

PROYECTO IDENTIFICACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS AFECTADOS POR LA DANA Y DEFINICIÓN DE PROTOCOLOS DE ACTUACIÓN

INFORME 2025



**GENERALITAT
VALENCIANA**

Conselleria d'Agricultura,
Aigua, Ramaderia i Pesca

ivia

Institut Valencià
d'Investigacions Agràries

Financiación del proyecto

Este proyecto ha sido financiado por la Conselleria de Agricultura, Agua, Ganadería y Pesca (Generalitat Valenciana), con cargo a los presupuestos correspondientes a los ejercicios 2025 y 2026.

Equipo de trabajo

La coordinación del proyecto ha sido llevada a cabo por la Dra. Ana Quiñones (UAS-CATA). En el desarrollo del presente estudio han participado investigadores y técnicos pertenecientes a diferentes Centros del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias:

- Unidad de Agricultura Sostenible (UAS) y Unidad de Agroingeniería (UA) del Centro de Agrotecnologías Avanzadas (CATA).
- Servicio de Tecnología del Riego (STR).
- Unidad de Micología del Centro de Protección Vegetal y Biotecnología (UM-CPVB).

Además, las principales contribuciones han sido las siguientes:

- Delimitación de las zonas afectadas por la inundación (procesos de erosión y sedimentación): Dr. José Miguel de Paz (UAS-CATA) y Dr. Enrique Moltó (UA-CATA).
- Definición de la estrategia de selección de los puntos de muestreo: Dr. José Miguel de Paz (UAS-CATA).
- Trabajos de muestreo en campo: Valenciana de estrategias y recursos para la sostenibilidad ambiental (VAERSA) en coordinación con los investigadores y técnicos de los equipos implicados.
- Gestión y coordinación analítica (definición de las determinaciones analíticas, gestión de muestras con los laboratorios y recopilación de resultados): Dra. Ana Pérez-Piqueres (UAS-CATA)
- Procesamiento e interpretación de resultados: Dr. José Miguel de Paz (UAS-CATA), Dra. Ana Pérez-Piqueres (AUAS-CATA) y Dra. Ana Quiñones (UAS-CATA).
- Establecimiento de protocolos de recomendación para la recuperación de las zonas afectadas: Ing. Luis Bonet (STR), Dr. Rodolfo Canet (UAS-CATA), Dra. Belén Martínez Alcántara (UAS-CATA), Dr. Juan Gabriel Pérez-Pérez (UAS-CATA), Dra. Ana Pérez-Sierra (UM-CPVB), y Dr. Antonio Vicent (UM-CPVB).

Agradecimientos

A la colaboración y la información facilitada por la Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados, S.A. (Agroseguro), así como por la Cooperatives Agro-alimentàries de la Comunitat Valenciana (FECOAV), cuya contribución ha resultado de gran utilidad para el desarrollo del presente trabajo.

Índice

1	Justificación	1
2	Objetivo general y estructura	1
3	Caracterización y diagnósTICO del impacto.....	2
3.1	Área de estudio	2
3.2	Fuentes de datos y su integración en el flujo metodológico.....	2
3.3	Procesamiento de los datos	3
3.3.1	Procesamiento de las imágenes de Sentinel-1	3
3.3.2	Procesamiento de Sentinel 2	4
3.3.3	Integración de evidencias semánticas para la detección de inundación	4
3.3.4	Modelización hidrológica de la erosión y la sedimentación	5
4	ESTRATEGIA DE MUESTREO	6
4.1	Muestreo Sistemático-Aleatorio	6
4.1.1	Zona afectada por sedimentación.....	6
4.1.2	Zona afectada por erosión.....	7
4.2	Muestreo orientado a zonas críticas	8
4.2.1	Estaciones de servicio y depuradoras de agua	9
4.2.2	Declaración de parcela afectada por Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados S.A. (Agroseguro).....	9
4.2.3	Declaración de colectivos agrarios	9
4.2.4	Puntos no afectados	9
4.3	Toma de muestra de suelo en cada parcela.....	10
4.4	Aplicación del muestreo y generación de mapas de afectación	10
5	Distribución espacial y grado de afectación	10
5.1	Zona afectada por sedimentación	13
5.1.1	Mapa de riesgo de afectación del suelo	13
5.1.2	Distribución espacial y evaluación de los parámetros cuantitativos del suelo en la zona sedimentaria.....	14
5.2	Zona afectada por Erosión.....	29
5.2.1	Mapa de riesgo de afectación en la zona erosiva	29
5.2.2	Distribución espacial y evaluación de los parámetros cuantitativos del suelo en la zona erosionada.	30
5.3	Comparación de resultados post-DANA con referencias históricas.....	40
5.4	Conclusiones	42
6	Establecimiento de protocolo de recomendación para la recuperación de las zonas afectadas.....	43
6.1	Recomendaciones para la recuperación de cultivos afectados por inundaciones.....	43
6.1.1	Mejora del suelo.....	43
6.1.2	Recuperación del sistema de riego	44
6.1.3	Manejo de la fertilización	44
6.2	Recomendaciones para parcelas afectadas por deposición de sedimentos	45
6.2.1	Evaluación inicial de los sedimentos	45
6.2.2	Actuaciones recomendadas	45
6.2.3	Gestión preventiva y reducción del riesgo asociado a contaminantes transportados por sedimentos.....	46
6.3	Evaluación de la afectación y recomendación de manejo en zonas afectadas por erosión.....	47
6.3.1	Recuperación de las propiedades físicas del suelo.....	47

6.3.2	Corrección de desequilibrios nutricionales post-erosión	48
6.3.3	Recuperación de las propiedades biológicas del suelo	49
6.3.4	Adaptación específica según tipo de cultivo	50
6.3.5	Medidas a medio-largo plazo de protección y control de la erosión	50
6.4	Daños físicos y químicos en las plantas	51
6.5	Problemas fúngicos y otras enfermedades.....	53
7	Referencias bibliográficas.....	55

1 JUSTIFICACIÓN

El 29 de octubre de 2024, Valencia sufrió uno de los episodios de Depresión Aislada en Niveles Altos (DANA) más severos registrados en su historia reciente. Este fenómeno meteorológico extremo generó lluvias torrenciales que alcanzaron valores de hasta 772 l/m² en determinadas zonas, superando récords históricos y provocando inundaciones catastróficas. Un total de 104 municipios resultaron gravemente afectados, con especial incidencia en localidades como Paiporta, donde la riada ocasionó una devastación generalizada. La magnitud del evento tuvo un impacto especialmente relevante sobre el sector agrario de la Comunidad Valenciana. En conjunto, se vieron afectadas 53.087 hectáreas, de las cuales el 89,2 % correspondían a terrenos agrícolas, incluyendo 22.557 hectáreas de cultivos leñosos, principalmente frutales. Los daños directos provocaron la pérdida inmediata de cosechas y el deterioro de infraestructuras agrícolas esenciales para la actividad productiva. Paralelamente, la acumulación y la fuerza del agua provocaron fenómenos severos de anegamiento prolongado, arrastre y deposición de sedimentos, así como el transporte de suelos, vegetación, residuos urbanos, infraestructuras y vehículos, que fueron desplazados a grandes distancias y depositados sobre parcelas agrícolas. Estos procesos agravaron significativamente el impacto sobre los suelos agrarios, que pudieron ver afectada su fertilidad y estructura edáfica, lo que podría comprometer la viabilidad productiva de las explotaciones.

En este contexto, se puso de manifiesto la necesidad urgente de desarrollar metodologías sistemáticas para la evaluación del grado de daño en los suelos y cultivos afectados. La identificación y clasificación de los distintos niveles de afectación resultaba esencial para la definición de estrategias de restauración ajustadas a cada problemática específica y para la implementación de medidas preventivas que permitan reducir la vulnerabilidad de los sistemas agrarios frente a futuros eventos climáticos extremos. El proyecto ha sido llevado a cabo por investigadores y técnicos del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, concretamente por los equipos de fertilidad del suelo y nutrición vegetal, modelización de procesos de contaminación de suelos y espacios agrarios y el grupo de riegos del Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, el equipo de teledetección por satélite del Centro de Agroingeniería y el equipo de micología del Centro de Protección de Cultivos.

2 OBJETIVO GENERAL Y ESTRUCTURA

El objetivo general del proyecto es diagnosticar el estado de los suelos agrarios y restaurar la capacidad productiva de la zona dañada, garantizando su sostenibilidad y competitividad a medio y largo plazo. Para ello, se estructura en dos fases, con objetivos específicos complementarios:

Subproyecto 1. Fase de Diagnóstico

- 1.1. Delimitación de las áreas afectadas
- 1.2. Evaluación de los riesgos de contaminación

Subproyecto 2. Fase de Recomendación

- 2.1. Establecimiento de protocolos para la recuperación de la fertilidad del suelo
- 2.2. Desarrollo de medidas para eliminar contaminantes y restaurar la sanidad de los cultivos dañados

3 CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL IMPACTO

El objetivo de este subproyecto es generar un mapa que delimite las zonas agrícolas afectadas por la inundación para, dentro de ellas, identificar las áreas con probables acumulaciones de sedimentos (zona de sedimentación) y aquellas potencialmente expuestas a erosión (zona de erosión). Esta delimitación permitirá establecer un diseño de muestreo específico para cada una de las zonas.

La elaboración del mapa de riesgo se ha llevado a cabo a partir de la incorporación de la información georreferenciada, disponible en un sistema de información geográfica, y la aplicación de técnicas geoestadísticas, así como, la incorporación de información satelital para completar el mapa de riesgos.

La identificación de áreas con erosión y sedimentación en entornos agrícolas ha sido abordada en la literatura científica mediante dos enfoques principales: modelos hidrológicos y teledetección multifuente. Ambos permiten caracterizar procesos posteventos extremos como lluvias torrenciales o inundaciones.

Los modelos hidrológicos de cuencas hidráulicas utilizan índices topográficos para evaluar la susceptibilidad a erosión y sedimentación en función de la acumulación de flujo y la humedad del suelo. Entre estos índices destacan el SPI (Stream Power Index), el STI (Sediment Transport Index) y el TWI (Topographic Wetness Index).

Los sensores de radar de apertura sintética (SAR) han demostrado una gran utilidad para detectar la acumulación de agua en zonas agrícolas, lo que constituye un indicador indirecto de áreas susceptibles a sedimentación.

Paralelamente, la teledetección basada en satélites dotados de sensores ópticos se ha empleado para identificar áreas erosionadas y en riesgo. Asimismo, los índices espectrales derivados de Sentinel-2, como NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y NDWI (Normalized Difference Water Index) se han aplicado para detectar cambios en cobertura vegetal y la presencia de agua superficial, ambos factores clave en la dinámica erosiva.

3.1 Área de estudio

El área de estudio se definió arbitrariamente mediante un polígono que se localiza en la parte central y septentrional de la provincia de Valencia y comprende una superficie aproximada de 6.500 km². Este territorio presenta una elevada heterogeneidad fisiográfica y agronómica que condiciona la dinámica erosiva y sedimentaria tras eventos extremos.

3.2 Fuentes de datos y su integración en el flujo metodológico

Las imágenes SAR se obtuvieron a partir del producto Sentinel-1 GRD de Google Earth Engine, que proporciona información de retrodispersión VV y VH en decibelios con una frecuencia temporal de menos de 1 semana y una resolución espacial de 10 m. Las señales SAR son sensibles a la humedad y al agua superficial incluso cuando hay nubosidad. Se utilizaron para detectar cambios asociados a inundación y a la pérdida de rugosidad del terreno.

Las imágenes ópticas se obtuvieron del producto Sentinel-2 SR de Google Earth Engine, que proporcionan la reflectancia corregida atmosféricamente en bandas visibles, NIR y SWIR. Estas

imágenes se utilizaron para calcular índices espectrales orientados a la caracterización de vegetación, áreas urbanas y agua superficial.

Para la normalización radiométrica de la señal SAR y proporcionar las pendientes en los índices hidrológicos, se utilizó el modelo de elevación Copernicus DEM GLO-30 (ESA, 2019), cuya resolución es de 30 m.

Como cartografías auxiliares se utilizó un modelo de elevación digital proporcionado por el Instituto Cartográfico Valenciano; para distinguir entornos urbanos y rurales se incorporó la cartografía ESA WorldCover v200 (Zanaga et al., 2022), con resolución de 10 m. y para demarcar los cuerpos de agua permanente se empleó el JRC Global Surface Water (Pekel et al., 2016).

3.3 Procesamiento de los datos

Para detectar los efectos de las precipitaciones y escorrentías ocasionadas por la DANA, se comparó el estado postevento del terreno con un estado de referencia preevento mediante análisis multifuente. El flujo metodológico incluyó las siguientes etapas:

- i. Procesamiento de imágenes SAR para identificar cambios en retrodispersión asociados a agua superficial y pérdida de rugosidad.
- ii. Cálculo de índices espectrales en imágenes Sentinel-2 para caracterizar vegetación, entorno construido y agua libre.
- iii. Integración de ambas fuentes en una imagen de afección por inundación.
- iv. Utilización de índices hidrológicos para evaluar la influencia de la topografía en los procesos erosivos y sedimentarios.

3.3.1 Procesamiento de las imágenes de Sentinel-1

Se utilizaron imágenes en órbita descendente correspondientes a las fechas preevento (15 al 28 octubre 2024) y postevento (30 octubre – 13 noviembre 2024). El producto Sentinel-1 GRD de Google Earth Engine no permite un análisis fiable de cambios hidrológicos como los provocados por las precipitaciones de la DANA, pues las imágenes presentan artefactos y variaciones no deseadas que pueden confundirse con cambios reales en el terreno. Para corregir estos problemas se aplicó un preprocesamiento estándar ARD (*Analysis Ready Data*) (Mullissa et al., 2021). Se calcularon dos métricas de cambio:

- v. ΔVV : diferencia en retrodispersión VV entre los estados post y preevento, sensible a oscurecimientos provocados por agua superficial, suelo saturado o pérdida de rugosidad.
- vi. $\Delta R = \Delta(VH - VV)$: diferencia en el contraste entre polarizaciones, útil para detectar cambios en la estructura superficial (vegetación, textura).

Para señalar las zonas inundadas se aplicó un umbral adaptativo mediante el método de Otsu (1979), calculado de forma independiente para entornos urbanos y rurales, utilizando máscaras derivadas de ESA WorldCover v200 (clase 50 = urbano) y aplicando radios de suavizado de 10 m en zonas urbanas y 20 m en zonas rurales. Esta estratificación permite aplicar umbrales específicos en ΔVV para cada contexto, reduciendo sesgos por diferencias en cobertura y geometría de observación (Alonso-Sarria et al., 2025; Irukumati et al., 2025).

3.3.2 Procesamiento de Sentinel 2

Se utilizaron imágenes Sentinel-2 Surface Reflectance (SR) de fechas preevento (18 octubre) y postevento (2 noviembre 2024), aplicando la capa SCL para enmascarar nubes, sombras y cirros. Por una parte, se calcularon los siguientes índices espectrales postevento *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index, relacionado con la presencia y vigor de la vegetación, útil para identificar pérdida de cobertura en zonas inundadas; *NDBI* (Normalized Difference Built-up Index), para identificar áreas urbanas o construidas, donde la respuesta espectral y la dinámica de inundación son diferentes a las agrícolas; *MNDWI* (Modified Normalized Difference Water Index), para la detección de agua libre y *AWEI_{sh}* (Automated Water Extraction Index para sombras) para minimizar falsos positivos de detección de agua en zonas con sombras topográficas o urbanas.

Por otra parte, se calculó la diferencia de los valores de *MNDWI* post y preevento ($\Delta MNDWI$) para estimar el incremento de agua superficial tras las precipitaciones.

3.3.3 Integración de evidencias semánticas para la detección de inundación

La detección de las áreas afectadas se abordó mediante la integración de evidencias semánticas derivadas de las imágenes ópticas y radar. El procedimiento combina información sobre el estado superficial postevento (agua libre, pérdida de vegetación, laminación en entornos urbanos) y cambios en la respuesta radar (oscurecimiento por agua, variaciones en la estructura superficial).

A partir de estas imágenes se construyó una nueva imagen en la que se representa el riesgo de afección por inundación en la zona de estudio según la evidencia satelital. En esta imagen, cada píxel vale 1 si en el coinciden al menos dos evidencias satelitales. A partir de esta imagen se realiza la delimitación de la zona afectada utilizando una serie de operaciones morfológicas que permiten una representación topográfica compacta y práctica (condensando las zonas y eliminando puntos aislados). El resultado se muestra en la figura 1, donde se compara con la delimitación realizada por la Universidad de Valencia. Se observa que las coincidencias son bastante grandes. Cabe señalar que el producto obtenido por observación satelital amplía la delimitación en la plana de Utiel-Requena, aunque lo disminuye en la Ribera Alta, probablemente debido a la presencia continua de nubes en las imágenes Sentinel 2 en las fechas indicadas.

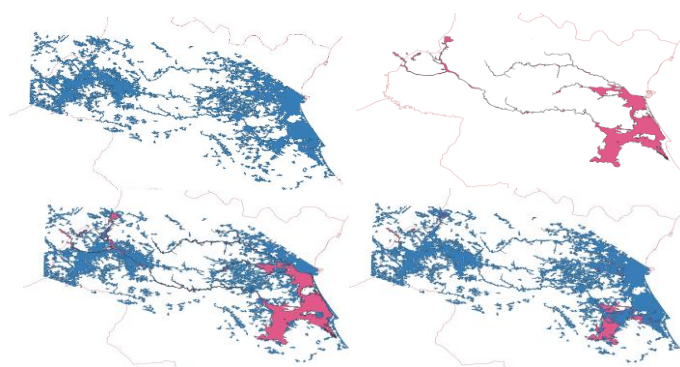


Figura 1. Delimitación de la zona afectada según la información satelital (arriba: izq. en azul). Delimitación proporcionada por la Universidad de Valencia ((arriba: dcha. en rojo).: Superposiciones para mostrar las diferencias (abajo).

