imagen, corrigiendo pequeñas desviaciones en la posición del satélite durante la adquisición.
2. Calibración radiométrica. La calibración convierte los niveles digitales de la imagen en valores radiométricamente calibrados de retrodispersión.
3. Reducción de speckle. Se aplica un filtro para reducir el speckle, un tipo de ruido característico de las imágenes radar causado por la interferencia de las ondas reflejadas. Este paso mejora significativamente la calidad visual y la consistencia de los datos.
4. Corrección geométrica. Esta corrección ajusta la imagen a una proyección cartográfica estándar, corrigiendo distorsiones geométricas asociadas al ángulo de visión lateral del radar. Esta etapa permite trabajar con coordenadas geográficas precisas y cruzar la información con otras capas SIG.
5. Conversión a decibelios (dB). Finalmente, se transforma la imagen desde valores lineales a decibelios para facilitar su interpretación y análisis. Esta conversión se realiza aplicando una función logarítmica estándar.

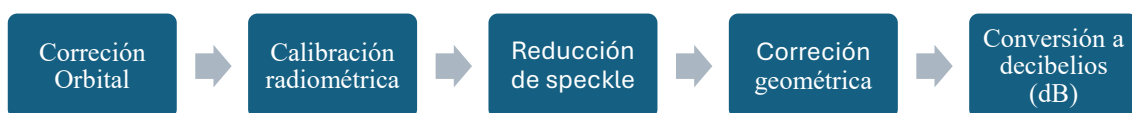


Figura 25. Flujo de trabajo para el procesamiento de imágenes Sentinel-1

Previamente, se ha realizado un recorte de las imágenes centrando el área de estudio con el fin de trabajar con imágenes con menos espacio de almacenamiento.

Para la eliminación del ruido característico de las imágenes SAR se han probado 8 filtros que ofrece la plataforma SNAP. Para no realizar filtros muy agresivos se han utilizado

ventanas móviles de 3x3 y 5x5. Estas ventanas móviles se deslizan por la imagen aplicando diferentes algoritmos que estiman el valor real del píxel.

Se han calculado las estadísticas y se han comparado los histogramas de las imágenes filtradas entre ellas y con la imagen original para seleccionar el filtro que más se adapta al estudio. Para la elección del filtro se ha tenido en cuenta:

1. La distribución de los datos agrupados alrededor de la media.
2. El ENL (Equivalent Number of Looks) mide la relación entre la media al cuadrado y la varianza. Cuanto más alto el valor, mejor es la eficacia del filtro.
3. El SNR (Signal to Noise Ratio) se define como el cociente entre la media y su desviación típica y mide la homogeneidad de un conjunto de datos. Valores más altos indican mayor eficacia del filtro.
4. El SSI (Speckle Supression Index) multiplica el coeficiente de variación de la imagen filtrada por el SNR. Este índice tiene a ser menor que 1 cuando el filtro es eficiente al reducir el ruido.
5. Preservación de bordes en relación con la eliminación de ruido (análisis visual).

La elección de la polarización para la extracción de las máscaras de agua se va a justificar en función de cómo los datos de cada píxel de agua y no agua se distribuyen en los histogramas.

Como muestra la Figura 27, en zonas de cultivo, el aumento de las precipitaciones y el contenido de humedad del suelo produce un aumento de la señal de retrodispersión como consecuencia del doble rebote del pulso (zonas brillantes). Cuando el suelo está totalmente inundado, se produce la dispersión especular y la señal se reduce (zonas oscuras).

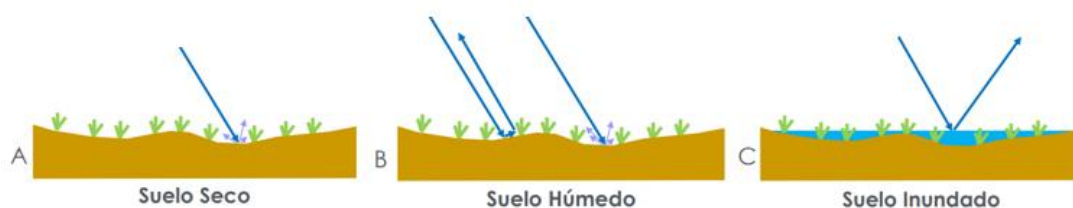


Figura 26. Fenómeno de dispersión en tierras de cultivo inundadas. De A a B, la retrodispersión aumenta con la humedad del suelo. C, al aumentar el nivel del agua, la retrodispersión se debilita como consecuencia de la reflexión especular. Fuente: (Podest, Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. Sesión 1: Introducción al Radar de Apertura Sintética, 2024)

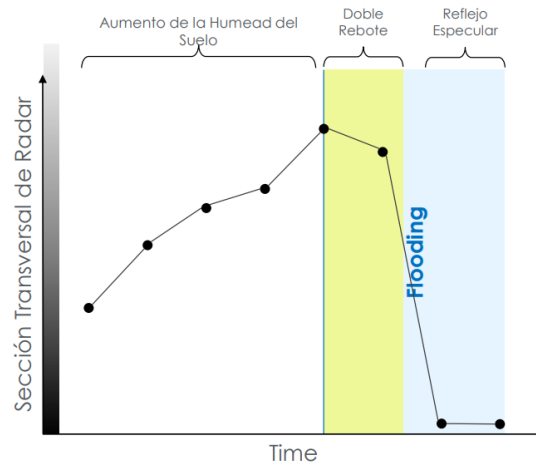


Figura 27. Respuesta relativa de señal SAR en tierras de cultivo. Al aumentar la humedad del suelo la señal se vuelve más brillante. Cuando el suelo se inunda por completo, se produce la dispersión especular y la zona se representa con píxeles más oscuros. Fuente: (Podest, Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. Sesión 1: Introducción al Radar de Apertura Sintética, 2024)

Una vez finalizado el flujo de trabajo presentado en la Figura 25 se procede a la selección del umbral de separación entre agua y no agua. Como muestra la Tabla 4 se van a seleccionar los valores menores a -20 dB.

Tabla 4. Valores de retrodispersión en función de distintas superficies. Fuente: Pérez et al., 2020

Valores de retrodispersión	Superficies típicas
Muy alto (más de -5 dB)	Ambientes urbanos
	Pendientes orientadas hacia el sensor
	Superficies muy rugosas
Alto (de -10 dB a 0 dB)	Superficies rugosas
	Vegetación densa (bosques)
Moderado (de -20 dB a -10 dB)	Niveles medios de vegetación
	Cultivos
	Superficies moderadamente rugosas
Bajo (menos de -20 dB)	Superficies lisas
	Aguas en calma
	Carreteras
	Suelos muy secos (arenas)

Dado que diferentes tipos de superficie pueden presentar valores bajos de retrodispersión (inferiores a -20 dB), no es suficiente aplicar un umbral fijo para identificar zonas afectadas. Por ello, se ha optado por realizar un análisis de diferencia multitemporal, calculando la variación de retrodispersión píxel a píxel entre las imágenes anteriores y posteriores al evento.

Este enfoque permite detectar únicamente los cambios ocurridos en la escena, independientemente del valor absoluto de retrodispersión. Como resultado, aquellas superficies que mantengan valores bajos, pero no hayan experimentado cambios reales entre fechas, se excluyen automáticamente de la máscara final, evitando así falsos positivos en la detección de zonas inundadas.

5.2.2 Delimitación de la huella de barro

La huella de barro se va a extraer de la imagen Sentinel-2 del 31 de octubre de 2024 y debido a la alta cobertura nubosa presente en la imagen se va a asumir que en las zonas bajo las nubes no hay barro.

Debido a que el nivel de procesamiento de esta imagen es Nivel-2A no es necesario realizar ningún tipo de procesamiento previo debido a que ya ha sido corregida atmosféricamente, georreferenciada y con valores de reflectancia en superficie.

El índice FMI (Flood Mud Index o Índice de inundación de barro) se desarrolló con el objetivo de identificar zonas inundadas con alto contenido de sedimentos. Las zonas inundadas con presencia de barro aparecen de color marrón debido a la presencia de sedimentos. Por esta razón, este índice utiliza la banda roja (Red) y la azul (Blue), para mejorar la detección de estas inundaciones cargadas de sedimentos (Alcaras, 2025).

El índice se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$FMI = \frac{Red - Blue}{Red + Blue}$$

Cuando el agua es limpia y clara existe mayor reflexión del azul, por lo que el valor en esta banda será mayor y el valor del índice tenderá a -1. Los valores cercanos a cero pueden representar suelos húmedos o agua con baja carga de sedimentos debido a que la reflexión de ambas bandas es similar. Se asocian las zonas con alta carga de sedimentos los valores cercanos a 1.

5.2.3 Análisis visual con imágenes Sentinel-2

En este apartado se pretende analizar el impacto provocado por las inundaciones. Para ello, se realizarán composiciones en color de las imágenes post evento y se comentarán los aspectos clave de cada una de ellas.

Por otro lado, se van a calcular algunos índices para detección del estado de la vegetación y analizar sobre los resultados el daño provocado por el evento.

Como complemento al análisis radar, se ha llevado a cabo una evaluación visual mediante imágenes ópticas del satélite Sentinel-2, con el fin de identificar visualmente los cambios en el uso del suelo y la vegetación tras el evento DANA. Debido a que las bandas de las imágenes tienen distintos tipos de resolución espacial, se van a remuestrear las bandas 11 y 12 de una resolución de 20 metros a 10 metros.

La estrategia seguida incluye la generación de composiciones en color, construidas mediante el apilamiento de bandas específicas y su asignación a los canales RGB. Estas composiciones permiten representar de forma intuitiva distintas características del terreno:

- Color verdadero (RGB): combina las bandas roja (B4), verde (B3) y azul (B2), simulando la visión del ojo humano. Es útil para observar cultivos, zonas urbanas y cuerpos de agua de forma similar a una fotografía aérea.
- Infrarrojo color (IR color): utiliza el infrarrojo cercano (B8), el rojo (B4) y el verde (B3), asignados a los canales R, G y B respectivamente. Esta combinación potencia la detección de vegetación activa, que se muestra en tonos rojizos intensos debido a su alta reflectancia en el infrarrojo cercano.
- Infrarrojo de onda corta (SWIR color): se ha utilizado una combinación específica (B12-B8-B4) que permite discriminar con claridad las zonas húmedas o inundadas respecto al terreno seco, gracias a la absorción diferencial de las bandas en el infrarrojo de onda corta. La vegetación se observa en tonos verdes y el agua en un rango de azules.

5.2.4 Índices de vegetación

5.2.4.1 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

En el ámbito de la teledetección, la comparación entre la reflectividad de las bandas del infrarrojo cercano (NIR) y del rojo (Red) constituye una herramienta fundamental para evaluar el estado de la vegetación. Esta relación espectral permite identificar tanto áreas con vegetación sana y vigorosa como aquellas que presentan signos de debilitamiento (Manrique, 1999).

Esta relación espectral, que aprovecha la fuerte reflectancia del infrarrojo cercano y la alta absorción del rojo visible por parte de la vegetación activa, ha dado lugar a diversos índices. El más conocido y empleado es el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), cuya formulación fue desarrollada por Rouse et al. en 1973 y que se expresa mediante la fórmula:

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

Una de las principales ventajas del NDVI es que sus valores están acotados entre -1 y +1, lo que facilita su interpretación y permite representar con claridad las diferencias en el vigor vegetativo.

5.2.4.2 Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

En zonas donde la cobertura vegetal es escasa y el fondo del suelo interfiere de forma significativa, puede aplicarse el SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), propuesto por Huete en 1988. Este índice introduce un factor de corrección (L) que compensa la influencia del suelo en la respuesta espectral. En general, se considera un valor medio de L de 0,5, adecuado para condiciones de cobertura intermedia y se expresa mediante la fórmula:

$$SAVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red + L} \times (1 + L)$$

5.3 Análisis multitemporal

En este estudio, se han empleado tres enfoques complementarios con el objetivo de identificar y caracterizar las modificaciones ocurridas en el territorio como consecuencia del evento meteorológico. Estas metodologías combinan tanto el análisis visual como el cuantitativo, permitiendo una interpretación más completa de los resultados.

5.3.1 Composiciones multitemporales

Las composiciones en color a partir de imágenes de distintas fechas permiten detectar visualmente los cambios ocurridos en la zona de estudio. Este procedimiento consiste en asignar a cada canal de color (rojo, verde y azul) una imagen correspondiente a una fecha distinta: una previa al evento y otra posterior. Cada píxel del resultado final es una

combinación de valores de reflectancia, y su color proporciona una interpretación directa del cambio.

Este método se ha aplicado a los índices de vegetación. En concreto, se han generado composiciones RGB utilizando las imágenes del NDVI, el SAVI. Para las imágenes Sentinel-1, el procedimiento ha sido análogo, utilizando la polarización VH para cada una de las fechas seleccionadas.

5.3.2 Diferencia entre imágenes

Como segundo enfoque, se ha llevado a cabo una comparación directa entre imágenes de dos fechas (pre y post evento), mediante la diferencia de los índices calculados. Este procedimiento permite cuantificar los cambios en los niveles digitales de forma sencilla y directa. Se han generado dos productos de diferencia: dNDVI, dSAVI que representan el cambio en nuestra área de interés.

Los valores cercanos a cero se interpretan como áreas estables, sin modificaciones significativas, mientras que los valores positivos o negativos elevados indican zonas donde ha habido una ganancia o pérdida en las condiciones superficiales.

5.3.3 Análisis de componentes principales (ACP)

Finalmente, se va a realizar un análisis de componentes principales sobre imágenes ópticas Sentinel-2, utilizando las bandas 2 (azul), 4 (rojo), 8 (infrarrojo cercano) y 12 (infrarrojo de onda corta), correspondientes a las fechas anterior y posterior al evento. Esta técnica tiene como objetivo reducir la redundancia de la información contenida en las bandas, sintetizando las principales fuentes de variabilidad.

5.4 Mapa de impacto

Una vez delimitadas las diferentes huellas del evento, se procede a generar un mapa de afecciones. Esta operación consiste en la superposición aritmética de las siguientes capas: la huella de la inundación obtenida mediante análisis de imágenes SAR (imagen del 31 de octubre obtenida de Sentinel-1), la huella de barro extraída a partir del índice FMI (imagen del 31 de octubre obtenida de Sentinel-2), y las zonas de cambio en la cobertura del suelo identificadas con la diferencia del índice NDVI.

Cada una de estas capas se multiplica por un valor identificativo (Tabla 5). No obstante, más allá de los valores asignados, lo que se busca es entender la procedencia y naturaleza de las fuentes del impacto detectados en cada zona.

Tabla 5. Valores identificativos asignados por capa para el cálculo del mapa de afecciones.

Capa	Valor identificativo
Huella de la inundación	1
Huella de barro	2
Cambios en la cobertura del suelo	4

A través de una operación aritmética simple (suma de valores por píxel), se combinan las distintas huellas en una única capa, en la que cada píxel refleja si ha sido afectado por uno o varios de los siguientes factores: presencia de agua, depósito de barro, o alteración en la cobertura del suelo.

La clasificación de las fuentes de impacto, resultado de la operación anterior, se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de las fuentes de impacto y sus combinaciones del mapa de afecciones

Identificador	Fuentes de impacto
0	Sin afección
1	Inundación
2	Acumulación de barro
3	Inundación y acumulación de barro
4	Cambios en la cobertura del suelo
5	Cambios en la cobertura del suelo por inundación
6	Cambios en la cobertura del suelo por acumulación de barro
7	Cambios en la cobertura del suelo por inundación y acumulación de barro

Este mapa permite, por un lado, analizar la distribución espacial de las distintas fuentes de impacto. Por otro lado, el resultado se va a convertir en una capa vectorial, para poder cuantificar la superficie total afectada y se va a comparar con la cartografía de la zona inundada, elaborada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio a partir de múltiples fuentes

Finalmente, los resultados se van a cruzar con la información vectorial de usos del suelo, con el objetivo de identificar de forma precisa qué parcelas han sido afectadas. Este cruce de información será clave para la posterior estimación económica de los daños y para evaluar la incidencia del evento sobre el tejido agrario del municipio.

5.5 Estimación de los daños producidos en cultivos agrícolas

La estimación económica de los daños agrícolas provocados por un evento meteorológico extremo como la DANA de 2024 representa una fase fundamental dentro del análisis del impacto. Más allá de la caracterización visual y espacial de las zonas afectadas, conocer el alcance económico de las pérdidas permite cuantificar el perjuicio real sufrido por los productores, facilita la toma de decisiones por parte de las administraciones competentes, y sirve como base para el diseño de medidas compensatorias o de prevención futura. En este contexto, la teledetección no sólo aporta herramientas eficaces para delimitar las zonas afectadas, sino que se convierte en un medio objetivo y reproducible para asociar dichas afecciones a pérdidas económicas.

La evaluación propuesta en este estudio se basa en la relación directa entre la superficie afectada y el valor económico asignado a cada parcela en función de su uso agrícola. Para ello, se utilizarán como referencia las bases de precios medios de la tierra proporcionados por el MAPA y la Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca de la Generalitat Valenciana.

La intersección de las áreas afectadas, a partir de la huella de la DANA y de barro, con la capa de usos agrícolas del SIGPAC permitirá estimar la superficie afectada por tipología de cultivo.

Se han descargado distintas bases de los precios de las tierras y poder comparar los resultados finales:

- Los precios medios de la tierra por tipo de cultivo de la Comunidad Valenciana (Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca de la Generalitat Valenciana, 2023), en adelante PMTCV.
- Los precios medios de la tierra por tipo de cultivo de la provincia de Valencia (Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca de la Generalitat Valenciana, 2023), en adelante PMTV.
- Los precios medios nacionales de las tierras Comunidad Autónoma y tipo de cultivo (MAPA, 2023), en adelante PMTNAC

Se han tomado ciertas consideraciones a la hora de preparar las tablas de precios:

- Para los usos SIGPAC, las parcelas catalogadas como tierras arables integradas en el Parque Natural se han reclasificado como arrozales.
- Para los precios del PMTCV y PMTV, se consideran cultivos herbáceos como tierras arables y las hortalizas al aire libre como huerta.
- Se han incluido en el PMTV, los precios de frutos secos en regadío del PMTCV.
- Se han incluido en el PMTCV y PMTV, los precios de olivar en regadío del PMTNAC.
- Se han incluido en el PMTNAC y PMTV, los precios de aprovechamientos del PMTCV.
- Se consideran aprovechamientos todos los usos destinados al ámbito agroforestal (matorral, pastizal, pastos y forestal).
- El valor de invernaderos o cultivos bajo plástico se ha extraído de la encuesta de precios medios nacionales de la tierra del MAPA de 2022.
- Los precios para las asociaciones de cultivos se han promediado en función del valor de los cultivos asociados.
- Las parcelas de cítricos en secano se van a considerar en regadío, ya que suponen una superficie muy pequeña y no se han encontrado precios para este tipo de cultivo.
- Se han eliminado las asociaciones de cultivos con una superficie menor al 0,0001%.

La Tabla 7 muestra un resumen de los usos del suelo y los códigos para cada una de las listas de precios creadas:

Tabla 7. Códigos de usos de suelo para cada una de las bases de datos empleadas. Fuente: elaboración propia con datos de la Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca de la Generalitat Valenciana y el MAPA.

Descripción	Usos SIGPAC	Código PMTNAC	Código PMTCV	Código PMTV
Arrozales	AR*	Arroz	Arroz	Arroz
Asociación cítricos-frutales	CF	-	-	-
Asociación olivar-cítricos	OC	-	-	-
Cítricos	CI	Cítricos	Cítricos	Cítricos
Forestal	FO	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**
Frutales	FY	Frutales de clima templado	Frutales de clima templado	Frutales de clima templado
Frutos secos	FS	Frutos secos	Frutos secos	Frutos secos
Huerta	TH	Huerta	Hortalizas al aire libre	Hortalizas al aire libre
Invernaderos y cultivos bajo plástico	IV	Cultivos bajo plástico	-	-
Matorral	MT	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**
Olivar	OV	Aceituna de almazara	Aceituna de almazara	Aceituna de almazara
Pastizal	PS	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**
Pasto arbustivo	PR	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**	Aprovechamientos**
Tierras arables	TA	Tierras arables	Cultivos herbáceos	Cultivos herbáceos
Viñedo - frutal	VF	-	-	-

*SIGPAC clasifica los cultivos de arroz como tierras arables

** Los aprovechamientos son todos aquellos usos destinados al ámbito agroforestal (forestal, pastizal y pasto arbustivo)

El cálculo del valor del suelo será determinado en función de si existe regadío o no, pero su fórmula será la descrita a continuación:

$$\text{Valor del suelo (€)} = \text{Superficie (ha)} \times \text{Precio del suelo (€/ha)}$$

Por otro lado, se van a revisar los calendarios de siembra, recolección y comercialización de la Comunidad Valenciana (datos de 2014-2016) y analizar la evolución de los principales cultivos de la región según el boletín de información agraria (referidos al 4º trimestre de 2024) para determinar el estado fenológico de los cultivos en las parcelas afectadas.

La estimación económica de las pérdidas productivas se ha realizado mediante una metodología que combina información espacial, estadística agraria y datos económicos oficiales. El proceso se ha desarrollado en varias fases.

Se ha partido de la información de usos del suelo del sistema SIGPAC, que permite conocer con precisión las parcelas cultivadas y el tipo de cultivo presente en el municipio de Catarroja.

A partir de la capa final de afección generada en el análisis geoespacial, se ha delimitado la superficie de cada cultivo afectada por la DANA.

Para cada cultivo analizado, se han recopilado los siguientes datos:

- Superficie total cultivada en la provincia de Valencia (fuente: MAPA y datos de la Generalitat Valenciana).
- Balance de producciones medias de cada cultivo en toneladas.
- Precio medio nacional del producto (€/t), según estadísticas oficiales del MAPA.
- Cálculo de las pérdidas de producto.

Se ha estimado la pérdida de producto teniendo en cuenta el porcentaje de superficie cultivada, afectada y el estado fenológico, con respecto al total cultivado en la provincia de Valencia).

Posteriormente, se ha valorado económicamente la pérdida de producto aplicando el precio medio por tonelada.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 La huella de la inundación

El análisis mediante imágenes SAR ha permitido identificar con claridad las áreas afectadas por acumulaciones de agua tras el evento.

El filtro IDAN para la reducción del ruido ha demostrado ser el óptimo ya que la distribución de los datos, representados en los histogramas (Figura 28), está muy bien agrupada alrededor de la media en las dos clases agua/no agua.

Además, como se muestra en la Tabla 8 el filtro IDAN ha conseguido los mejores resultados (marcados en negrita).

Tabla 8. Valores estadísticos para cada uno de los filtros empleados.

Tipo de filtro	Media	Desviación estándar	CV	ENL	SNR	SSI
No filter	-17,9622	4,8861	-0,272	13,5141	3,6762	
Lee 3x3	-17,7247	4,6935	-0,2648	14,2614	3,7764	0,9735
Lee 5x5	-17,5902	4,602	-0,2616	14,6101	3,8223	0,9618
Boxcar 3x3	-17,7198	4,6888	-0,2646	14,2825	3,7792	0,9727
Frost 5x5	-17,6559	4,5954	-0,2603	14,7617	3,8421	0,9568
IDAN	-17,8581	4,4206	-0,2475	16,3199	4,0397	0,9100
Refined Lee	-17,8437	4,6106	-0,2584	14,9778	3,8701	0,9499
Gamma Map 3x3	-17,7305	4,6997	-0,2651	14,2333	3,7727	0,9744
Gamma Map 5x5	-17,6005	4,6077	-0,2618	14,5912	3,8198	0,9624

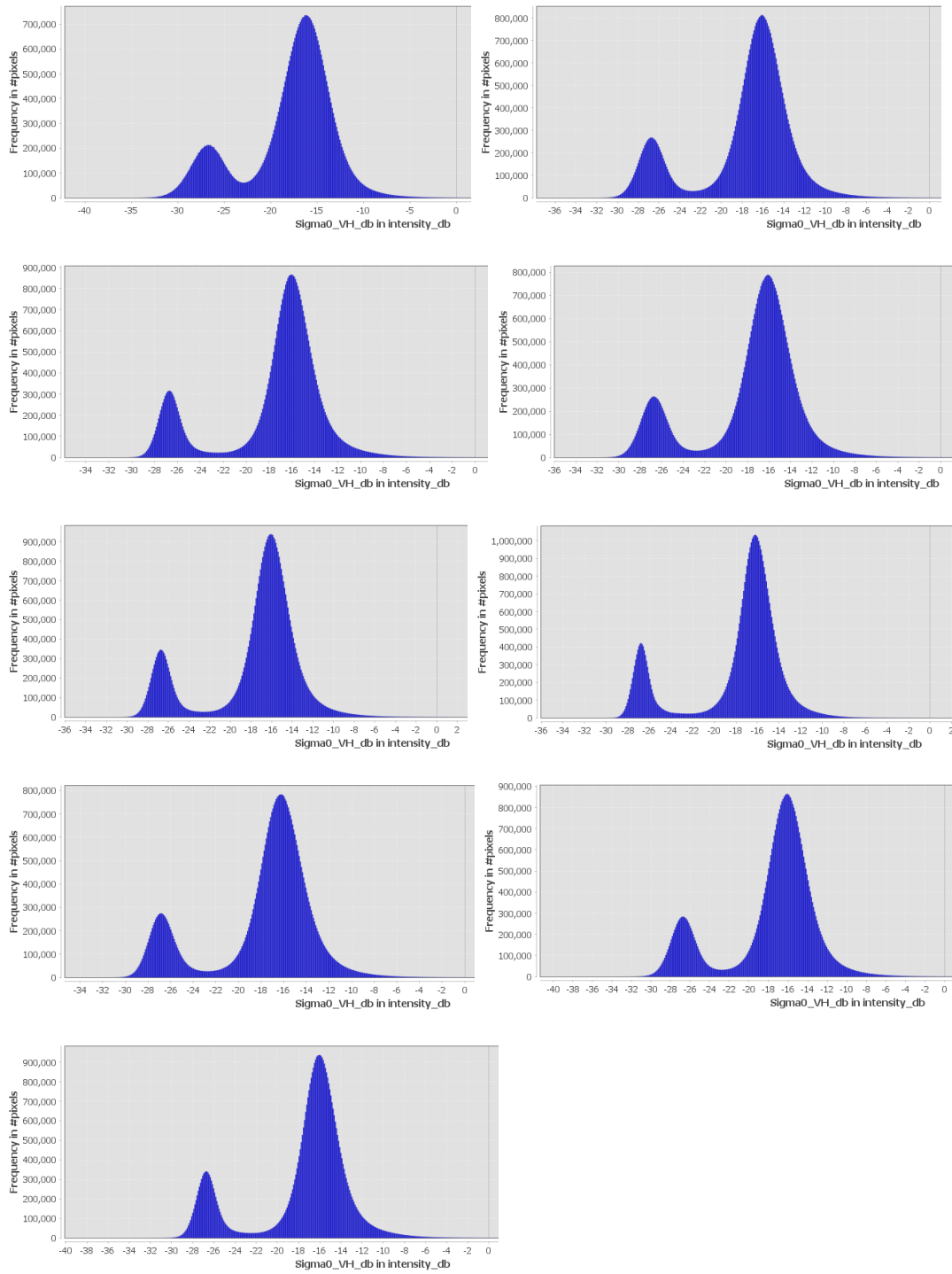


Figura 28. Histogramas de cada uno de los filtros de la imagen radar del 31 de octubre de 2024. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: Sin filtro, Lee 3x3, Lee 5x5, Boxcar 3x3, Frost 5x5, Idan, Refined Lee, Gamma Map 3x3, Gamma Map 5x5.

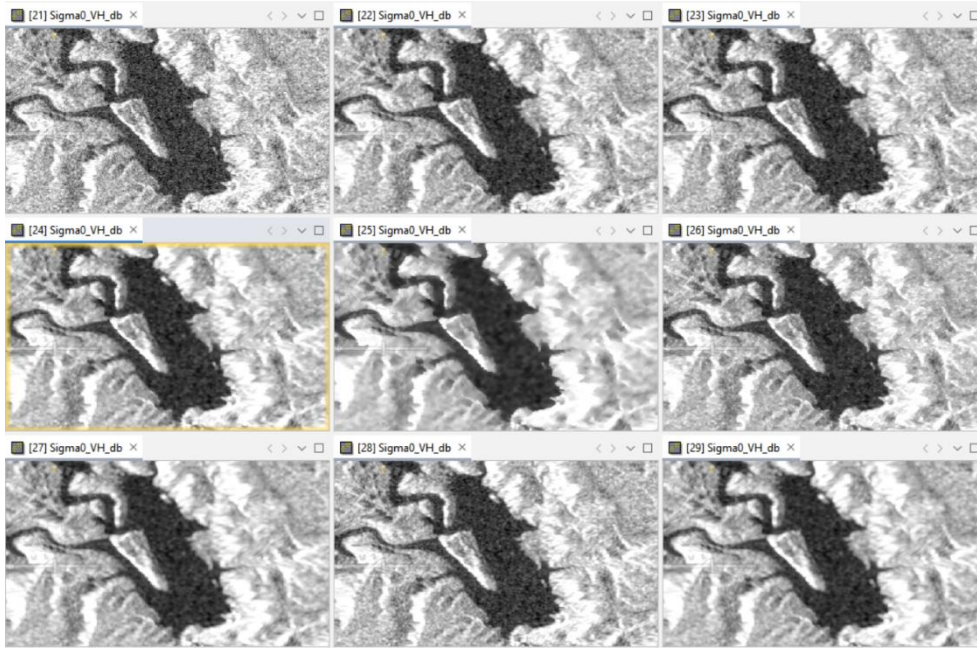


Figura 29. Imagen radar del 31 de octubre de 2024 con los filtros aplicados. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: Sin filtro, Lee 3x3, Boxcar 3x3, Frost 5x5, IDAN, Refined Lee, Gamma Map 5x5, Gamma Map 3x3, Lee 5x5

La Figura 29 representa la reducción del ruido por cada filtro empleando al mismo tiempo que se han preservado los detalles.

Como se puede apreciar en la Figura 30, los valores de amplitud (intensidad de señal) son diferentes en ambas polarizaciones. Esto indica la relación directa entre la orientación de la onda transmitida-recibida y las características del objeto. El agua se representa en tonos oscuros, debido a la reflexión especular, la vegetación en tonos grises claros y el suelo desnudo en tonos grises oscuros. Se puede apreciar como en la polarización VV los cultivos inundados aparecen en tonos blancos más brillantes debido al doble rebote.



Figura 30. Diferencias entre la polarización VH (izquierda) y VV (derecha) de la imagen del 31 de octubre de 2024 sin procesar y en valores de amplitud.

Sin embargo, la polarización VH mostró mayor sensibilidad a la presencia de agua. Como se observa en la Figura 31 el pico de la curva con mayor frecuencia de píxeles representa el terreno y la de menor frecuencia, el agua.

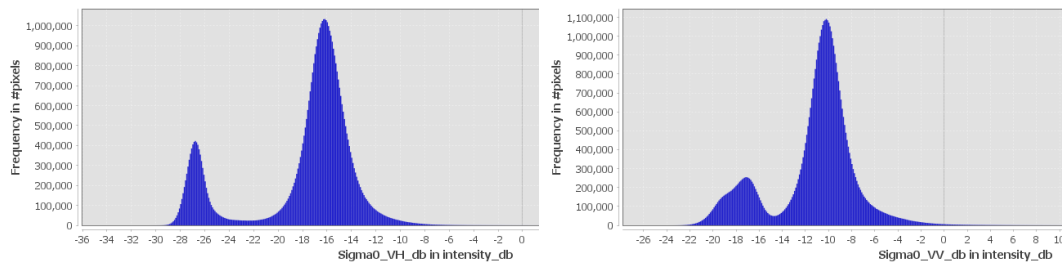


Figura 31. Histogramas de la imagen radar del 31 de octubre de 2024 con filtro IDAN. La figura de la izquierda representa el histograma con polarización VH, la de la derecha la polarización VV.