3.3.4 Modelización hidrológica de la erosión y la sedimentación

La delimitación de las áreas afectadas proporciona una primera aproximación al impacto espacial del episodio. No obstante, no es suficiente para interpretar los procesos geomorfológicos asociados. La erosión y la sedimentación dependen de cómo el agua circula sobre el terreno, de la pendiente, de la rugosidad superficial y de la capacidad del flujo para movilizar partículas del suelo.

Con este objetivo, se ha desarrollado una modelización hidrológica simplificada orientada a clasificar el territorio según su comportamiento dominante frente al evento, distinguiendo zonas con mayor propensión a la erosión, a la sedimentación o a situaciones intermedias. La modelización se basa en el cálculo de parámetros que describen cómo el agua se concentra y circula sobre la superficie. Sobre esta base se derivan tres índices hidrológicos ampliamente utilizados en ingeniería y geomorfología:

- Índice de Potencia del Flujo (SPI), que representa la energía disponible para producir erosión.
- Índice de Transporte de Sedimentos (STI), relacionado con la capacidad del flujo para movilizar material.
- Índice de Humedad Topográfica (TWI), que indica la tendencia del terreno a saturarse y acumular agua en función de la topografía.

Desde un punto de vista práctico, valores elevados de SPI y STI suelen asociarse a procesos erosivos, especialmente en laderas, mientras que valores altos de TWI caracterizan zonas donde el agua tiende a acumularse, favoreciendo la sedimentación. Para facilitar su integración, estos índices se reclasificaron en tres niveles (bajo, medio y alto), conservando su orden relativo y permitiendo comparaciones directas entre ellos.

La zonificación final del riesgo de erosión y sedimentación se plantea como una clasificación funcional del territorio, orientada a identificar el proceso dominante tras el evento. A diferencia de un enfoque puramente hidrológico, la zonificación propuesta introduce información observacional procedente del satélite, lo que permite corregir y reforzar la interpretación hidrológica.

La zonificación definitiva clasifica cada píxel en una de las siguientes categorías (figura 2):

- Erosión, correspondiente a laderas o zonas con elevada energía de flujo.
- Sedimentación, asociada a áreas inundadas, planas o con acumulación persistente de agua.
- Indefinida, donde ninguno de los procesos domina claramente.
- Bajo riesgo, correspondiente a zonas sin evidencia significativa de inundación ni condiciones topográficas favorables a procesos intensos.

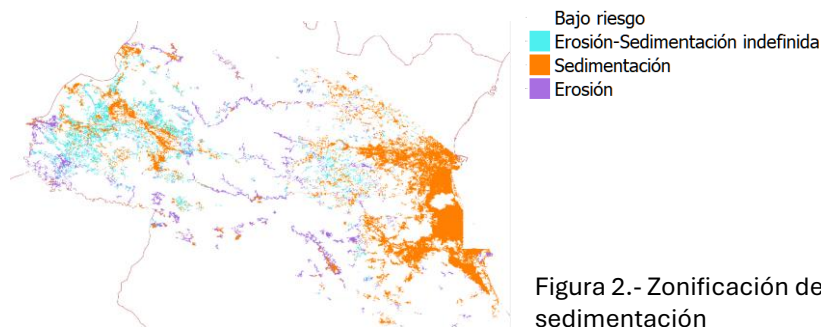


Figura 2.- Zonificación del riesgo de erosión y sedimentación

4 ESTRATEGIA DE MUESTREO

La propuesta de campaña de muestreo espacial se ha basado en un enfoque combinado sistemático, en toda la zona afectada, y dirigida a zonas problemáticas. Esta metodología ha permitido cubrir todas las áreas agrarias afectadas, garantizando la representatividad de las zonas con mayor incidencia y minimizando posibles sesgos estadísticos. El diseño de este muestreo ha permitido la generación de datos detallados a partir de un número limitado de parcelas, que sustentan la elaboración del mapa de distribución del grado de afectación de los suelos y la identificación de las áreas prioritarias para intervenciones de restauración y mitigación.

4.1 Muestreo Sistemático-Aleatorio

Con este muestreo se pretende obtener una cobertura representativa de todas las zonas afectadas (inundación, erosión, sedimentación y contaminación). Este diseño combina dos enfoques: un componente sistemático, que garantiza la visita a todas las áreas críticas, con un componente aleatorio que minimiza los sesgos estadísticos. Con este enfoque se busca representar de manera inicial la distribución espacial de los grados de afectación de los suelos. Este muestreo se aplicó específicamente a la zona afectada por sedimentación y erosión.

4.1.1 Zona afectada por sedimentación

A partir de la zona delimitada como afectada por la inundación, definida por la Universidad de Valencia mediante fotointerpretación de las imágenes satelitales post-DANA, se elaboró un mapa que abarcaba aproximadamente 54.000 has. En esta zona se esperaba identificar parcelas afectadas por acumulación de sedimentos, contaminación y daños directos por la riada. Debido a que las áreas bajas de los cauces de los barrancos fueron las más afectadas, se descartaron las zonas próximas a los cauces de los ríos en la parte superior del área de sedimentación, concentrando el muestreo en las zonas agrícolas de las llanuras inferiores. En total, se delimitó una extensión de 49.000 has (Figura 3).

Para la selección de los puntos de muestreo, se estableció una cuadrícula de 400 has en toda el área afectada por sedimentación. En total, se distribuyeron 224 cuadrados dentro de las 49.000 has afectadas. Estas cuadrículas fueron ajustadas a la zona agraria superponiéndolas con el mapa de usos de suelo SIOSE 2015, asignando un punto aleatorio por cuadrícula, totalizando 224 puntos (Figura 3). La densidad de muestreo resultante fue de 1 punto por cada 178 ha, suficiente

para un muestreo de cribado en ausencia de información previa que permitiera un muestreo más dirigido.

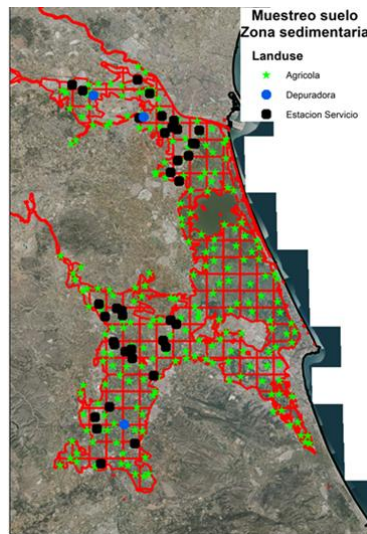


Figura 3. Cuadrícula con puntos de muestreo en la zona de sedimentación.

4.1.2 Zona afectada por erosión

Para delimitar la zona afectada por procesos erosivos, se siguió el criterio de identificar las áreas donde las precipitaciones fueron superiores a 200 l/m² el día del evento. Para ello, se utilizó la información de 463 estaciones meteorológicas que registraron las lluvias de ese día, distribuidas por toda la Comunidad Valenciana (Begueria y Azorin 2024, Figura 4a). Con esta información georreferenciada se realizó una interpolación mediante modelización espacial con técnicas geoestadística (Figura 4b) empleando un semivariograma de tipo gaussiano y posterior interpolación mediante kriging ordinario de la lluvia caída el día de la DANA (Figura 4c).

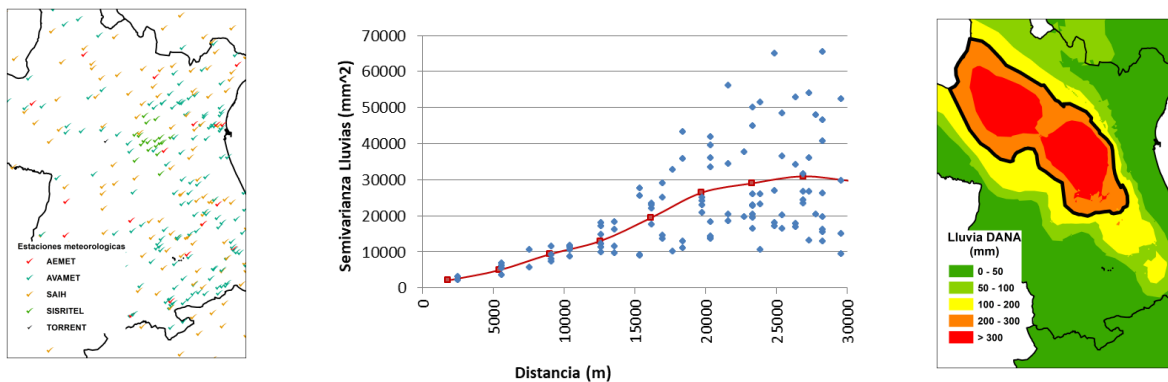


Figura 4: 4a. Distribución estaciones meteorológicas. 4b: Modelado del Semivariograma. 4c: Interpolación de la lluvia el día de la DANA.

Posteriormente, se obtuvo un mapa de la distribución espacial de la lluvia representativo de los registros del día, ya que se alcanzó un buen ajuste entre los valores observados y los simulados (Figura 5) y un error cuadrático medio bajo.

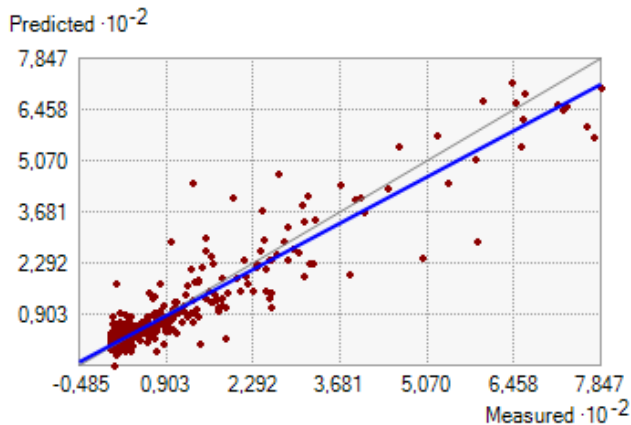


Figura 5. Ajuste de los valores simulados de lluvia frente a los observados.

A partir de este mapa de distribución de lluvias, se delimitó como zona afectada por procesos erosivos del suelo aquellas áreas donde las precipitaciones superaron los 200 l/m². En total, esta primera zona delimitada abarca aproximadamente 240.000 has, de las cuales 118.000 ha son agrícolas. Dentro de esta área se distribuyeron 72 cuadrículas de 10.000 has cada una, de las cuales únicamente 37 corresponden a zonas agrícolas. En cada una de estas cuadrículas agrícolas se asignó un punto aleatorio, logrando así una densidad de muestreo de 1 punto por cada 3.200 has, que en su mayoría corresponde con cultivos de secano, tales como vid, almendro, olivo, entre otros (Figura 6).

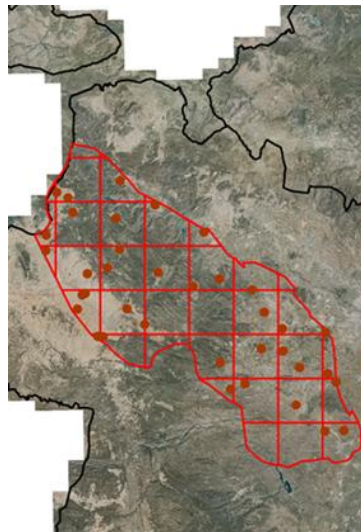


Figura 6. Cuadrícula y muestreos de la zona de erosión.

4.2 Muestreo orientado a zonas críticas

Con este muestreo se pretende profundizar en el análisis y obtener un mayor nivel de detalle en las áreas con mayor grado de afectación. Para ello, se consideraron los siguientes criterios, i) puntos próximos a estaciones de servicio y depuradoras, ii) polígonos catastrales clasificados por Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados S.A. (Agroseguro) con más del 50 % de afectación y iii) puntos adicionales reportados como afectados por colectivos agrarios.

4.2.1 Estaciones de servicio y depuradoras de agua

A los puntos de muestreo planteados en el muestreo sistemático-aleatorio se añadieron 37 puntos adicionales en las proximidades de las estaciones de servicio de la zona, con el fin de evaluar su posible influencia sobre los campos agrícolas cercanos debido a la deriva de contaminantes, tanto hidrocarburos como metales pesados (Figura 3). Asimismo, se ubicó un punto de control cercano a cada una de las 3 depuradoras ubicadas en la zona de afectación. Para ello, se determinaron las ubicaciones de las estaciones de servicio y depuradoras mediante Google Maps, y se asignó un punto de muestreo en sus proximidades dentro de la zona afectada por sedimentación.

4.2.2 Declaración de parcela afectada por Agrupación Española de Entidades Aseguradoras de los Seguros Agrarios Combinados S.A. (Agroseguro)

A partir de la distribución de los polígonos catastrales con afectación superior al 50 % se asignó un punto de muestreo aleatorio por polígono. En total, se distribuyeron 74 puntos en la zona afectada por sedimentación y erosión (Figura 7).

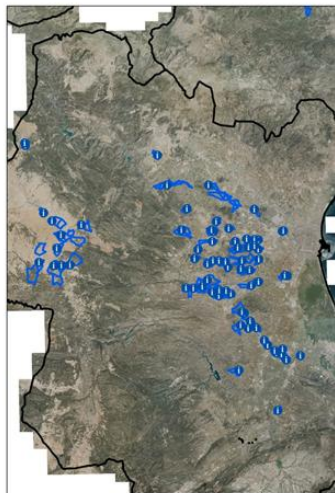


Figura 7. Muestreo de zona declarada como afectada superior al 50 % (Agroseguro).

4.2.3 Declaración de colectivos agrarios

Varios colectivos agrícolas han declarado parcelas de agricultores en las que la DANA provocó daños significativos. Estos puntos se incorporaron al muestreo dirigido a dichas parcelas:

- Asociación de Agricultores del Palmar: 11 puntos
- Parque Natural de la Albufera - SAV Devesa de la Albufera: 7 puntos
- Agricultores particulares. 9 puntos
- Cooperativas: 29 puntos

4.2.4 Puntos no afectados

Para contrastar los niveles de afectación observados en las parcelas visitadas, el muestreo se completó con parcelas situadas dentro del perímetro de influencia de la DANA, que fueron

declaradas por Agroseguro como no afectadas. Esto permite establecer un referente de comparación y evaluar de manera más precisa el impacto de la DANA sobre los suelos agrarios.

4.3 Toma de muestra de suelo en cada parcela

En cada parcela visitada se obtuvo una muestra compuesta, de entre 6 y 12 submuestras, recogidas con barrena de forma sistemática en toda la parcela, siguiendo un patrón en cruz. De cada parcela se tomaron aproximadamente 5 kg de suelo a una profundidad de 0–20 cm, mediante la mezcla homogénea de todas las submuestras. Esta profundidad se seleccionó por corresponder con la capa de suelo donde se concentraron los efectos más relevantes de la DANA.

En caso de observarse acumulaciones de sedimentos superficiales en la parcela, se tomó una muestra adicional específica de dichos sedimentos, que fue debidamente codificada y registrada.

4.4 Aplicación del muestreo y generación de mapas de afectación

Este plan de muestreo bidimensional (sistemático-aleatorio y orientado) permitió optimizar los recursos disponibles y realizar una evaluación rigurosa y representativa del tipo de afectación, del grado de deterioro de los suelos agrícolas, de su nivel de contaminación y de su extensión espacial. Asimismo, en las zonas de mayor impacto, el enfoque orientado permitió disponer de información más detallada, sin necesidad de muestrear la totalidad de las parcelas afectadas. Finalmente, se definieron 367 parcelas de muestreo. Entre el 24 de marzo y el 30 de mayo se recogieron un total de 461 muestras en las parcelas seleccionados, correspondientes a suelo, sedimento/lodo, fruto y/o agua.

A partir de estos muestreos, y tras analizar la información obtenida en cada parcela visitada, se confeccionaron mapas de grado y tipo de afectación, lo que ha permitido delimitar zonas con contaminación, pérdida de fertilidad, exceso de sedimentos, entre otras, facilitando la formulación de recomendaciones de manejo específicas para paliar los problemas detectados.

5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y GRADO DE AFECTACIÓN

El objetivo es cuantificar el nivel de afectación a partir de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados, con especial atención a metales pesados, hidrocarburos y otros contaminantes y/o microbiológicos (*Escherichia coli*, *Salmonella spp.* u otros), evaluando si existen diferencias significativas atribuibles al efecto de la DANA.

En las muestras de suelo, sedimentos, fruto y agua se realizaron un total 12.605 determinaciones analíticas, garantizando una evaluación técnica exhaustiva y fiable del área afectada.

Los parámetros analizados que disponen de valores límite establecidos en la legislación vigente, así como aquellos evaluados en términos de presencia o ausencia fueron interpretados conforme a los marcos normativos aplicables. En el caso del suelo, la interpretación de los resultados de metales pesados se realizó conforme al Real Decreto 1051/2022 y su modificación mediante el Real Decreto 840/2024, mientras que los análisis microbiológicos de *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* y *Salmonella spp.* se evaluaron de acuerdo con el Real Decreto 865/2010 y la Orden 1943/2016. En fruto, la presencia de *Salmonella spp.* y los niveles de

hidrocarburos policíclicos aromáticos se interpretaron según los criterios establecidos en los Reglamentos (UE) 2073/2005 y 2023/915, respectivamente. Para las aguas, los resultados de metales pesados y sustancias perfluoroalquiladas (PFAS) se evaluaron conforme al Real Decreto 817/2015 y la Directiva 2008/105/CE, respectivamente.

En las muestras recogidas de suelo y sedimentos se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, con el objetivo de caracterizar el grado de afectación edáfica y evaluar posibles riesgos ambientales, agronómicos y para la seguridad alimentaria:

- Físicos: textura
- Químicos
 - Metales pesados (cadmio, cromo, níquel, plomo, zinc, cobre y mercurio)
 - Hidrocarburos extraídos con hexano
 - Parámetros de fertilidad del suelo (pH, materia orgánica, carbonatos, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio)
- Microbiológicos
 - *Escherichia coli*,
 - *Listeria monocytogenes*,
 - *Salmonella spp.*
- Fármacos y perfluoroalquenos (PFAs) (35 + 24) muestras del Parque Natural de la Albufera

En fruto, se determinó la presencia o ausencia de *Salmonella spp.* en aquellas parcelas afectadas cuyos suelos presentaron resultados positivos en el análisis microbiológico. Adicionalmente, se analizaron hidrocarburos policíclicos aromáticos (Benzo(a)antraceno, Benzo(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Criseno en frutos procedentes de parcelas afectadas en las que las concentraciones en suelo superaron la media observada en parcelas no afectadas.



Figura 8. Parcelas de diferentes cultivos muestreadas.

En aguas, se analizaron metales pesados y determinados compuestos PFAS y fármacos, con el objetivo de evaluar la calidad del agua y su posible incidencia sobre los sistemas agrarios afectados.

Parte de estos análisis, no realizados por el Equipo de Fertilidad del Suelo y Nutrición Vegetal (CDAS-IVIA), se externalizaron a empresas especializadas (AMBITEC y CIDE) y se contó, además, con la colaboración del Laboratorio Agrario de Burjassot.

Dado que los procesos de erosión y sedimentación ocurridos durante la DANA son de naturaleza distinta, el análisis de los resultados se ha realizado de forma separada para cada una de estas dos zonas, y a su vez por cultivo. En ambas zonas se han muestreado parcelas de cítricos (149 parcelas), frutales en los que se incluyen parcelas de caqui, melocotón, nectarina, aguacate y granado (76 puntos de muestreo), cultivos leños de secano con parcelas de almendro, nogal, algarrobo y olivo (26 parcelas), tierra arable (27 puntos de muestreo) y viñedo (22 parcelas).

Las diferencias de los valores de los distintos parámetros analizados entre las parcelas afectadas y no afectadas se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) realizado de manera independiente para cada zona, distinguiendo la zona designada como sedimentación y la zona designada como erosión. Se consideraron significativas aquellas diferencias con un nivel de significancia de $p < 0,05$. En el caso del arroz, en el área del parque Natural de la Albufera (PNA), todas las parcelas se localizan en zona de sedimentación, se han realizado 79 puntos de muestreo (Figura 9).



Figura 9. Puntos de muestreo del Parque Natural de la Albufera.

En cada una de ellas, la distribución espacial de los parámetros medidos se ha obtenido mediante modelización geoestadística. El procedimiento consistió, en primer lugar, en definir la estructura espacial de cada variable mediante el ajuste de semivariogramas experimentales a un modelo teórico. Posteriormente, estos modelos se utilizaron para la interpolación espacial, aplicando *kriging* indicador para las cualitativas, como el riesgo de afectación y *kriging* ordinario para las variables cuantitativas.

5.1 Zona afectada por sedimentación

A continuación, se evalúa el efecto de la DANA en los diferentes parámetros evaluados en la zona de sedimentación.

5.1.1 Mapa de riesgo de afectación del suelo

La distribución espacial del riesgo se generó mediante *krigeado* indicador, utilizando datos georreferenciados sobre la presencia o ausencia de síntomas de deposición observados en campo. A partir de este análisis, se consideró como zona afectada aquellas áreas con un riesgo estimado superior al 30 %. En la Figura 10 se presenta el mapa resultante, que clasifica el territorio en zonas afectadas y zonas poco o nada afectadas.

El mapa evidencia que las áreas más impactadas se localizan en las proximidades de cauces fluviales, ríos, barrancos y ramblas, donde la fuerza directa de la avenida llegó a causar daños severos, incluso la destrucción parcial del terreno. Por el contrario, las parcelas alejadas de estos cauces mostraron un menor grado de afectación directa por la riada, aunque sí registraron deposición de materiales arrastrados por la crecida.

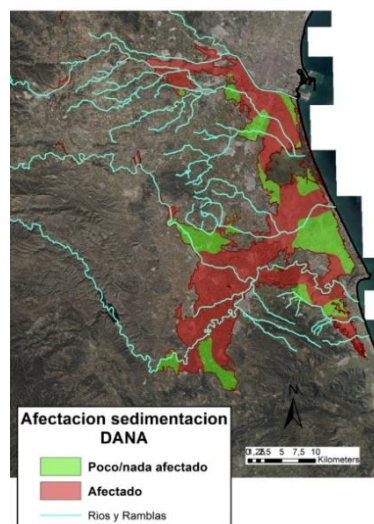


Figura 10. Distribución espacial de la afección por sedimentación de la DANA en parcelas de la zona sedimentaria.

Geográficamente, los sectores de mayor impacto se concentran en la zona final del barranco del Poyo a su llegada a la Albufera; la parte norte del Sequió Gran-barranco del Tramusser dentro del parque natural de la Albufera; el área de confluencia entre los ríos Magro y Júcar, caracterizada por la presencia de numerosos meandros que, al reducir la velocidad del flujo, favorecieron el desbordamiento y la inundación de las riberas.

En cuanto a los *arrozales de la Albufera*, se observa una menor afectación en las parcelas situadas al sur del Sequió Gran-Barranco de Tramusser en comparación con las zonas que circundan el lago por el norte y sur. Esta diferencia puede atribuirse a dos factores principales: i) la red de acequias y azarbes de la zona, que facilitó el drenaje y la evacuación de sedimentos, ii) el papel histórico de los suelos arroceros como amortiguadores de avenidas, al actuar como áreas de acumulación natural de sedimentos, lo que reduce el impacto aguas abajo.

El barranco de Tramusser aportó menor cantidad de sedimentos a la zona sur que el barranco del Poyo, localizado en el norte del lago. Cabe destacar que los sedimentos transportados por este barranco hacia la Albufera fueron cuantitativamente mayores que los aportados por el sector sur del barranco de Picassent. Es probable que los arrozales hayan funcionado como sumidero de sedimentos, reteniendo una parte importante del material arrastrado, mientras que otra fracción pudo alcanzar el lago, donde su depósito podría haber contribuido a la colmatación y reducción de la profundidad de este.

5.1.2 Distribución espacial y evaluación de los parámetros cuantitativos del suelo en la zona sedimentaria.

En este caso se ha llevado a cabo el análisis de la distribución espacial de los parámetros medidos en las muestras de suelo. A partir de las determinaciones analíticas se ha desarrollado una modelización espacial, generando mapas de distribución de los parámetros medidos a partir de una interpolación espacial por *kriging* ordinario. A continuación, se exponen figuras donde se ha evaluado el efecto de la DANA (zonas no afectadas y afectadas) sobre los parámetros analizados en los diferentes cultivos evaluados. Aquellos cultivos en los que no existía un número suficiente de parcelas afectadas y no afectadas para hacer un análisis estadístico muestran los valores medios de las mismas.

Concentración de Metales Pesados

Los metales pesados, considerados contaminantes en el ámbito agrícola, presentan una movilidad limitada en el medio natural.

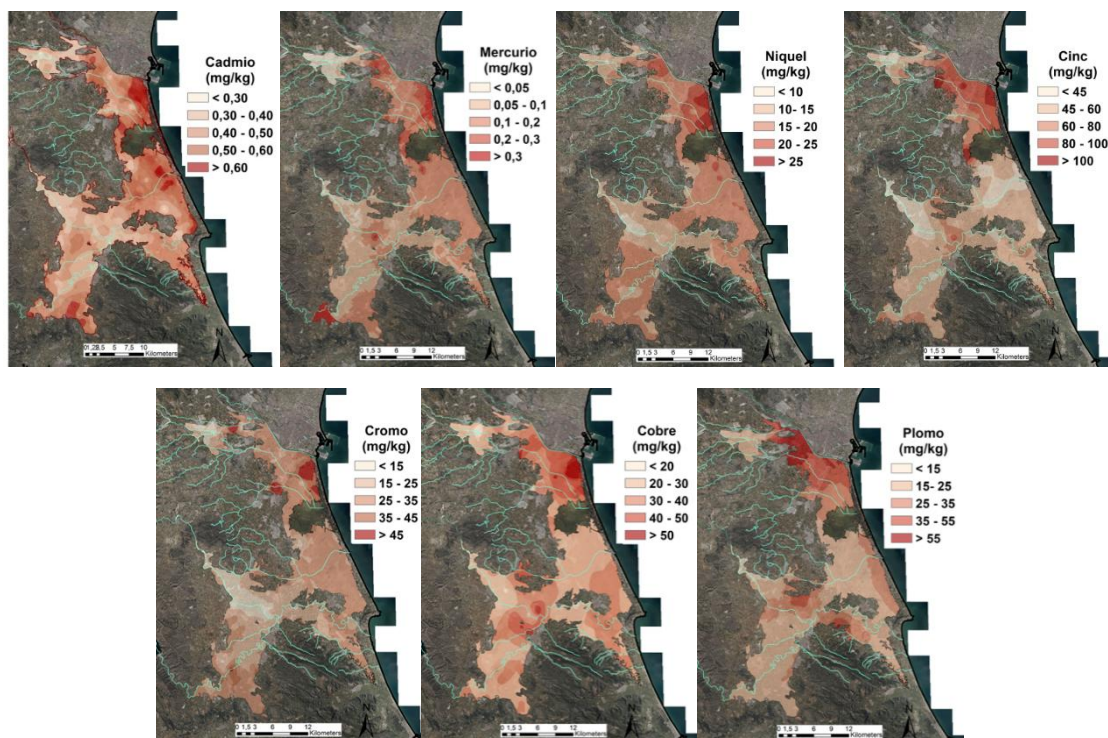


Figura 11. Distribución espacial de metales pesados en la zona sedimentaria.

Su incorporación a los suelos agrarios puede producirse mediante diversas vías, como la contaminación directa por vertidos industriales no tratados a cauces fluviales, la deposición atmosférica procedente de emisiones industriales o del tráfico (combustión y desgaste de neumáticos), la gestión inadecuada de residuos en vertederos no controlados, o la aplicación de enmiendas orgánicas como lodos de depuradora. A partir de los análisis realizados en la zona de estudio, se han elaborado mapas de distribución espacial para los distintos metales pesados (Figura 11).

En cuanto a la distribución espacial, se observa una ligera acumulación de plomo en los términos de Chirivella, Aldaia y Picanya, probablemente asociada a su proximidad con áreas industriales, pero sin exceder en ningún caso los valores límite. Para el resto de los metales (zinc, cobre, níquel, cromo, cadmio y mercurio), se identifica un patrón común en el sector noreste de la zona de sedimentación, con concentraciones relativamente más altas que en el resto del área, aunque siempre dentro de rangos normales y por debajo de los umbrales de contaminación.

Un hallazgo relevante es que, a pesar del transporte de materiales durante la DANA, la elevada cantidad de agua que circuló por la zona probablemente arrastró los contaminantes, evitando así una concentración significativa de metales pesados en los campos agrarios afectados por la sedimentación y siempre por debajo de los niveles máximos permitidos.

Los resultados generales indican que no superaron los umbrales legislativos que definen un suelo como contaminado en ninguno de los cultivos analizados en la zona de sedimentación ni se alcanzaron niveles preocupantes por debajo de este umbral (Figuras 12 a 17).

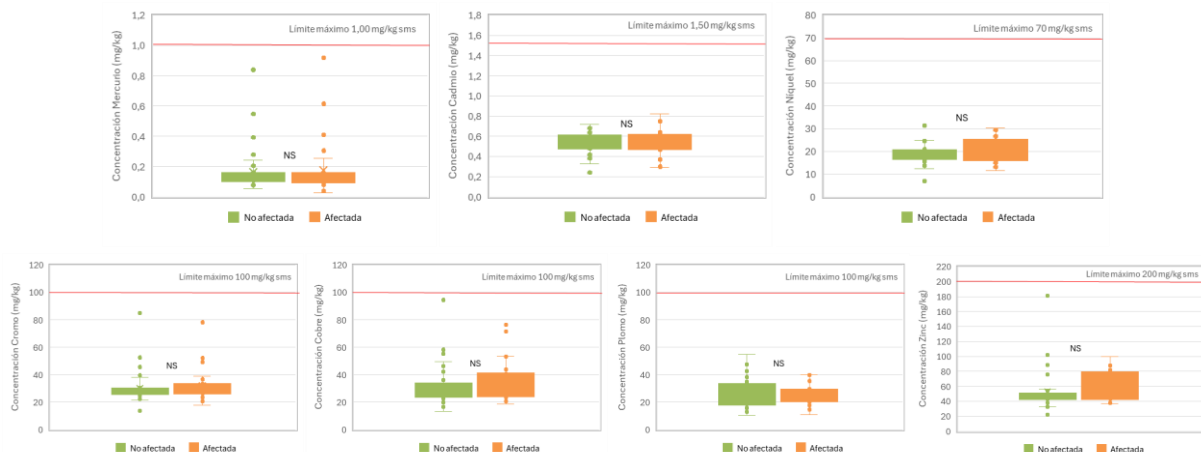


Figura 12. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en las parcelas cultivadas con arroz (Parque Natural de la Albufera).

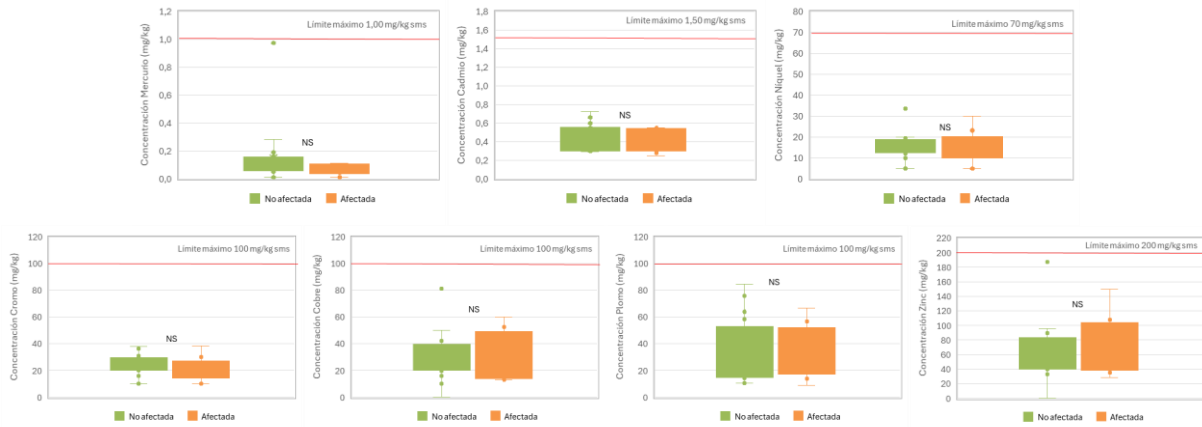


Figura 13. Efecto de la DANA sobre la concentració de metalls pesados en terra arable (hortícoles).

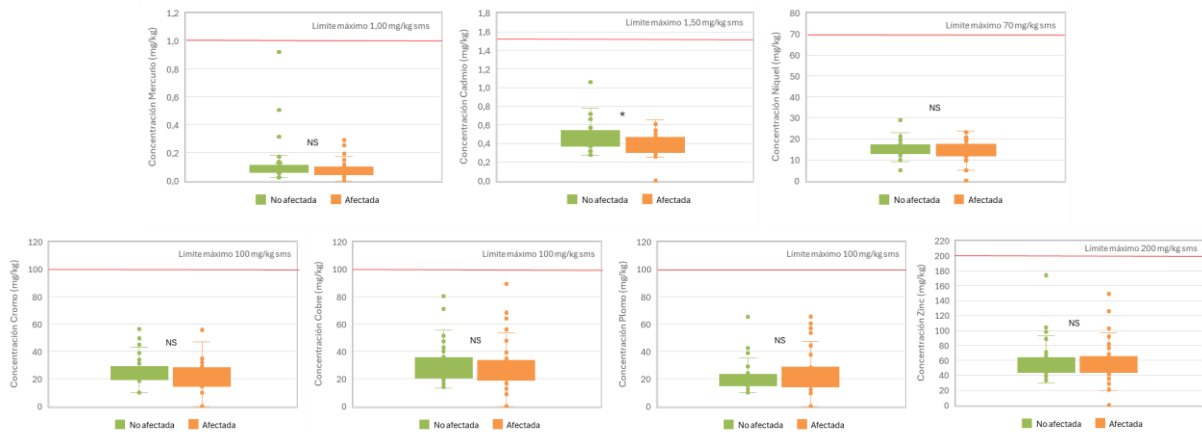


Figura 14. Efecto de la DANA sobre la concentració de metalls pesados en les parcel·les de cítrics de la zona de sedimentació.