Además, la polarización VV es muy sensible a la rugosidad de la superficie del agua. Si esta se altera, por ejemplo, por acción del viento, este tipo de polarización añade más ruido a la imagen (Figura 32).

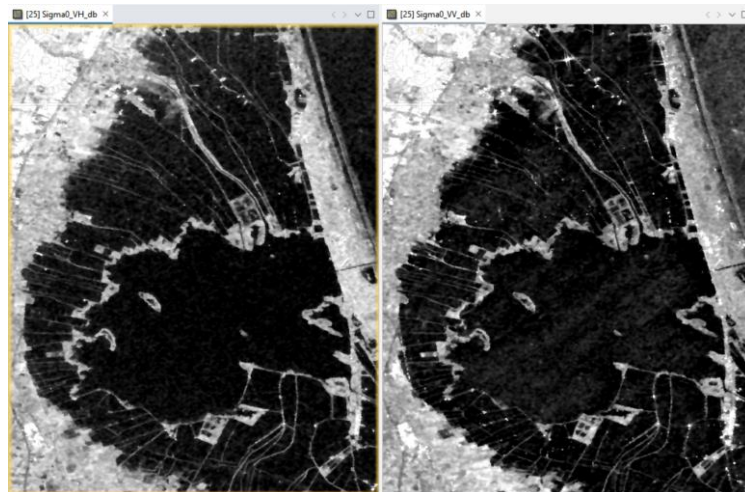


Figura 32. Diferencias entre la polarización VH (izquierda) y la polarización VV (derecha), ambas imágenes del 31 de octubre de 2024 con filtro IDAN

Mediante el análisis de diferencia de valores de los píxeles, se ha extraído la superficie de inundación (Figura 33).

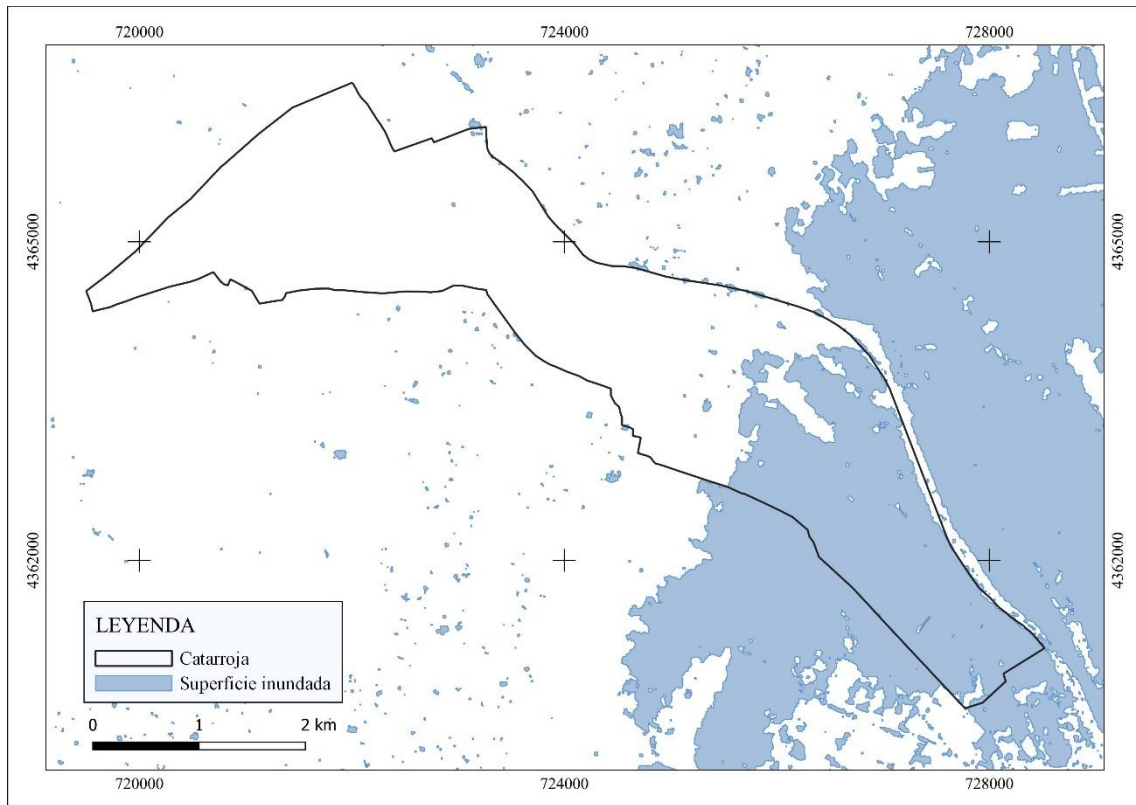


Figura 33. Mapa de la huella de la inundación.

6.2 La huella de barro

El índice FMI, ha dado buenos resultados a la hora de detectar las superficies de agua con alta carga de sedimentos. Se han reclasificado los valores mayores que cero como barro y el resto como no barro, de esta manera se ha preparado un mapa con la huella de barro (Figura 34). Se han eliminado las zonas urbanas del municipio para no sobreestimar el índice, debido a la reflectividad de las cubiertas en entornos urbanos.

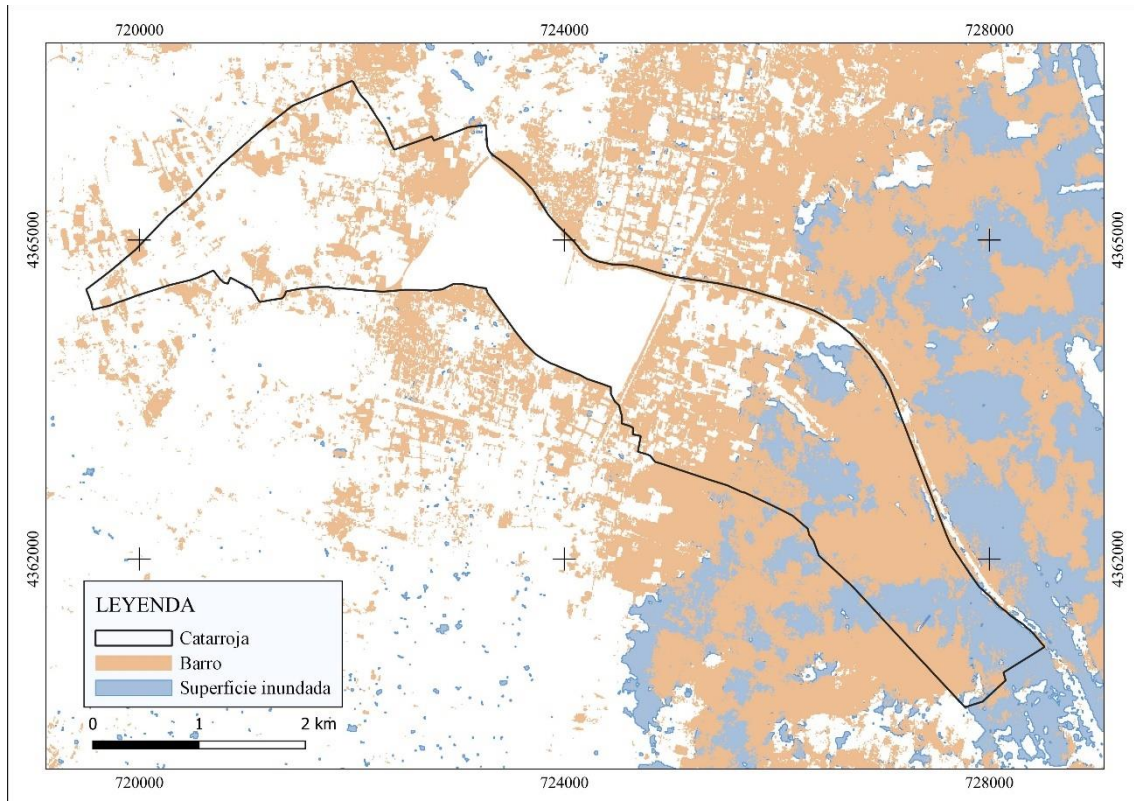


Figura 34. Mapa de la huella de barro.

6.3 Análisis del impacto

Las composiciones RGB, han permitido una interpretación visual enriquecida del fenómeno. Además, los índices han proporcionado una medida cuantitativa de la salud de los cultivos y muestran los efectos provocados por las inundaciones.

6.3.1 Composiciones en color

En la Figura 35 se representan varios puntos distribuidos sobre el área de estudio que corresponden a zonas de interés seleccionadas manualmente. Estos puntos han sido definidos con el objetivo de analizar y comparar las firmas espectrales características de distintas coberturas del suelo antes y después del evento. La elección de estas ubicaciones se ha basado en la interpretación visual de las imágenes satelitales y en los resultados preliminares de las capas de impacto generadas. Como se muestra en la Figura 36, los valores de reflectancia en la banda 4 (banda NIR) se han reducido en el cultivo sano después del evento, como consecuencia de la inundación. El agua ha aumentado los valores de reflectancia en la banda 4 como consecuencia de la acumulación de sedimentos. Los suelos desnudos han aumentado el valor de reflectancia en la banda 1 (banda azul) y disminuido en las bandas 5 y 6 (SWIR1 y SWIR2, respectivamente), lo que indica un aumento de la humedad en el suelo provocado por la inundación. Además, el suelo desnudo 2 ha aumentado considerablemente la reflectancia en la banda 3 (banda roja) lo que indica la presencia de sedimentos.



Figura 35. Selección de parcelas para análisis de firmas espectrales. A la derecha, la imagen del 26/10/2024; a la izquierda, la imagen del 31/10/2024.



Figura 36. Firmas espectrales de cada una de las parcelas seleccionadas. El gráfico superior representa la firma espectral de las parcelas seleccionadas de la imagen del 26/10/2024. El inferior, de la imagen del 31/10/2024. El apilamiento de bandas se ha realizado, para ambas imágenes, en el siguiente orden: banda 2, 3, 4, 8, 11 y 12.

La composición en color natural ofrece una representación visual fiel a la realidad, mostrando los colores auténticos en una escena similar a lo que vería el ojo humano (Figura 37). En la imagen del 26 de octubre se muestra cómo los campos de cultivos ya se comienzan a inundar de manera natural debido a la orografía. Durante el otoño-invierno, las parcelas dedicadas al cultivo de arroz se dejan inundar para la preparación del terreno (Checa, 2005). Sin embargo, en la imagen post DANA, se observa cómo la zona ha quedado totalmente anegada.



Figura 37. Composición en color verdadero para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).

La composición en IR color (Figura 38) es excelente para destacar la vegetación sana, que aparece en tonos rojos intensos debido a la alta reflectancia en el infrarrojo cercano.



Figura 38. Composición en IR color para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).

El SWIR color (Figura 39) es útil para detectar humedad en el suelo y la vegetación. La vegetación sana se ve en tonos verdes, mientras que la humedad y el agua aparecen en tonos oscuros.

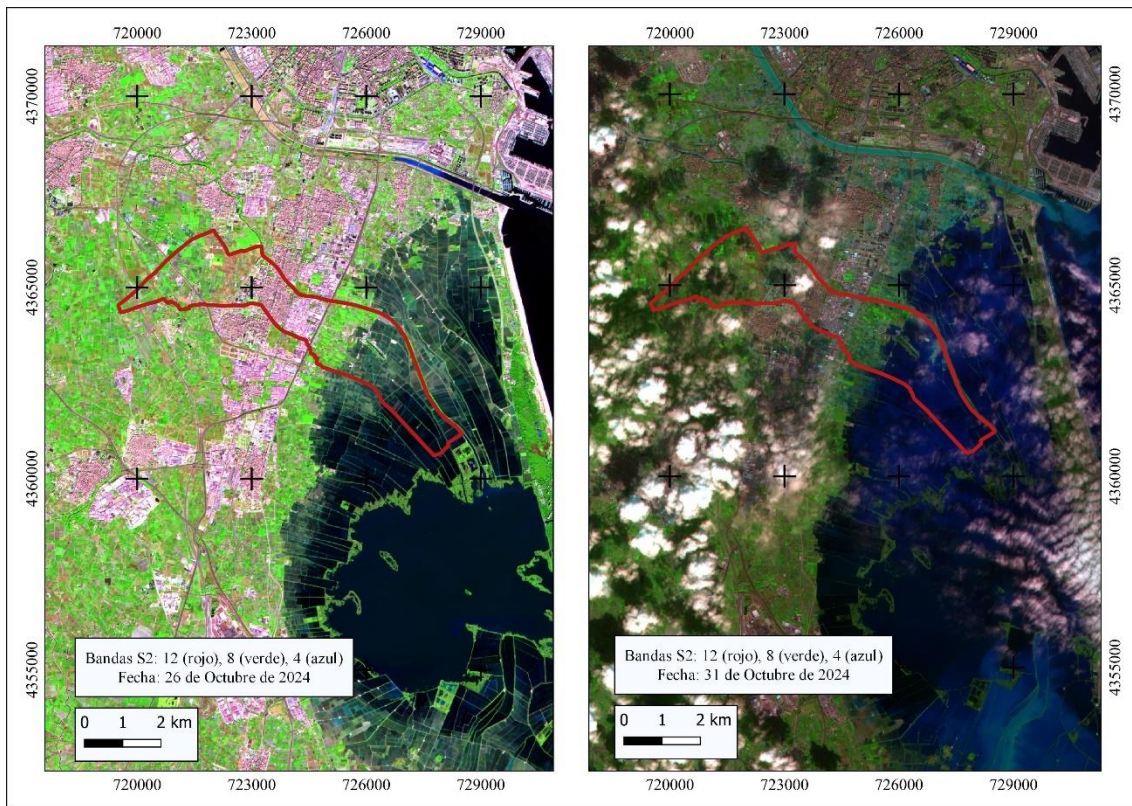


Figura 39. Composición en SWIR color para las fechas 26/10/2024 (izquierda) y 31/10/2024 (derecha).

6.3.2 Índices de vegetación

6.3.2.1 NDVI

Se puede estimar de manera visual el daño que han podido provocar las inundaciones en las zonas de cultivo mediante el índice NDVI. En la Figura 40 se puede observar que la vegetación sana aparece representada con tonos verdes oscuros, mientras que las zonas con poca vegetación aparecen en tonos verdes claros. Las zonas con presencia de agua aparecen en tonos anaranjados debido a la presencia de sedimentos. En cambio, el agua clara tiene tonos beige, al igual que las zonas urbanas.

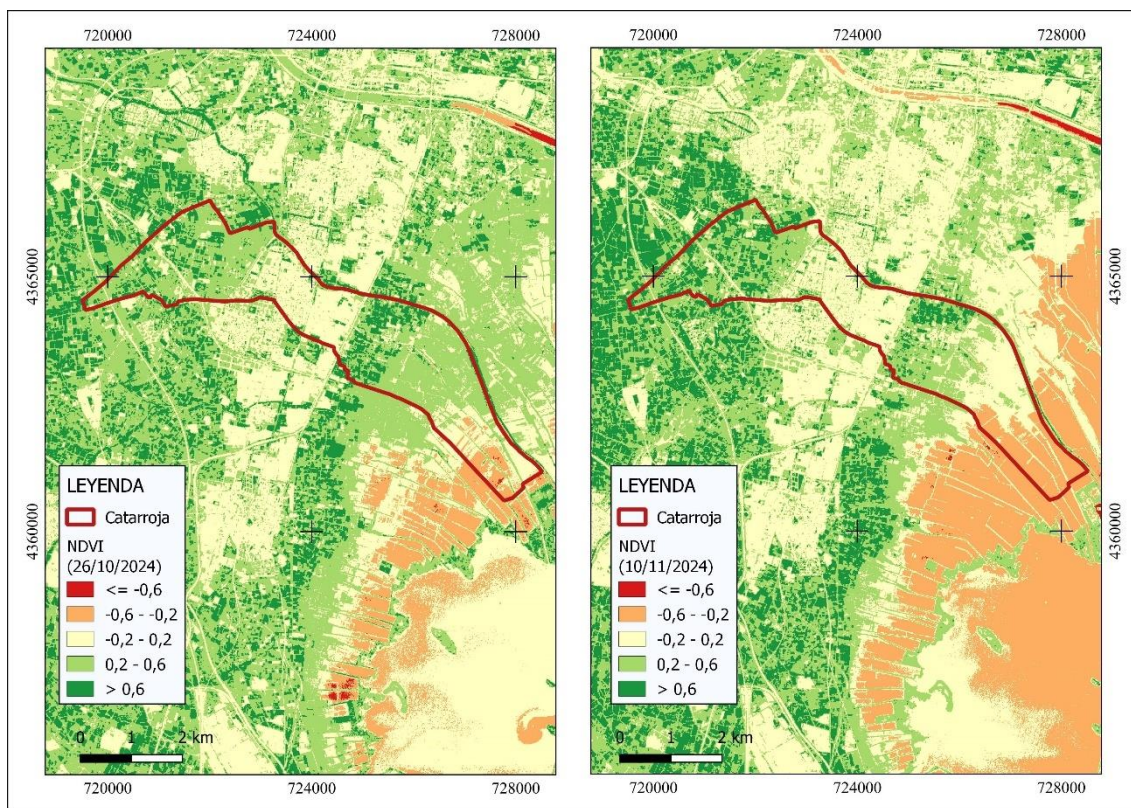


Figura 40. Índices NDVI para las fechas de 26/10/2024 (izquierda) y 10/11/2024 (derecha).

6.3.2.2 SAVI

En la comparación de los mapas obtenidos mediante el índice NDVI y el SAVI se observa una diferencia notable en la representación de las zonas con baja cobertura vegetal. Mientras que el NDVI tiende a mostrar una mayor extensión de superficies con valores bajos, indicativos, en principio, de vegetación escasa, el SAVI reduce considerablemente estas áreas, desplazando gran parte de dichos valores hacia rangos aún más bajos que pueden reflejar la presencia de suelo desnudo (Figura 41). Esta discrepancia se debe a la distinta sensibilidad de ambos índices frente a la influencia del fondo de suelo, que el SAVI es capaz de mitigar mediante el coeficiente L. Sin embargo, su adecuada estimación requiere estudios específicos y observaciones de campo detalladas, ya que pequeñas variaciones en la cobertura pueden influir significativamente en los resultados del índice.

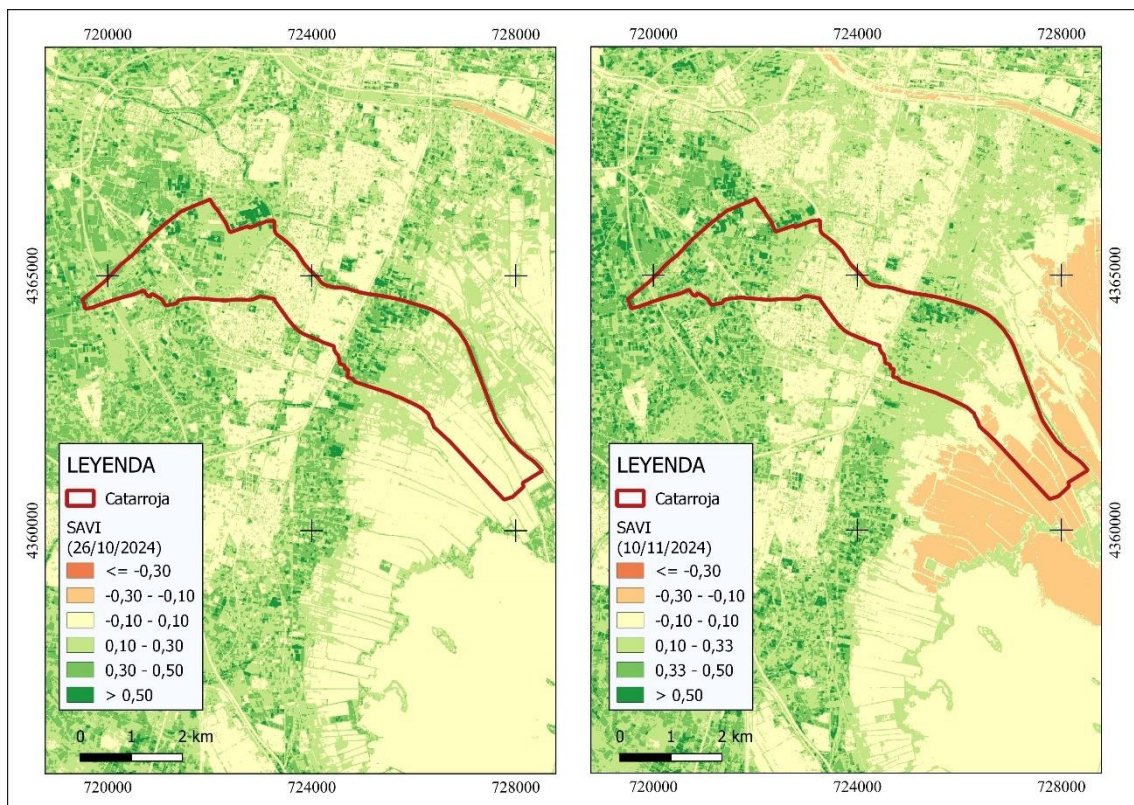


Figura 41. Índices SAVI para las fechas de 26/10/2024 (izquierda) y 10/11/2024 (derecha).

6.4 Análisis multitemporal

El enfoque multitemporal ha aportado una visión dinámica del impacto del evento. Las composiciones RGB para fechas diferentes permiten visualizar con claridad los cambios en vegetación y humedad.

6.4.1 Análisis visual de composiciones multitemporales

La composición multitemporal de la polarización VH mostrada en la Figura 42 ha resultado especialmente útil para identificar los cambios en las masas de agua. Como se muestra en la Figura 42, las inundaciones tras el evento se muestran en color azul, mientras que las masas de agua que no han sufrido cambios se muestran en negro. En tonos grises y blancos se muestran las zonas que han permanecido inalteradas en ambas fechas y en tonos rojizos claros aquellas zonas en las que ha habido mayor respuesta hacia el sensor como consecuencia de los diferentes mecanismos de retrodispersión de la señal que no guardan relación con la presencia de agua. Las zonas en rojo oscuro muestran una respuesta aún mayor, por lo que puede significar el efecto de doble rebote cuando la vegetación está parcialmente inundada.

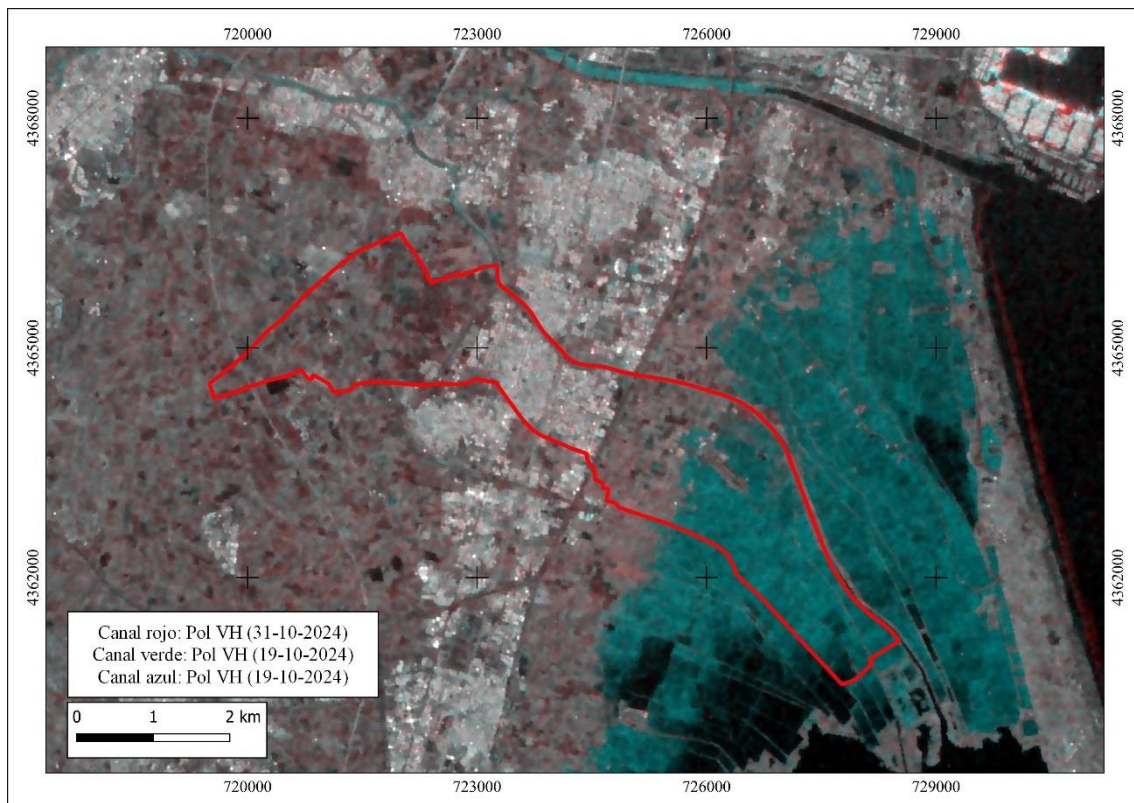


Figura 42. Composición multitemporal (SAR) de polarización VH entre imágenes antes (19/10/2024) y después del evento (31/10/2024).

Las composiciones con banda 2 (azul) han permitido identificar zonas de alta reflectancia asociadas a suelos húmedos o zonas encharcadas. Las zonas estables en ambas fechas se muestran en color amarillo mientras que los cambios producidos por el aumento del nivel digital debido a la ganancia de respuesta a la radiación azul se muestran en tonos verdes (Figura 43).

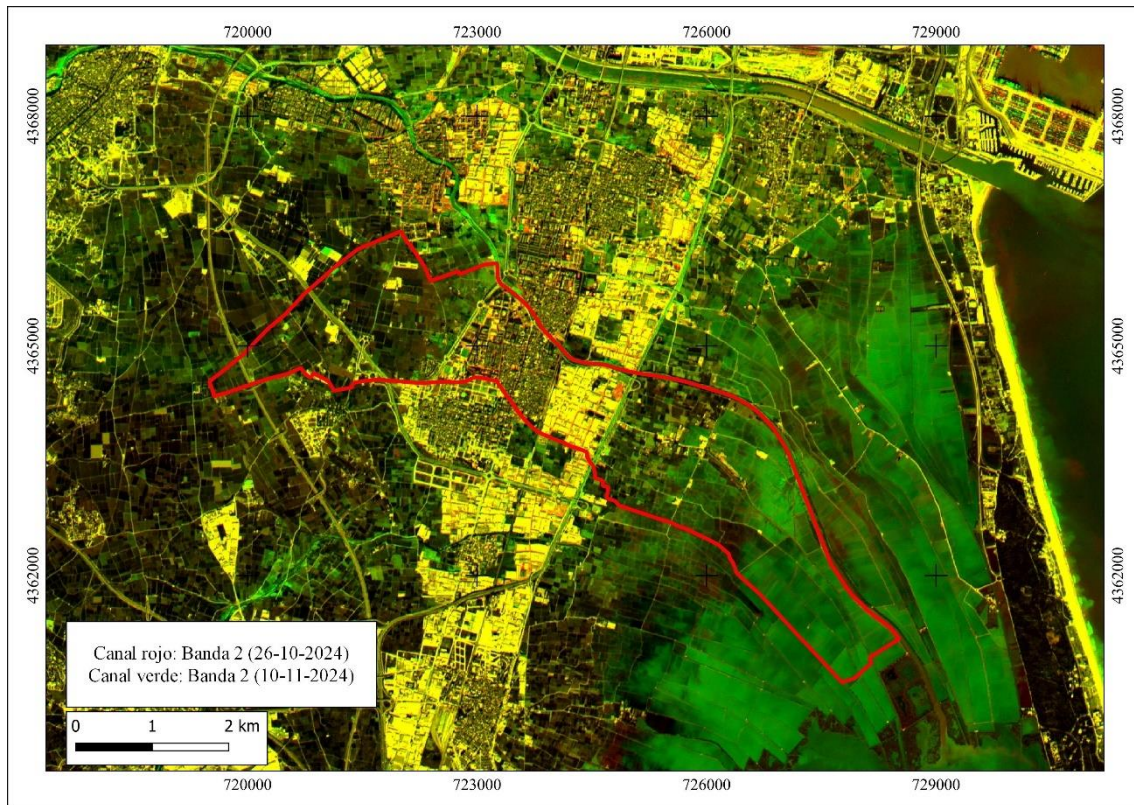


Figura 43. Composición multitemporal de la banda 2 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

La Figura 44 muestra la composición de la banda 4 (rojo), donde se pueden observar de forma muy clara los cambios producidos por la acumulación de agua y barro, representados en tonos verdes.

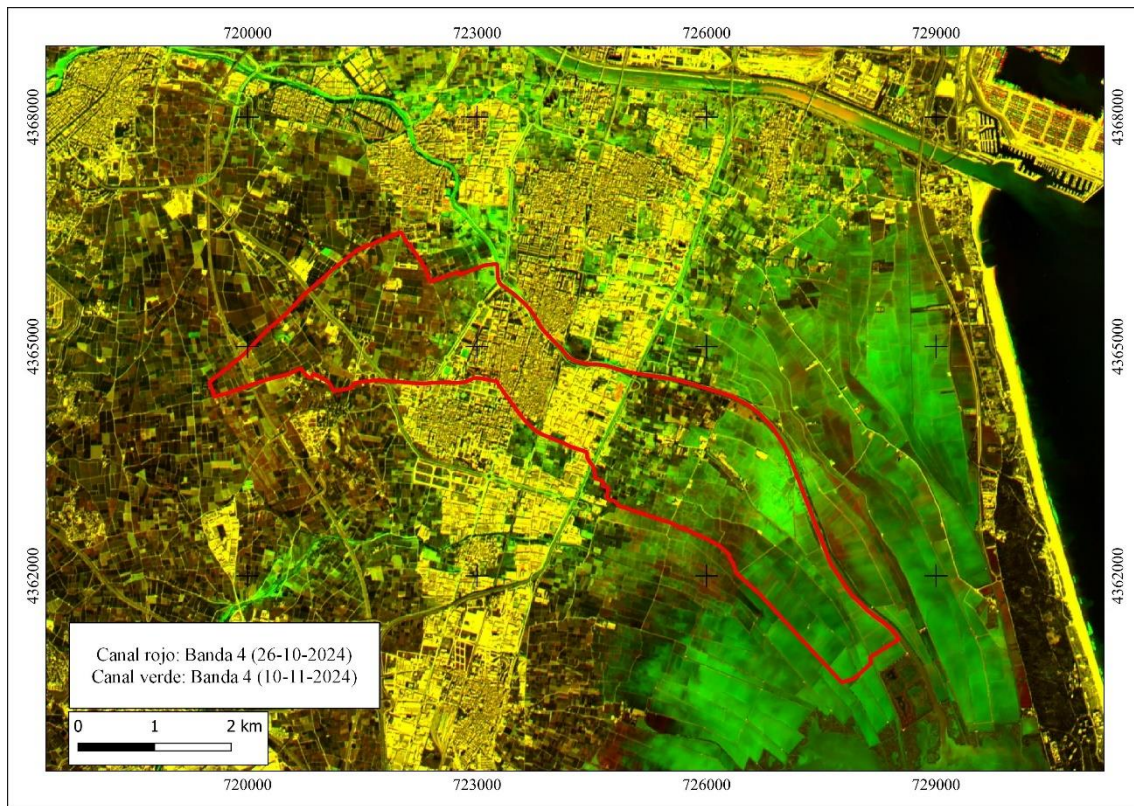


Figura 44. Composición multitemporal de la banda 4 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

La banda 8 es muy sensible a la biomasa verde, por lo que las zonas donde se observa un descenso de reflectancia entre fechas suelen coincidir con pérdida de vegetación, representado en tonos rojos y anaranjados. Las zonas representadas con tonos verdes muy oscuros son zonas donde la reflectancia ha variado muy poco lo que indica una situación de pocos cambios. Los suelos expuestos o acumulación de agua con gran cantidad de sedimentos tras el evento se representan con tonos verdes claros. (Figura 45).