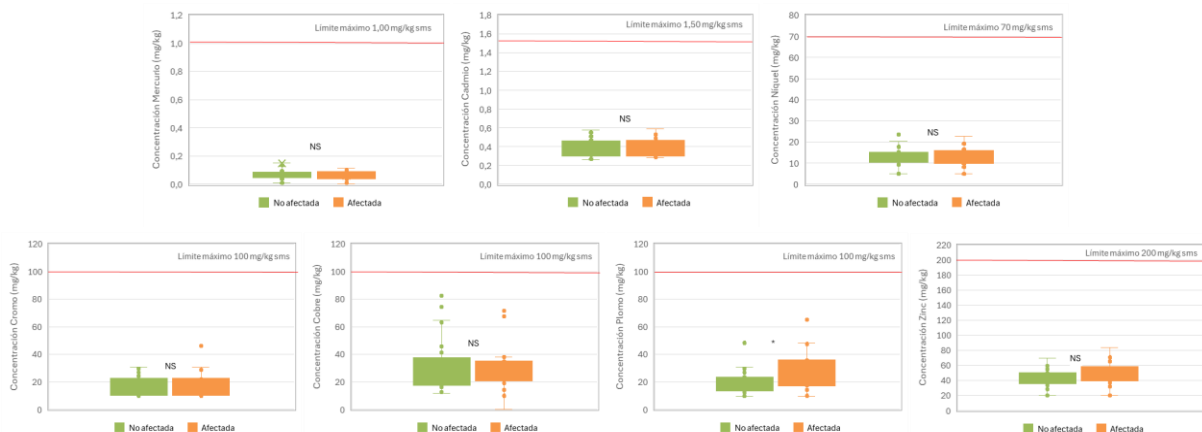


Figura 15. Efecto de la DANA sobre la concentració de metalls pesados en les parcel·les de fruitals (caqui, melocotón, nectarina, aguacate y granado) de la zona de sedimentació.

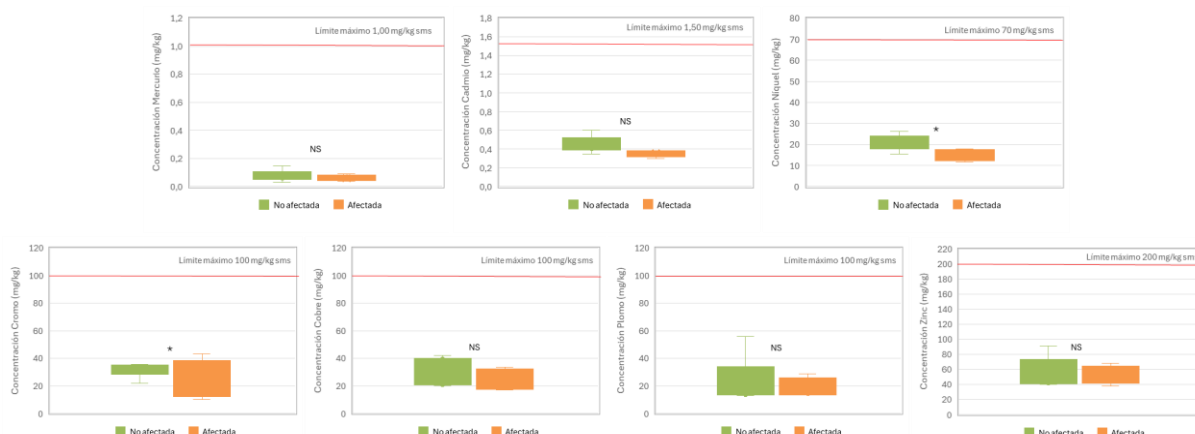


Figura 16. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en las parcelas de cultivos leñosos de secano (almendro, nogal, algarrobo y olivo) de la zona de sedimentación.

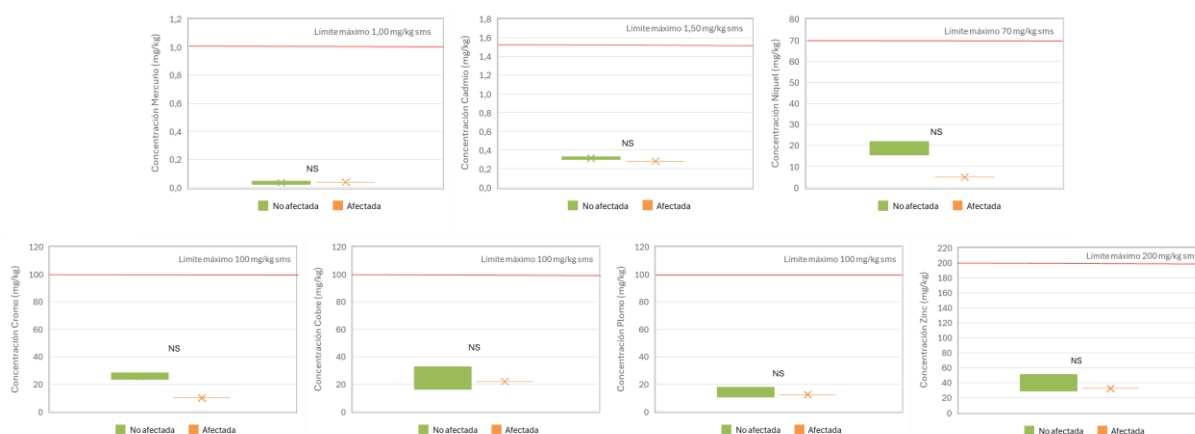


Figura 17. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en viñas de la zona de sedimentación.

En términos generales, no se observaron diferencias significativas entre los valores obtenidos en las parcelas afectadas por la riada del 29 de octubre de 2024 y las parcelas no afectadas. Las únicas excepciones fueron el cadmio en parcelas de cítricos, y el níquel y el cromo en leñosos de secano, cuyos valores fueron superiores en las parcelas no afectadas. En cambio, los niveles de plomo fueron mayores en las parcelas de frutales afectadas por el episodio de inundación. A pesar de estas diferencias puntuales, los valores registrados en todos los casos se mantuvieron muy por debajo de los límites máximos establecidos por la legislación vigente.

Partículas de arcilla, limo y arena (textura)

En los mapas incluidos en la Figura 18 se presenta la distribución espacial de las partículas del suelo (arcilla, limo y arena) en la zona de sedimentación. Al analizar esta en las partículas de limo, las más problemáticas por su efecto sellante, se identifican dos áreas principales de deposición:

- En el norte de los arrozales de la Albufera, dominada por el barranco del Poyo.
- En la zona de meandros de la confluencia del río Júcar con Magro entre Alberic y Alzira.

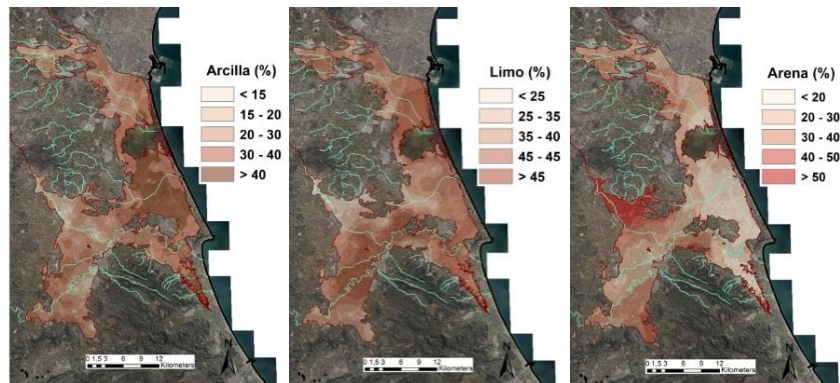


Figura 18. Distribución espacial de la arcilla (izq.), limo (centro) y arena (dcha.) en la zona sedimentaria.

La fuerza de la avenida en el barranco del Poyo pudo transportar partículas de mayor tamaño que las arcillas, como los limos procedentes de zonas superiores, y depositarlas en el sector norte del lago de la albufera. Por otro lado, en los meandros del Júcar, la reducción de la velocidad del caudal favorece la sedimentación. Esta área de acumulación de limos se extiende hasta la confluencia de los ríos Júcar y Magro, afectando a otras poblaciones como Algemesí, Albalat de la Ribera y Polinyà del Xúquer. Adicionalmente, en las parcelas donde se tomaron muestras por separado de sedimentos y de suelo, no se encontraron diferencias en los porcentajes de limo entre ambos. Esto sugiere que la composición de los lodos depositados es similar a la de los suelos subyacentes.

Respecto a las partículas de arcilla, de menor tamaño, se observa un área de sedimentación más extensa y cercana a la línea de costa. Esto se debe a su menor tamaño y peso, que facilitan su transporte en suspensión por las avenidas. Este proceso es natural y, al igual que con los limos y la arena, no se identifica un patrón espacial asociado específicamente a la DANA de 2024, sino a un proceso de deposición habitual de materiales en suspensión.

El análisis del efecto de la DANA sobre la distribución de las fracciones granulométricas se presenta en las Figuras 19 a 24. En ninguno de los cultivos analizados (arrozales, hortícolas, cítricos, frutales, leñosos de secano y viña) se observan modificaciones significativas entre parcelas afectadas y no afectadas en la proporción de las distintas fracciones del suelo (arcilla, limo y arena) como consecuencia del episodio de inundación.

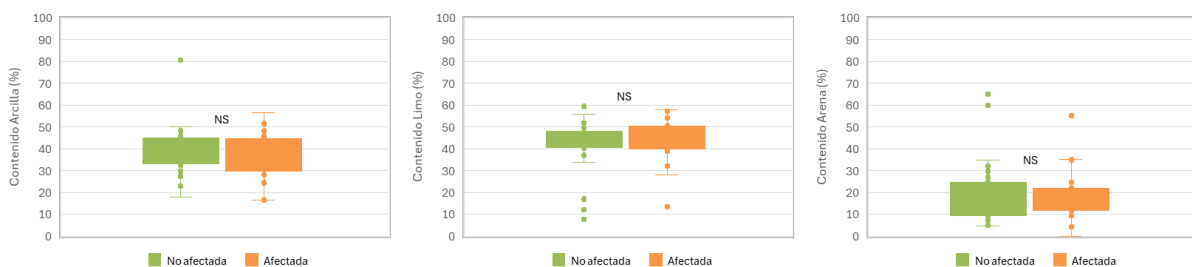


Figura 19. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en las parcelas de arroz (Parque Natural de la Albufera).

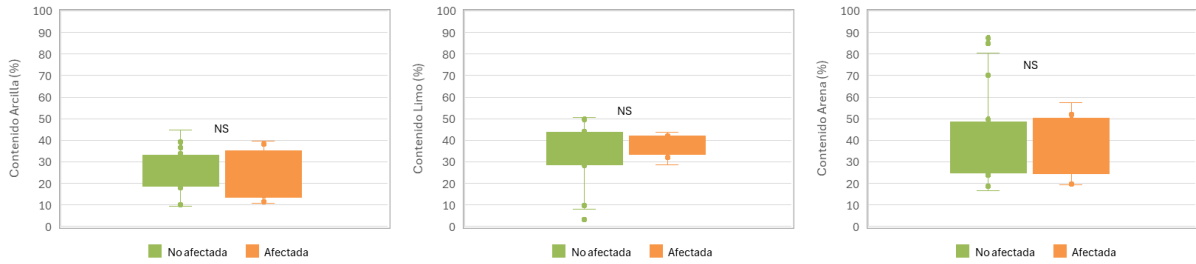


Figura 20. Efecto de la DANA sobre sobre las partículas de arcilla, limo y arena en tierras arables (hortícolas) de la zona de sedimentación.

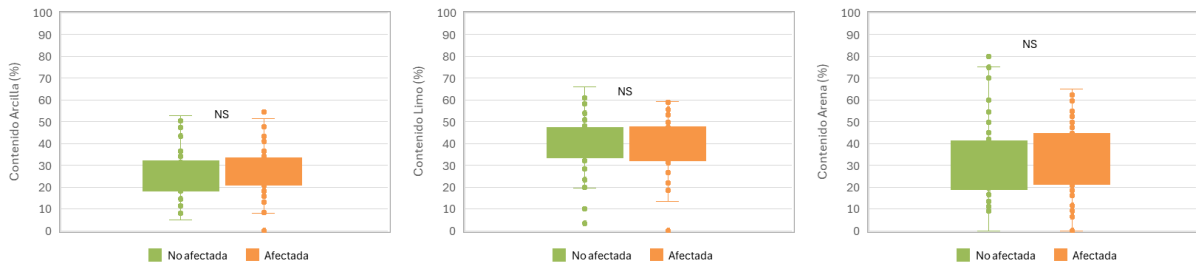


Figura 21. Efecto de la DANA sobre sobre las partículas de arcilla, limo y arena en las parcelas de cítricos de la zona de sedimentación.

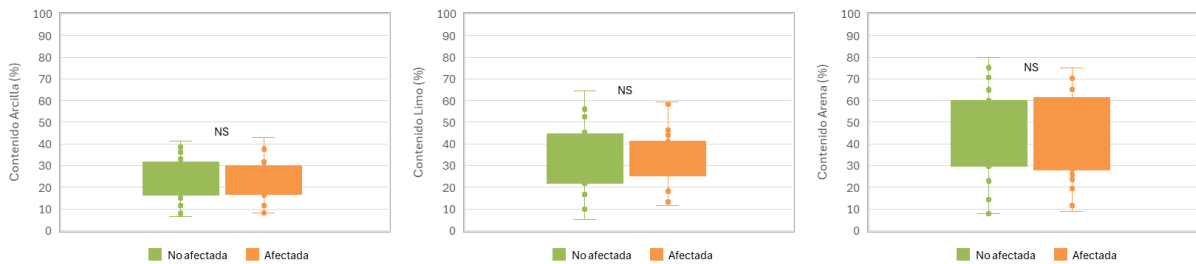


Figura 22. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en las parcelas de frutales de la zona de sedimentación.

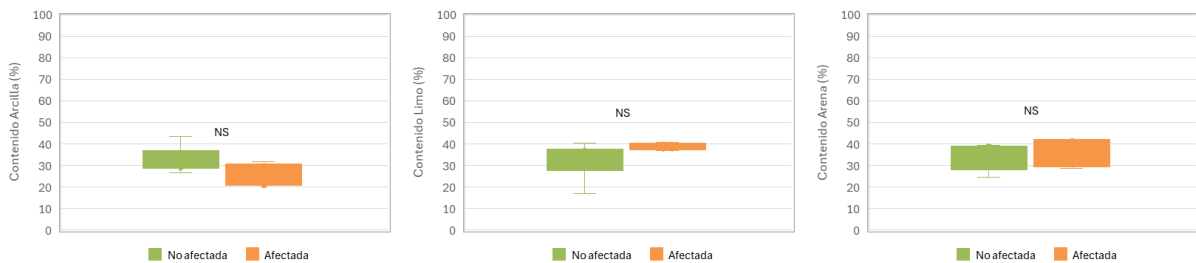


Figura 23. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en cultivos leñosos de secano de la zona de sedimentación.

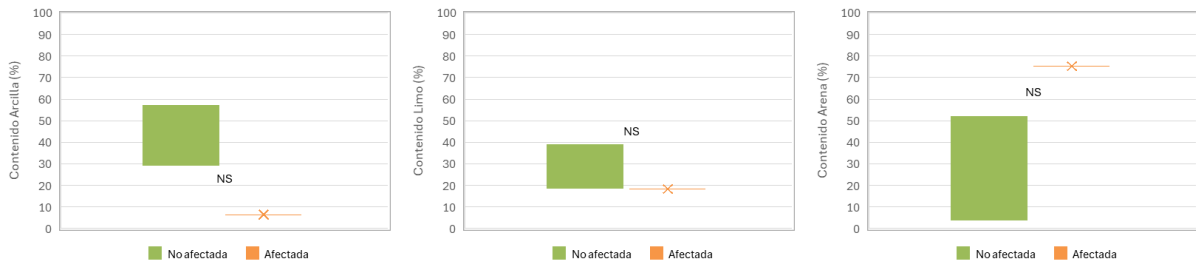


Figura 24. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en viña de la zona de sedimentación.

Fertilidad del suelo

Para medir los cambios producidos en la fertilidad del suelo se han medido parámetros como contenido en materia orgánica, carbonatos, nitrógeno total, calcio, magnesio y potasio asimilable y fósforo Olsen.

En cuanto a la distribución espacial de la materia orgánica del suelo se identifica un patrón claro de distribución en la zona de estudio (Figura 25) en el que los suelos del Parque Natural de la Albufera cercanas a la línea de costa presentan un mayor porcentaje de materia orgánica. También se observa una ligera reducción en el tramo final y ribereño del barranco del Poyo, en el sector norte del Parque Natural de la Albufera, posiblemente debido al efecto de lavado del propio cauce del barranco.

En cuanto al contenido de carbonatos, los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos típicos de los suelos del este peninsular, que presentan un contenido de carbonato total ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), generalmente, comprendido entre el 20 y el 50 %.

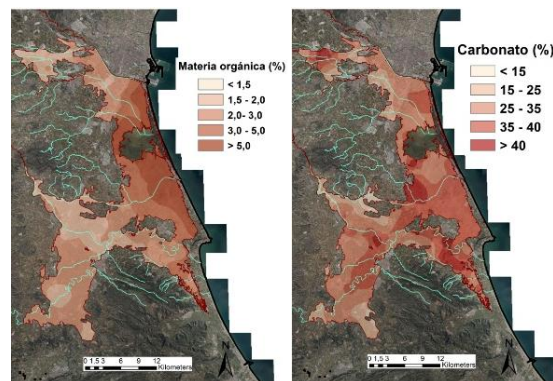


Figura 25. Distribución espacial del contenidos de materia orgánica (izq.) y carbonato (dcha.).