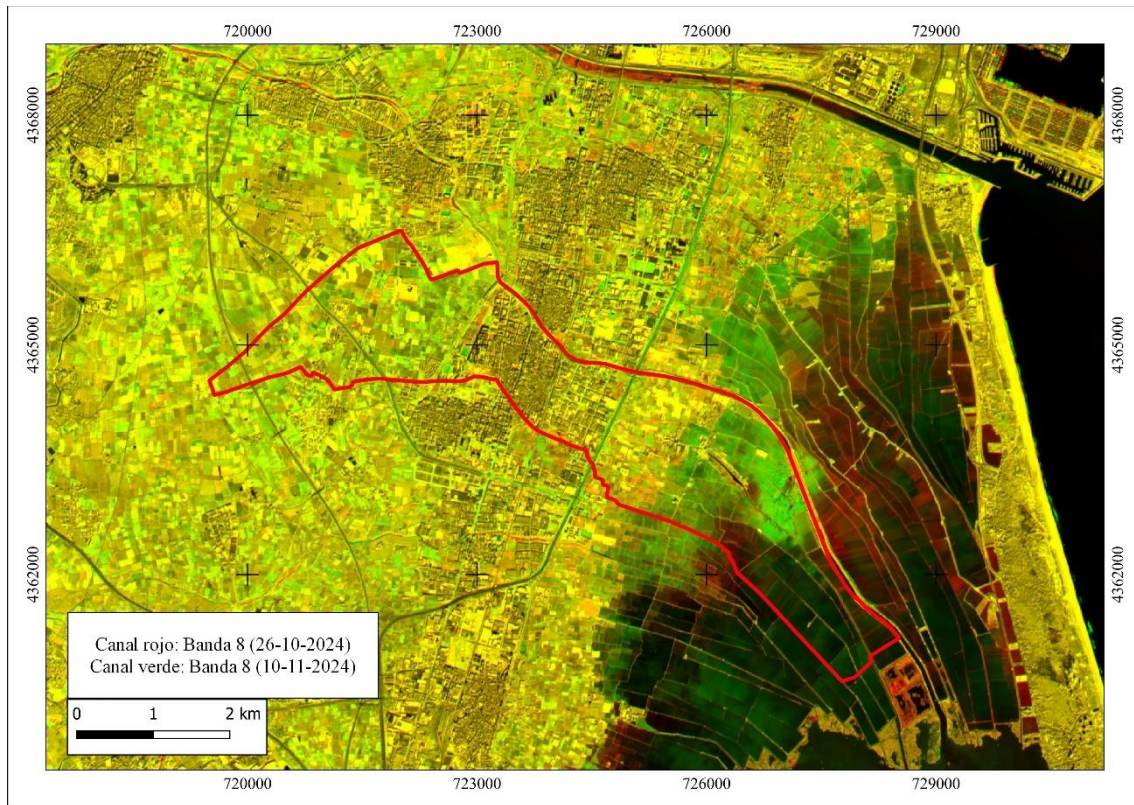


Figura 45. Composición multitemporal de la banda 8 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

La banda 12 (SWIR2) es clave para detectar contenido de humedad en el suelo. En las áreas más afectadas se aprecian variaciones significativas, destacando zonas donde el contenido de agua del suelo se incrementó, representadas en rojo. Cuanto más se acerca al color negro el valor de reflectancia es muy bajo en ambas fechas. En cambio, las zonas representadas en color verde muestran el aumento de reflectancia en el SWIR2 después del evento, lo que puede indicar gran cantidad de acumulación de barro. Además, las tonalidades de verdes claros pueden indicar que el barro se ha secado, mientras que los verdes oscuros pueden indicar un secado parcial (Figura 46).

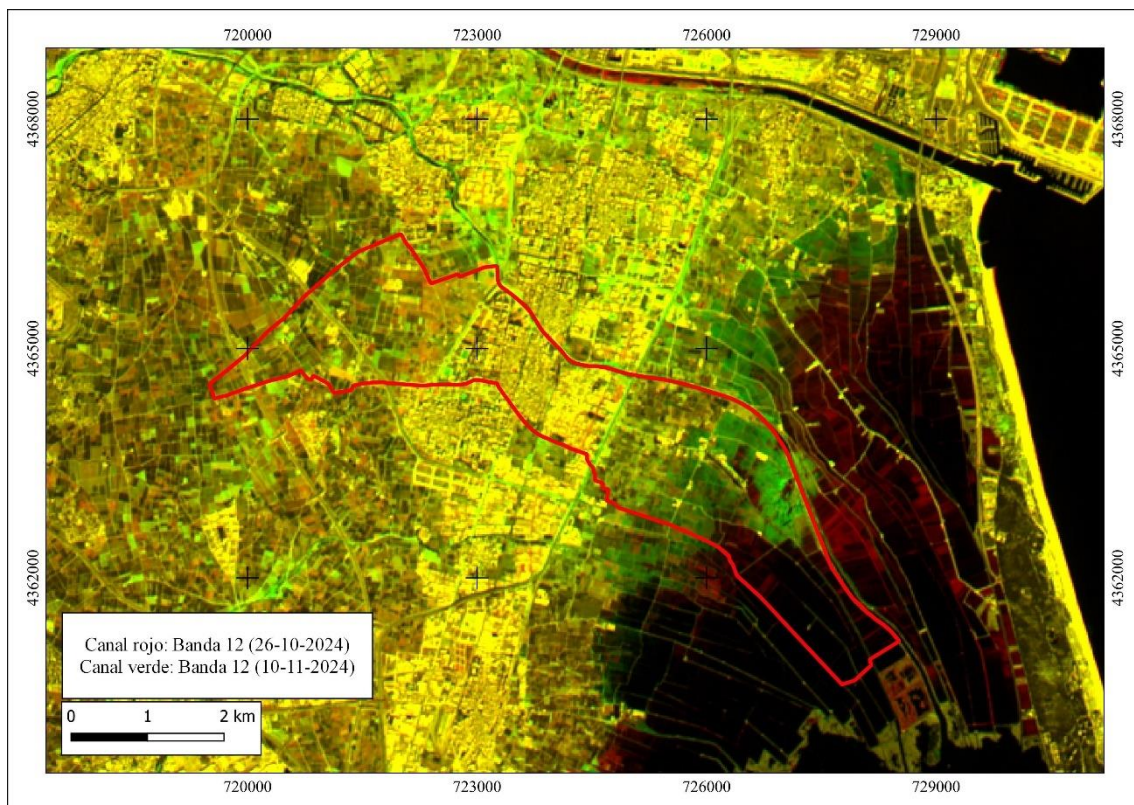


Figura 46. Composición multitemporal de la banda 12 entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

La comparación multitemporal del NDVI ha puesto de manifiesto la pérdida de vigor vegetativo o cambios en la cobertura del suelo en determinadas zonas. Los colores negros indican zonas donde los valores de NDVI antes y después son bajos, lo que representa acumulación de agua o zonas urbanas en ambos escenarios. Los tonos rojos y anaranjados indican pérdida de vegetación o cambios en la cobertura del suelo, debido a la reducción del valor de NDVI después del evento. Las zonas representadas en tonos marrones verdosos también pueden indicar un cambio en la cobertura del suelo. Las zonas verdes amarillentas representan valores de NDVI altos, sin cambios en ambos escenarios (Figura 47).



Figura 47. Composición multitemporal NDVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

El análisis multitemporal del SAVI ha proporcionado información más precisa en zonas con escasa vegetación, especialmente en suelos desnudos. Al igual que con el NDVI, se ha detectado un descenso del índice en parcelas donde la cobertura del suelo ha cambiado, representado en tonos anaranjados (Figura 48).

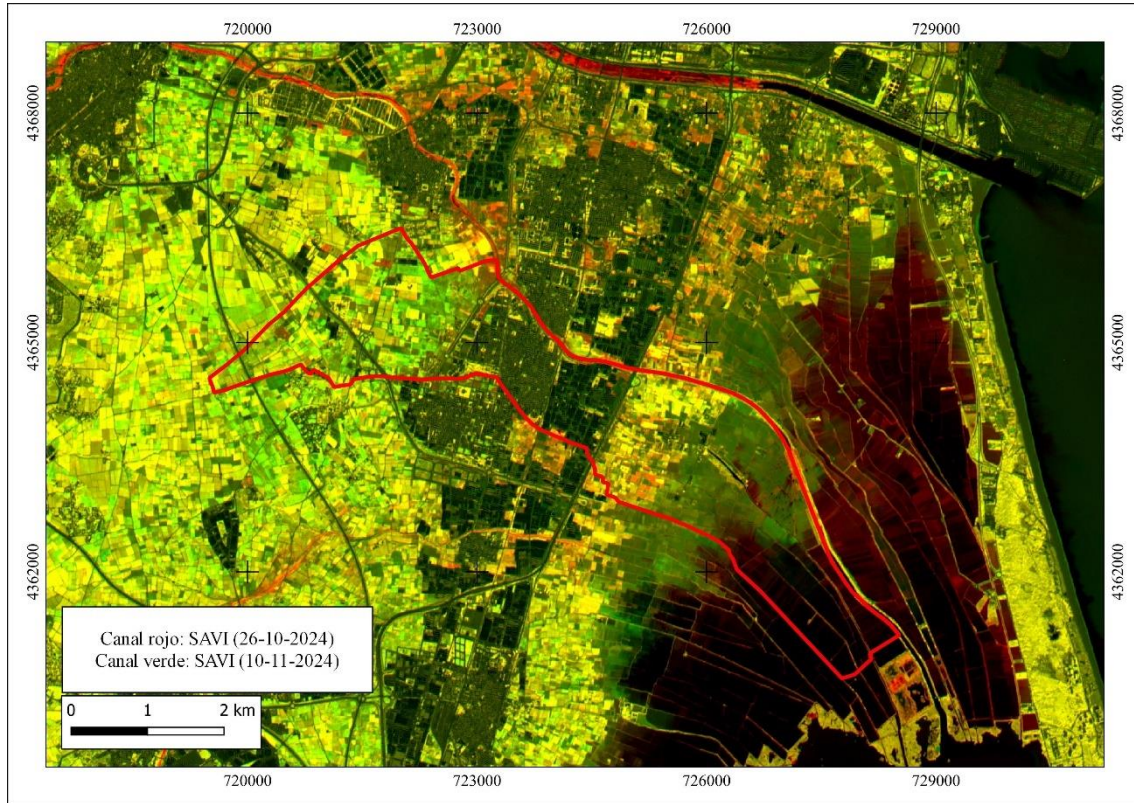


Figura 48. Composición multitemporal SAVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

6.4.2 Análisis por diferencia entre imágenes

La Figura 49 muestra el análisis de diferencia de NDVI, clave para identificar variaciones en la cobertura del suelo. Los valores positivos de dNDVI indican una reducción del índice, es decir, pérdida de vegetación activa. Por el contrario, valores negativos pueden deberse al desarrollo vegetativo posterior a las lluvias. Zonas con valores próximos a cero han sido consideradas como estables o no afectadas. Este índice ha sido especialmente útil para reconocer cambios sutiles en grandes superficies agrícolas.

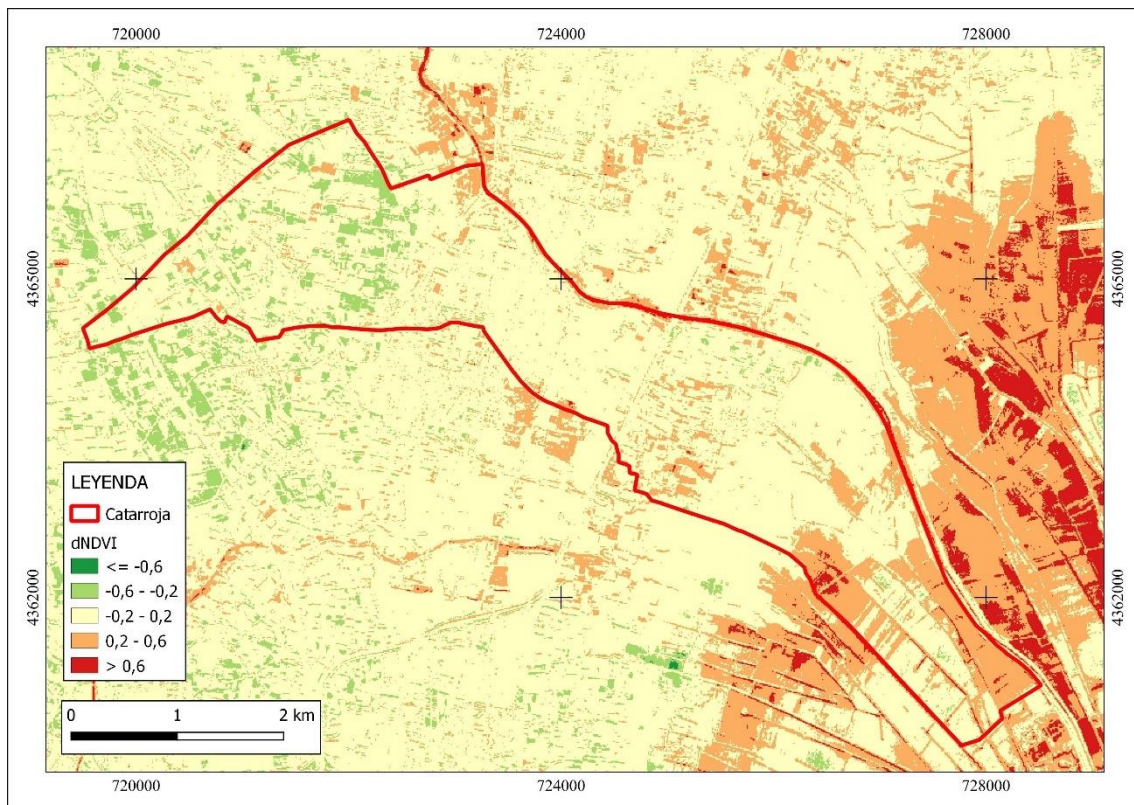


Figura 49. Composición multitemporal dNDVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

El análisis del dSAVI ha permitido identificar con claridad los cambios en la cobertura vegetal y en las condiciones del suelo producidos por la DANA. A diferencia de los valores absolutos de SAVI, el dSAVI resalta variaciones espaciales que reflejan dinámicas recientes, como pérdidas de vegetación o acumulación de sedimentos (Figura 50).

En este sentido, las zonas con valores negativos de dSAVI indican una reducción del vigor vegetal o un aumento de la exposición del suelo, mientras que los valores positivos pueden asociarse a crecimiento vegetativo posterior al evento o modificaciones en la reflectancia debidas a cambios en la humedad del suelo.

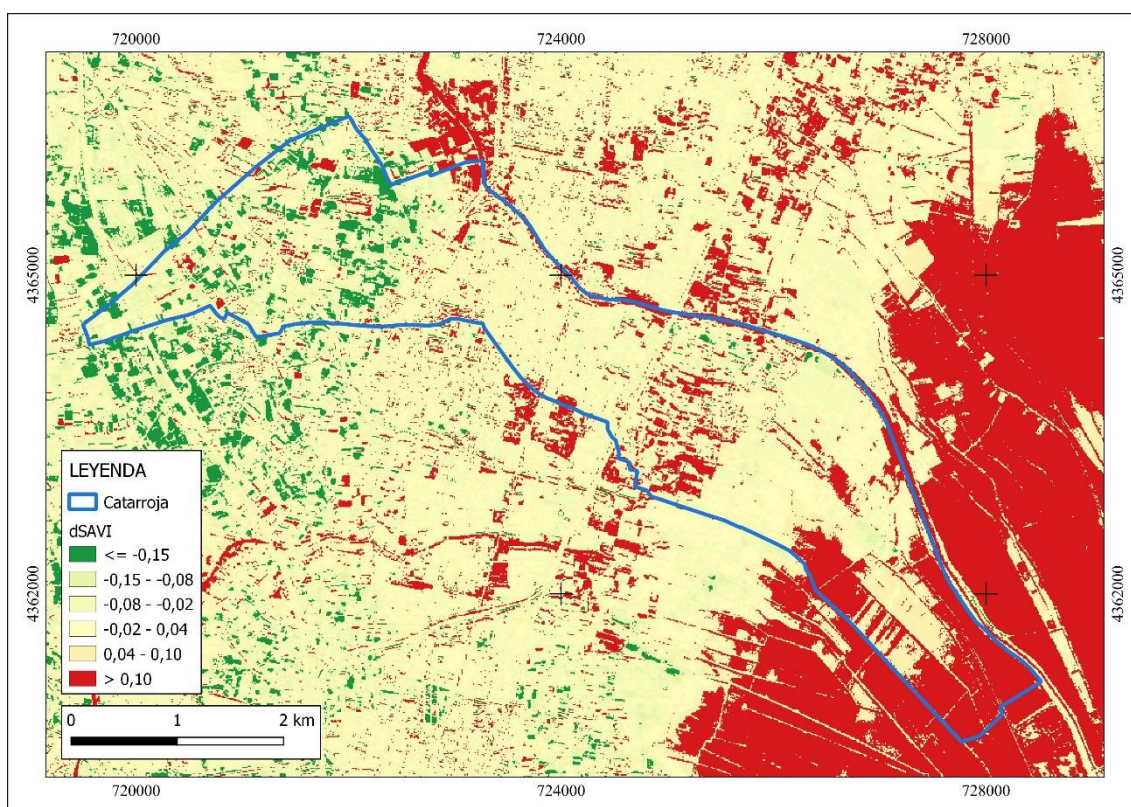


Figura 50. Composición multitemporal dSAVI entre imágenes antes (26/10/2024) y después del evento (10/11/2024).

6.4.3 Análisis de componentes principales

Dentro de las técnicas empleadas para detectar alteraciones en el territorio, se ha aplicado el ACP sobre las imágenes multiespectrales de Sentinel-2 correspondientes a las fechas previas (26/10/2024) y posteriores al evento (11/10/2024).

Las primeras componentes principales (CP) reflejan la información común entre las imágenes, es decir, aquellas zonas que se han mantenido estables. Por el contrario, el resto de

las componentes concentran la información residual, en la que se manifiestan con mayor claridad los cambios ocurridos entre ambas fechas (Figura 51).

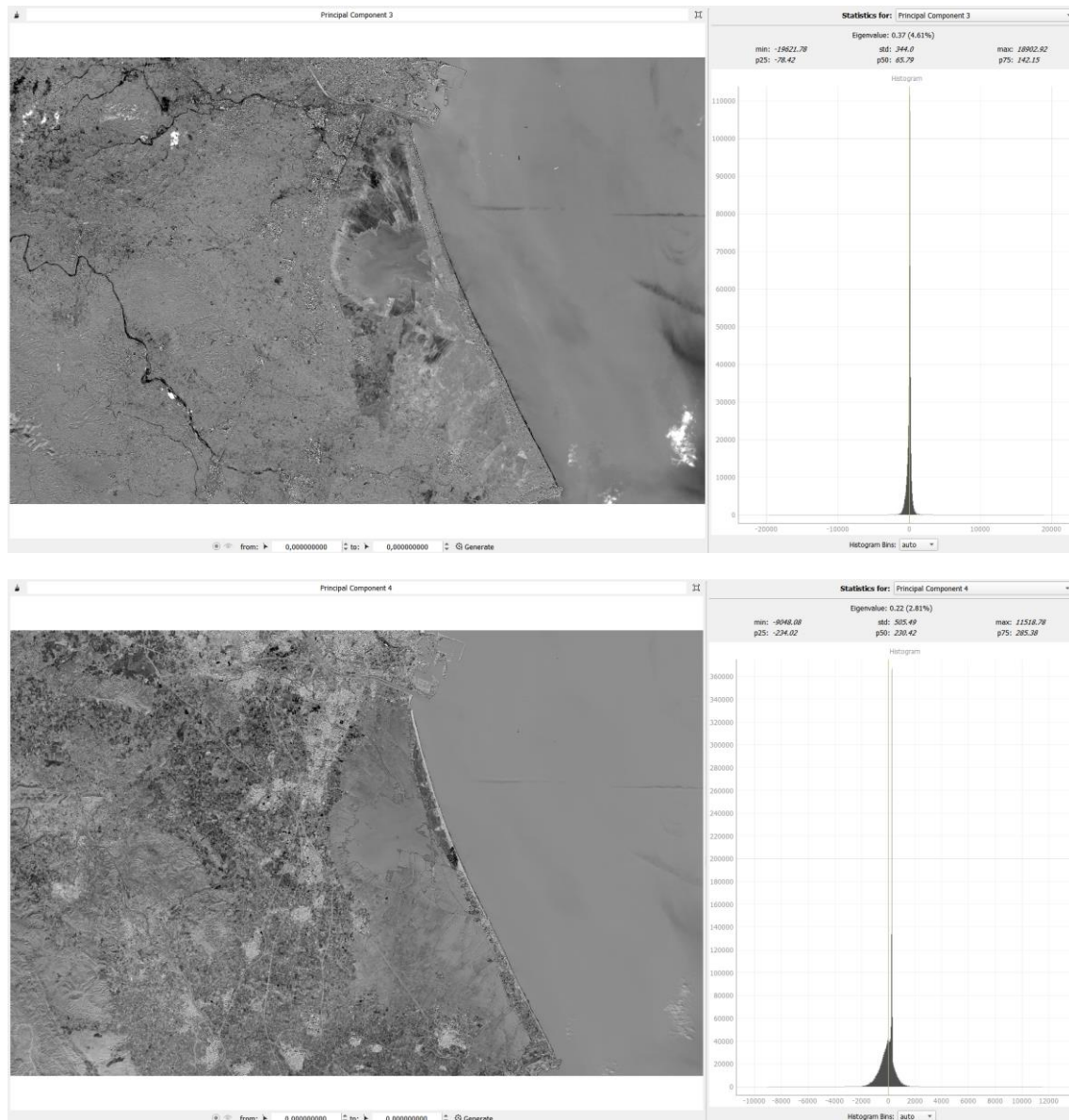


Figura 51. Componente principal 3 (arriba) y 4 (abajo).

La Tabla 9 muestra los valores propios asociados a cada nueva componente. La primera componente acumula una varianza del 76% contenidos en el conjunto de datos originales.

Tabla 9. Autovalores y varianza de las componentes principales calculadas. Fuente: elaboración propia

Componentes Principales	Valores propios	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	6,12	76,49	76,49
2	1,09	13,63	90,12
3	0,37	4,61	94,73
4	0,22	2,81	97,54
5	0,1	1,26	98,8
6	0,04	0,52	99,32
7	0,03	0,43	99,75
8	0,02	0,25	100

Además, se ha generado una imagen compuesta, asignando las CP 3, 4 y 5 a los canales RGB respectivamente, para resaltar las áreas con mayor variabilidad espectral entre las dos fechas, facilitando una visualización rápida y objetiva de las zonas afectadas (Figura 52). Como se puede observar, las CP han encontrado diferencias en la superficie inundada, representados con colores naranjas y verdes, debido a la acumulación de barro. Además, se pueden apreciar diferencias entre tonos morados y verdosos en las zonas de cultivos del este del municipio.

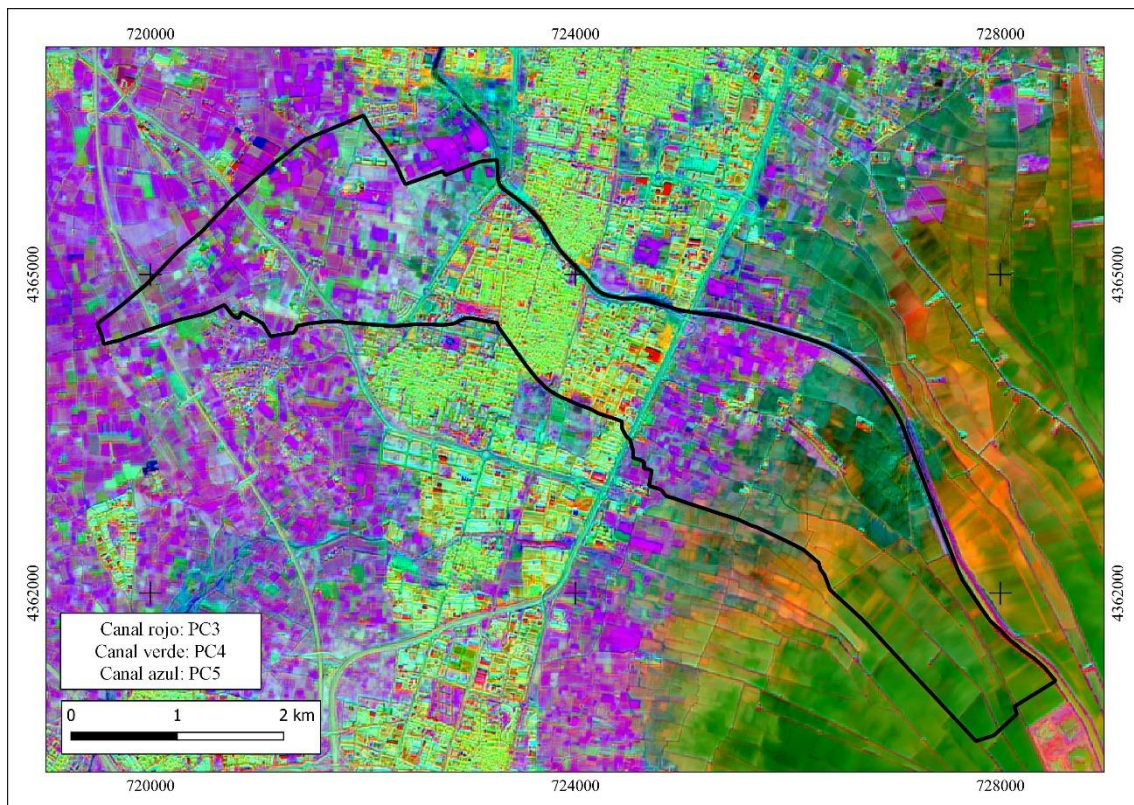


Figura 52. Composición RGB del ACP. En el canal rojo, CP3; en el verde, CP4 y en azul, CP5.

6.5 Mapa de impacto

Con el objetivo de analizar de forma espacial las fuentes de afección territorial y cuantificar la superficie total afectada en el municipio, se ha elaborado una capa a partir del cruce de la huella de la inundación, la huella de barro y las zonas de cambio en la cobertura del suelo identificadas como aquellas donde la diferencia del índice NDVI entre fechas pre y post evento supera el valor de 0,2.

La combinación de todas ellas permite generar una nueva capa que representa las fuentes del impacto provocado por uno o varios factores.

La Figura 53 muestra la distribución espacial de las diferentes fuentes de impacto en el municipio de Catarroja.

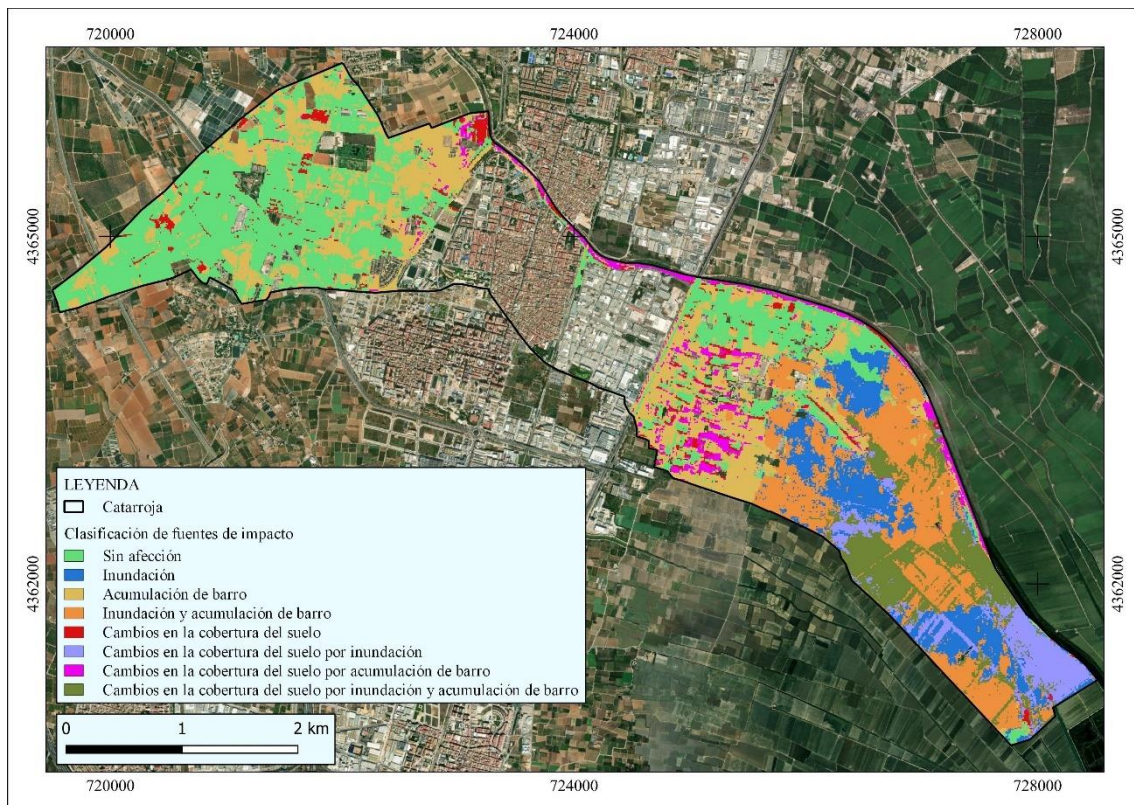


Figura 53. Mapa de clasificación de fuentes de impacto de la DANA (2024) en el municipio de Catarroja.

El Parque Natural, perteneciente al municipio, ha resultado ser la zona más afectada, con la totalidad de las tierras de cultivo de arroz inundadas y afectadas por la acumulación de barro. La combinación de agua y barro releja la erosión que se ha podido producir como consecuencia de la fuerza del arrastre del agua.

Es interesante destacar como el desbordamiento del cauce del bajo Turia ha provocado la acumulación de barro en muchas zonas del municipio.

Se han identificado determinadas superficies, aunque en menor proporción, que han mostrado variaciones significativas en el NDVI sin coincidir espacialmente con las huellas previamente detectadas de agua o barro. Esta circunstancia puede interpretarse como un indicio de que, aunque en el momento de la adquisición de las imágenes ya no se evidenciaba la presencia directa de agua ni de sedimentos superficiales, dichas áreas sí pudieron haber sido afectadas por la fuerza de la escorrentía durante el evento. Esta acción mecánica del agua podría haber provocado daños en la estructura del cultivo o en el suelo, lo que justificaría la alteración espectral detectada en el índice, a pesar de la aparente ausencia de huellas visibles posteriores.

La Tabla 10 muestra la superficie de cada una de las fuentes de impacto, extraídas de la vectorización de las capas ráster.

Tabla 10. Superficie de las fuentes de impacto.

Huella	Superficie (ha)
Inundación	384
Acumulación de barro	509
Cambios en la cobertura del suelo	206

La superficie total afectada se ha extraído de la vectorización de la capa de afecciones resultante de la operación aritmética, explicada en el punto 5.4. Esta capa se ha superpuesto a la capa de inundación elaborada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio, con el objetivo de comparar ambos resultados (Figura 54).