En cuanto a la distribución espacial de la concentración de macroelementos esenciales (P, K, Ca, Mg), los suelos de la zona sedimentaria (Figura 26) presentan una elevada fertilidad, con niveles, en general, altos de estos nutrientes en su forma asimilable. La relación C/N, que informa sobre la fertilidad del nitrógeno, muestra que un 83,6 % de los suelos analizados (Tabla 1) se sitúa en el intervalo considerado óptimo, evidenciando así una buena fertilidad nitrogenada. Este patrón es característico de suelos aluviales, que históricamente han recibido un gran aporte de nutrientes, tanto por los sedimentos depositados durante las avenidas fluviales como por la aplicación tradicional de fertilizantes en las actividades agrícolas de la zona.

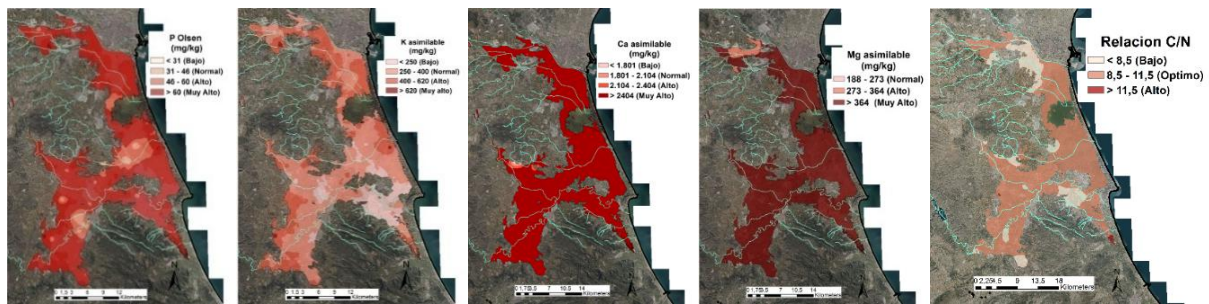


Figura 26: Distribución espacial de los diferentes parámetros de fertilidad química (P, K, Ca, Mg, C/N) de los suelos de la zona sedimentaria.

En términos porcentuales, la mayor parte de la superficie estudiada (86,4 %) presenta niveles de potasio asimilable normales o altos, lo que confirma un adecuado estado de fertilidad en la zona de sedimentación (Tabla 1). Esta tendencia es aún más marcada en el resto de los macroelementos (P, Ca y Mg), donde predominan los niveles altos y muy altos, consolidando así la elevada fertilidad general de los suelos en el área.

Tabla 1. Distribución superficial (%) por nivel de fertilidad (K, P, Ca, Mg).

Nivel	K-asimilable (%)	P-asimilable (%)	Ca-asimilable (%)	Mg-asimilable (%)	C/N (%)
Muy Bajo	0,0	0,1	0,0	0,0	--
Bajo	2,1	1,5	0,1	3,9	16
Normal	71,9	10,0	0,3	22,1	83,6
Alto	25,7	11,1	0,6	30,9	0,4
Muy Alto	0,3	77,3	99,0	43,1	--

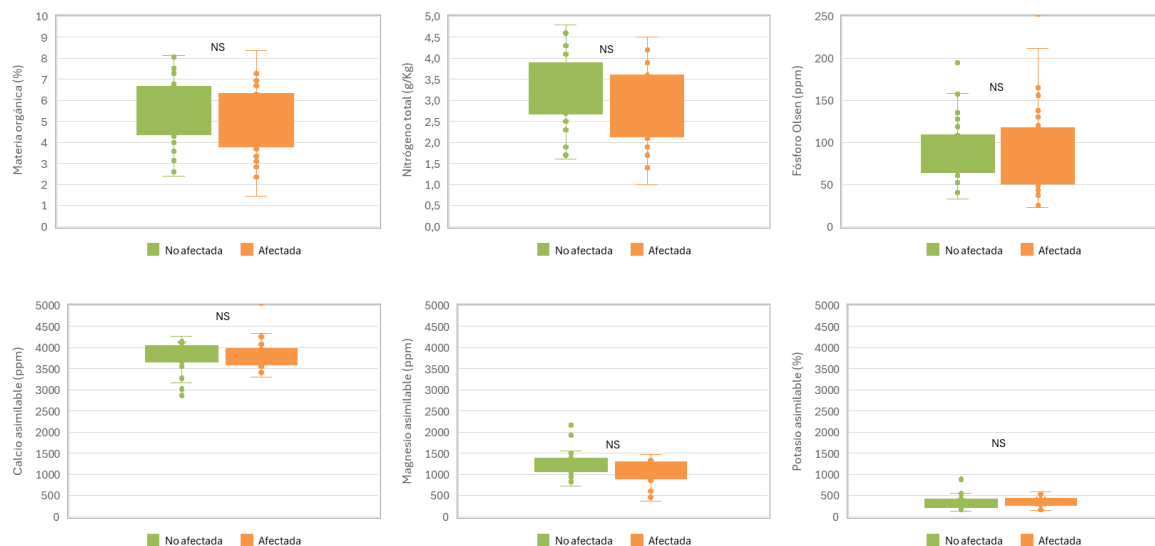


Figura 27. Efecto de la DANA sobre el parámetros de fertilidad del suelo en parcelas de arroz (Parque Natural de la Albufera).

La comparación de los resultados por cultivos (Figuras 27 a 31) entre parcelas afectadas y no afectadas indica que el episodio de la DANA no produjo efectos negativos sobre la fertilidad del

suelo, registrándose valores similares en ambas zonas. Únicamente se observaron incrementos significativos de calcio asimilable en suelos de parcelas de frutales y de fósforo en viña en las parcelas afectadas por sedimentación. No obstante, en todos los casos, los valores se sitúan en rangos considerados óptimos, como se muestra en la Tabla 1.

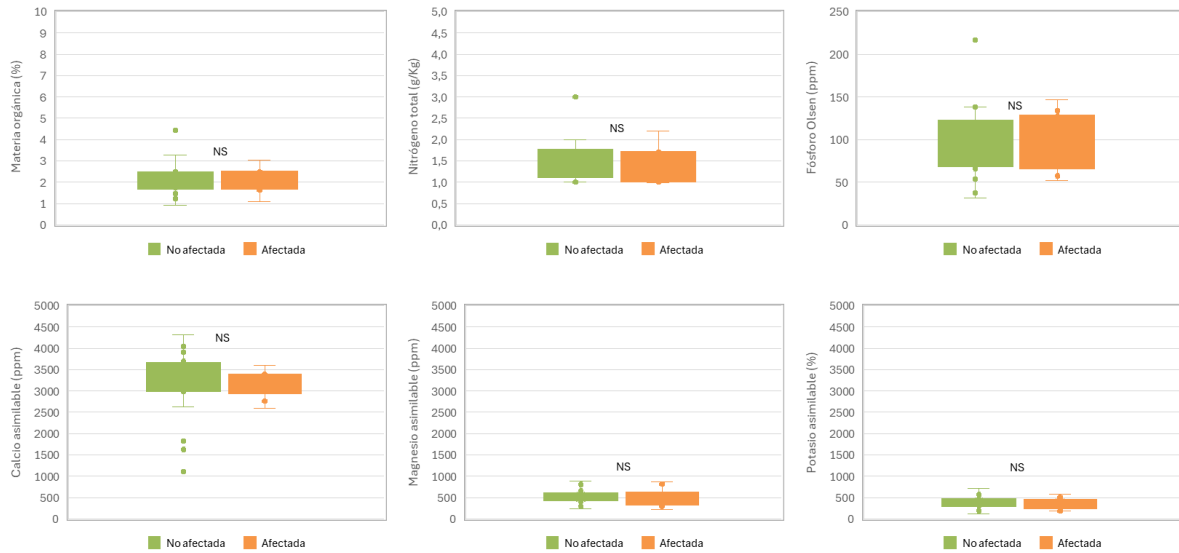


Figura 27. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en tierra arable en la zona de sedimentación.

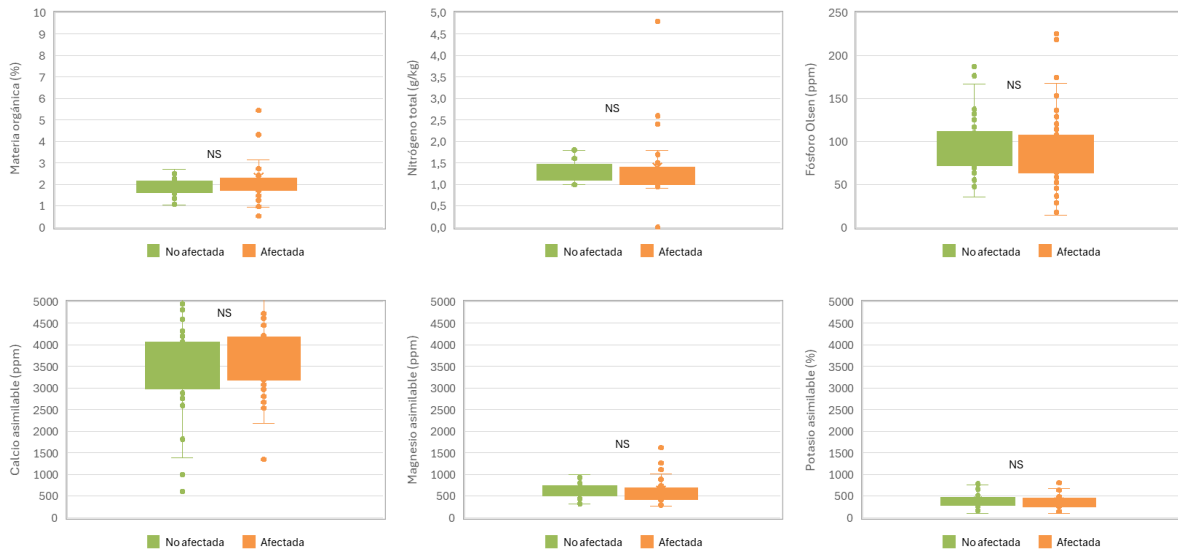


Figura 28. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en cítricos en la zona de sedimentación.

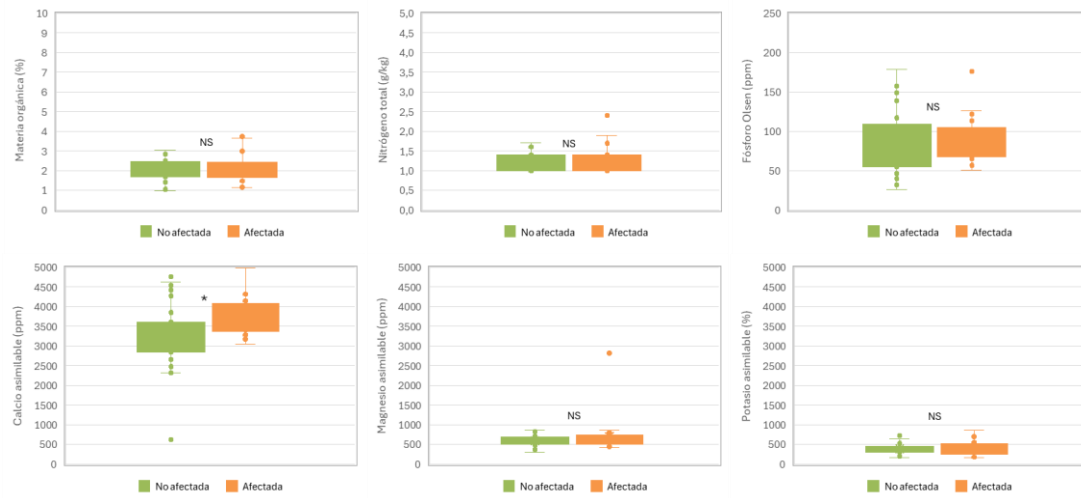


Figura 29. Efecto de la DANA sobre el parámetros de fertilidad del suelo en frutales en la zona de sedimentación.

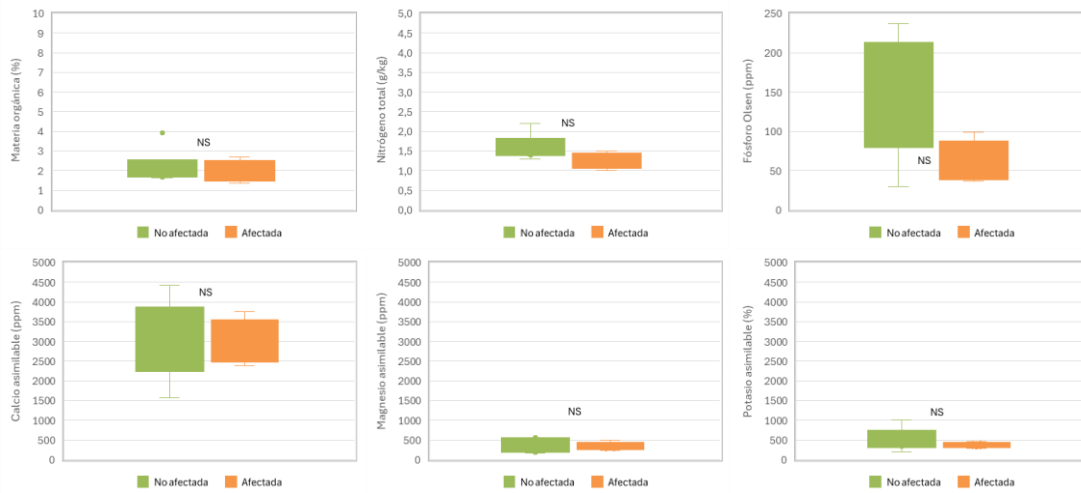


Figura 30. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en leñosos de seco en la zona de sedimentación.

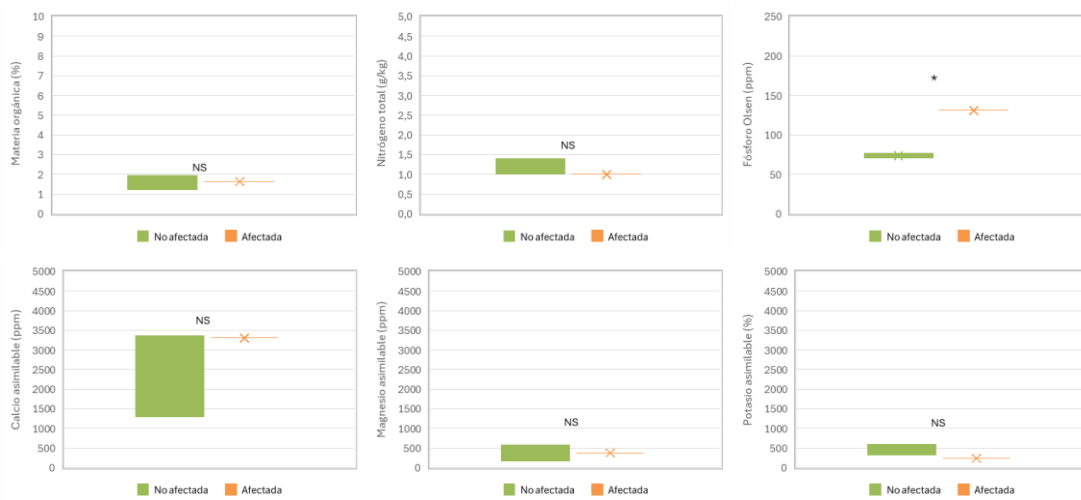


Figura 31. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en viña en la zona de sedimentación.

Contaminación orgánica: Hidrocarburos

La presencia de hidrocarburos en el suelo puede originarse, entre otras fuentes, por posibles vertidos desde estaciones de servicio. Para evaluar esta hipótesis, se establecieron puntos de control de muestreo en las proximidades de prácticamente todas las estaciones ubicadas en la zona sedimentaria afectada por la DANA. La figura 32 presenta la distribución espacial de este parámetro junto con la ubicación de las estaciones de servicio.

Su análisis revela que la distribución de hidrocarburos no muestra correlación con la proximidad a las gasolineras. En contra de lo esperado, las concentraciones más altas se localizan en áreas adyacentes al lago de la Albufera, tanto en su margen norte como sur.

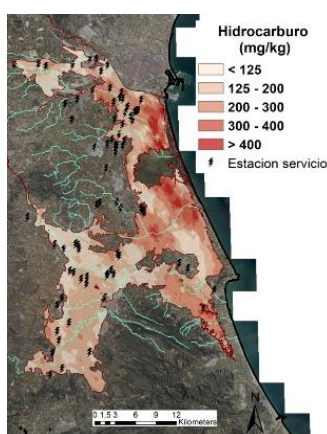


Figura 32. Distribución espacial de las concentraciones de hidrocarburos encontrados en la zona de sedimentación.

Este comportamiento sugiere que el origen más probable es el arrastre y la deposición de estos compuestos por la riada en zonas próximas al cuerpo de agua. Cabe destacar que, a pesar de esta distribución espacial, los niveles detectados no son elevados en promedio y no se observaron diferencias significativas entre parcelas afectadas y no afectadas por la DANA (Figura 33).

Por otro lado, los niveles de hidrocarburos totales del petróleo (HTP) registrados en los suelos de la zona de estudio son bajos y, en todos los casos, inferiores a 500 mg/kg, valor que, desde un punto de vista técnico, se asocia a suelos no contaminados y puede considerarse como umbral orientativo para iniciar una investigación de riesgos que pudiera conducir a la declaración formal de un suelo como contaminado. Estos resultados indican la ausencia de contaminación relevante por hidrocarburos en la zona de estudio, a pesar de la posible redistribución de estos compuestos asociada al episodio de inundación (Figura 33). La redistribución solo fue significativa en el caso de los cultivos leñosos de secano (almendro, nogal, algarrobo y olivar), donde la concentración de hidrocarburos totales fue inferior en las parcelas no afectadas por la DANA.

No obstante, en aquellas parcelas cuyas concentraciones de hidrocarburos totales superaban la media observada, considerando comparativamente parcelas afectadas y no afectadas por

cultivo, se llevó a cabo un control adicional en el fruto con el fin de garantizar el cumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad alimentaria. Así, se determinaron específicamente compuestos indicadores de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), como el benzo(a)pireno y la suma de cuatro HAP (benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno y criseno), según los criterios más restrictivos establecidos para ciertos alimentos en la normativa comunitaria de contaminantes en alimentos (Reglamento (UE) 2023/915, que ha actualizado el Reglamento (CE) 1881/2006 y sus modificaciones).

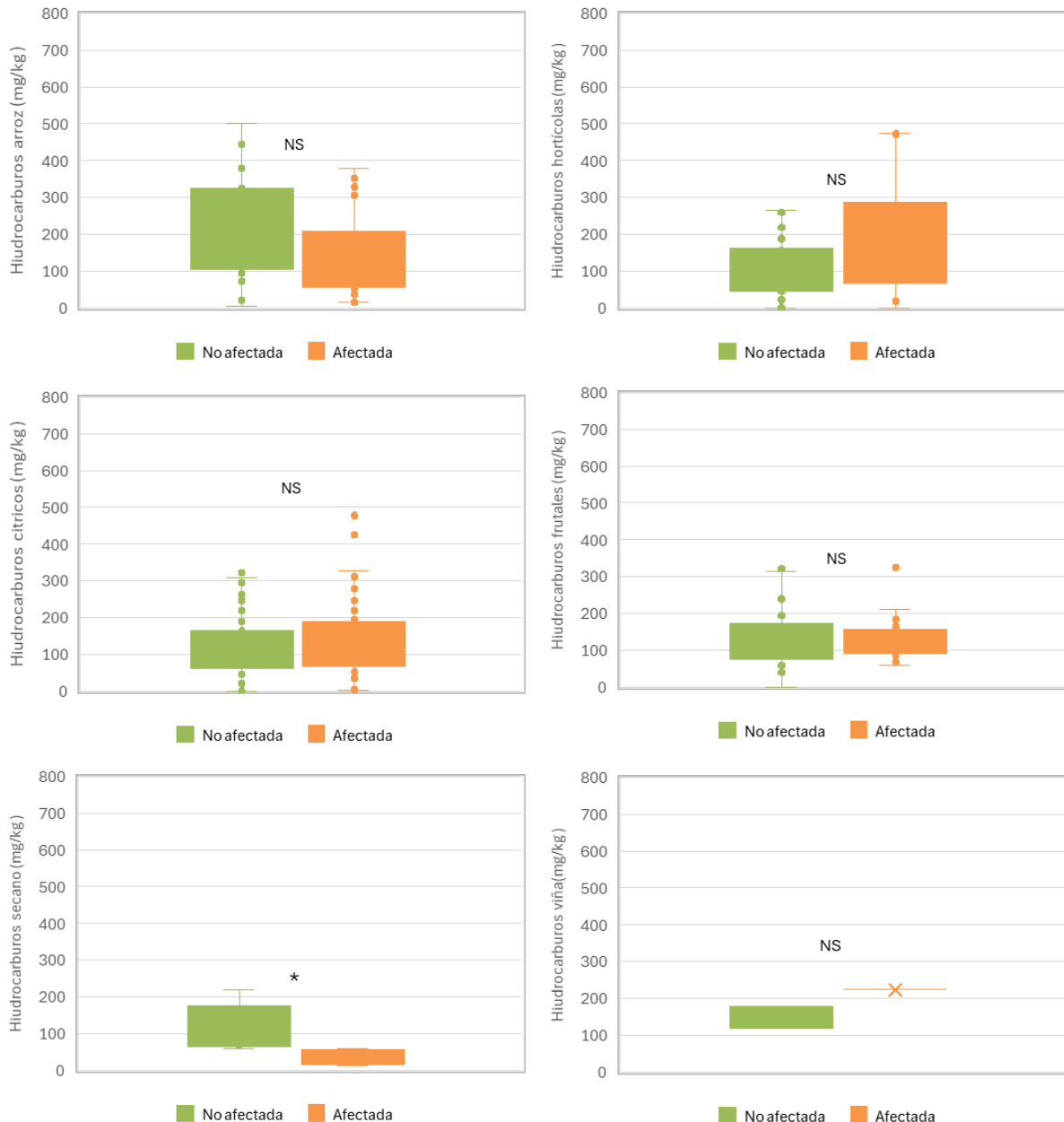


Figura 33. Efecto de la DANA en la concentración de hidrocarburos de petróleo por cultivo de la zona de sedimentación.

Los resultados obtenidos en todas las muestras de arroz y fruta analizadas confirmaron el cumplimiento de los límites establecidos, garantizando la seguridad de los productos analizados ya que en ninguna de ellas se superiores los límites descritos para estos dos criterios.

Parámetros microbiológicos

Dentro de los análisis microbiológicos realizados se cuantificó la concentración de *Escherichia coli* y se determinó la presencia o ausencia de *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes*. La figura 34 muestra la distribución espacial de cada uno de estos microorganismos.

En general, se detectaron contenidos muy bajos y una escasa presencia de los microorganismos analizados en el suelo. De hecho, no se halló *Listeria* en ninguna de las parcelas analizadas, por lo que no fue posible evaluar su distribución espacial. Respecto a *E. coli*, no se observó un patrón de distribución relacionado con la avenida de la DANA, sino que probablemente esté asociado a la proximidad de los núcleos de población.

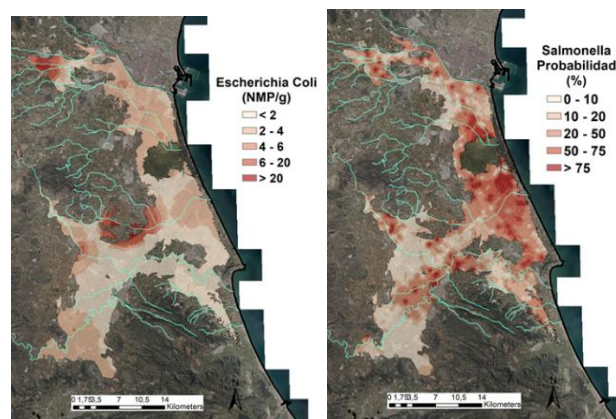


Figura 34. Distribuciones espaciales de los microorganismos estudiados en la zona sedimentaria.

Por otro lado, no fue posible ajustar un modelo robusto de distribución espacial para *Salmonella*, lo que sugiere la ausencia de un patrón definido y una presencia puntual sin tendencia sistemática. Este comportamiento es consistente con lo que se observa históricamente en suelos agrarios, donde la presencia ocasional de *Salmonella* puede estar asociada al uso de enmiendas orgánicas o al riego con aguas residuales o de origen agrícola que contienen cargas microbiológicas. El mapa de probabilidad de presencia (Figura 34), si bien condicionado por la localización de los puntos de muestreo, indica únicamente una ligera mayor probabilidad en zonas próximas al lago de la Albufera, sin que ello implique la existencia de un foco consolidado. El análisis estadístico del efecto de la DANA sobre la determinación de estos microorganismos muestra que no existen diferencias en los valores encontrados entre zonas afectadas y no afectadas, con la única excepción de la ausencia de *Salmonella* en las parcelas de cultivos leñosos de secano afectadas por la DANA (Tabla 2). La detección observada podría asociarse, como se ha indicado anteriormente, a aportes ocasionales de origen difuso, tales como la aplicación de estiércol, la presencia de fauna silvestre o el uso de aguas de riego con distinta calidad microbiológica. En cualquier caso, se trata de un microorganismo cuya viabilidad tiende a reducirse significativamente con el incremento de las temperaturas estivales.

Para asegurar la inocuidad de los alimentos, se realizaron análisis en fruto en cultivos de arroz, cítricos, caqui y otros frutales en el momento de la recolección. Todos los resultados cumplieron la legislación vigente en materia de seguridad alimentaria, incluyendo los criterios generales establecidos en el Reglamento (CE) n.º 2073/2005 y la normativa sobre contaminantes del Reglamento (CE) n.º 1881/2006.

Por tanto, en la zona afectada por procesos de sedimentación, la distribución espacial de los parámetros medidos no muestra una influencia significativa del evento de deposición reciente. Esto se debe a que la llanura aluvial afectada ha experimentado inundaciones históricas que han conformado sus suelos. La gran resiliencia de estos suelos aluviales ha amortiguado los efectos de la DANA, por lo que no se aprecian alteraciones espaciales marcadas en los parámetros como consecuencia de los nuevos aportes sedimentarios de este evento.

Tabla 2. Efecto de la DANA sobre parámetros microbiológicos del suelo.

Cultivo	Zona	<i>E. coli</i> (NMP/g)	<i>Listeria monocytogenes</i> (% positivas)	<i>Salmonella</i> spp. (% positivas)
Arroz	No afectada	2,0±0,0	ND	42,3
	Afectada	2,4±0,3	ND	45,1
	ANOVA	NS	NS	NS
Tierra arable	No afectada	2,5±0,5	ND	20,0
	Afectada	2,9±0,9	ND	25,0
	ANOVA	NS	NS	NS
Cítricos	No afectada	5,5±3,5	ND	21,7
	Afectada	3,4±1,4	ND	22,4
	ANOVA	NS	NS	NS
Frutales	No afectada	8,0±3,5	ND	18,9
	Afectada	2,6±0,5	ND	8,7
	ANOVA	NS	NS	NS
Leñosos seco	No afectada	3,2±1,9	ND	16,67
	Afectada	2,0±0,0	ND	0,0
	ANOVA	NS	NS	*
Viña	No afectada	2,0±0,0	ND	0,0
	Afectada	2,0±0,0	ND	0,0
	ANOVA	NS	NS	NS

Determinación de fármacos y perfluoroalquenos (PFAs) en los suelos del Parque Natural de la Albufera

De los 24 perfluoroalquenos analizados, el 100 % de las parcelas presentaba valores por debajo del nivel de detección en 22 de ellos. Tan solo se ha detectado la presencia de ácido perfluorooctanoico (PFOA) y de ácido perfluorononanoico (PFNA), pero sin diferencias significativas entre parcelas afectadas y no afectadas (Tabla 3).

Tabla 3. Concentración de PFAS en los suelos del Parque Natural de la Albufera.

11-Cl-PF30UdS	PFHpS	PFBA	PFODA
9-Cl-PF3ONS	PFHxA	PFBS	PFOS
FOEA	PFHxDA	PFDA	PFPeA
FOUEA	PFHxS	PFDODA	PFTeDA
HFPO-DA	PFNA	PFDS	PFTTrDA
NADONA	PFOA	PFHpA	PFUnDA

En cuanto a los fármacos, la mayoría de ellos no fueron detectados. Únicamente se identificaron concentraciones cuantificables de acetaminofeno, ácido salicílico, bisfenol A, ibuprofeno, metilparabeno y trimetoprima, sin observarse diferencias significativas entre suelos procedentes de parcelas afectadas y de parcelas no afectadas (Tabla 4).

Tabla 4. Fármacos analizados en el suelo del Parque Natural de la Albufera.

Acetaminofeno	Atorvastatin	Metilparabeno	Chloramphenicol	Enalapril	Indomethacin	Tramadol
Ácido salicílico	Bezafibrate	Omeprazole	Codeine	Ethilparaben	Lorazepam	Triclocarbam
Alprazolam	Bysfenol	Cafeína	Diclofenac	Etoricoxib	Ofloxacin	Triclosan
Amoxicillin	Ibuprofeno	Crabamazep	Norfloxacin	Fluflenamic	Simvastatin	Trimetroprima
Atenolol	Metformim	Chlofibrac acid	Propylparaben	Furosemida	Thiamphenicol	Warfarin

Además, se analizaron muestras de agua procedentes de distintas acequias del Parque. Las concentraciones de metales pesados (Cu, Cr, Zn, Pb, Ni y Cd) se situaron dentro de los límites establecidos por la normativa aplicable (datos no mostrados).

Además, de los 24 PFAS analizados, se detectaron 10 (PFBA, PFBS, PFDA, PFHxA, PFHxDA, PFHxS, PFOA, PFODA, PFPeA y PFUnDA). En aquellos compuestos para los que existen valores de referencia normativos, las concentraciones determinadas cumplieron los límites vigentes. En relación con los fármacos, se detectaron 17 de los 36 compuestos analizados (Tabla 5).

Tabla 5. Fármacos analizados en el suelo del Parque Natural de la Albufera.

11-Cl-PF30UdS	PFHpS	PFBA	PFODA
9-Cl-PF3ONS	PFHxA	PFBS	PFOS
FOEA	PFHxDA	PFDA	PFPeA
FOUEA	PFHxS	PFDODA	PFTeDA
HFPO-DA	PFNA	PFDS	PFTTrDA
NADONA	PFOA	PFHpA	PFUnDA

En conjunto, los resultados obtenidos indican que la calidad de las aguas analizadas es conforme a la normativa vigente aplicable a aguas superficiales y a su uso para riego (Directiva Marco del Agua 2000/60/CE; Directiva 2008/105/CE y 2013/39/UE; y su transposición en el ordenamiento español, entre otras el RD 817/2015).

En relación con los fármacos detectados, actualmente no existen límites máximos reglamentarios establecidos para la mayoría de estos compuestos en aguas superficiales. Asimismo, ninguno de los compuestos incluidos en las listas europeas de sustancias prioritarias

o de seguimiento ambiental superó los valores de referencia establecidos ni presentó concentraciones que indiquen incumplimiento normativo (Tabla 6).

Tabla 6. Fàrmacos analizados en el suelo del Parque Natural de la Albufera.

Acetaminofeno	Atorvastatin	Metilparabeno	Chloramphenicol	Enalapril	Indomethacin	Tramadol
Ácido salicílico	Bezafibrate	Omeprazole	Codeine	Ethilparaben	Lorazepam	Triclocarbam
Alprazolam	Bysfenol	Cafeína	Diclofenac	Etoricoxib	Ofloxacin	Triclosan
Amoxicillin	Ibuprofeno	Crabamazep	Norfloxacin	Fluftenamic	Simvastatin	Trimetroprima
Atenolol	Metformim	Chlofibrac acid	Propylparaben	Furosemida	Thiamphenicol	Warfarin

5.2 Zona afectada por Erosión

Se delimitó la zona afectada por la erosión como el área donde se registraron precipitaciones superiores a 200 l/m² en un día, cantidad considerada significativa por su elevado potencial erosivo. Esta zona abarca 240.000 ha, de las cuales 118.000 son de cultivo, e incluye principalmente las comarcas de la Plana de Utiel-Requena (dedicada al viñedo), junto con las de la Hoya de Buñol, la Plana de Quart, Los Serranos y la Ribera Alta, donde predominan los cítricos y el caqui.

5.2.1 Mapa de riesgo de afectación en la zona erosiva

Al igual que en la zona de sedimentación el mapa de riesgo de afectación en la zona erosiva se generó mediante *krigeado* indicador, utilizando datos georreferenciados sobre la presencia o ausencia de síntomas de deposición o erosión observados en campo. A partir de este análisis, se consideró como zona afectada aquellas áreas con un riesgo estimado superior al 30 %. En la Figura 35 se presenta el mapa resultante, que clasifica el territorio en zonas afectadas y zonas poco o nada afectadas.

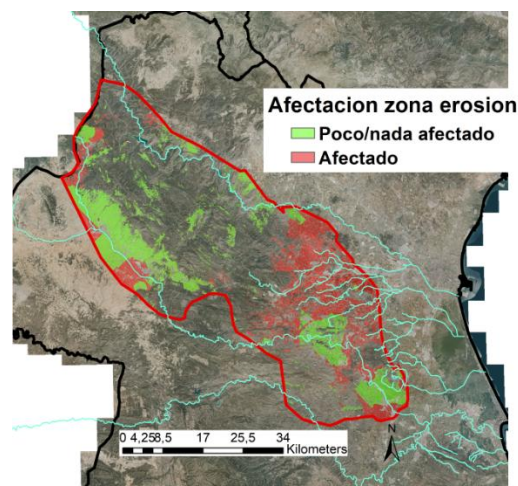


Figura 35. Distribución espacial del riesgo de afectación de los suelos agrícolas de la zona erosiva por la DANA.

En este mapa se puede observar una correlación entre la intensidad de las precipitaciones y el riesgo de erosión. Las localidades que registraron las lluvias más intensas, como Chiva, Cheste

y Godolleta, coinciden con las áreas de mayor afectación. Esto se debe a que las precipitaciones superaron los 500 l/m² en combinación con una topografía abrupta, lo que favoreció procesos erosivos importantes. Por el contrario, en la zona vitivinícola de la plana de Utiel-Requena la erosión fue menor, dado que las lluvias fueron menos torrenciales (inferiores a 300 l/m²) y el relieve es predominantemente llano. No obstante, las parcelas más afectadas en esta área fueron las cercanas al río Magro, donde la acumulación de escorrentía arrasó cultivos y depositó gran cantidad de sedimentos.

5.2.2 Distribución espacial y evaluación de los parámetros cuantitativos del suelo en la zona erosionada.

De manera análoga al caso de la zona sedimentaria, se procedió al análisis de la distribución espacial de los parámetros edáficos medidos. Los datos analíticos sirvieron de base para una modelización geoestadística, concretamente una interpolación espacial mediante *kriging* ordinario, con el fin de generar los mapas de distribución correspondientes.

Concentración de Metales Pesados

Los mapas de la figura 36 muestran la distribución espacial de los niveles de metales pesados en el suelo de la zona agrícola afectada por las lluvias torrenciales de la DANA. Los valores registrados son bajos en comparación con los límites establecidos para considerar un suelo como contaminado o no apto para el cultivo.