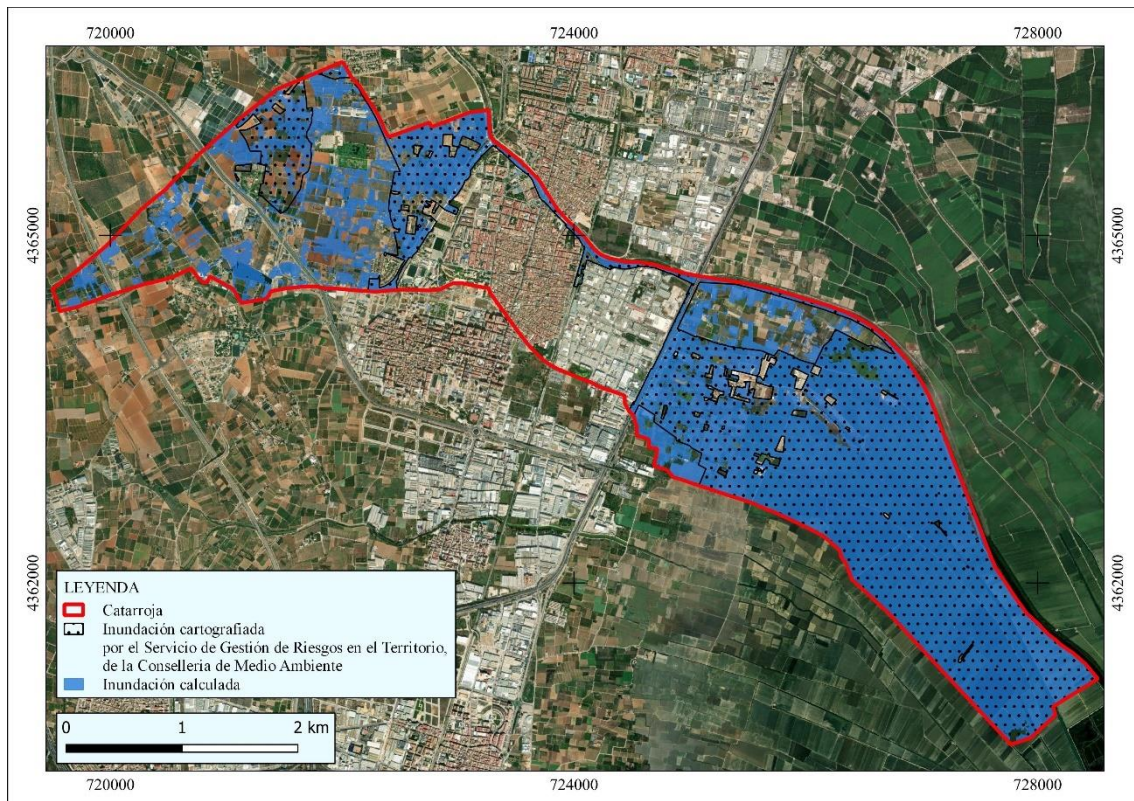


Figura 54. Representación espacial de la superficie de inundación elaborada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente, Infraestructuras y Territorio y la superficie de inundación calculada.

La Tabla 11 muestra la superficie de la inundación extraída de la cartografía oficial y de los resultados obtenidos en este estudio.

Tabla 11. Superficie de inundación oficial y de los resultados obtenidos.

Huella	Superficie (ha)
Inundación oficial ¹	665
Inundación calculada ²	683

¹Cartografiada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente.

²Resultante de la combinación de todos los factores de impacto descritos.

El evento ha provocado un impacto en una superficie de 683 ha, afectando al 68% del municipio. Como no es objeto de este estudio, se han excluido las zonas urbanas y edificaciones.

Los resultados finales de este estudio han demostrado ajustarse a los elaborados por los organismos oficiales. La diferencia absoluta entre ambas estimaciones es de 18 ha, lo que representa una desviación relativa del 2,7 % respecto al valor oficial.

6.6 Estimación económica de los daños

El evento de DANA que ha provocado inundaciones el municipio de Catarroja como consecuencia de las intensas lluvias ha provocado el daño, total o parcial, en un total de 2.314 parcelas de cultivo, cubriendo una superficie total de 560,94 hectáreas.

La TABLA muestra las superficies afectadas por cada uso SIGPAC.

Tabla 12. Superficies afectadas por la DANA.

Usos SIGPAC	Superficie (ha)
Tierras arables secano	3,12
Tierras arables regadío	113,52
Invernaderos	0,52
Huerta	4,42
Arrozales*	371,73
Asociación Olivar-Cítricos regadío	0,16
Cítricos en regadío	40,46
Frutales secano	13,42
Frutales en regadío	10,64
Frutos secos en regadío	0,20
Olivar secano	0,10
Olivar en regadío	0,17
FO+MT+PS+PR**	2,48
TOTAL	560,94

*SIGPAC clasifica los cultivos de arroz como tierras arables

** Los aprovechamientos son todos aquellos usos destinados a al ámbito agroforestal (forestal, matorral, pastizal y pasto arbustivo)

Cabe destacar que casi el 66% de las zonas afectadas corresponden al cultivo de arroz.

La mayor parte de la superficie está constituida por cultivos en regadío. Además, todas estas parcelas tienen dotación de riego con un coeficiente del 100%.

Como se ha comentado anteriormente, se han extraído los precios de diferentes bases de datos, con algunas consideraciones que se han tenido en cuenta, para así poder calcular el valor del suelo y comparar entre ellas. Los precios de las tierras para cada uso de suelo quedan reflejados en la Tabla 13.

Tabla 13. Listado de precios por usos SIGPAC.

Uso SIGPAC	PMTNAC (€/ha)	PMTCV (€/ha)	PMTV (€/ha)
Tierras arables secano	8.455,96	8.130,00	6.290,00
Tierras arables regadío	25.790,66	31.880,00	20.260,00
Invernaderos	216.085,00	216.085,00	216.085,00
Huerta	31.377,26	34.540,00	27.940,00
Arrozales	26.475,34	32.400,00	32.400,00
Asociación Olivar-Cítricos regadío	20.080,00	26.618,00	24.868,00
Cítricos en regadío	30.870,60	33.780,00	30.280,00
Frutales secano	10.706,08	13.920,00	11.450,00
Frutales en regadío	25.717,87	29.510,00	21.770,00
Frutos secos en regadío	16.966,07	29.800,00	29.800,00
Olivar secano	9.289,04	11.740,00	10.900,00
Olivar en regadío	19.455,00	19.455,00	19.455,49
FO+MT+PS+PR	2.120,00	2.120,00	2.120,00

Con los precios mencionados anteriormente, se calcula el valor del suelo para cada uso SIGPAC.

Tabla 14. Estimación económica de daños en función de la ocupación del suelo.

Uso SIGPAC	PMTNAC (€/ha)	PMTCV (€/ha)	PMTV (€/ha)
Tierras arables secano	26.386,32	25.369,19	19.627,58
Tierras arables regadío	2.927.683,01	3.618.927,89	2.299.858,19
Invernaderos	111.473,99	111.473,99	111.473,99
Huerta	138.713,25	152.695,14	123.517,73
Arrozales	9.841.617,91	12.043.977,41	12.043.977,41
Asociación Olivar-Cítricos regadío	3.226,84	4.277,49	3.996,27
Cítricos en regadío	1.249.086,35	1.366.806,56	1.225.189,54
Frutales secano	143.713,38	186.855,54	153.699,42
Frutales en regadío	273.735,48	314.098,04	231.715,16
Frutos secos en regadío	3.384,07	5.943,93	5.943,93
Olivar secano	926,45	1.170,90	1.087,12
Olivar en regadío	3.333,41	3.333,41	3.333,49
FO+MT+PS+PR	5.254,23	5.254,23	5.254,23
TOTAL	14.728.534,68	17.840.183,72	16.228.674,05

Este análisis supone una buena aproximación del daño económico en situaciones de emergencia. A continuación, se exponen algunos comentarios sobre los resultados obtenidos.

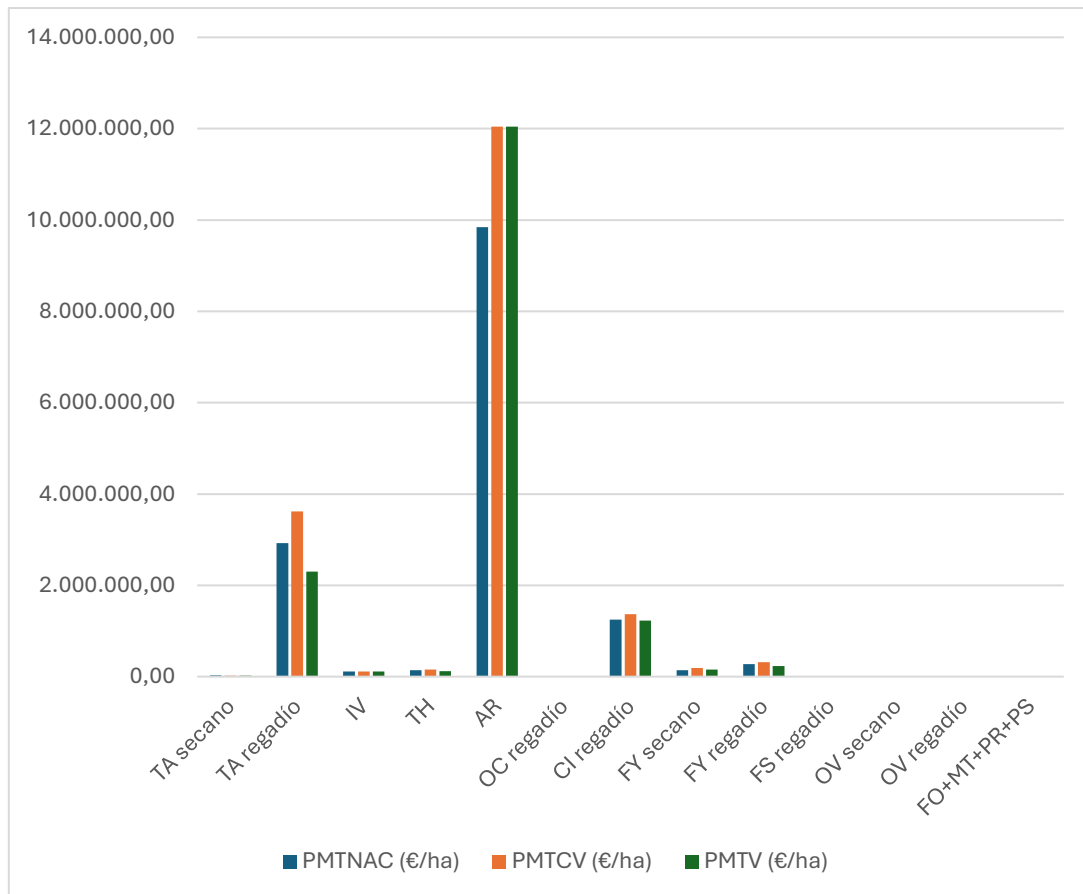


Figura 55. Comparativo de precios según tipo de cultivo.

De entre las clases de uso SIGPAC con mayor peso económico nos encontramos los arrozales, que suponen entre el 70 % y el 80 % del total, con un valor promedio de 11 millones de euros aproximadamente.

Las tierras arables en regadío representan el segundo mayor impacto, destacando en PMTCV con más de 3,5 millones de euros.

Los cítricos en regadío suponen una cuantía económica de 1,3 millones de euros según los precios considerados. Los frutales en regadío también han supuesto un valor cercano a los 270.000 €, seguido de los invernaderos que, pese a ocupar una menor superficie, el precio medio de la tierra es muy elevado.

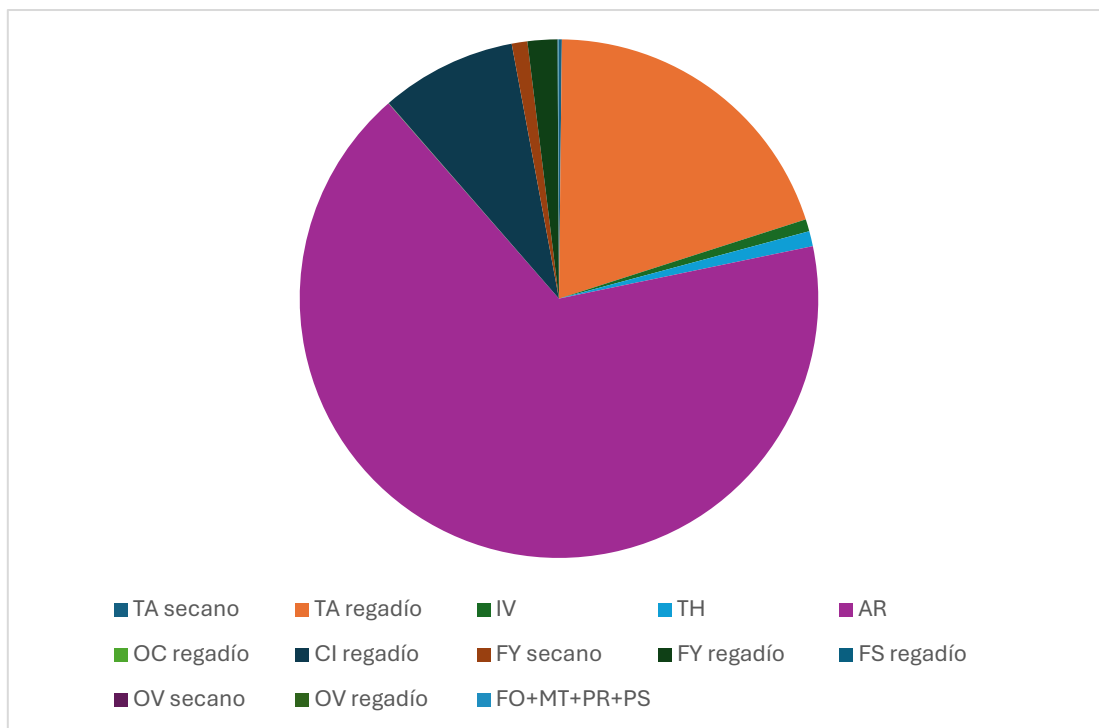


Figura 56. Porcentajes en función del valor económico para cada tipo de cultivo.

Las clases de menor peso económico corresponden a superficies pequeñas, cuyas contribuciones son residuales, pero deben considerarse para una estimación completa.

El PMTCV ha resultado ser el de mayor valor económico, aunque han mostrado ser bastante parejos, teniendo en cuenta que se han debido tener muchas consideraciones a la hora de crear los listados de precios debido a que las bases no son completas.

En el cálculo del valor del suelo únicamente se ha tenido en cuenta la base de precios de compraventa. Este enfoque puede tener algunas limitaciones y no reflejar el impacto económico real. Es importante señalar que el método empleado para la estimación económica de los daños supone una aproximación simplificada del valor económico real afectado. Este enfoque, aunque válido para obtener una primera cuantificación del impacto territorial, no contempla los costes reales de producción, ausencia de titularidad de los terrenos, terrenos en explotación o abandonados, afecciones parciales o indirectas, entre otras. Estos factores pueden diferir en los valores obtenidos que se realizarían a través de las compañías de seguros.

Como se ha comentado anteriormente, este estudio se va a complementar con un análisis del estado fenológico, para estimar las pérdidas que se han podido ocasionar en función de los daños producidos. Para ello, se han seleccionado los cultivos de arroz, cítricos y frutales por ser los más característicos del municipio.

Según la información extraída del calendario de siembras, recolección y comercialización y el boletín de información agraria en la provincia de Valencia:

El arroz, en su variedad japónica, se sembró en su totalidad en el mes de mayo. En septiembre se realizó la cosecha del 75% del producto. Quedando el 25% sin cosechar en el mes de octubre. Debido a las alertas por lluvias, la recolección del arroz restante se adelantó. Según el boletín de información agraria del 2024, en la comarca de l'Horta Sud (Valencia), más de la mitad del cultivo de arroz resultó afectado por las inundaciones de finales de octubre. Aunque la cosecha ya había sido recolectada, las parcelas sufrieron importantes daños estructurales, afectando a infraestructuras de riego y obstrucción de canales.

El naranjo dulce, en su variedad navel navelina, finalizó su floración en el mes de mayo. En el mes de octubre se realizó la cosecha del 30% del producto, por lo que quedó el 70% sin cosechar. La llegada de la DANA provocó inundaciones en numerosos municipios, lo que obligó a interrumpir las labores de recolección debido a la inaccesibilidad de caminos y al anegamiento total de algunas plantaciones.

El mandarino, en su variedad clementinas, terminó su floración en mayo. En el mes de octubre quedó el 65% del producto sin cosechar. Durante octubre y noviembre continuó la recolección de distintas variedades de clementinas y mandarinas, acelerándose ante la previsión de lluvias. En las zonas afectadas por la DANA se priorizaron tratamientos contra enfermedades y se detectaron problemas como “pixat” y alternaria, especialmente en clemenvilla.

El caqui finalizó su floración en el mes de mayo. En el mes de octubre aún quedaba el 60% del cultivo sin cosechar. En Catarroja se registraron daños en cultivos pendientes de recolección, con parcelas afectadas por lodo y residuos. En áreas próximas a cauces, algunos árboles fueron arrancados o gravemente dañados, requiriendo su replantación.

La Tabla 15 muestra un resumen del balance de pérdidas económicas de los productos cultivados más representativos del municipio de Catarroja.

Tabla 15. Balance de pérdidas económicas de los productos cultivados más característicos de Catarroja

Cultivo	¹ Superficie afectada (ha)	² Pérdidas de producto (t)	Precios medios nacionales (€/t)	Pérdidas económicas (€)
Naranja dulce	30	13.345	2,78	37.099
Mandarino	15	3.865	5,075	19.613
Caqui	18	2.893	4,308	12.464

¹Estimado con datos de las superficies cultivadas por municipios, comarcas y cultivos 2023 de Catarroja.

²El balance de pérdidas está referido al porcentaje que representa la cantidad de producto no cosechado en el municipio de Catarroja sobre el total producido en Valencia.

En el municipio de Catarroja, las inundaciones causadas por la DANA han afectado a cultivos de cítricos y caqui, generando pérdidas productivas y económicas. A modo de resumen, las pérdidas estimadas de estos productos son:

- 13.345 toneladas de naranjas dulces en 30 hectáreas afectadas, con un valor económico aproximado de 37.000 €.
- 3.865 toneladas de mandarinas en 15 hectáreas, con pérdidas estimadas de 19.000 €.
- 2.893 toneladas de caqui en 18 hectáreas, con un impacto económico de 12.000 € aproximadamente.

Estas cifras se han calculado considerando los precios medios nacionales de cada producto y representan los daños en los cultivos más representativos. En el arroz, pese a tener la mayor superficie afectada, se realizaron las labores de cosecha a tiempo gracias a las previsiones por lluvias.

7 CONCLUSIONES

El estudio ha demostrado la viabilidad y robustez de una metodología que combina tele-detección óptica y radar, análisis multitemporal e índices espectrales para detectar, delimitar y clasificar los efectos de un evento extremo como una DANA sobre el territorio agrícola. Esta integración metodológica ha permitido identificar zonas afectadas y estimar su impacto económico.

Las imágenes radar de Sentinel-1 han sido fundamentales para delimitar la huella de la DANA, incluso en condiciones de nubosidad, gracias a su capacidad para penetrar la cubierta atmosférica. El uso de polarización VH ha permitido identificar masas de agua en superficie y zonas encharcadas con alta fiabilidad.

Las imágenes de Sentinel-2 han aportado un nivel de detalle significativo al detectar cambios en la vegetación y zonas afectadas por barro mediante composiciones en color e índices espectrales como NDVI y SAVI.

El índice FMI aplicado sobre bandas del visible e infrarrojo ha sido particularmente útil para detectar depósitos de sedimentos sobre masas de agua, aunque la alta cobertura nubosa en la imagen y la interpretación en la clasificación de sus valores han podido sobre-dimensionar los resultados.

Las composiciones multitemporales han permitido observar claramente los cambios en las condiciones del terreno antes y después del evento, lo que ha ayudado al análisis y a la toma de decisiones.

A través de operaciones aritméticas entre capas ráster se ha generado una capa final que integra distintas fuentes de afección detectadas sobre el territorio, tales como presencia de agua, barro y cambios en la cobertura del suelo. Esta capa no representa directamente el impacto, sino la superposición y distribución espacial de las huellas del evento. A partir de esta capa, ha sido posible calcular la superficie total afectada, entendida como el resultado final del impacto de la DANA sobre el territorio agrícola analizado.

La estimación de daños económicos ha revelado el elevado impacto del evento sobre las explotaciones agrícolas, con una valoración total comprendida entre 14 y casi 18 millones de euros según el precio de referencia utilizada, referidos a una base de compraventa.

Además del valor del suelo, se han estimado las pérdidas productivas directamente relacionadas con cultivos en fases sensibles como la maduración o la recolección. A partir del

cruce entre las zonas afectadas, los usos del suelo, la información fenológica y los precios medios nacionales de productos agrícolas, se han identificado pérdidas superiores a 20.000 toneladas en cultivos clave como cítricos y caqui, con un coste económico aproximado de 69.000 euros en el municipio de Catarroja.

El enfoque propuesto es replicable y escalable, pudiendo ser empleado como herramienta de apoyo a la toma de decisiones en contextos de catástrofes naturales. La automatización parcial del flujo de trabajo y el uso de datos abiertos como los de Copernicus refuerzan su aplicabilidad por parte de administraciones y profesionales en el sector agroambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaras, E. (2025). Flood Mud Index (FMI): A Rapid and Effective Tool for Mapping Muddy Areas After Floods—The Valencia Case. *Remote Sensing*, 17(5), 770, 9-18.
- Álvarez Alonso, D., Antolín Tomás, C., Añó Vidal, C., Garc, A. G., Carbó Valverde, E., Martínez Gallego, J., . . . Soriano Guarinos, P. (1998). El suelo como recurso natural en la Comunidad Valenciana / dirigida por Carmen Antolín Tomás. *Publicacions de Divulgació Tècnica. Colecció Territori*, 8, 60-64.
- Álvarez Mozos, J. (2024). Índices para el seguimiento de cultivos a partir de observaciones Sentinel-1 GRD. *Grupo SAR Asociación Española de Teledetección (Píldoras formativas)*, 11-18.
- Añó Vidal, C., Valera Lozano, A., Carbó Valverde, E., & Sánchez Díaz, J. (2023). Guía metodológica para la evaluación agrológica municipal de los suelos en el ámbito de la estrategia territorial de la Comunitat Valenciana. 1ª edición: 2023. *Generalitat Valenciana (Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad)*, 4-8.
- Ariza, A., Garcia, S., Rojas, S., & Ramírez, M. (2014). Desarrollo de un modelo de corrección de imágenes de satélite para inundaciones:(CAIN-Corrección Atmosférica e Índices de Inundación). *Centro de Investigación y Desarrollo en información Geográfica del IGAC- CIAF (2014)*, 4-7.
- Ayuntamiento de Catarroja. (2010). *Plan General de Ordenación Urbana de Catarroja (Valencia)*.
- Baltazar Ascención, R., Mastachi-Loza, C. A., Galindo Alcántara, A., Hernández Téllez, M., & Becerril-Piña, R. (2021). Metodología para la estimación de pérdidas económicas de cultivos de maíz siniestrados por inundaciones usando teledetección. *Revista de Geografía Norte Grande*, 79: 207-227 (2021), 212-214.
- Blacus, V. (2012). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia Commons (Consutado el 26/05/2025): <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.svg>

- Castro-Melgar, I., Falaras, T., Basiou, E., & Parcharidis, I. (2025). Assessment of the October 2024 Cut-Off Low Event Floods Impact in Valencia (Spain) with Satellite and Geospatial Data. *Remote Sensing*, 2025; 17(13):2145, 8-15.
- Checa Alonso, M. J., Escudero Barbero, R., & Velázquez Henar, T. (2005). Seguimiento por teledetección de la superficie inundada en otoño - invierno en la zona de cultivo de arroz en la Albufera de Valencia. *XI Congreso Nacional de Teledetección*, 21-23, 388-390.
- CHJ. (s.f.). *Descarga de datos y cartografía*. Obtenido de Confederación Hidrográfica del Júcar (Consultado el 02/03/2025): <https://www.chj.es/es-es/Paginas/Home.aspx>
- Chuvieco, E. (1998). El factor temporal en teledetección: evolución fenomenológica y análisis de cambios. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 10 (1-9), 3-5.
- Chuvieco, E. (2008). *Teledetección Ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio (3ª edición actualizada)*. Barcelona: Ariel.
- CNIG. (2025). *Centro de Descargas de CNIG (IGN)*. Obtenido de <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/home>
- Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca. (2023). *Estadísticas agrícolas*. Obtenido de <https://portalagrari.gva.es/es/pye/estadistiques-agricoles>
- Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca. (2025). *Información de precios y mercados*. Obtenido de <https://portalagrari.gva.es/es/pye/informacio-de-preus-i-mercats>
- Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca. (2025). *Informes sectores productivos*. Obtenido de <https://portalagrari.gva.es/es/pye/otros-informes>
- Copernicus. Europe's eyes on Earth. (2025). *Copernicus Browser*. Obtenido de <https://browser.dataspace.copernicus.eu/>
- de Santiesteban, C., Marco-Barba, J., & R. Miracle, M. (2009). La evolución Holocena de la Albufera de Valencia. *Geogaceta*, 46, 99-102.
- FAO. (2025). *Portal de suelos de la FAO*. Obtenido de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>

- Fernández Barrera, E. (2023). *¿Qué es una dana y cómo se forma? ¿Por qué es más adecuado usar este término que gota fría?* Obtenido de AEMET Blog (consultado el 17/04/2025): <https://aemetblog.es/2023/06/03/que-es-una-dana-y-como-se-formapor-que-es-mas-adecuado-usar-este-termino-que-gota-fria/>
- Generalitat Valenciana. (2024). *Boletín de Información Agraria 4º Trimestre 2024 Número 236*. Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca.
- Gómez Villar, A., & Ruiz Flaño, P. (1988). Usos del suelo en los conos de deyección de La Rioja Alta. *Instituto Pirenaico de Ecología, Ap 64*, 993-1000.
- Gómez, A. (2024). *Atrapado en la DANA de Valencia: crónica desde el corazón del diluvio*. Obtenido de RTVE Noticias (consultado el 17/05/2025): <https://www.rtve.es/noticias/20241129/mes-dana-lluvia-cronica/16350435.shtml>
- Grup de Cartografia GeoAmbienta i Teledetecció (CGAT) - Departament d'Enginyeria Cartogràfica, Geodèsia i Fotogrametria de la Universitat Politècnica de València (UPV). (s.f.). *Mapa d'inundació carrer a carrer de l'Horta Sud 2024*. Obtenido de DANA 2024 (consultado el 28/02/2025): <https://dana2024.upvusig.car.upv.es/>
- Huete, A. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.
- IGN. (s.f.). *Visualizador de mapas e imágenes (BERPRIX)*. Obtenido de IGN (consultado el 20/02/2025): <https://www.ign.es/iberpix/visor/>
- J. Meyer, F., Flores, A., Martin, V., Anderson, V., & Cherrington, E. (2021). Introducción al radar de apertura sintética para aplicaciones en ecosistemas. *XIX Simposio Internacional de Selper Chile (2021)*, 7-14.
- Janga, B., Prathin, G., Sun, Z., & Cristea, N. (2023). A Review of Practical AI for Remote Sensing in Earth Sciences. *Remote Sens. 2023*, 15(16), 3-9.
- Jensen, J. (2007). *Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. 2nd Edition*. Pearson.
- Labrador, M., Évora, J. A., & Arbelo, M. (2012). *Satélites de teledetección para la gestión del territorio*. Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Aguas del Gobierno de Canarias.
- Lillesand, T., Kiefer, R., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation (7th Edition)*. Wiley.

- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Science and Systems. 4th Edition*. Wiley.
- Machetti Bermejo, I. (2019). El riesgo de inundación en la agricultura. *Conorsegueros revista digital*, 11, 5-11.
- Manrique, E. (1999). Índice de vegetación. Aplicación del NDVI. *Teledetección. Avances y Aplicaciones. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Asociación Española de Teledetección. Albacete, AB, España (pp. 217-219)*, 1-3.
- MAPA. (s.f.). *Estudios de costes y rentas de las explotaciones agrarias*. Obtenido de ECREA (consultado el 20/06/2025): <https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/financiacion-fiscalidad-estudio-costes/ecrea>
- MAPA. (s.f.). *Informe Precios Medios Nacionales*. Obtenido de Consultado el 20/06/2025: <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/precios-medios-nacionales>
- MAPA. (s.f.). *Precios medios anuales de las tierras de uso agrario*. Obtenido de (consultado el 20/06/2025): <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/economia/precios-medios-anuales-tierra>
- Martín, F. (2003). *Las gotas frías / DANAS. Ideas y conceptos básicos*.
- Martínez Barbachano, R. (2022). Estimación de la superficie afectada por inundaciones mediante polarimetría con imágenes radar de apertura sintética (SAR) Sentinel 1A en la cuenca hidrográfica del río Frío (Costa Rica). *Revista Geográfica de América Central*, (70), 273-296.
- Ochoa, F. (2023). *¿Qué es un análisis multitemporal?* Obtenido de ArcGeek (consultado el 19/06/2025: <https://acolita.com/que-es-un-analisis-multitemporal/>
- Olalla, R. (2005). Validación climática del modelo conceptual de DANA. *Universidad de Vigo. Facultad de Ciencias de Ourense. Departamento de Física Aplicada*, 21-22.
- Pérez, B., Serna, A. R., Delgado, J., Caballero, M. E., & Villa, G. (2020). *El Programa Copernicus para la monitorización del territorio y los Objetivos del Desarrollo*. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica.

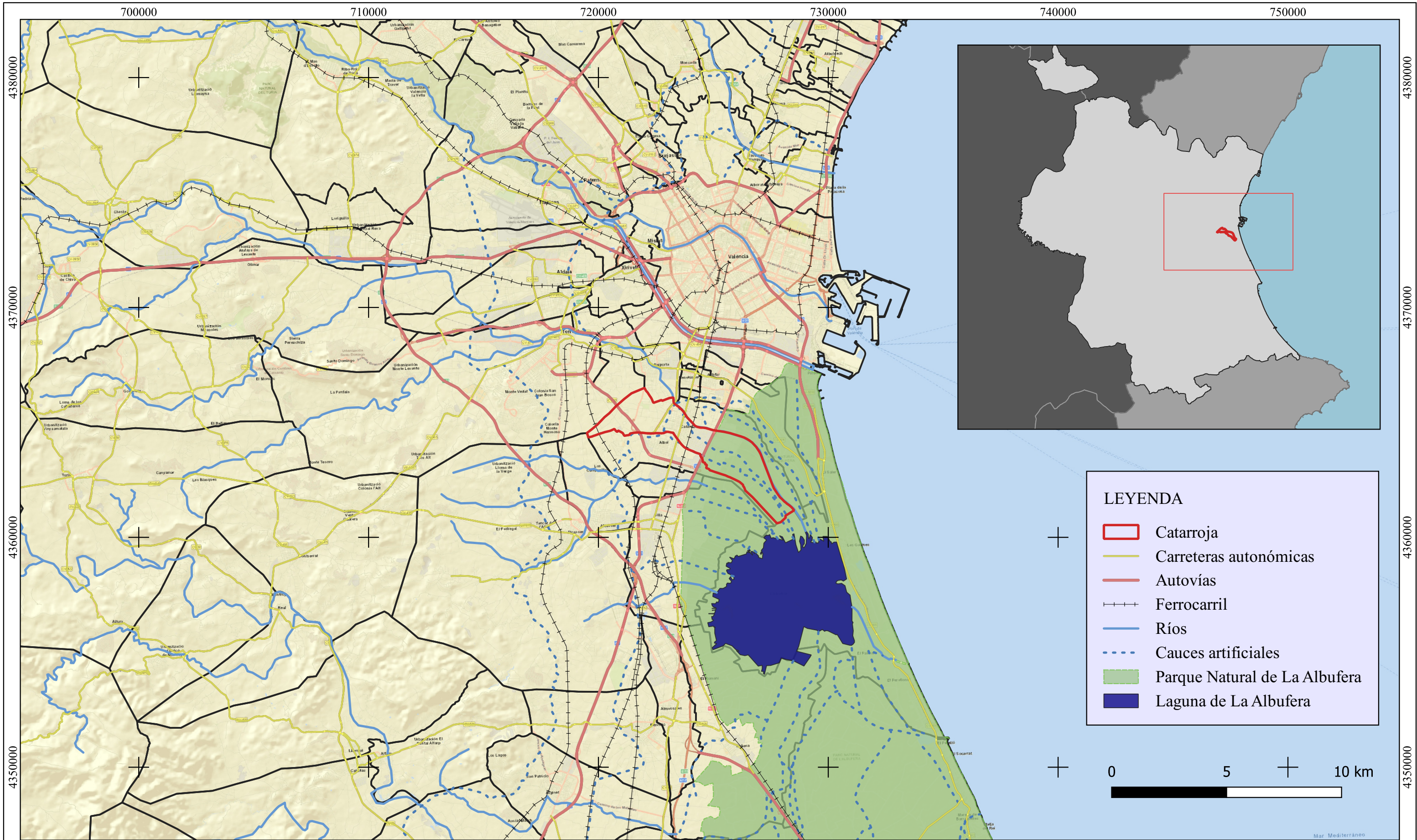
- Podest, E. (2024). Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. Sesión 1: Introducción al Radar de Apertura Sintética. *ARSET - Introducción al Radar de Apertura Sintética (SAR) y sus Aplicaciones. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). 1ª Sesión, 14-67.*
- Podest, E., & Meyer, F. J. (2023). SAR para la Detección y el Monitoreo de Inundaciones, el Hielo Marino y la Subsistencia del Suelo por la Extracción de Agua. *ARSET - SAR para la Detección y el Monitoreo de Inundaciones, el Hielo Marino y la Subsistencia del Suelo por Extracción de Agua. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). 3ª Sesión, 29-45.*
- Rouse, J. H. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). *Proceedings of the 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium, 309-317.*
- Sergieieva, K. (2022). *Mapa SIG: Tipos De Mapas Interactivos Y Aplicaciones*. Obtenido de EOS Data Analytics (consultado el 30/05/2025): <https://eos.com/es/blog/mapa-sig/>
- Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística. (Consultado en 2025). *Calendario de siembra, recolección y comercialización 2014-2016*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Análisis Coordinación y. (2023). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos. Año 2023.*
- Toribio, G. (2019). *Combinación de bandas en imágenes Sentinel2*. Obtenido de Cursos teledetección (consultado el 15/06/2025): <https://www.cursosteledeteccion.com/combinacion-de-bandas-en-imagenes-sentinel2/>
- Toribio, G. (2019). *NDVI, ¿qué es y para qué sirve?* Obtenido de Cursos teledetección (Consultado el 3/06/2025): <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Vázquez Tarrío, D., Díez Herrero, D., & Lucía Vela, A. (2024). *CSIC*. Obtenido de En las riadas, no sólo daña el agua; daña más el barro (consultado el día 12/02/2025): <https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/en-las-riadas-no-solo-dana-el-agua-dana-mas-el-barro>

Wang, X., Ge, L., & Xiaojing, L. (2012). Evaluation of filters for ENVISAT ASAR speckle suppression in pasture area. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-7 XXII ISPRS Congress*, 341-343.

ANEXOS

1. Situación geográfica “1)
2. Situación geográfica (2)
3. Mapa de altitudes
4. Mapa de pendientes
5. Mapa de precipitaciones
6. Cuenca y subcuencas de la Confederación Hidrográfica Del Júcar
7. Recintos SIGPAC
8. Huella de la inundación
9. Huella de barro
10. Composición en color verdadero 26 de octubre de 2024
11. Composición en color verdadero 31 de octubre de 2024
12. Composición en IR color 26 de octubre de 2024
13. Composición en IR color 31 de octubre de 2024
14. Composición en SWIR color 26 de octubre de 2024
15. Composición en SWIR color 31 de octubre de 2024
16. NDVI 26 de octubre de 2024
17. NDVI 10 de noviembre de 2024
18. SAVI 26 de octubre de 2024
19. SAVI 10 de noviembre de 2024
20. Composición multitemporal polarización VH Sentinel-1
21. Composición multitemporal Banda 2 Sentinel-2
22. Composición multitemporal Banda 4 Sentinel-2
23. Composición multitemporal Banda 8 Sentinel-2
24. Composición multitemporal Banda 12 Sentinel-2
25. Composición multitemporal NDVI
26. Composición multitemporal SAVI
27. Diferencia de NDVI entre las fechas 26 de octubre de 2024 y 10 de noviembre 2024
28. Diferencia de SAVI entre las fechas 26 de octubre de 2024 y 10 de noviembre 2024
29. Composición RGB del Análisis de Componentes Principales
30. Clasificación de fuentes de impacto DANA 2024 en el municipio de Catarroja

31. Superficie total afectada por la DANA 2024 en el municipio de Catarroja

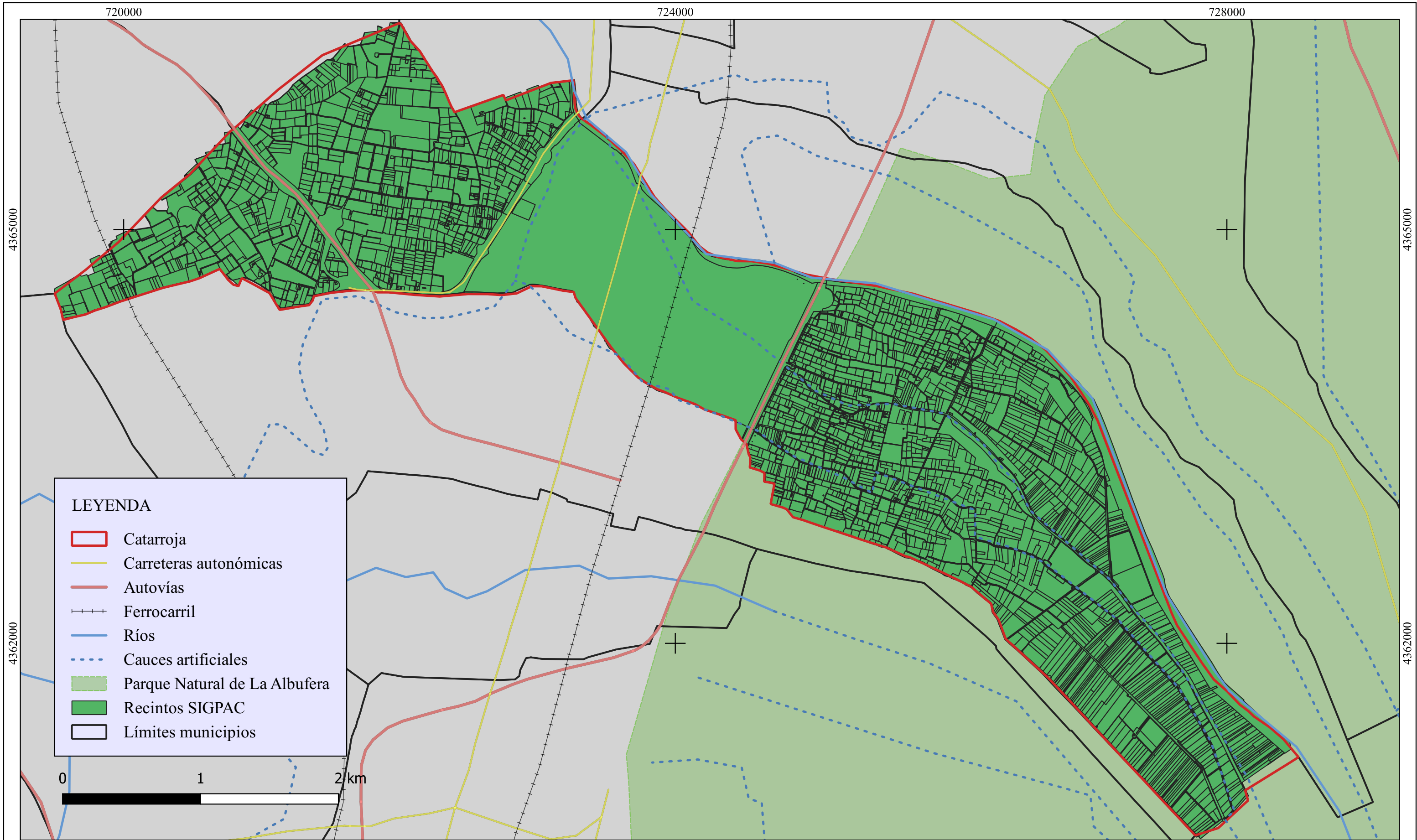



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

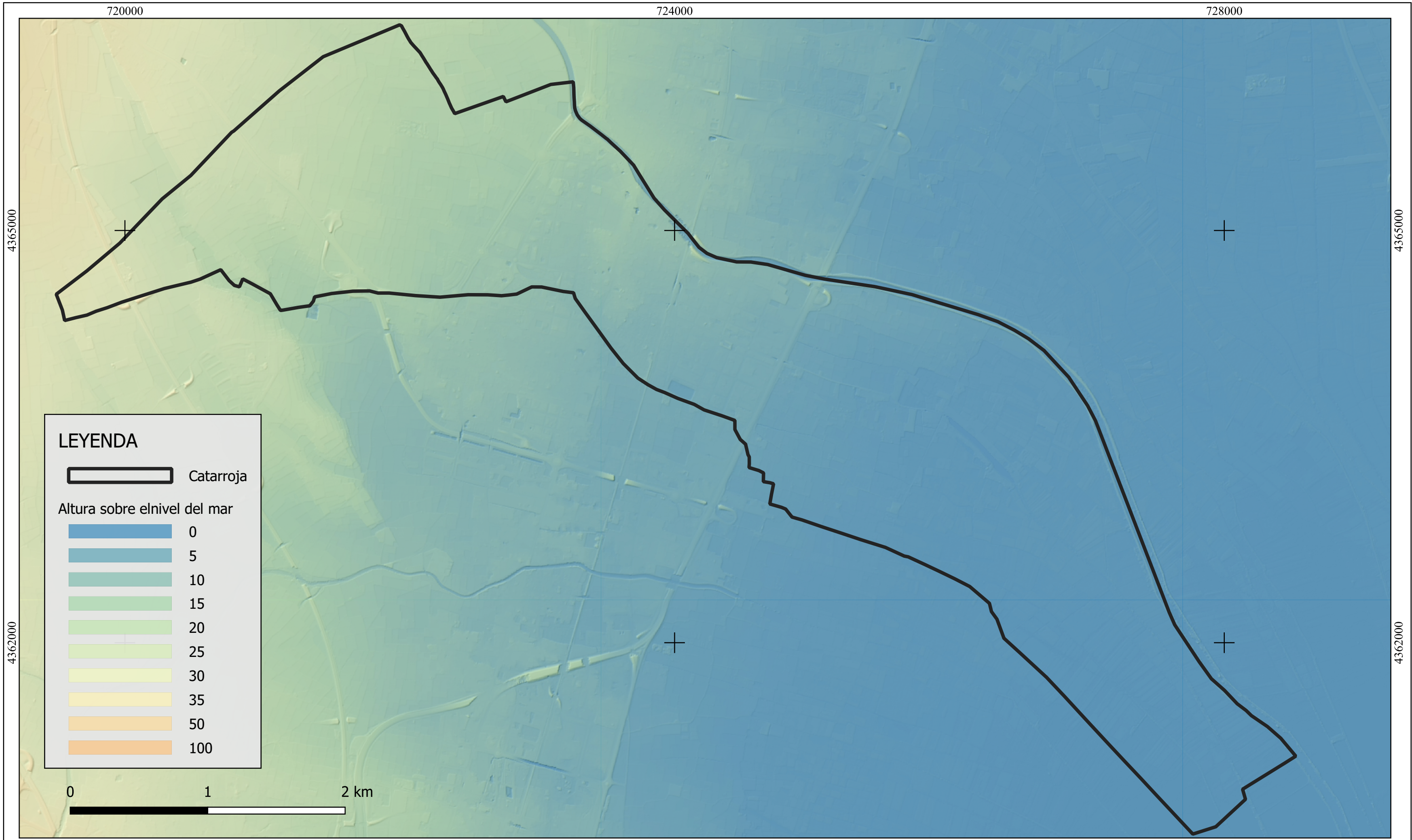
Título: SITUACIÓN GEOGRÁFICA (1)
 Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Escala: 1:150000
 Plano: 01 Formato: A3
 Fecha: ABRIL-2025

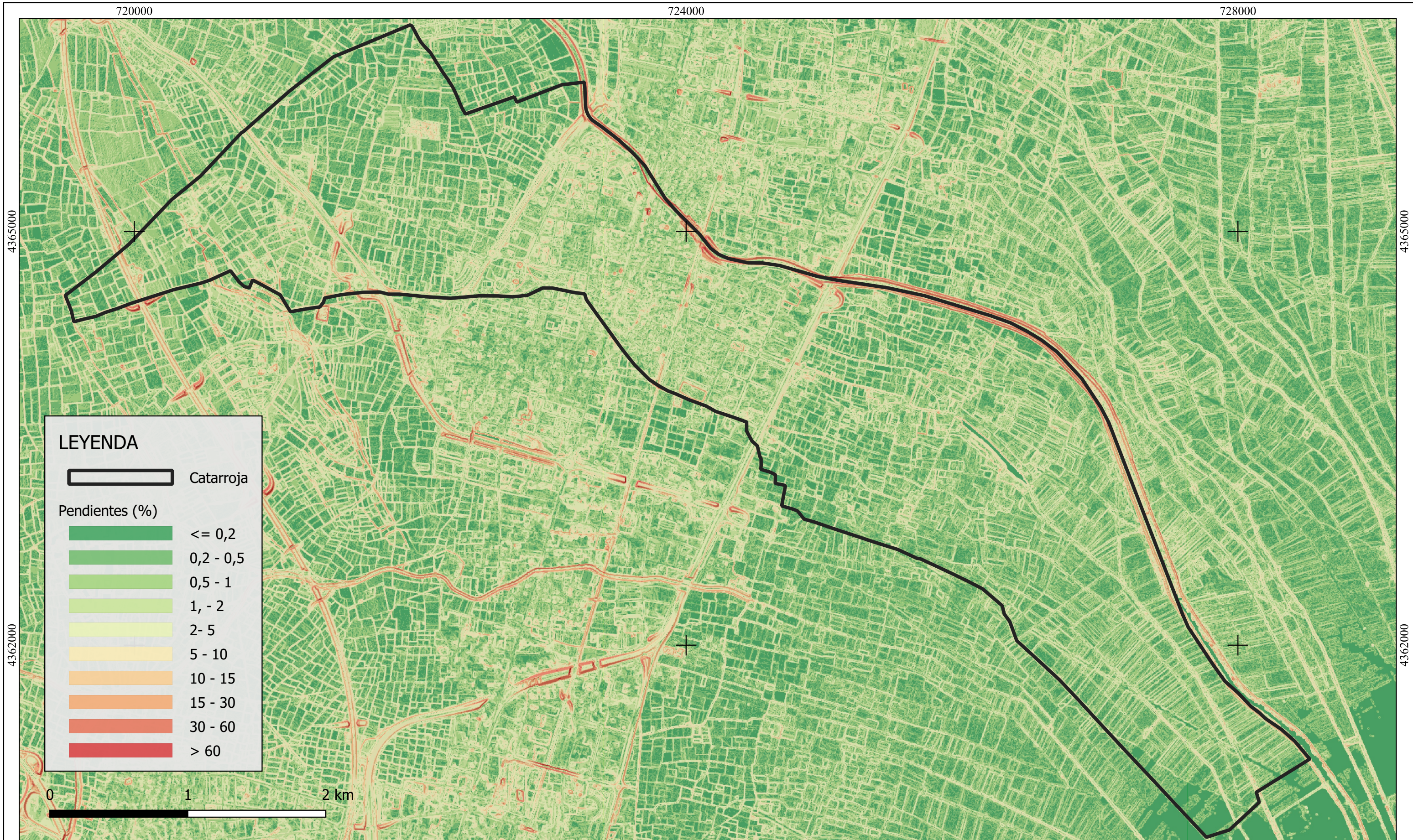
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: SITUACIÓN GEOGRÁFICA (2)		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 02	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.			Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN		Fecha: ABRIL-2025



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: MAPA DE ALTITUDES	Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N	Plano: 03	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN	Fecha: ABRIL-2025	



LEYENDA

- Catarroja
- Pendientes (%)**
- <= 0,2
- 0,2 - 0,5
- 0,5 - 1
- 1, - 2
- 2- 5
- 5 - 10
- 10 - 15
- 15 - 30
- 30 - 60
- > 60



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: MAPA DE PENDIENTES

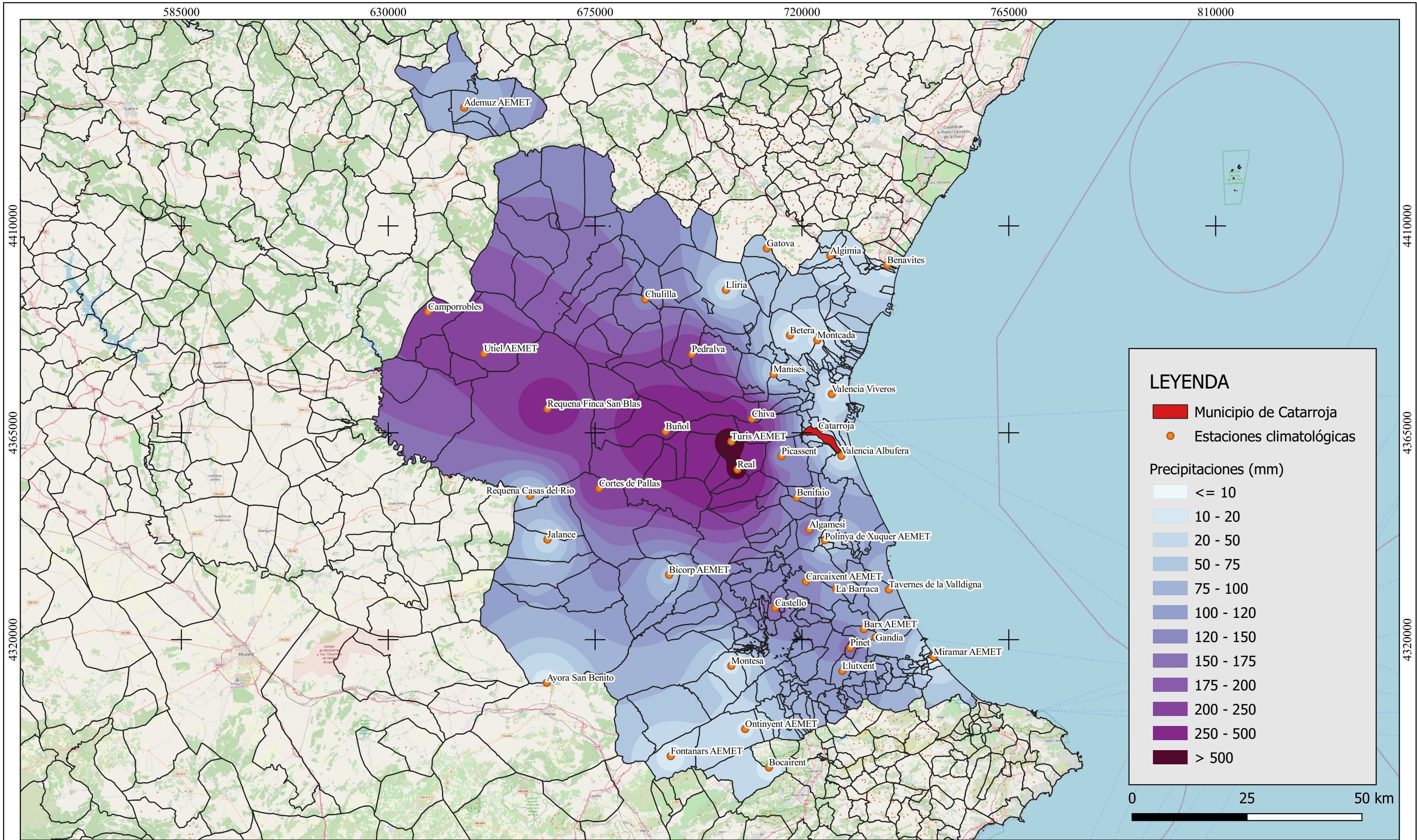
Escala: 1:25000
 Plano: 04 Formato: A3

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

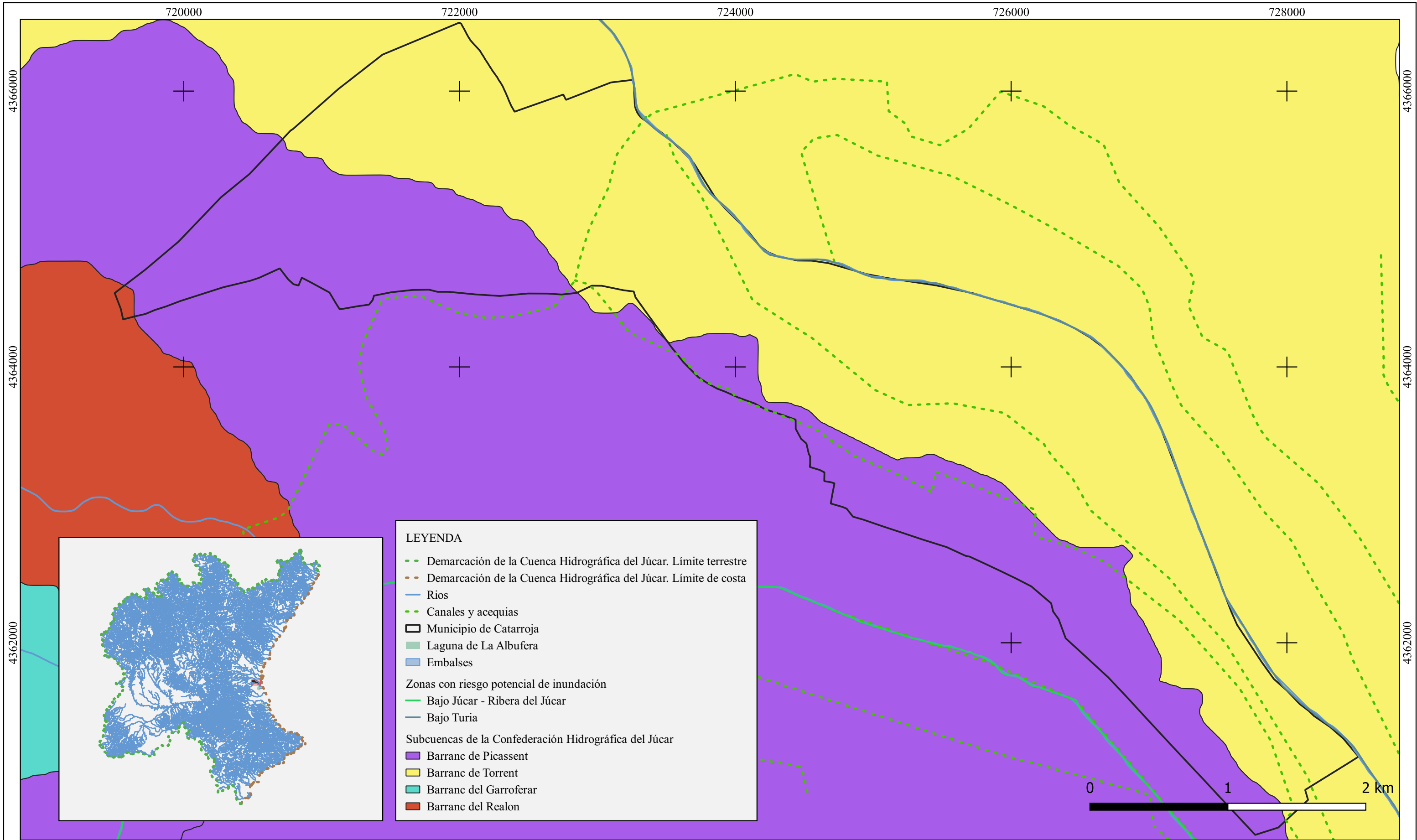


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: MAPA DE PRECIPITACIONES
 Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Escala: 1:750000
 Plano: 05 Formato: A3
 Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.



LEYENDA

- - - Demarcación de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Límite terrestre
- - - Demarcación de la Cuenca Hidrográfica del Júcar. Límite de costa
- Ríos
- ... Canales y acequias
- ▭ Municipio de Catarroja
- Laguna de La Albufera
- Embalses

Zonas con riesgo potencial de inundación

- Bajo Júcar - Ribera del Júcar
- Bajo Turia

Subcuencas de la Confederación Hidrográfica del Júcar

- Barranc de Picassent
- Barranc de Torrent
- Barranc del Garroferar
- Barranc del Realon



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: CUENCA Y SUBCUENCAS DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Escala: 1:25000

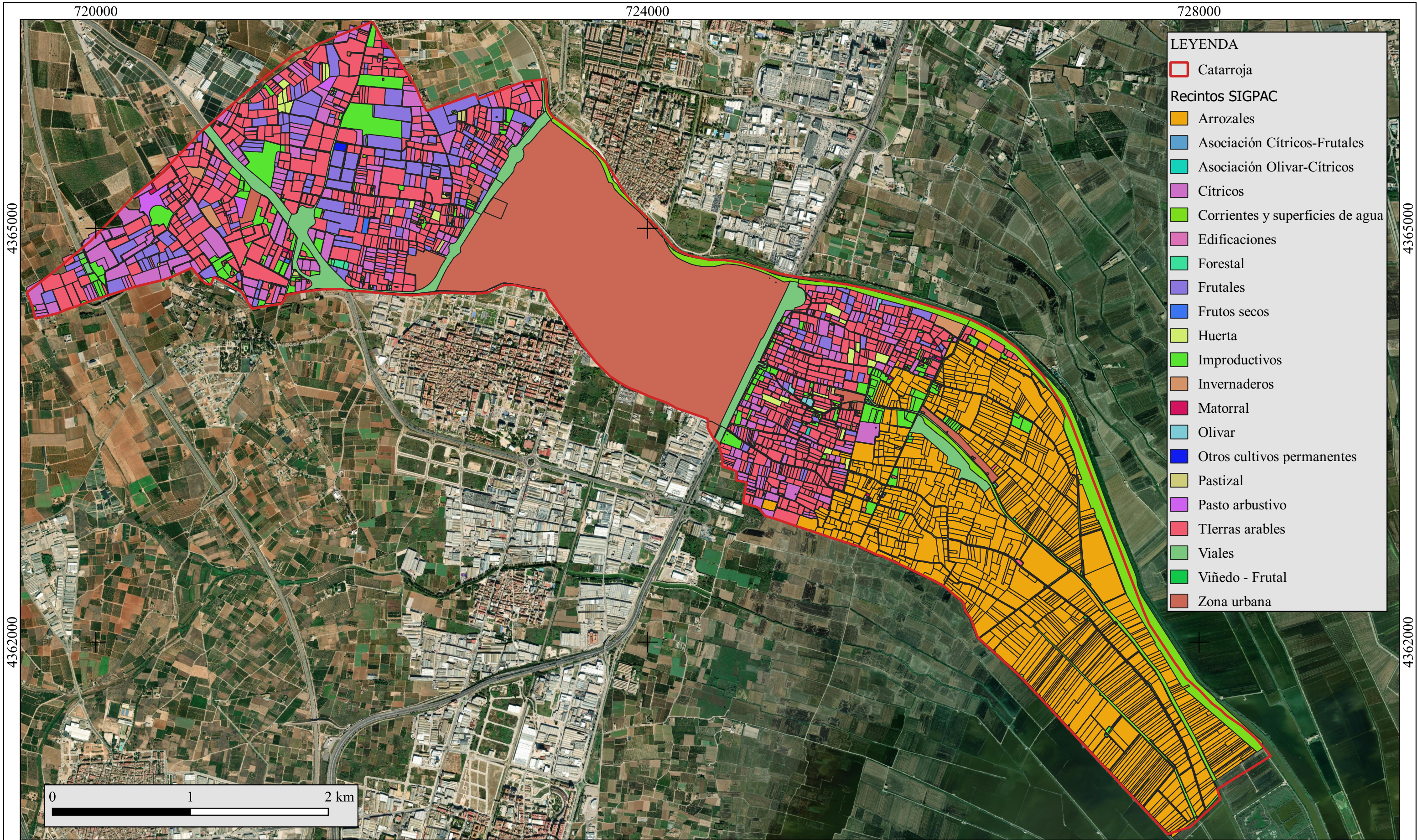
Plano: 06 Formato: A3


APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

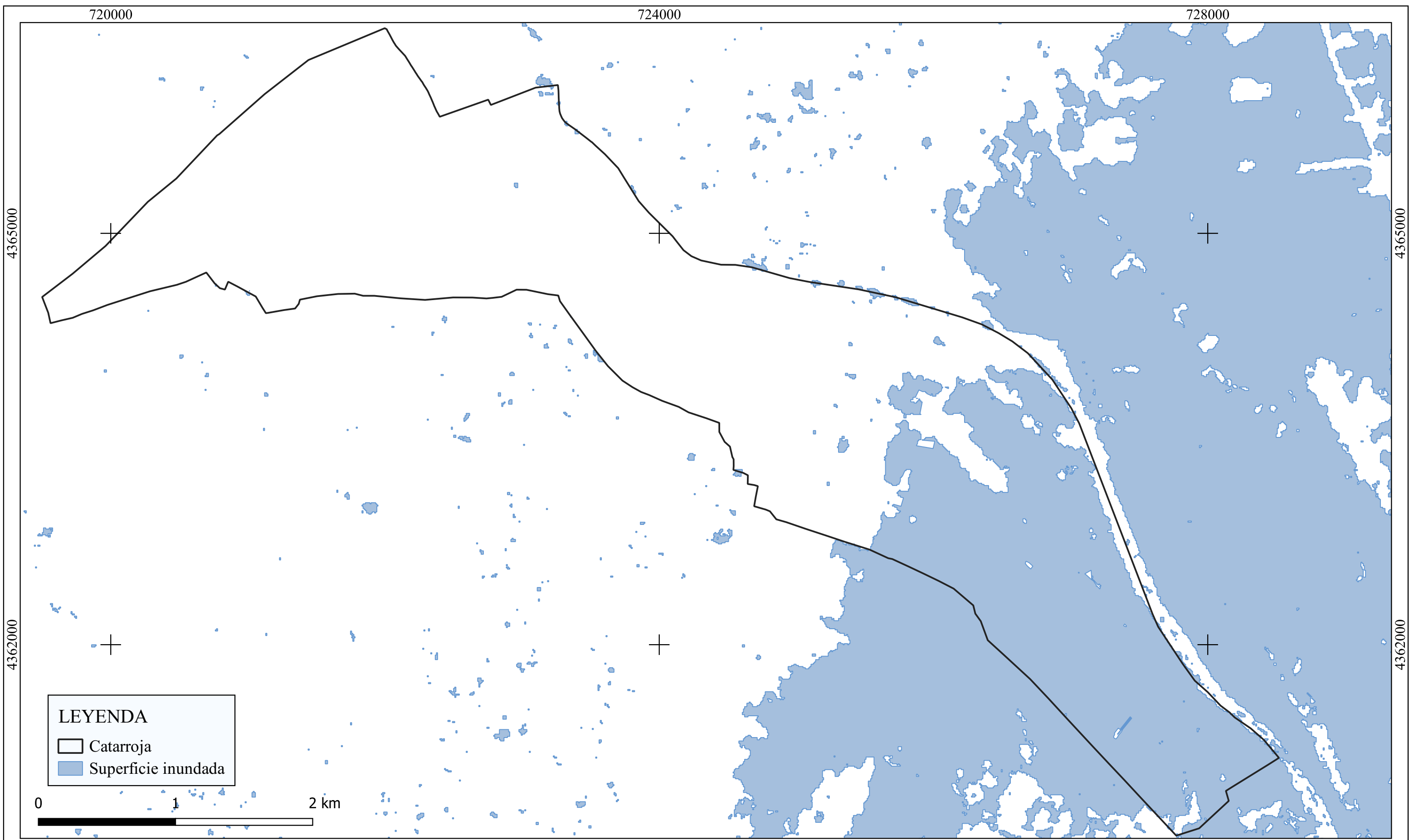
Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N


Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

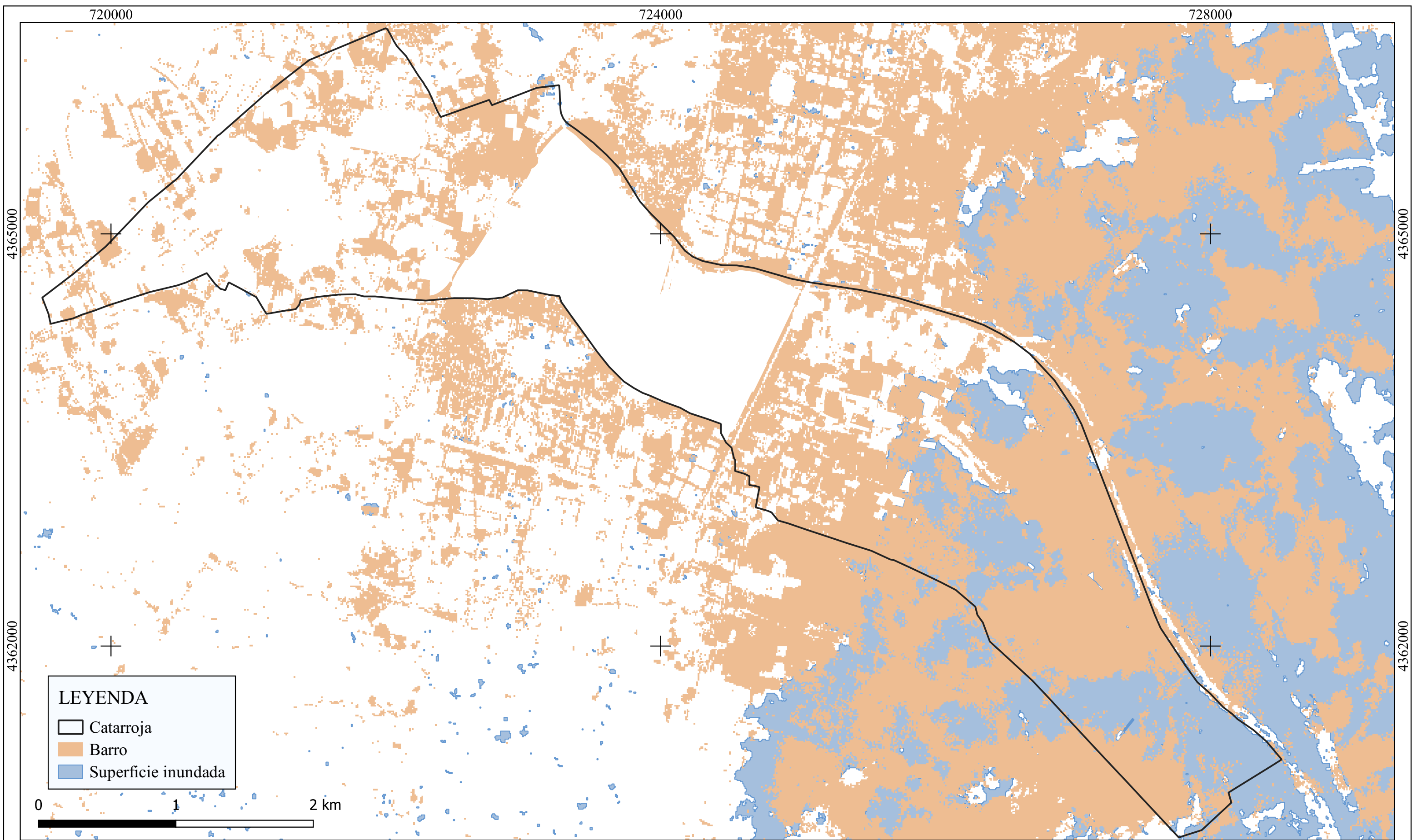
Fecha: ABRIL-2025



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: RECINTOS SIGPAC		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 07	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN			Fecha: ABRIL-2025



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: HUELLA DE LA INUNDACIÓN		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 08	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN			Fecha: ABRIL-2025



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: HUELLA DE BARRO
 Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Escala: 1:25000
 Plano: 09 Formato: A3
 Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

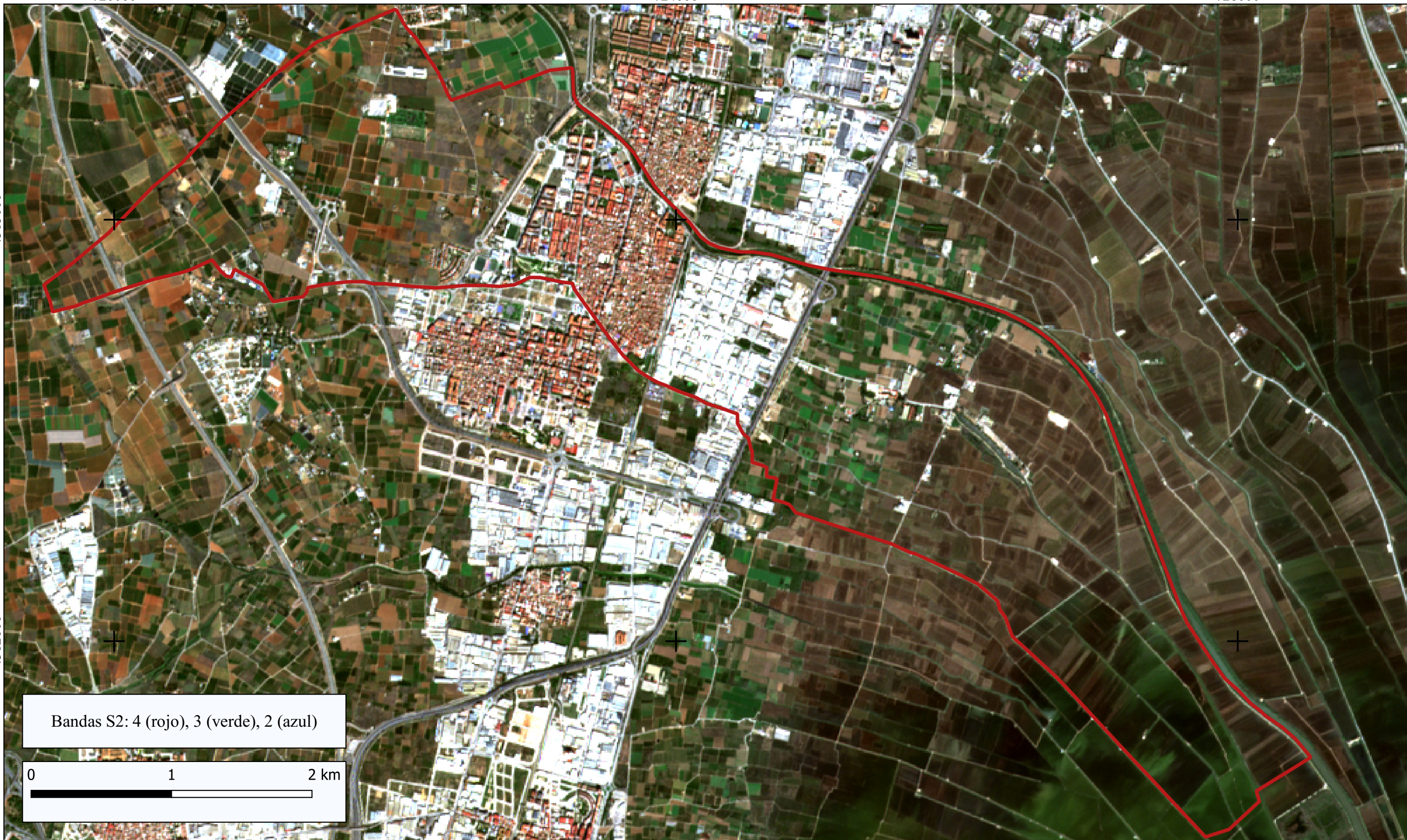
728000

4365000

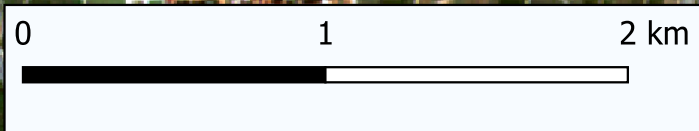
4365000

4362000

4362000



Bandas S2: 4 (rojo), 3 (verde), 2 (azul)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN EN COLOR VERDADERO
 26 DE OCTUBRE DE 2024

Escala: 1:25000
 Plano: 10 Formato: A3

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

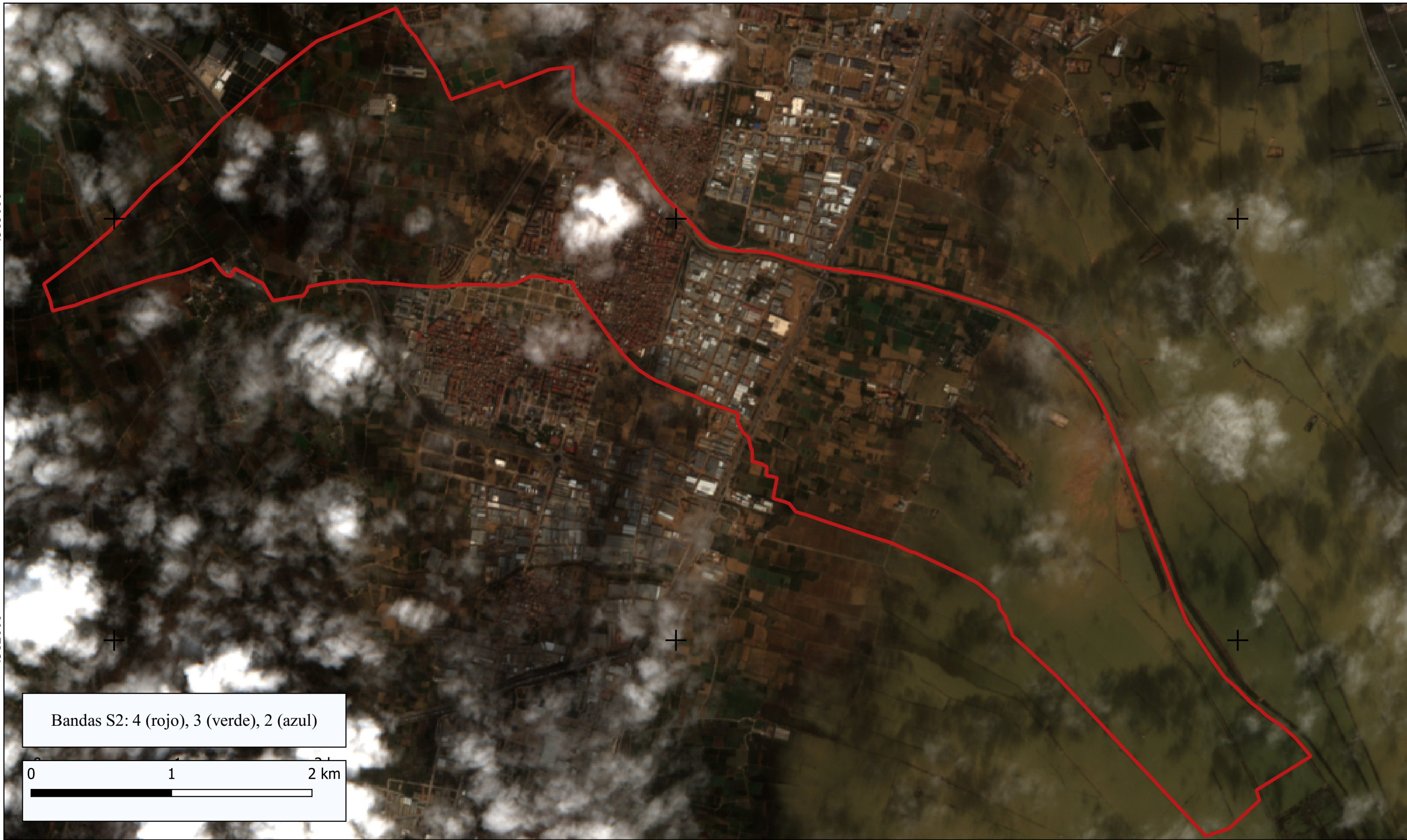
728000

4365000

4365000

4362000

4362000



Bandas S2: 4 (rojo), 3 (verde), 2 (azul)

0 1 2 km



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN EN COLOR VERDADERO
 31 DE OCTUBRE DE 2024

Escala: 1:25000

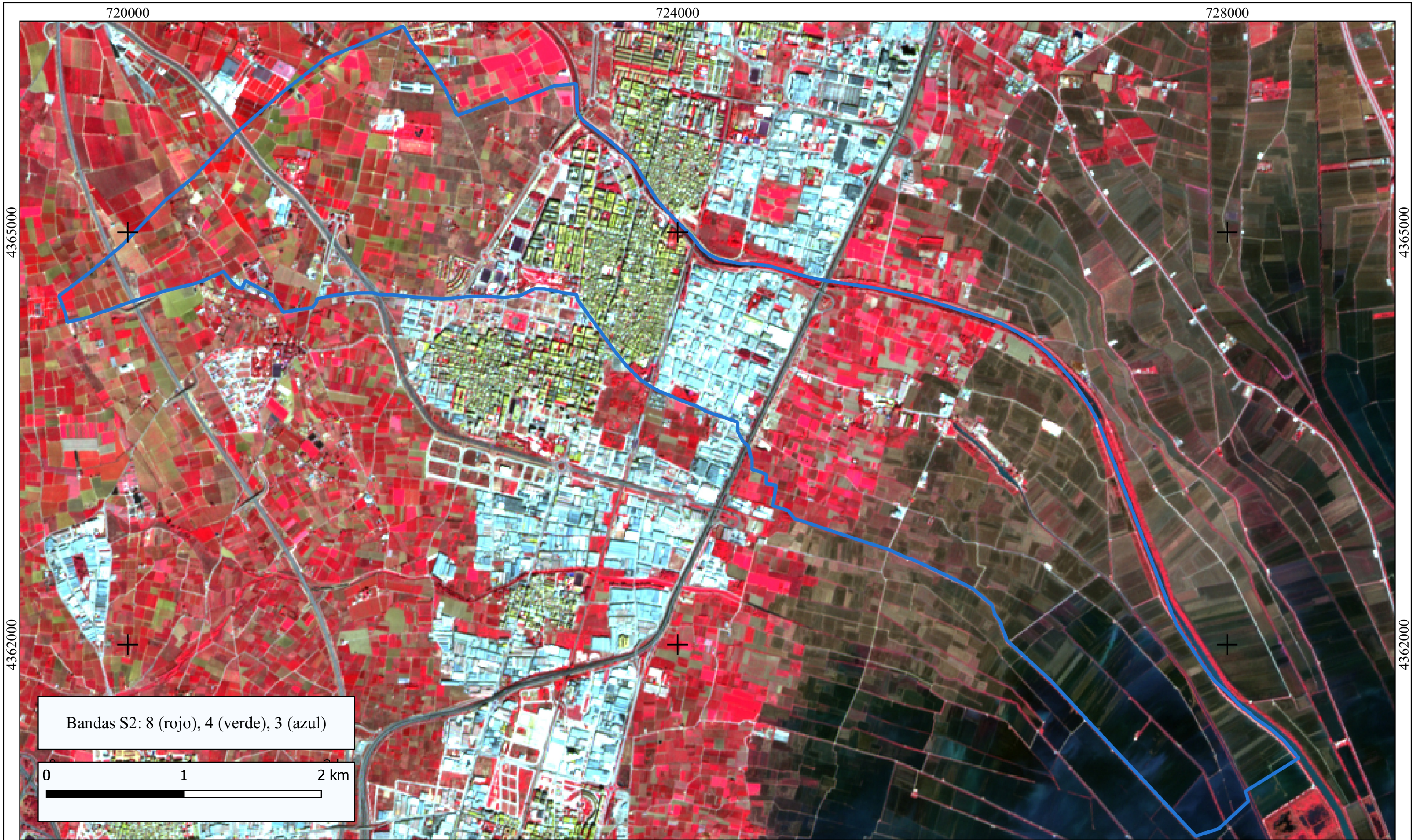
Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 11 Formato: A3

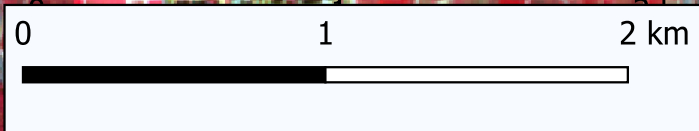
Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN


Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.



Bandas S2: 8 (rojo), 4 (verde), 3 (azul)



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: COMPOSICIÓN EN IR COLOR 26 DE OCTUBRE DE 2024		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 12	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.			Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN		Fecha: ABRIL-2025

720000

724000

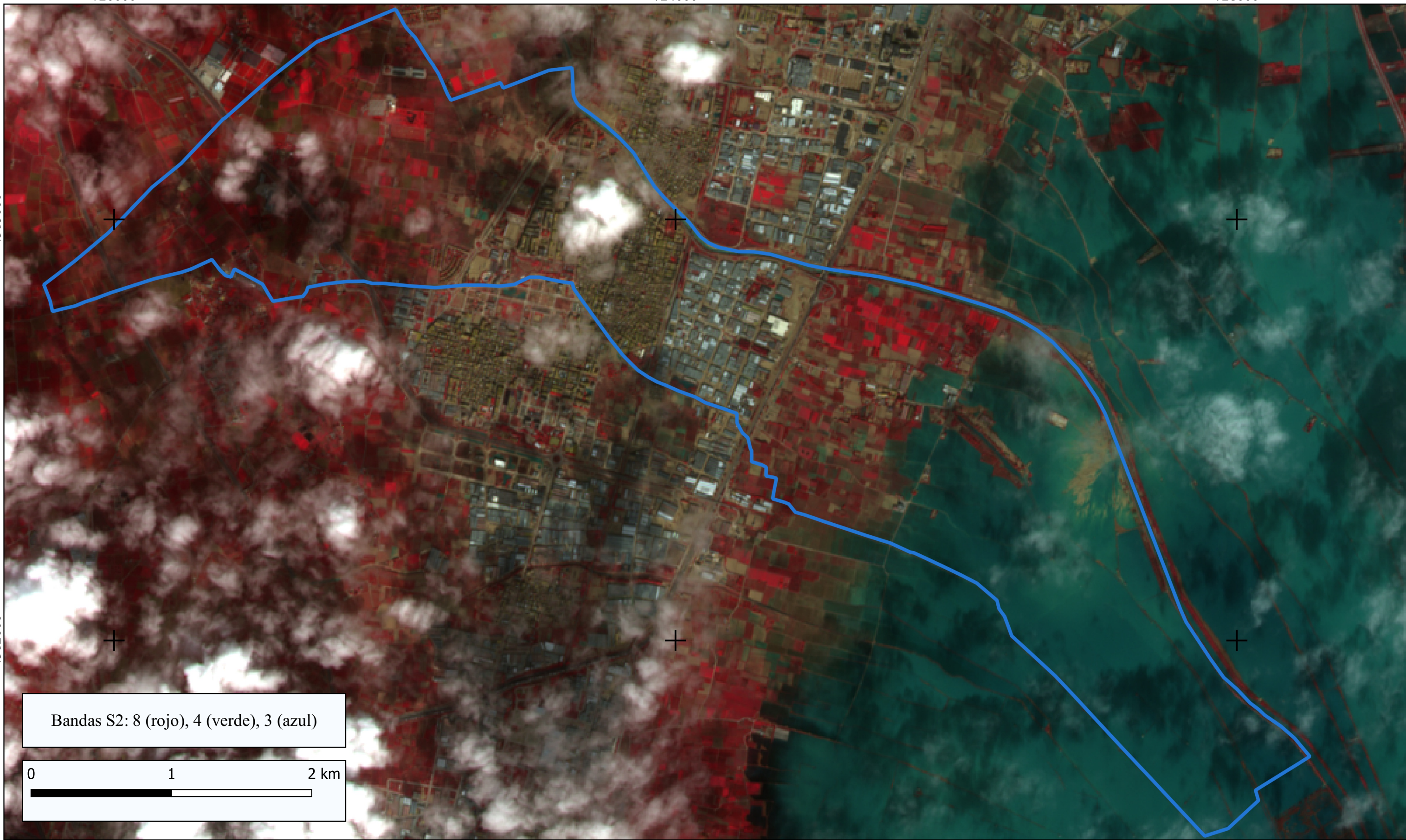
728000

4365000

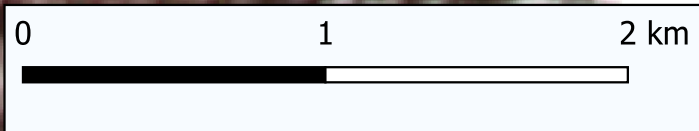
4365000


4362000

4362000



Bandas S2: 8 (rojo), 4 (verde), 3 (azul)



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: COMPOSICIÓN EN IR COLOR 31 DE OCTUBRE DE 2024		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 13	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.			Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN		Fecha: ABRIL-2025

720000

724000

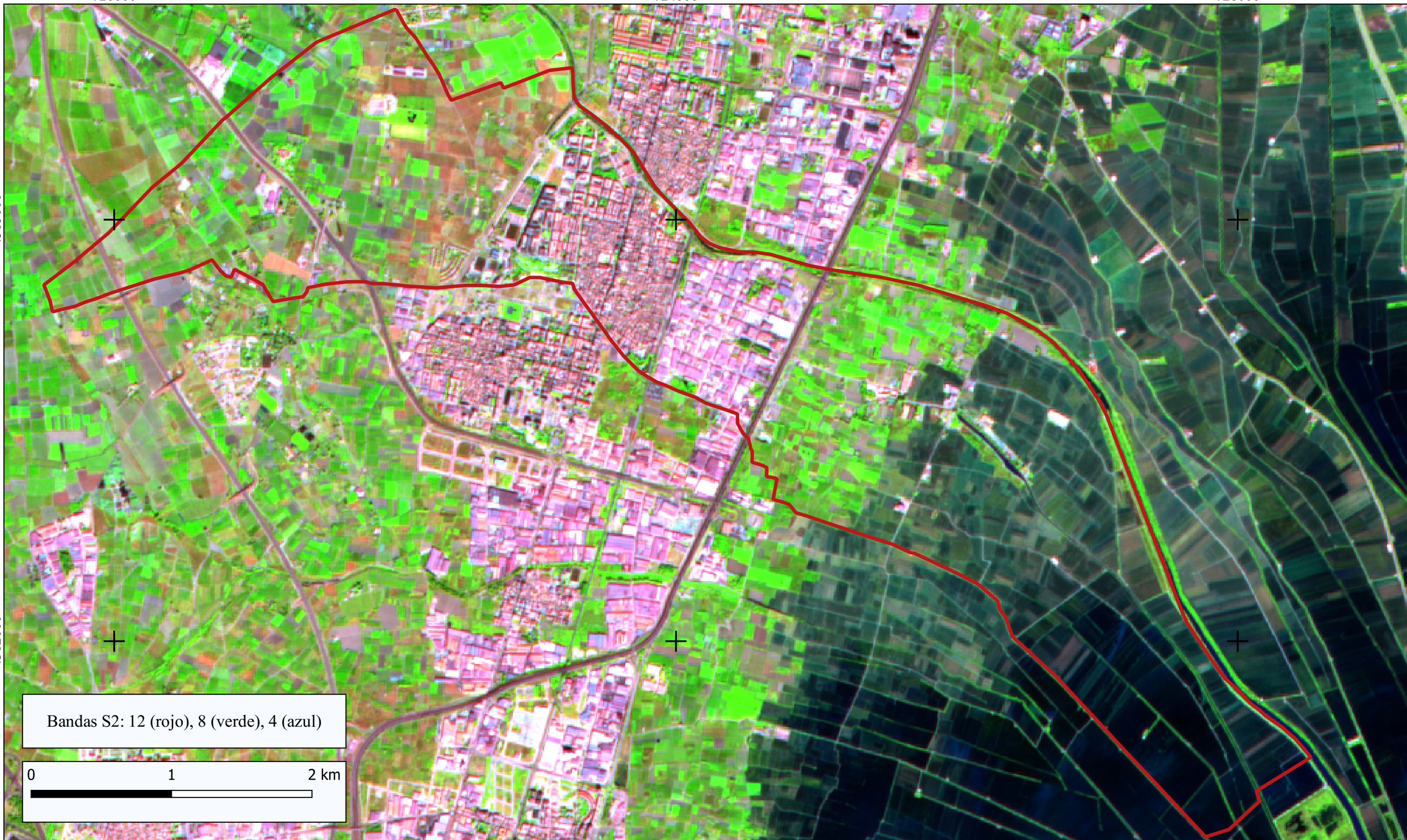
728000

4365000

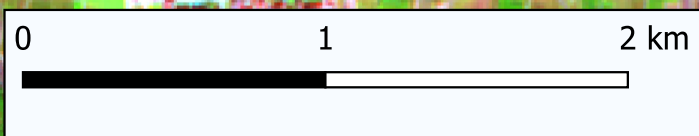
4365000

4362000

4362000



Bandas S2: 12 (rojo), 8 (verde), 4 (azul)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN EN SWIR COLOR
 26 DE OCTUBRE DE 2024

Escala: 1:25000
 Plano: 14 Formato: A3

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

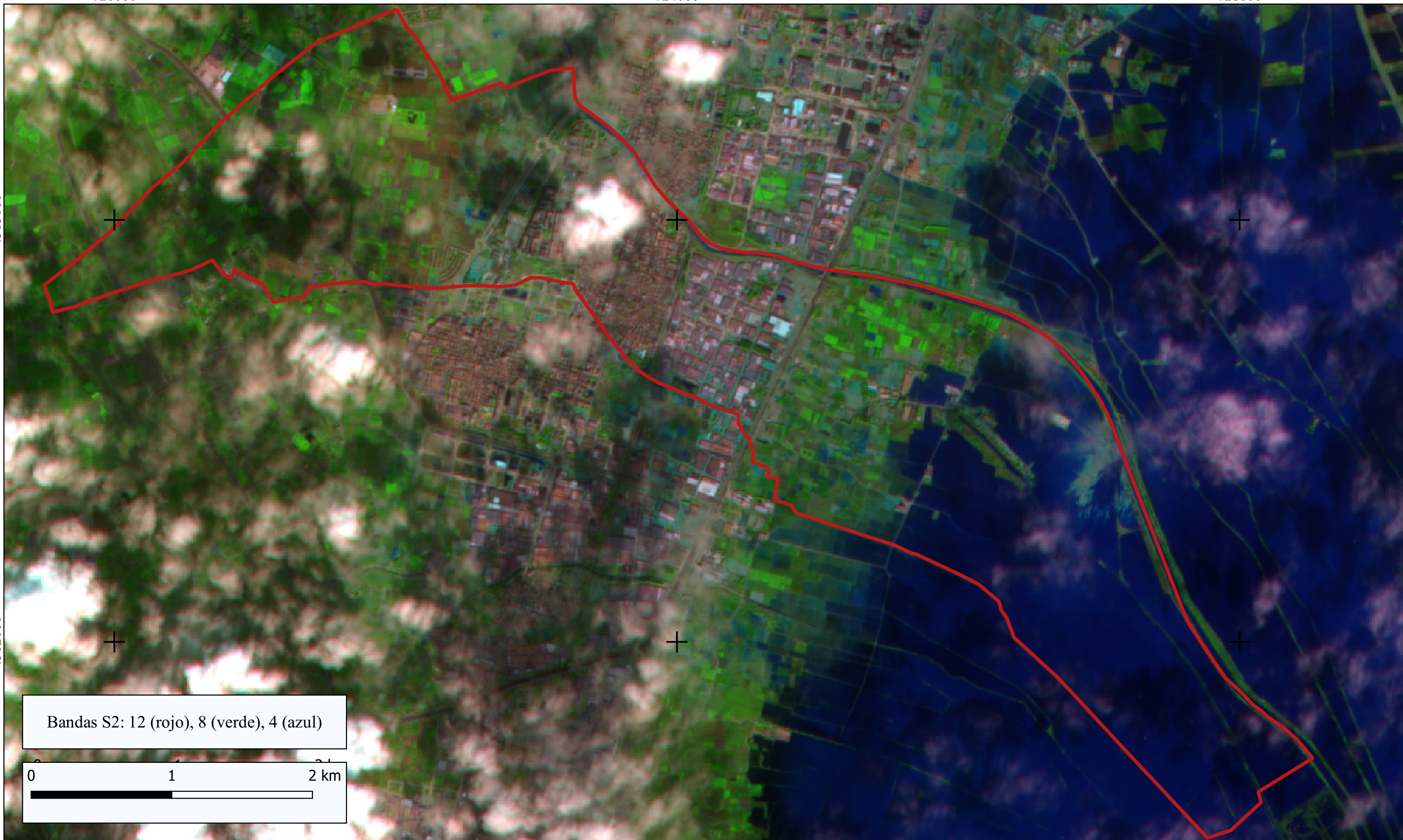
728000

4365000

4365000


4362000

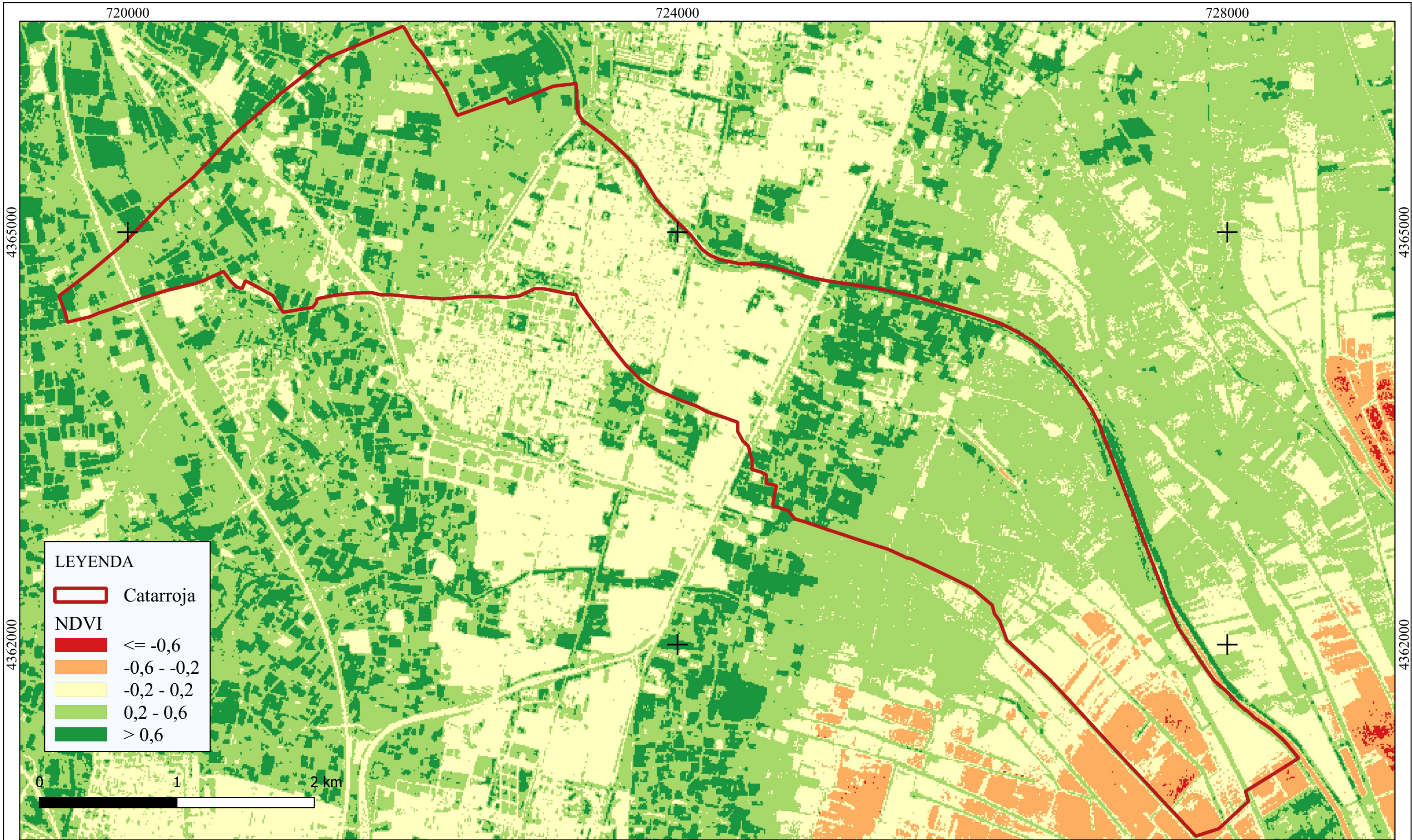
4362000




Bandas S2: 12 (rojo), 8 (verde), 4 (azul)




	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: COMPOSICIÓN EN SWIR COLOR 31 DE OCTUBRE DE 2024		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 15	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN			Fecha: ABRIL-2025




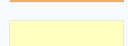
LEYENDA

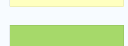
 Catarroja


NDVI

 <= -0,6

 -0,6 - -0,2

 -0,2 - 0,2

 0,2 - 0,6

 > 0,6



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: NDVI 26 DE OCTUBRE DE 2024

Escala: 1:25000

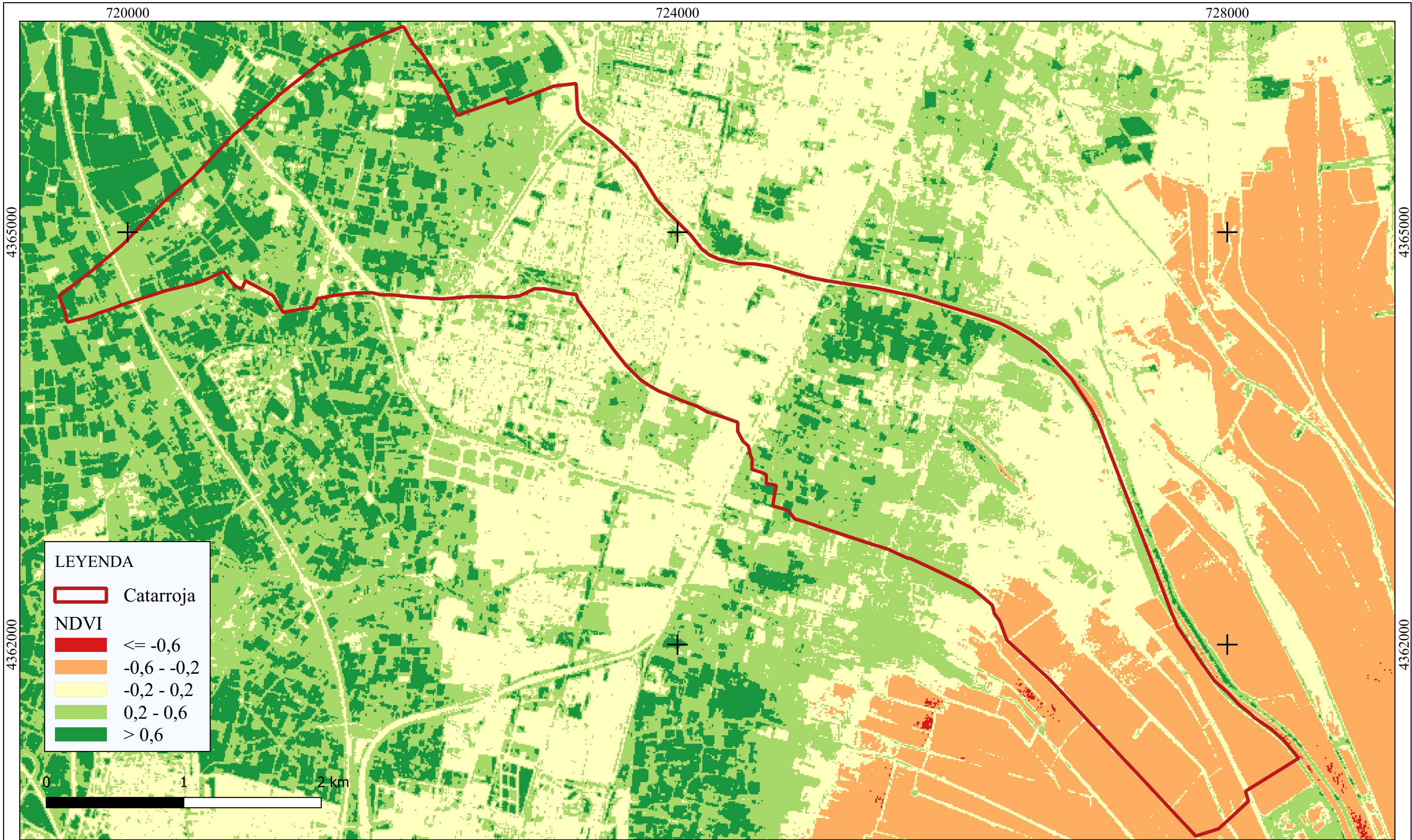
Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 16 Formato: A3


Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025


APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.