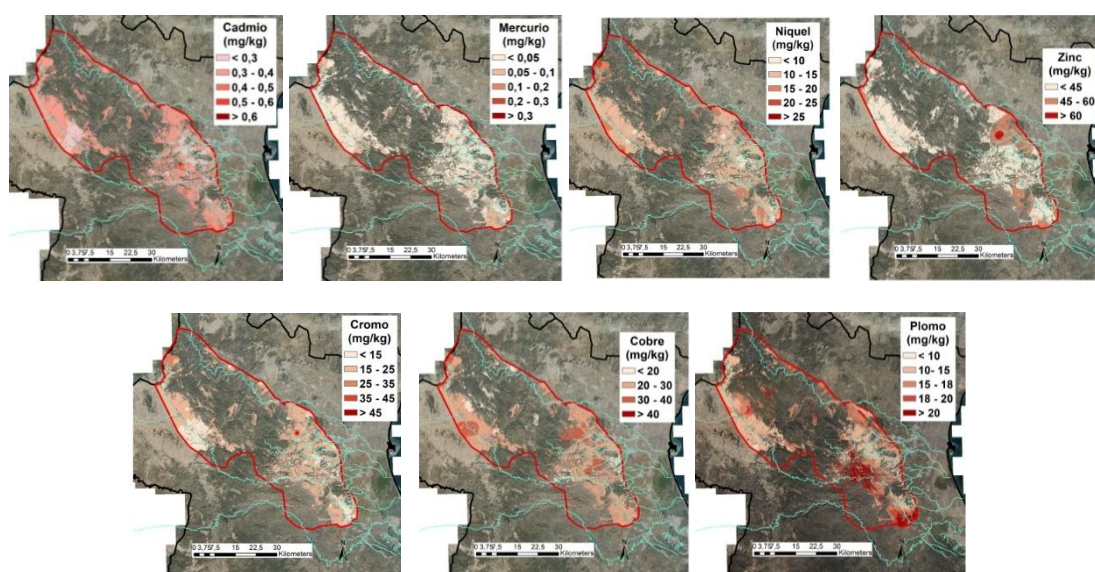


Figura 36. Distribución espacial de metales pesados en la zona erosionada.

Asimismo, estos niveles son incluso inferiores a los observados en las zonas afectadas por sedimentación aguas abajo. La baja concentración se explica, en gran medida, por la escasa proximidad a posibles focos de contaminación como áreas industriales, núcleos urbanos densos o vertederos. No obstante, se detecta una ligera concentración de plomo en el municipio de Turís, en la ribera del río Magro, zona en la que se registraron las precipitaciones más intensas (hasta 650 l/m²), pero siempre con valores muy por debajo de los límites permitidos. Por otro lado, el zinc y el cromo presentan núcleos de concentración discretos en el barranco del Poyo, al sur de

Cheste, y en las proximidades del barranco de Cañadafría o Pozalet, al norte de la misma localidad, aunque siempre con valores bajos.

El resto de los metales pesados analizados no presentan acumulaciones significativas, sino una distribución uniforme y con concentraciones muy reducidas en toda el área de estudio. En general, como se ha señalado, los niveles en esta zona son sistemáticamente más bajos que los medidos en las áreas de sedimentación situadas aguas abajo de los cauces y barrancos principales.

En cuanto a las diferencias entre en parcelas afectadas por el episodio de riada del 29 de octubre de 2024 y las no afectadas (Figuras 37 a 41), no se observaron diferencias significativas entre los valores de metales pesados obtenidos.

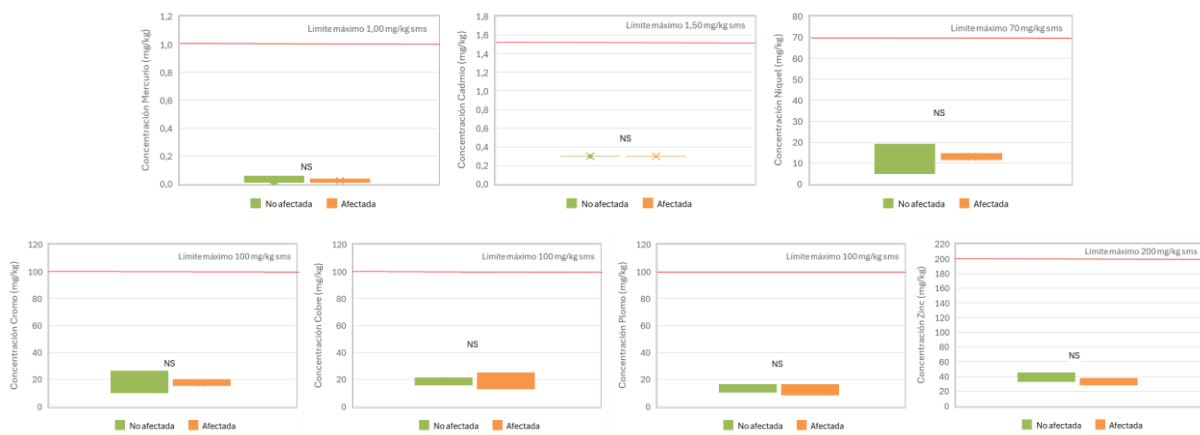


Figura 37. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en tierra arable (hortícolas) en la zona de erosión.

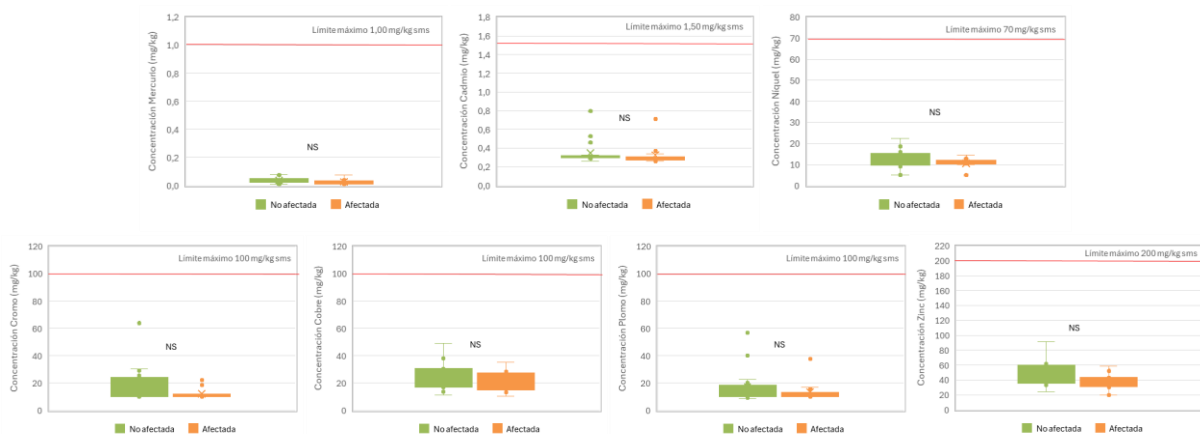


Figura 38. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en las parcelas de cítricos de la zona de erosión.

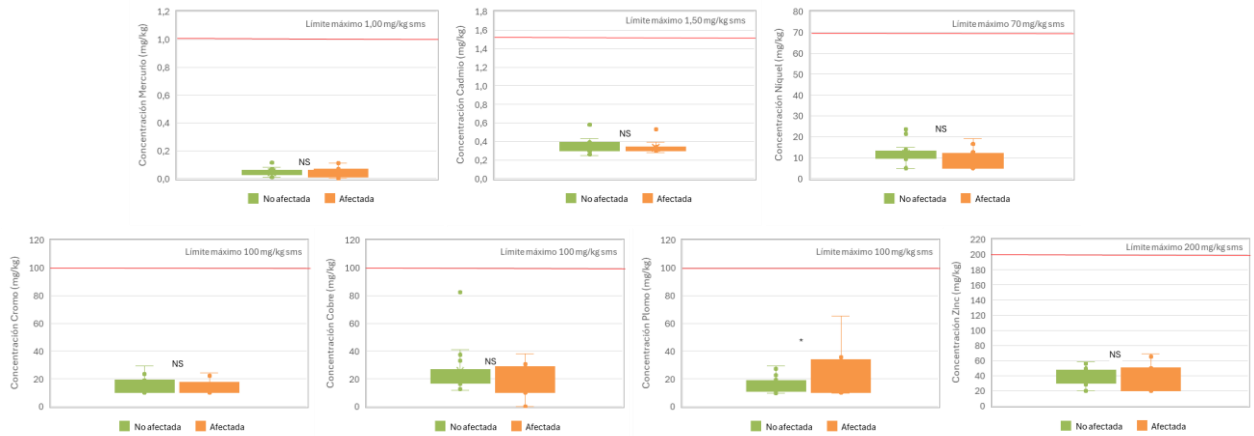


Figura 39. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en las parcelas de frutales (caqui, melocotón, nectarina, aguacate y granado) de la zona de erosión.

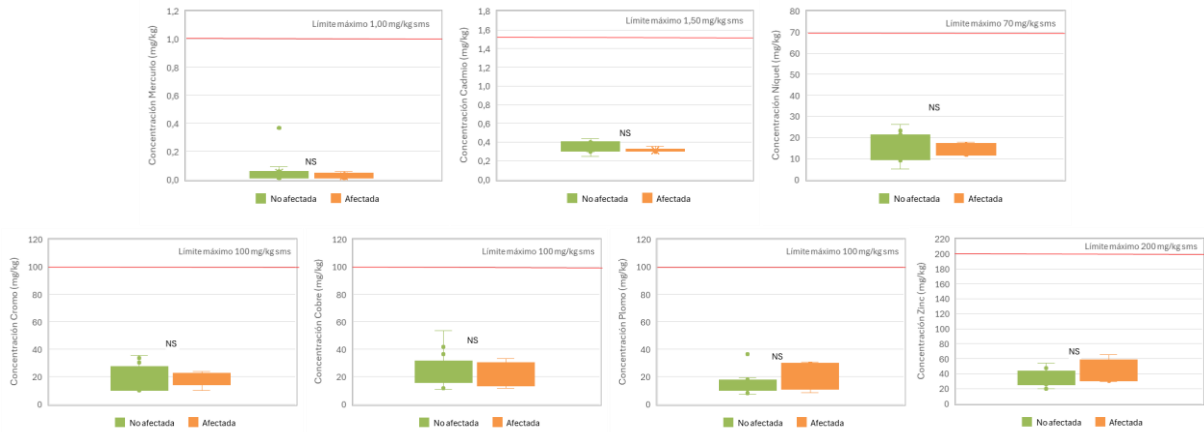


Figura 40. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en las parcelas de cultivos leñosos de secano (almendro, nogal, algarrobo y olivo) de la zona de erosión.

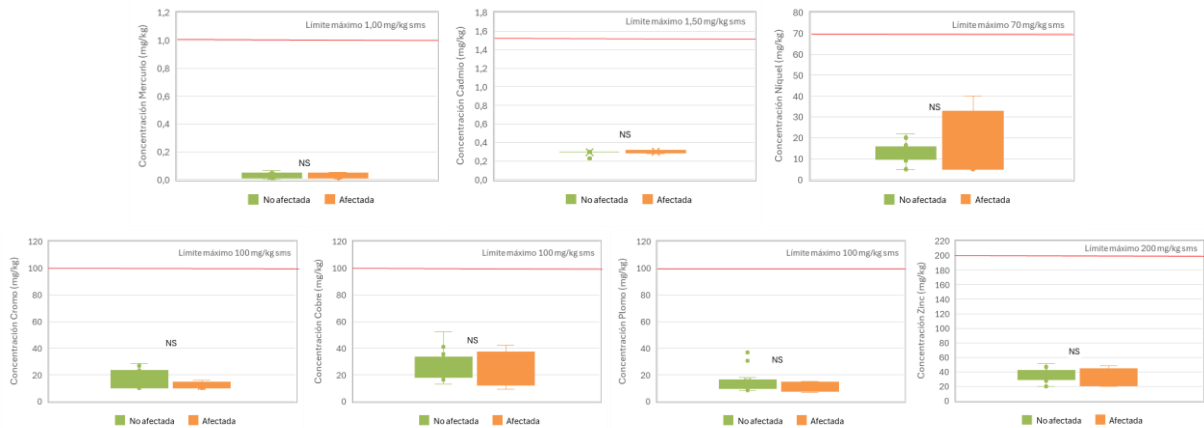


Figura 41. Efecto de la DANA sobre la concentración de metales pesados en viñas de la zona de erosión.

Partículas de arcilla, limo y arena (textura)

En la figura 42 se muestra la distribución espacial de las diferentes partículas del suelo analizadas (arena, limo, arcilla), donde se muestra un claro predominio de arenas, con valores superiores al 50 % en el 44 % de la superficie agrícola afectada.

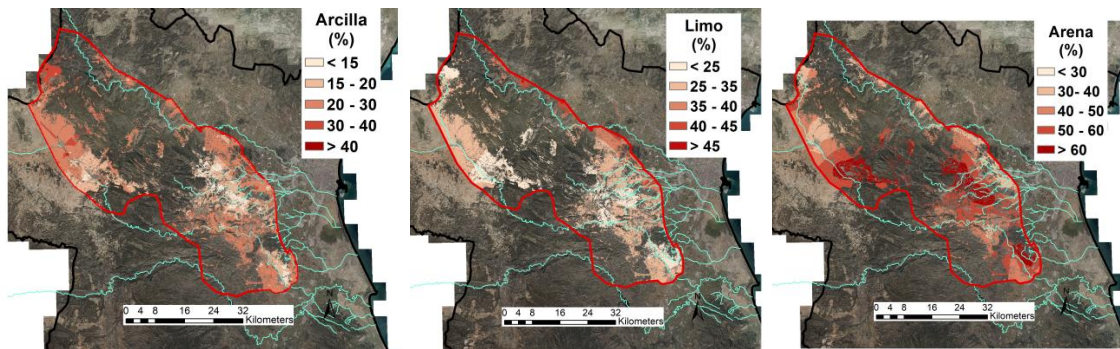


Figura 42. Distribución espacial de la arcilla (izq.), limo (centro) y arena (dcha.) en la zona erosiva.

En términos generales, las texturas del suelo tienden a ser cada vez más arenosas o franco-arenosas tras episodios de lluvia erosiva. Esta evolución se debe a que las partículas más finas (arcillas y limos) son fácilmente extraídas y transportadas por los flujos de agua a través de barrancos y ríos, quedando en el lugar una mayor proporción de arena. De hecho, el 92 % de los suelos de la zona tienen un contenido de arcilla inferior al 30 %, y el 95 % presenta menos del 40 % de limo, lo que confirma la tendencia hacia texturas poco arcilloso-limosas y más franco-arenosas. Los procesos erosivos continúan extraer estos materiales finos y los movilizan como sedimentos hacia zonas aguas abajo, tal como ocurrió durante el episodio de la DANA mencionado.

El análisis de la distribución de las fracciones granulométricas en parcelas afectadas y no afectadas dentro de la zona de erosión, para los distintos cultivos (Figuras 43 a 47), no muestra diferencias significativas. Estos resultados indican que los procesos erosivos asociados a la DANA no han producido una alteración relevante de la textura del suelo. Este comportamiento puede explicarse por el carácter puntual y de corta duración del evento, así como por la estabilidad estructural de estos suelos, que limita la pérdida selectiva de fracciones finas y, por tanto, mantiene inalterada la distribución granulométrica.

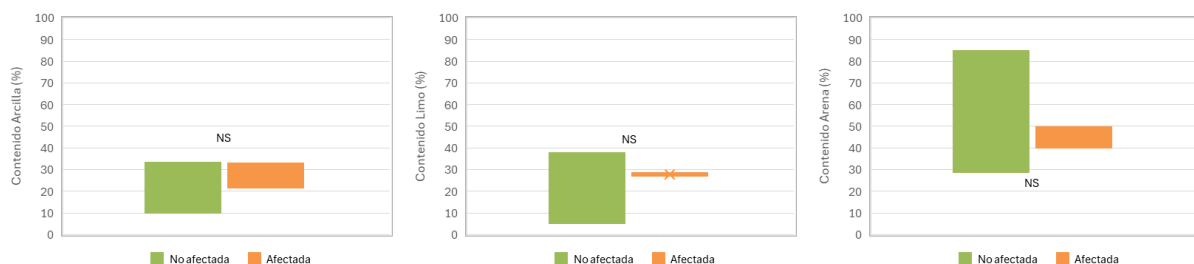


Figura 43. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en las tierras arables de la zona erosiva.

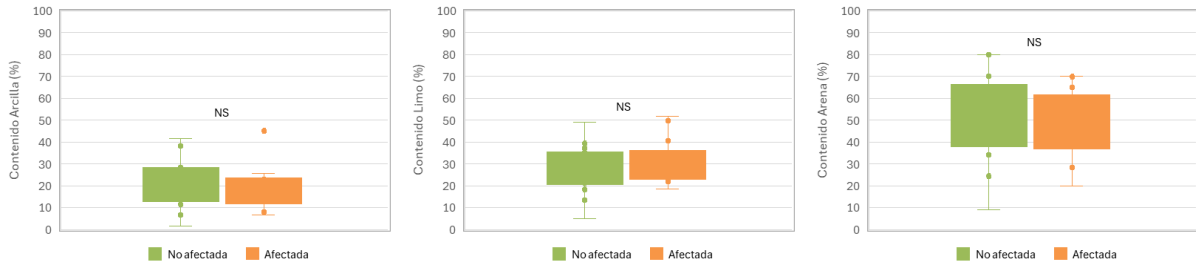


Figura 44. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en las parcelas de cítricos de la zona erosiva.