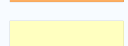
LEYENDA

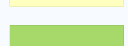
 Catarroja


NDVI

 ≤ -0,6

 -0,6 - -0,2

 -0,2 - 0,2

 0,2 - 0,6

 > 0,6



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: NDVI 10 DE NOVIEMBRE DE 2024

Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

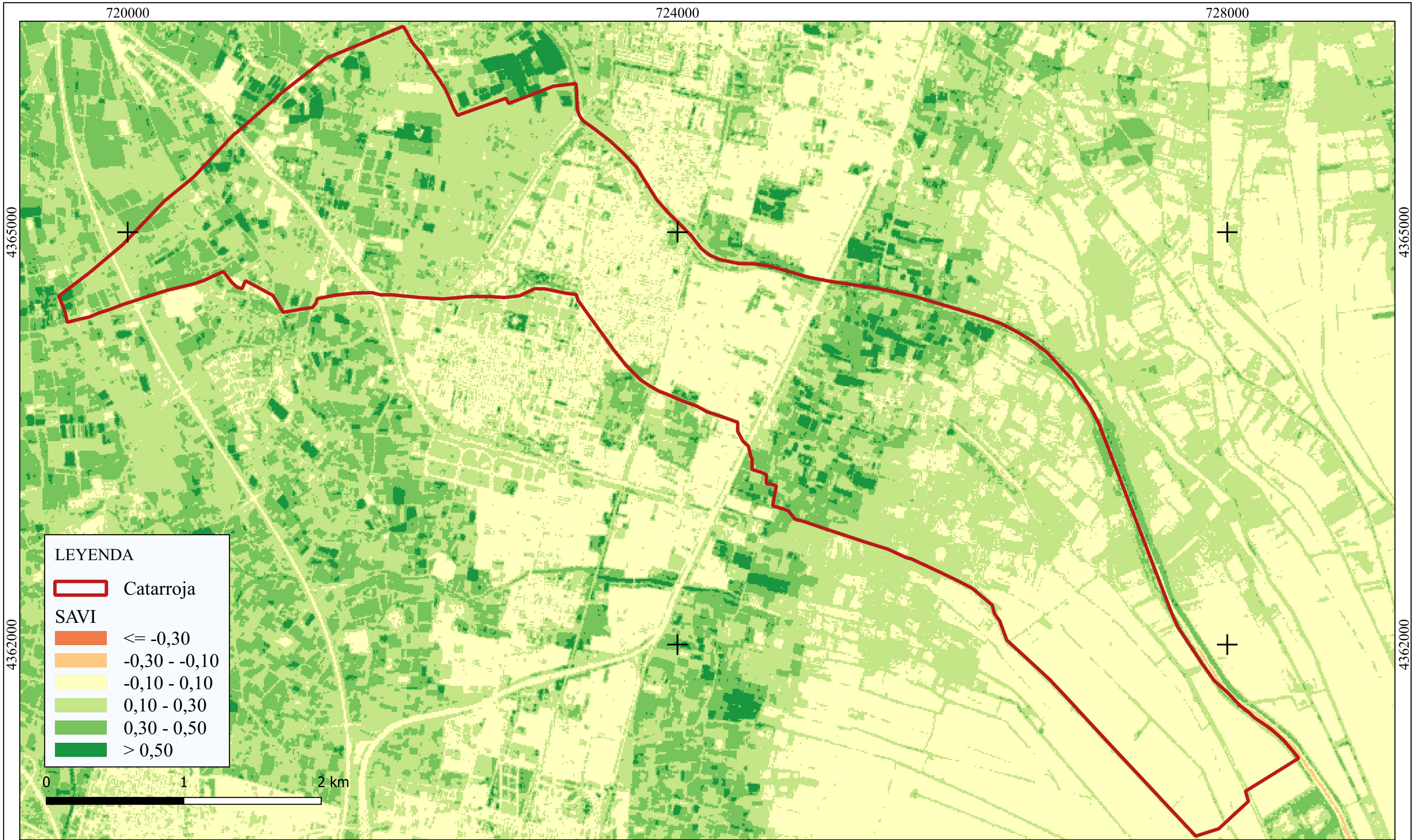
Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Escala: 1:25000


Plano: 17 Formato: A3

Fecha: ABRIL-2025




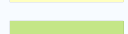


APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.



LEYENDA

 Catarroja

SAVI

-  ≤ -0,30
-  -0,30 - -0,10
-  -0,10 - 0,10
-  0,10 - 0,30
-  0,30 - 0,50
-  > 0,50



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: SAVI 26 DE OCTUBRE DE 2024

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

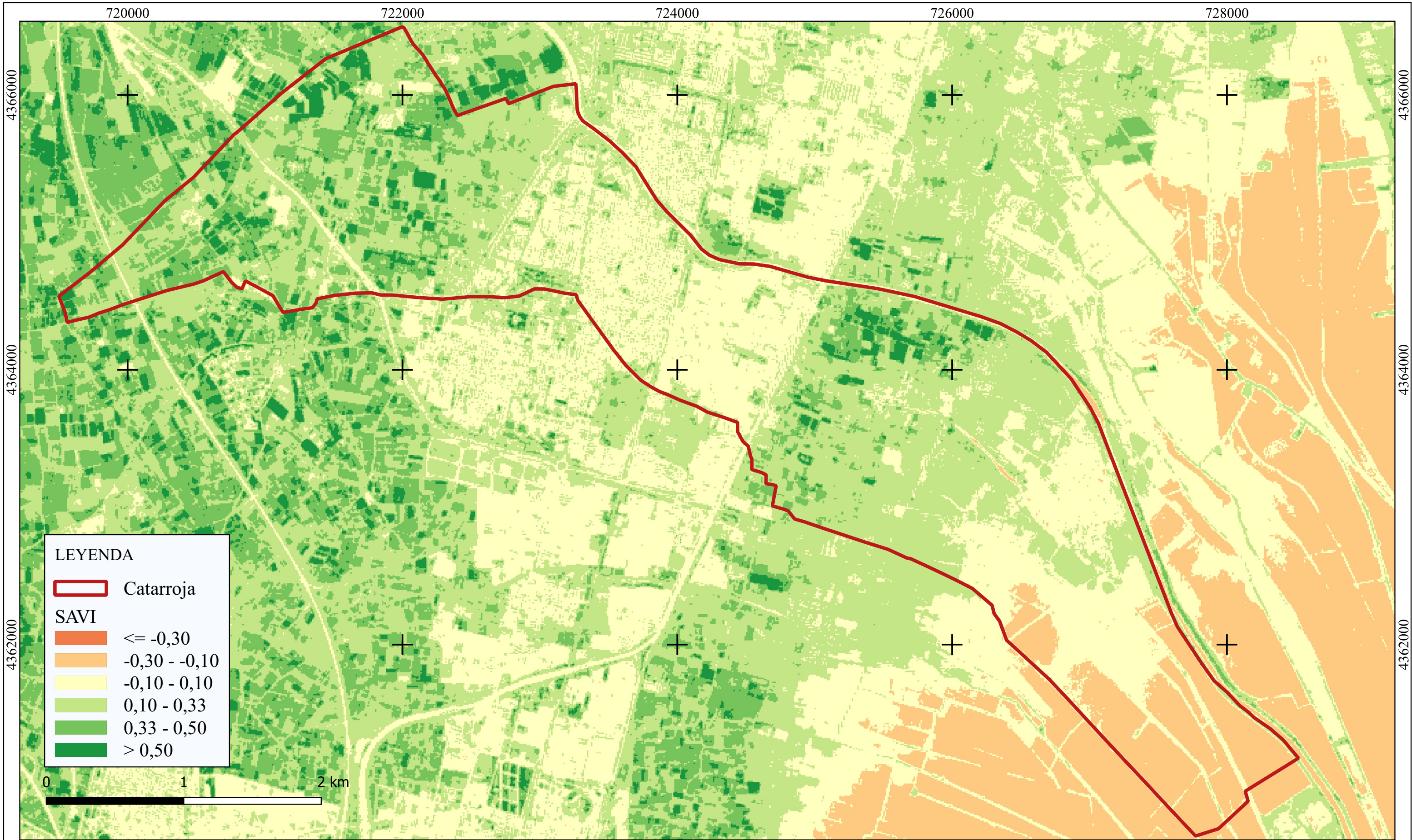
Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Escala: 1:25000


Plano: 18 Formato: A3

Fecha: ABRIL-2025


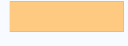
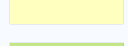



APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.




LEYENDA

 Catarroja

SAVI

-  ≤ -0,30
-  -0,30 - -0,10
-  -0,10 - 0,10
-  0,10 - 0,33
-  0,33 - 0,50
-  > 0,50



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título:	SAVI 10 DE NOVIEMBRE DE 2024		Escala:	1:25000		
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas:	ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano:	19	Formato:	A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.				Autor:	AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN		Fecha:	ABRIL-2025

720000

724000

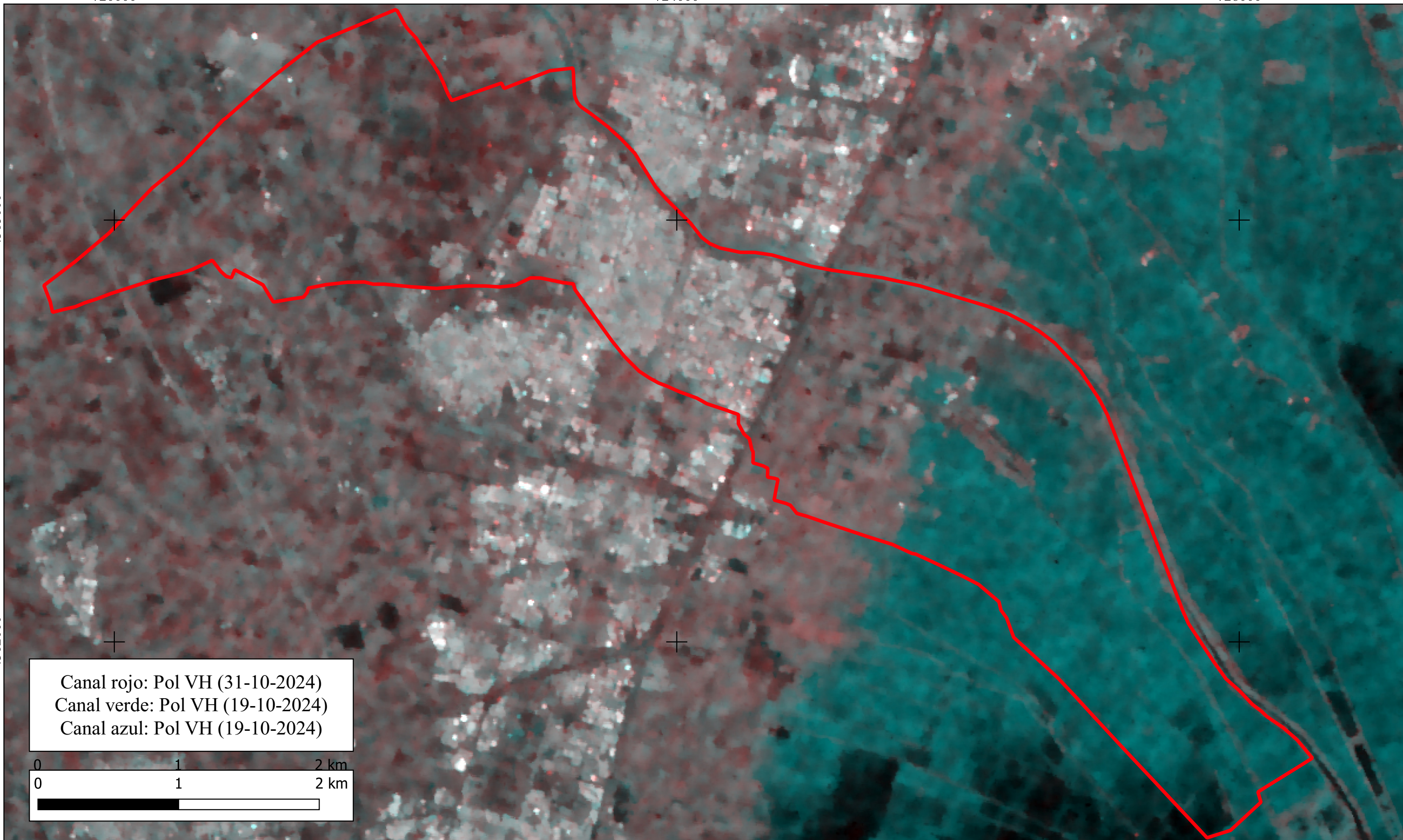
728000

4365000

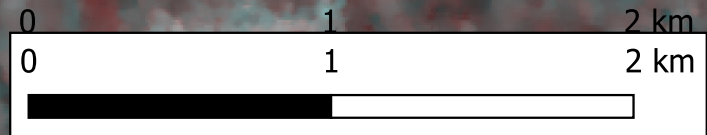
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: Pol VH (31-10-2024)
 Canal verde: Pol VH (19-10-2024)
 Canal azul: Pol VH (19-10-2024)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL
 POLARIZACIÓN VH SENTINEL-1

Escala: 1:25000
 Plano: 20 Formato: A3

Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

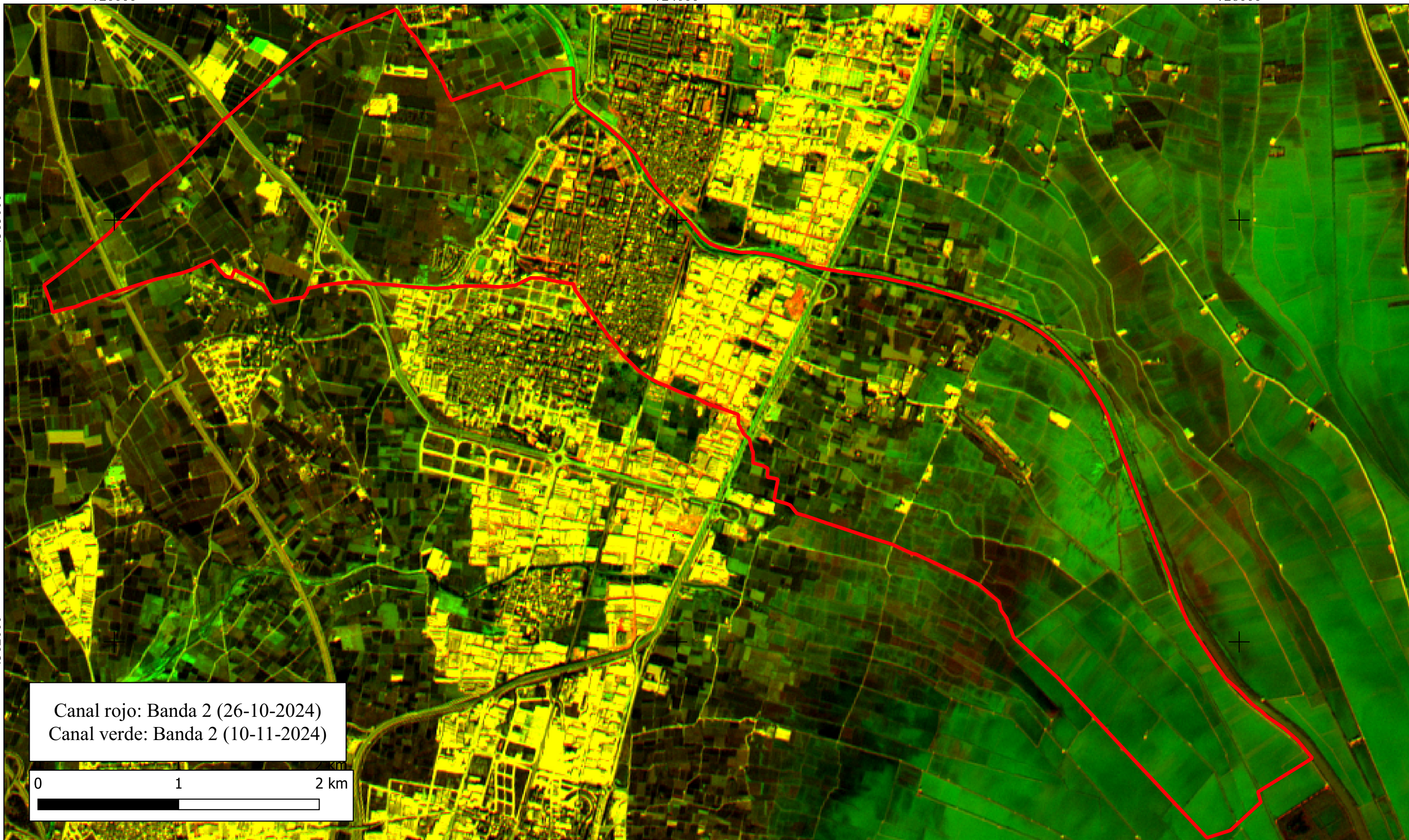
728000

4365000

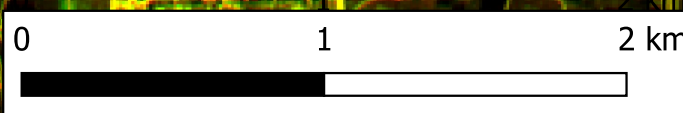
4365000


4362000

4362000



Canal rojo: Banda 2 (26-10-2024)
 Canal verde: Banda 2 (10-11-2024)



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL BANDA 2 SENTINEL-2		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 21	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN			Fecha: ABRIL-2025

720000

724000

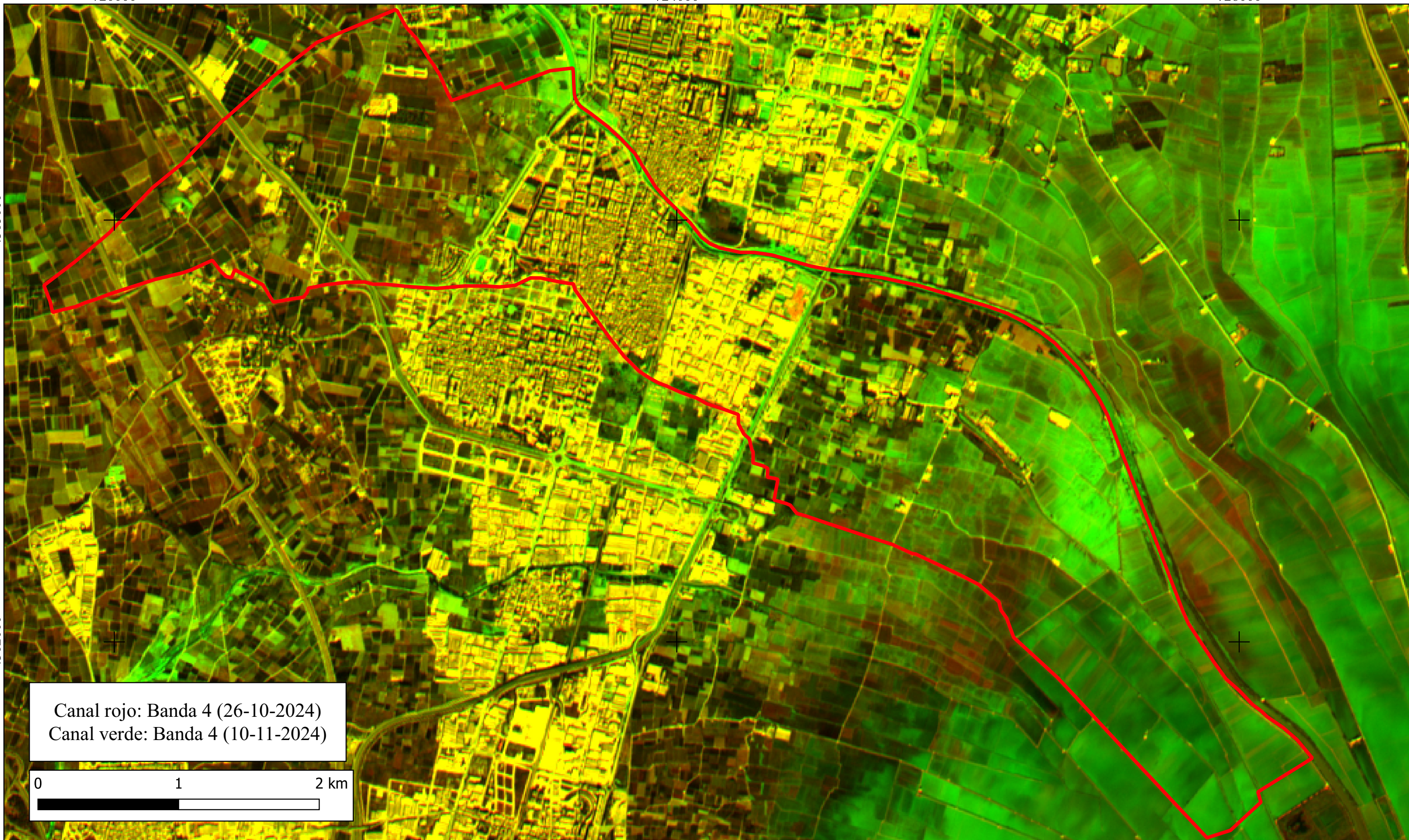
728000

4365000

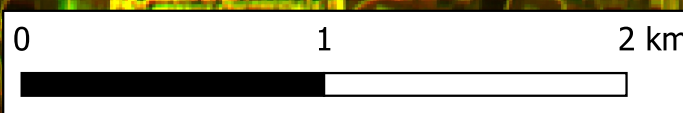
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: Banda 4 (26-10-2024)
 Canal verde: Banda 4 (10-11-2024)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL BANDA 4 SENTINEL-2

Escala: 1:25000
 Plano: 22 Formato: A3

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

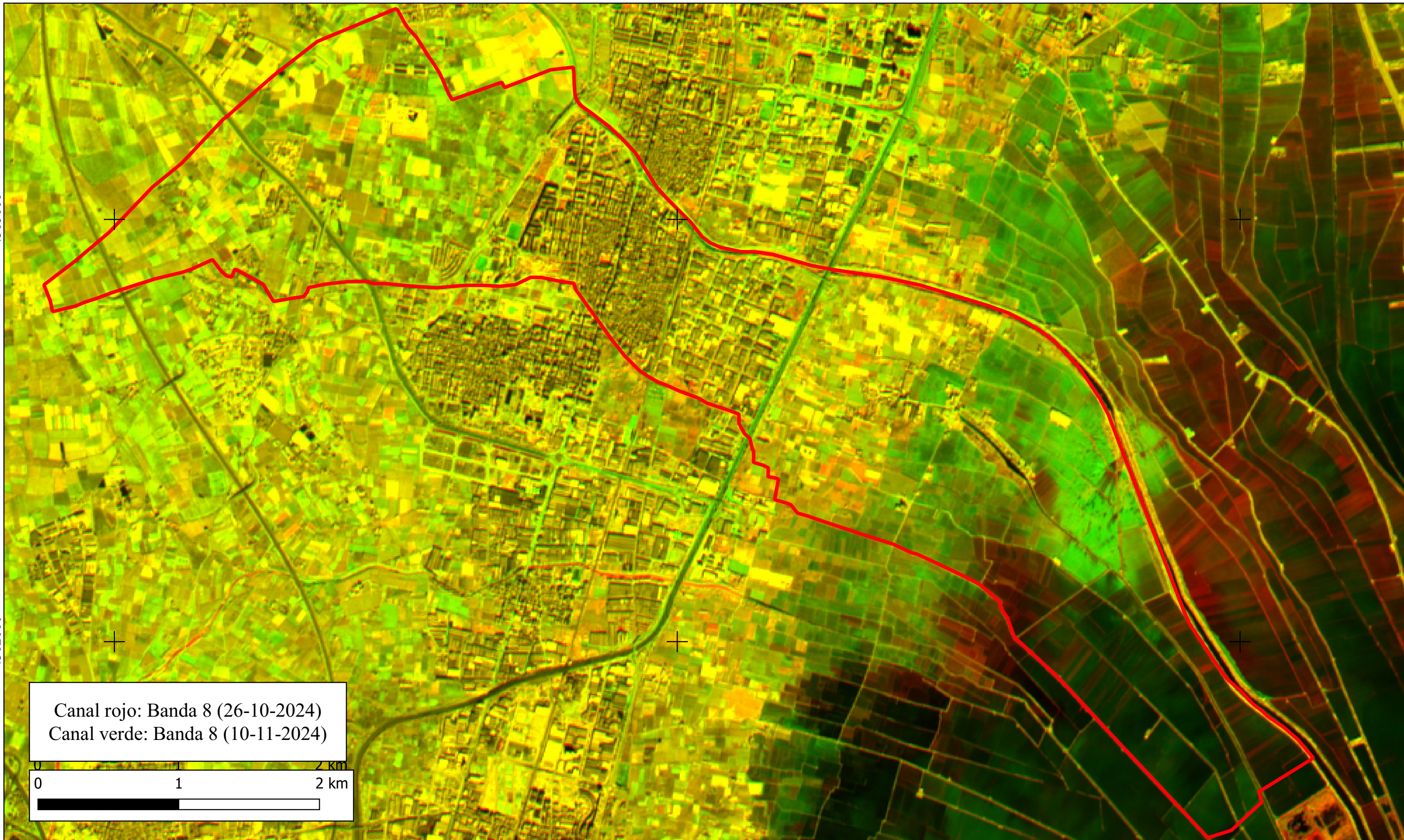
728000

4365000

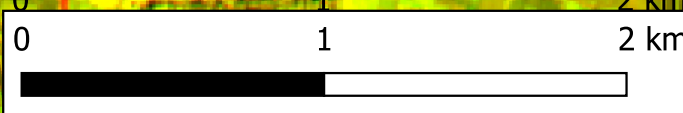
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: Banda 8 (26-10-2024)
 Canal verde: Banda 8 (10-11-2024)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL BANDA 8 SENTINEL-2

Escala: 1:25000
 Plano: 23 Formato: A3

Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

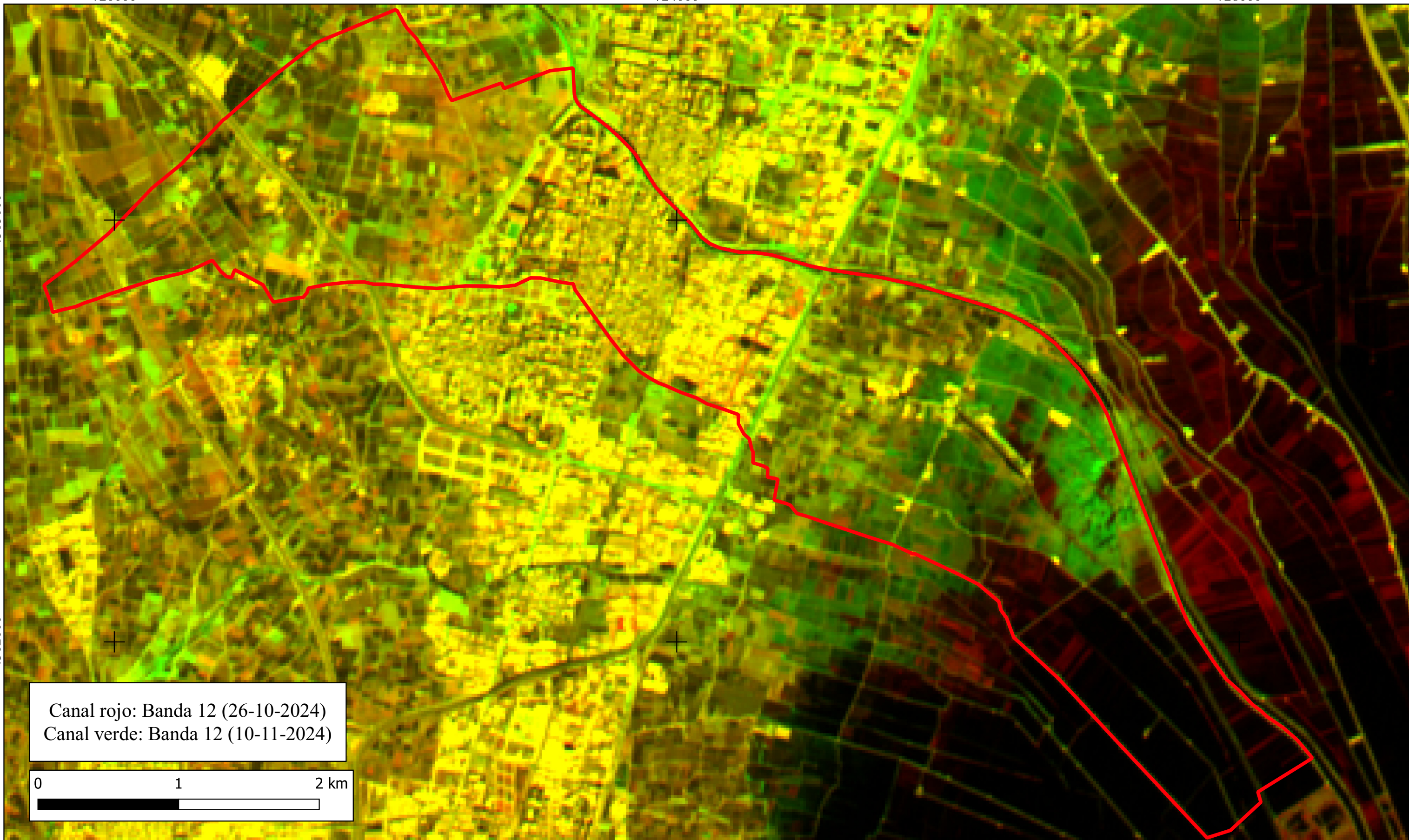
728000

4365000

4365000


4362000

4362000



Canal rojo: Banda 12 (26-10-2024)
 Canal verde: Banda 12 (10-11-2024)



	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS	Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL BANDA 12 SENTINEL-2		Escala: 1:25000	
	GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL	Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N		Plano: 24	Formato: A3
APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.		Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN		Fecha: ABRIL-2025	

720000

724000

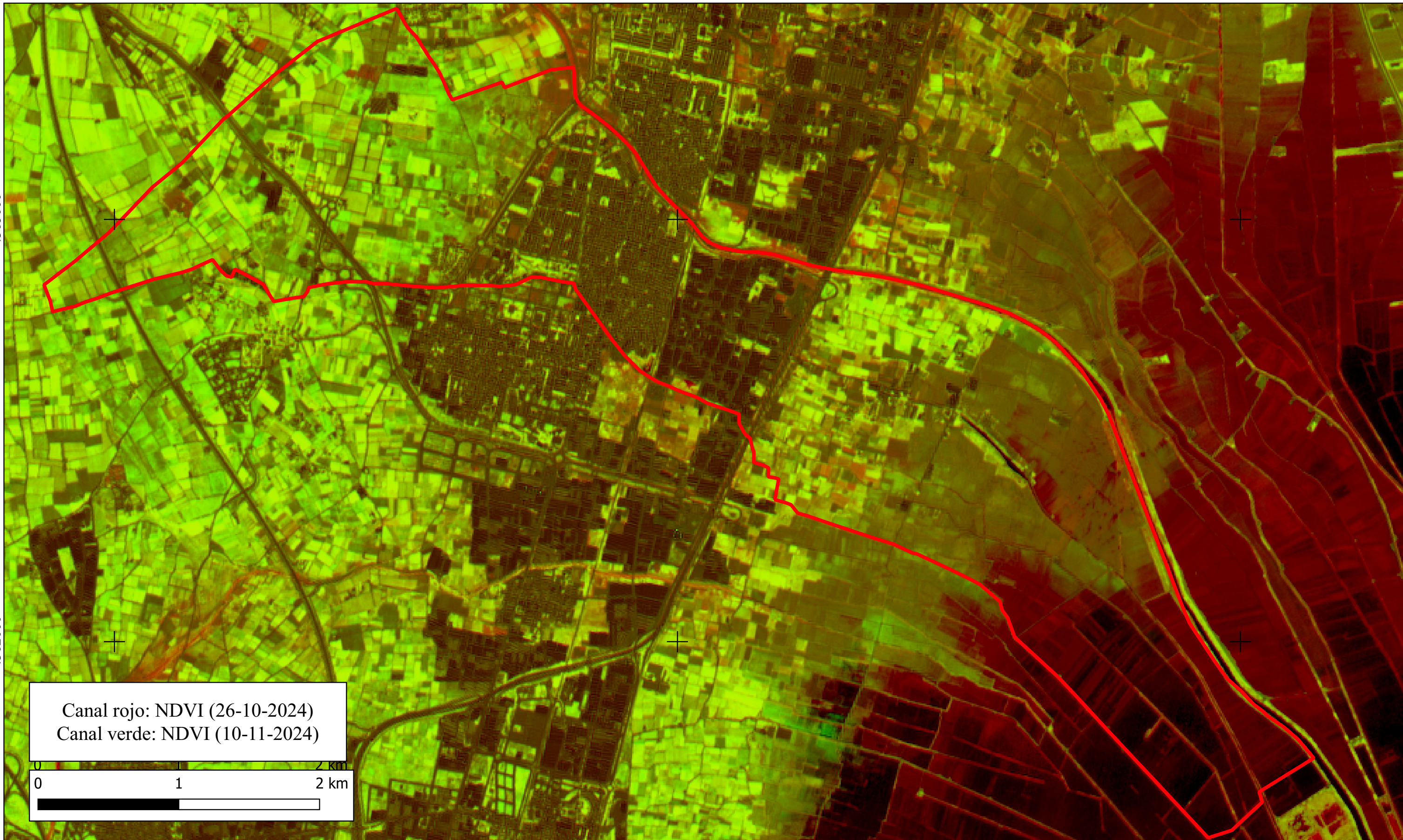
728000

4365000

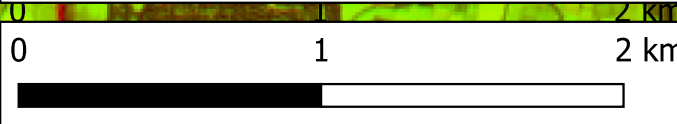
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: NDVI (26-10-2024)
 Canal verde: NDVI (10-11-2024)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL NDVI

Escala: 1:25000
 Plano: 25 Formato: A3

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N
 Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

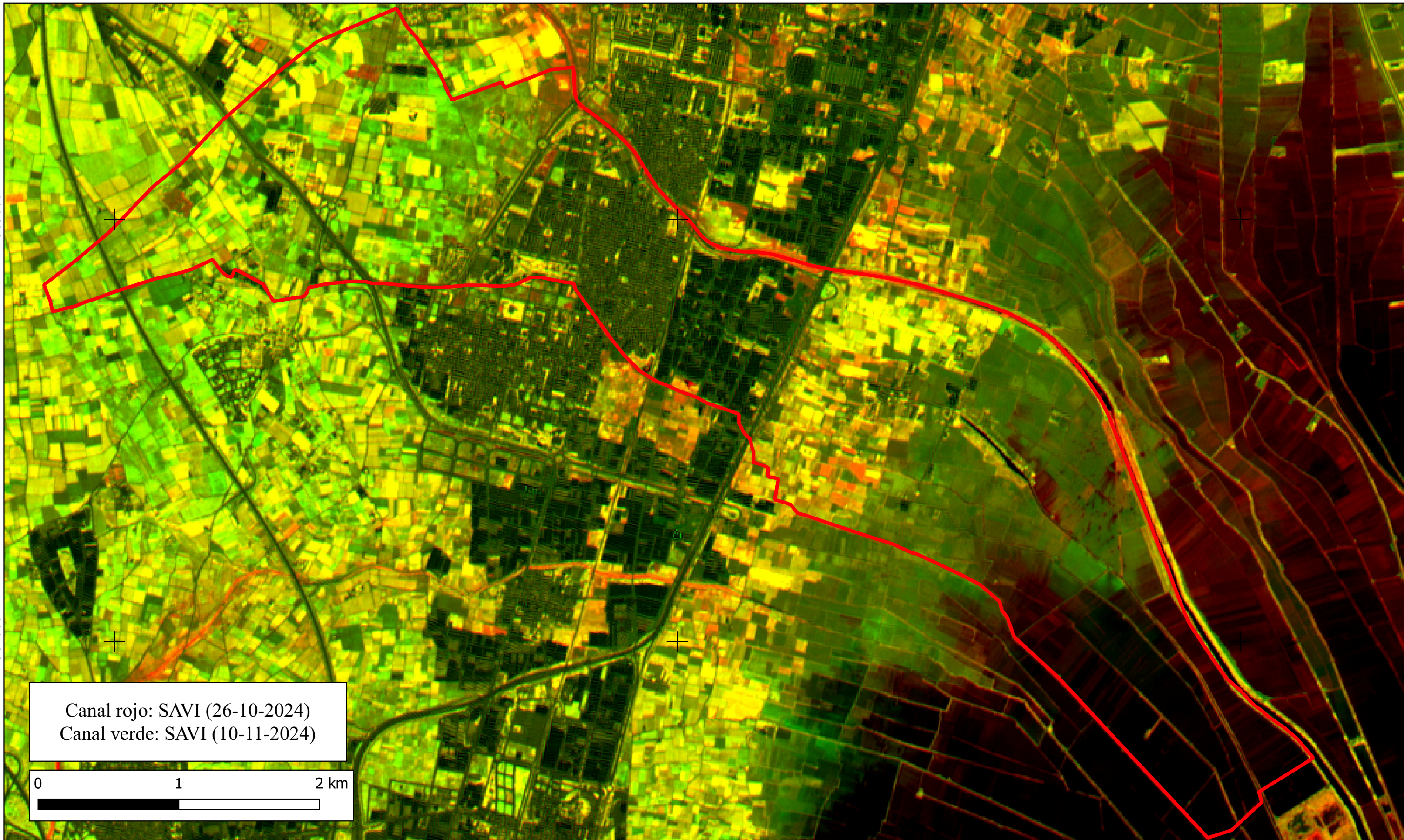
728000

4365000

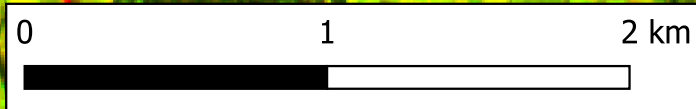
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: SAVI (26-10-2024)
 Canal verde: SAVI (10-11-2024)



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

Título: COMPOSICIÓN MULTITEMPORAL SAVI

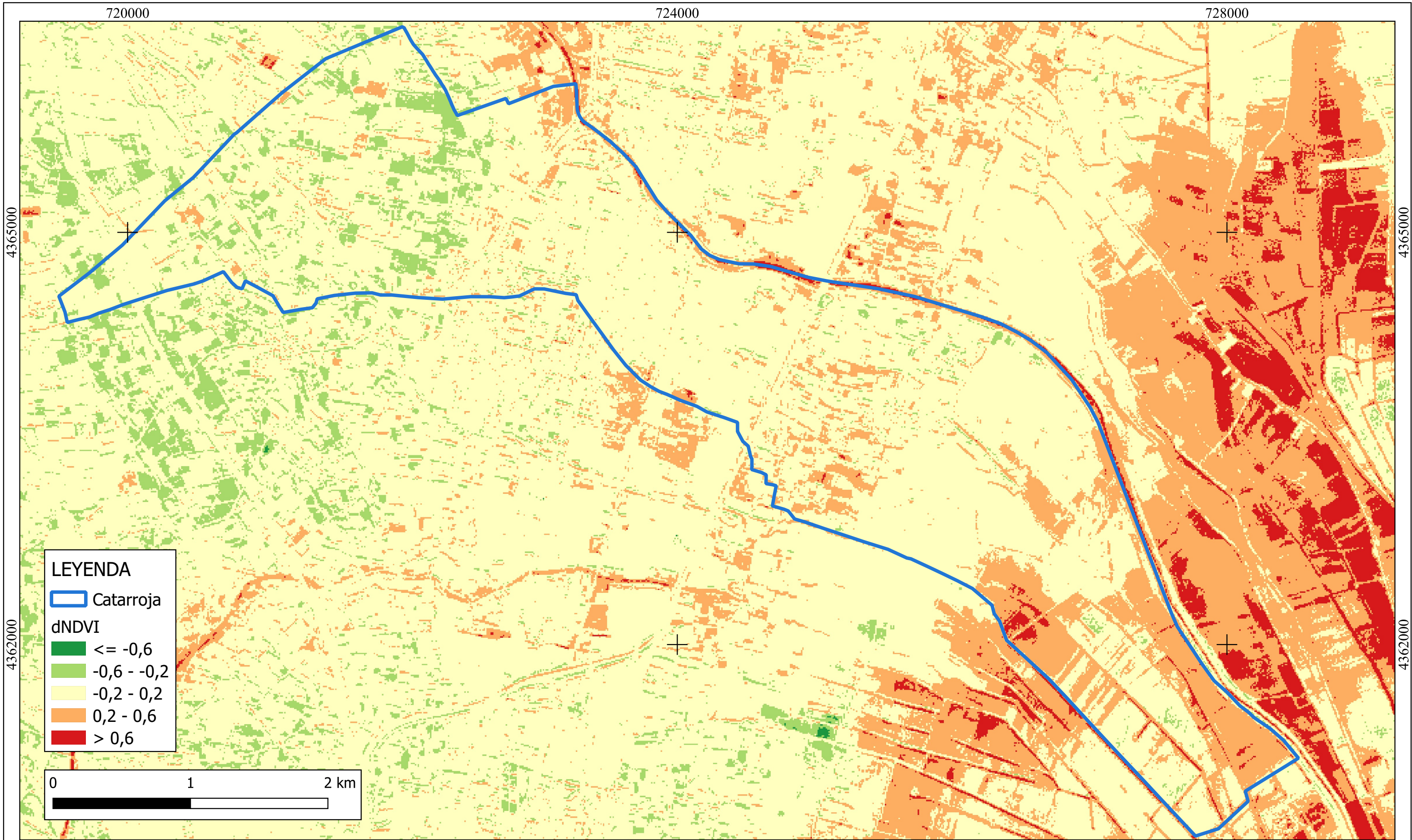
Escala: 1:25000

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 26 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: DIFERENCIA DE NDVI ENTRE LAS FECHAS
 26 DE OCTUBRE DE 2024 Y 10 DE
 NOVIEMBRE 2024

Escala: 1:25000

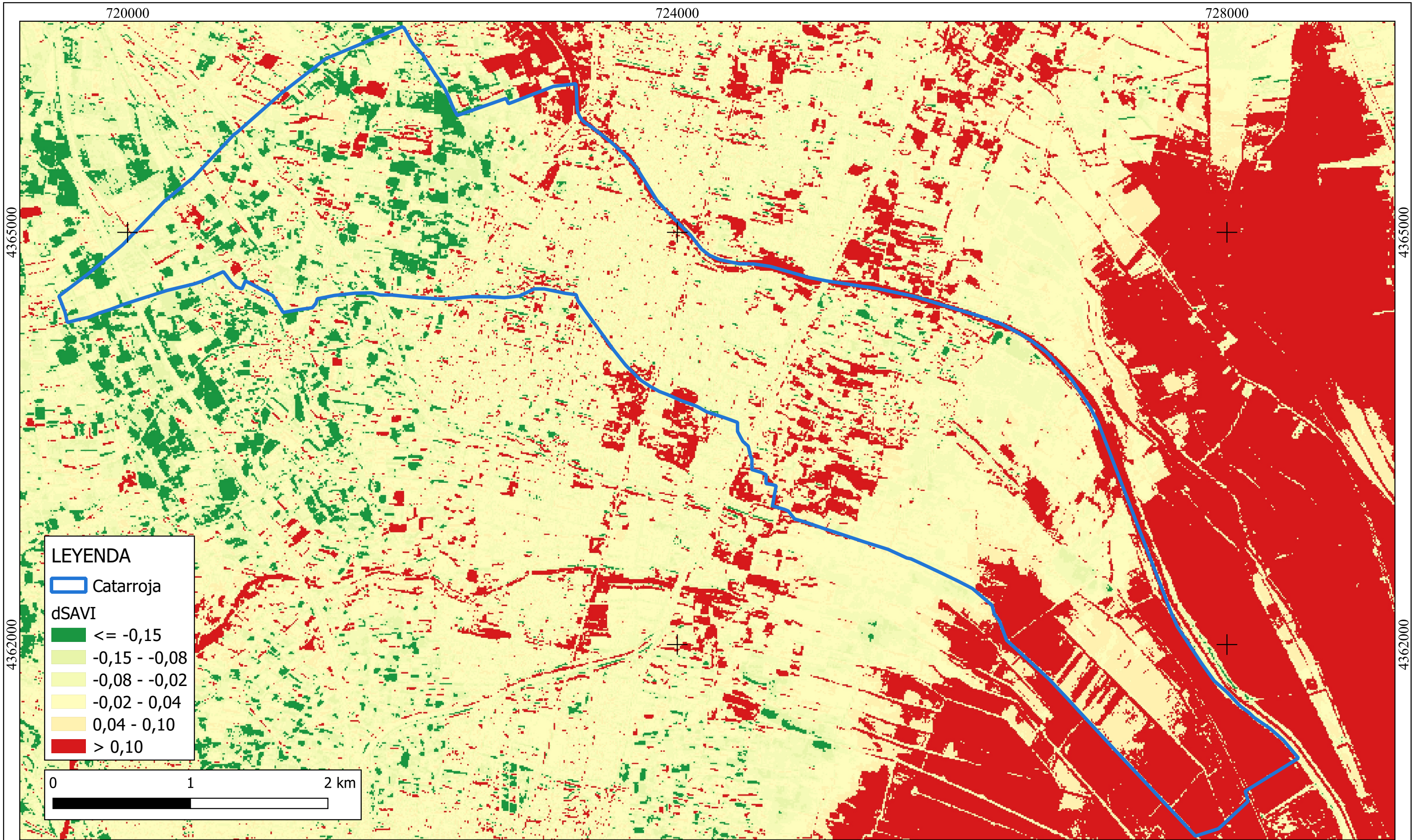
Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 27 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: DIFERENCIA DE SAVI ENTRE LAS FECHAS
 26 DE OCTUBRE DE 2024 Y 10 DE
 NOVIEMBRE 2024

Escala: 1:25000

Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 28 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

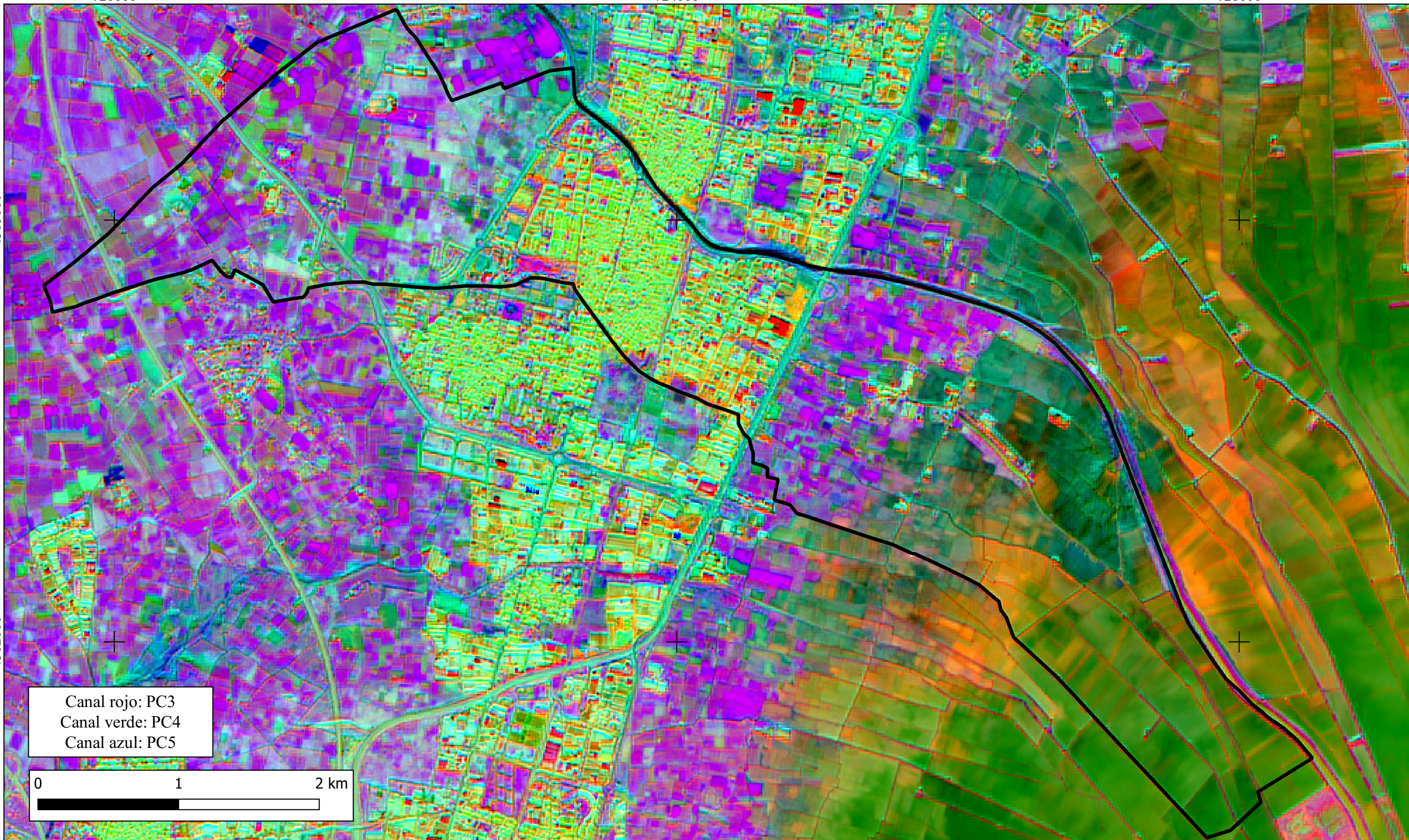
728000

4365000

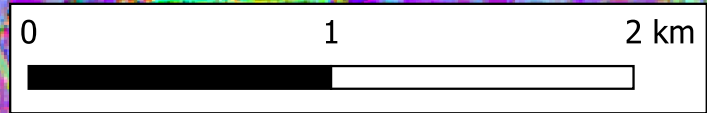
4365000

4362000

4362000



Canal rojo: PC3
 Canal verde: PC4
 Canal azul: PC5



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: COMPOSICIÓN RGB DEL ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Escala: 1:25000

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 29 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

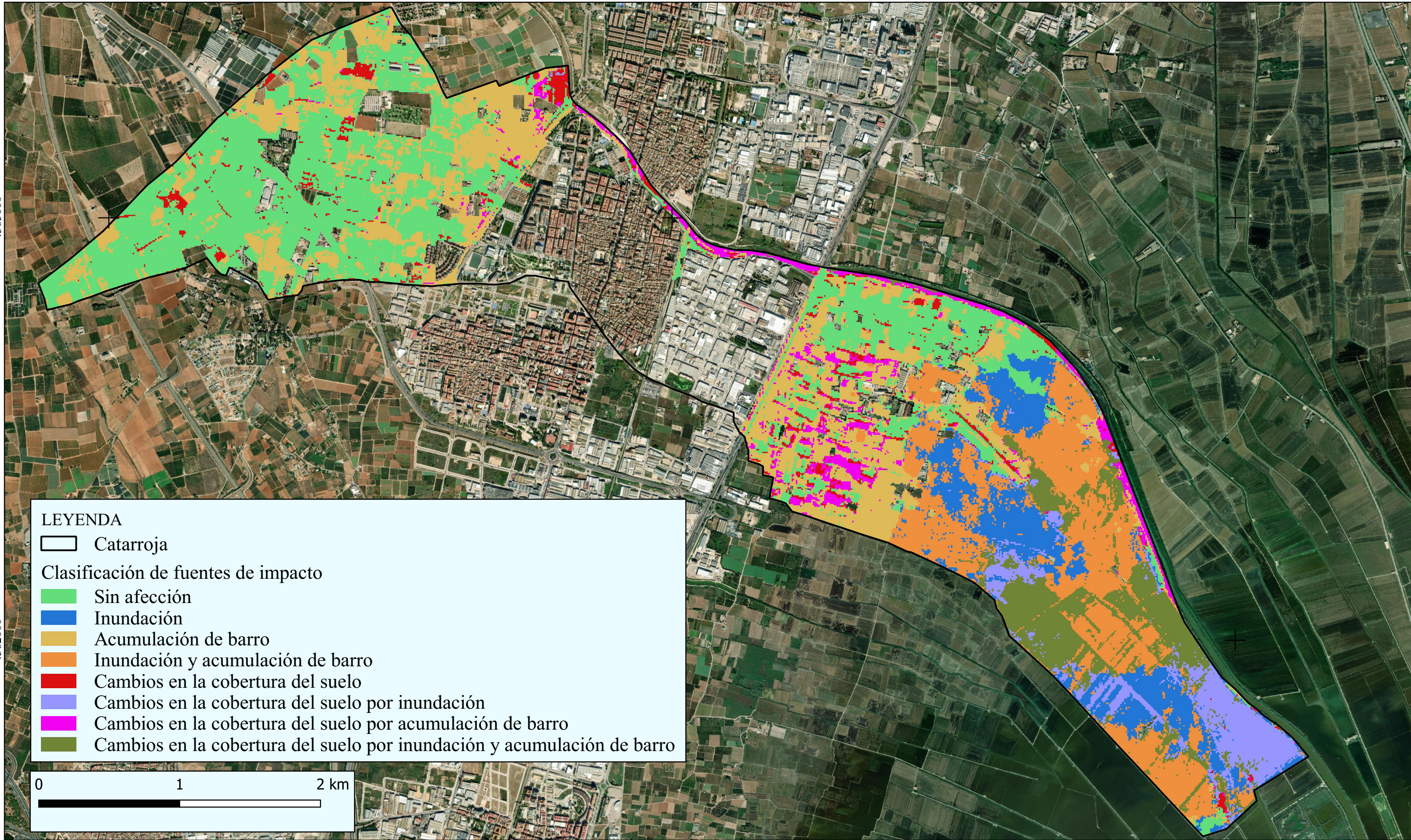
728000

4365000

4365000

4362000

4362000



LEYENDA

□ Catarroja

Clasificación de fuentes de impacto

- Sin afección
- Inundación
- Acumulación de barro
- Inundación y acumulación de barro
- Cambios en la cobertura del suelo
- Cambios en la cobertura del suelo por inundación
- Cambios en la cobertura del suelo por acumulación de barro
- Cambios en la cobertura del suelo por inundación y acumulación de barro



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS

GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: CLASIFICACIÓN DE FUENTES DE IMPACTO
 DANA 2024 EN EL MUNICIPIO DE
 CATARROJA

Escala: 1:25000

Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 30 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.

720000

724000

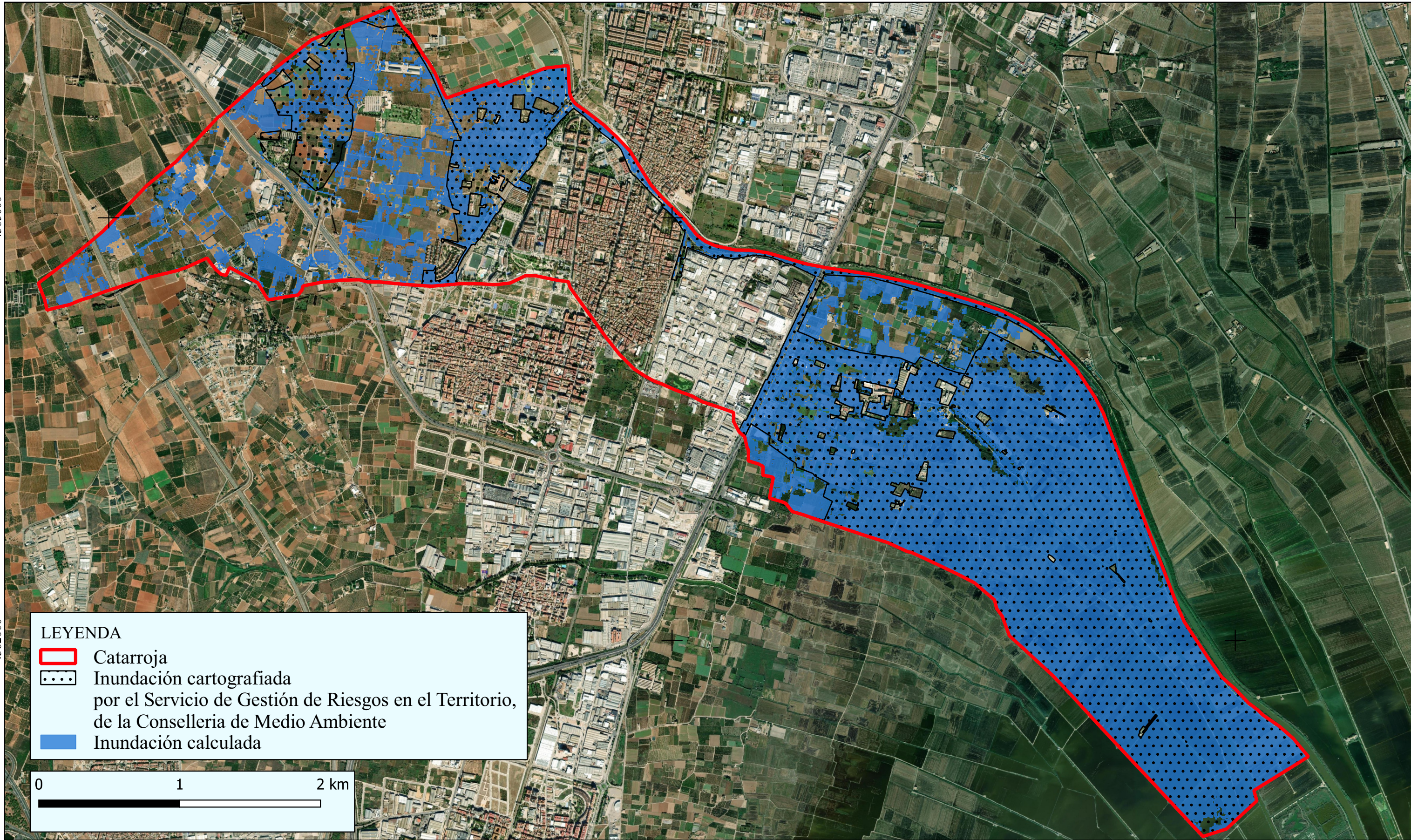
728000

4365000

4365000

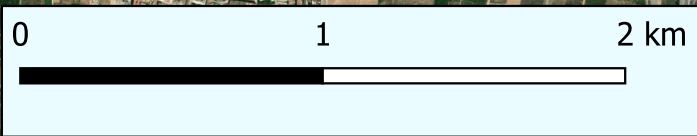
4362000

4362000



LEYENDA

- Catarroja
- Inundación cartografiada por el Servicio de Gestión de Riesgos en el Territorio, de la Conselleria de Medio Ambiente
- Inundación calculada



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGROAMBIENTAL, ALIMNETARIA Y DE BIOSISTEMAS
 GRADO EN INGENIERÍA AGROAMBIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROFORESTAL

Título: SUPERFICIE TOTAL AFECTADA POR LA DANA 2024 EN EL MUNICIPIO DE CATARROJA

Escala: 1:25000

Sistema de cordenadas: ETRS89 / UTM ZONE 30N

Plano: 31 Formato: A3

Autor: AMIR ALEJANDRO SUBHI-ISSA MARÍN

Fecha: ABRIL-2025

APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE TELEDETECCIÓN PARA ANALIZAR EL IMPACTO DE LA DANA (2024) EN VALENCIA Y REALIZAR UNA ESTIMACIÓN ECONÓMICA DE LOS DAÑOS PRODUCIDOS EN LAS PARCELAS AGRÍCOLAS. CASO DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE CATARROJA.