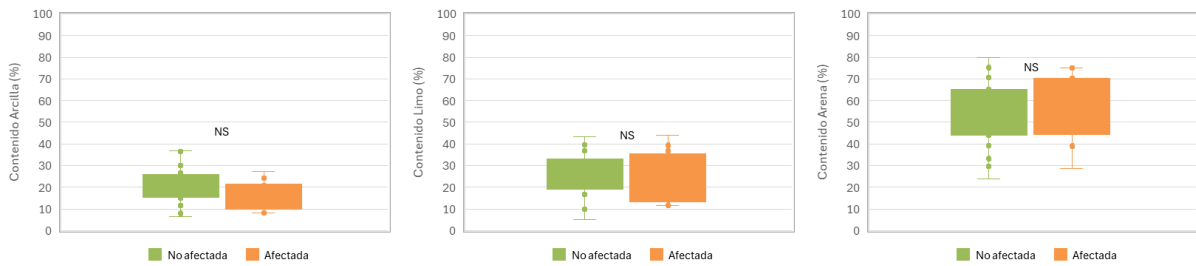


Figura 45. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en frutales de la zona erosiva

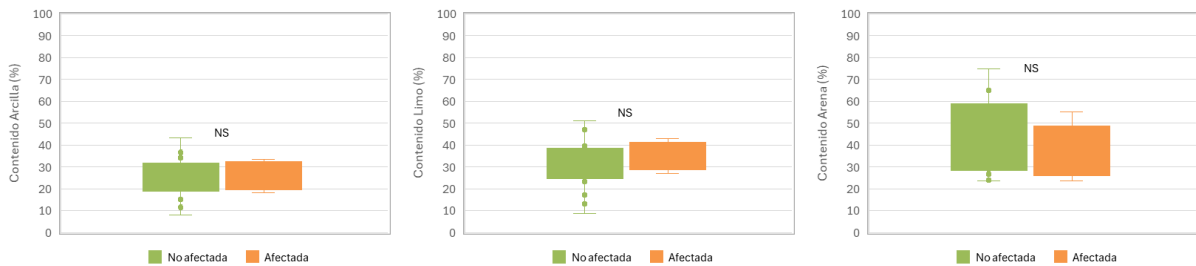


Figura 46. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en cultivos leñosos de secano de la zona de erosiva.

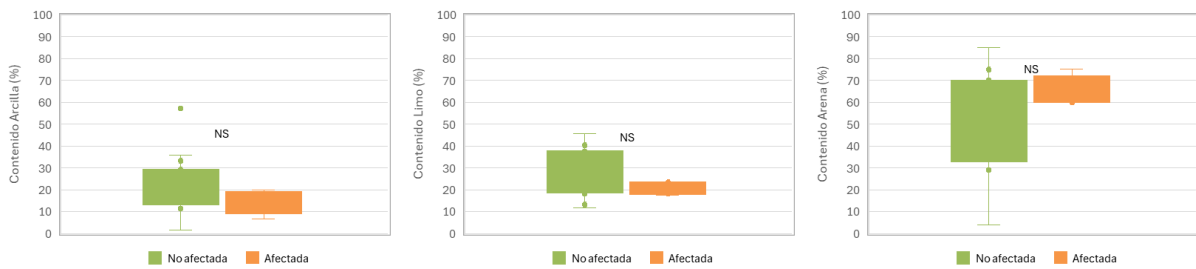


Figura 47. Efecto de la DANA sobre las partículas de arcilla, limo y arena en viña de la zona de erosiva.

Fertilidad del suelo

Al igual que la zona sedimentaria, se han analizado parámetros de fertilidad del suelo. En los mapas de la figura 48 se muestran las distribuciones espaciales de los contenidos de materia orgánica y carbonato en esta zona.

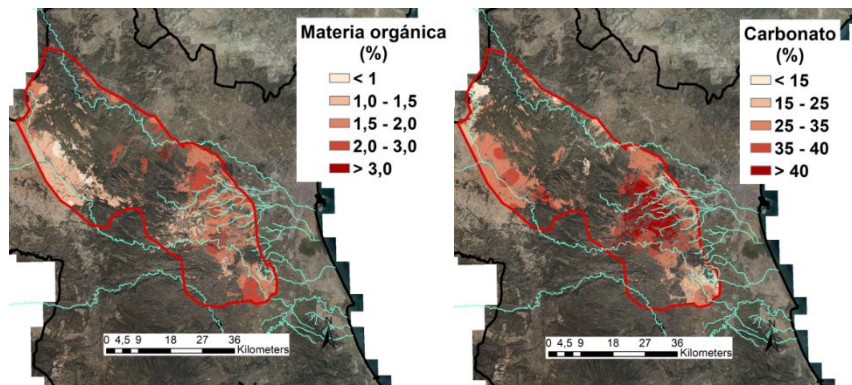


Figura 48. Distribución espacial del contenidos de materia orgánica (izq.) y carbonato (dcha.).

Los niveles de materia orgánica son más bajos principalmente en la comarca de la Plana de Utiel-Requena, dedicada al cultivo de la vid. En este sistema, el manejo del suelo mediante laboreo intensivo acelera la mineralización de la materia orgánica, lo que consume gran parte de los aportes orgánicos realizados al cultivo. A esto se suma que, tras el laboreo, el suelo queda desprovisto de cubierta vegetal y expuesto, favoreciendo que episodios de lluvia intensa (como el de la última DANA) den lugar a una pérdida adicional de materia orgánica por procesos erosivos. Por otro lado, la distribución de los niveles de carbonatos está más ligada a la litología de la zona, donde son frecuentes materiales como calizas, margas, calizas margosas y calcareníticas, que aportan un contenido carbonatado naturalmente elevado al suelo.

En la figura 49 se muestran los mapas de distribución de los niveles de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) en los suelos de la zona erosiva identificada tras la DANA. En esta área, más del 98 % de los suelos presentan una buena fertilidad química en cuanto a fósforo y potasio (Tabla 7). Los niveles de potasio son especialmente equilibrados, con un 77 % de la zona dentro del rango normal.

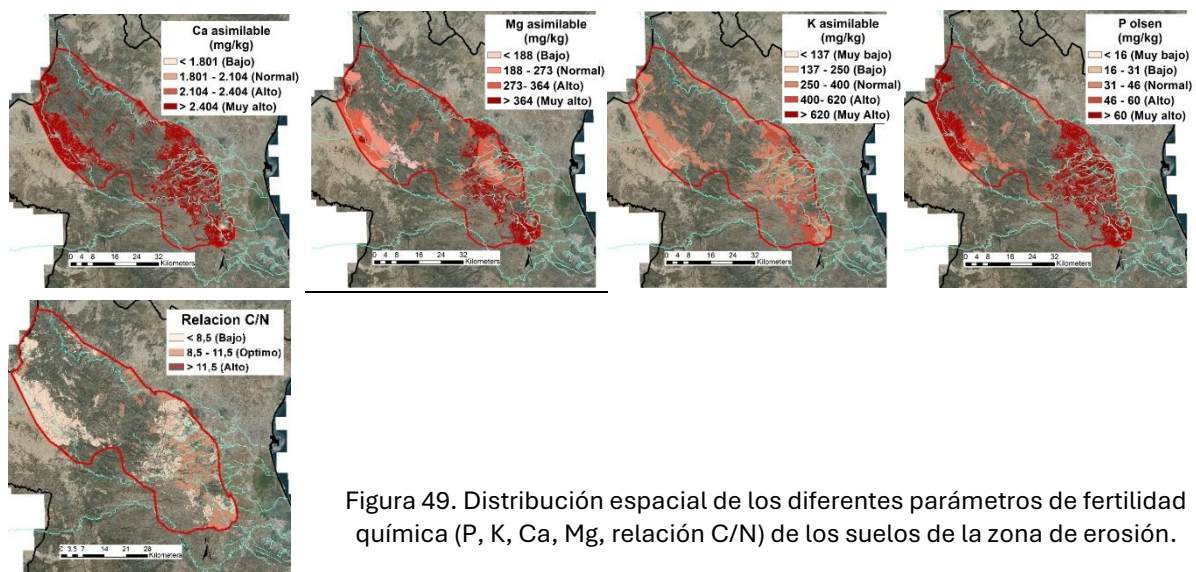


Figura 49. Distribución espacial de los diferentes parámetros de fertilidad química (P, K, Ca, Mg, relación C/N) de los suelos de la zona de erosión.

Estos valores son incluso superiores a los observados en la zona sedimentaria, lo que sugiere que la excesiva fertilización de los suelos agrícolas, por encima de las demandas de los cultivos,

es la causa principal de estos elevados niveles de fertilidad química. Cabe destacar que en la zona cultivada de viña (Llanura de Utiel-Requena) se registran los niveles más bajos de fósforo, potasio y magnesio, lo que indica que el manejo del viñedo podría estar reduciendo la fertilidad del suelo.

Tabla 7. Distribución superficial (%) por nivel de fertilidad (K, P, Ca, Mg, C/N) en la zona de erosión.

Nivel	K-asimilable (%)	P-asimilable (%)	Ca-asimilable (%)	Mg-asimilable (%)	C/N (%)
Muy Bajo	0,0	0	0,0	0,0	--
Bajo	13,5	0,0	0,1	0,0	39
Normal	53,4	1,9	0,2	0,6	61
Alto	32,6	9,6	0,7	4,8	0
Muy Alto	0,4	88,5	99,1	94,7	--

Por otra parte, los contenidos de calcio y magnesio son elevados debido a la litología local, desarrollada sobre materiales calcáreos. Con respecto a la relación C/N, que indica el grado de evolución de la materia orgánica del suelo, se observa que la mayoría de los suelos presentan valores inferiores a 8,5, especialmente en los cultivos de viña. Esto sugiere la necesidad de aportar materia orgánica para elevar dichos valores hacia niveles más equilibrados, en torno a 10 y así mejorar la fertilidad del suelo. Finalmente, considerando que los niveles de fertilidad biológica, indicados por el contenido de materia orgánica, son bajos; esto sugiere que las prácticas de manejo del suelo no son las adecuadas para la zona y que los agricultores intentan compensar esta deficiencia mediante la aplicación de fertilizantes químicos.

Si comparamos los valores de la fertilidad del suelo en las muestras analizadas en zonas no afectadas y afectadas por la DANA, encontramos escasas diferencias significativas en los cultivos (Figuras 50 a 54), sugiriendo que el proceso erosivo generado por las lluvias torrenciales del día de la DANA no modificó significativamente los niveles de fertilidad de los suelo.

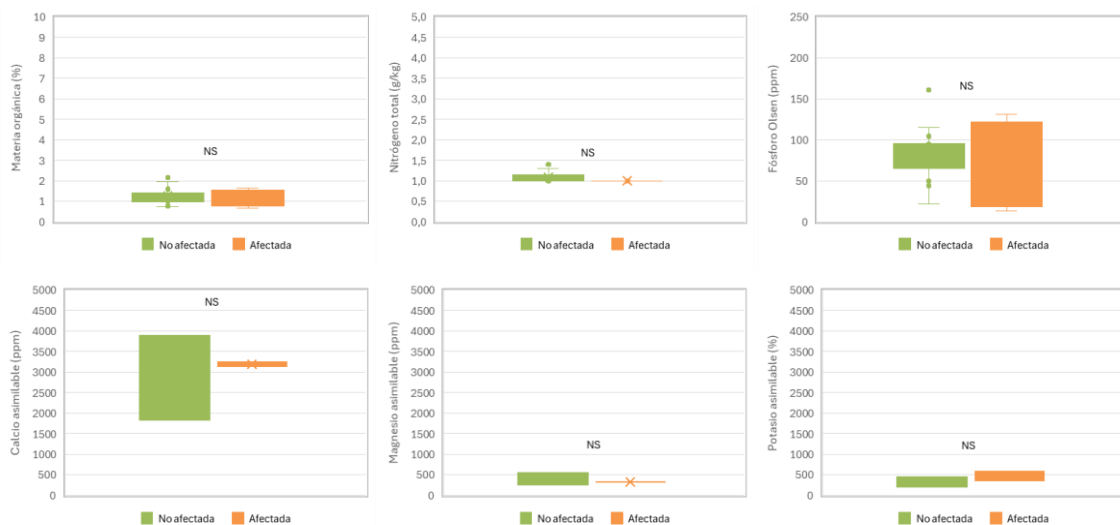


Figura 50. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en tierras arables en zona erosiva.

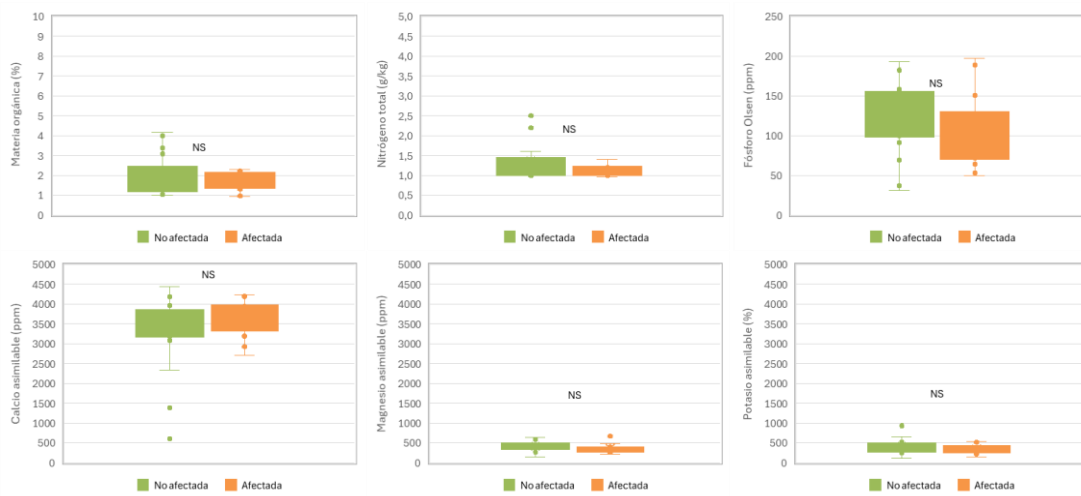


Figura 51. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en cítricos en zona erosiva.

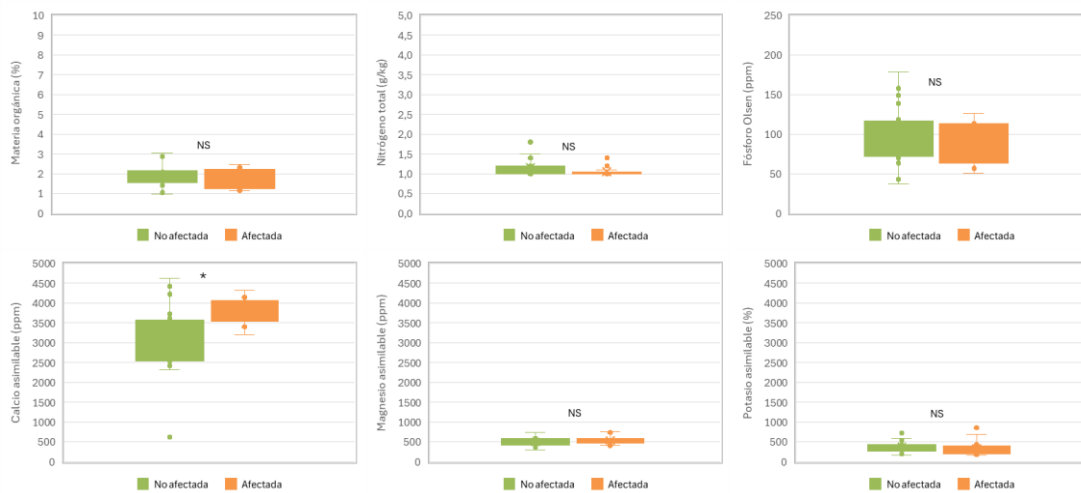


Figura 52. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en frutales en zona erosiva.

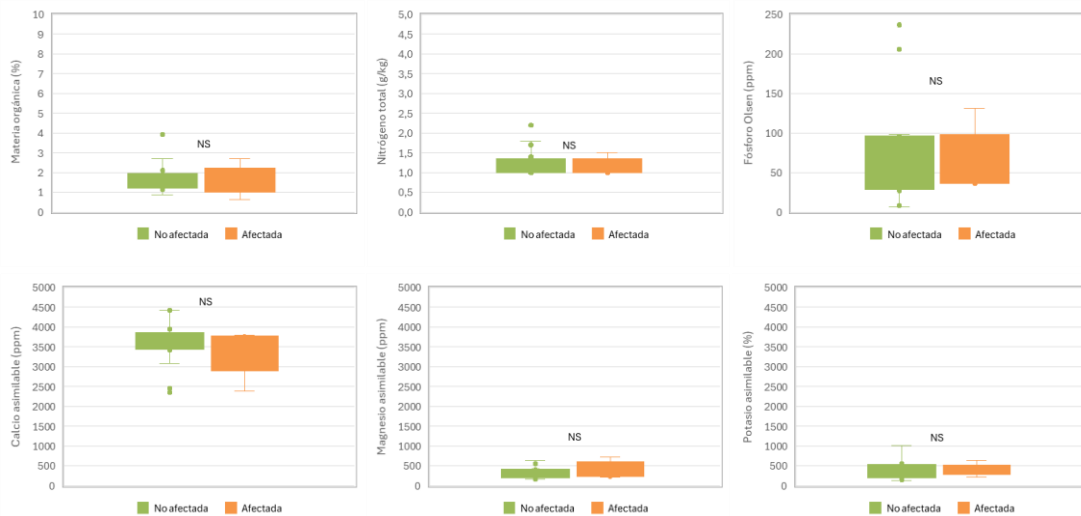


Figura 53. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en cultivos de leñosos en seco en zona erosiva.

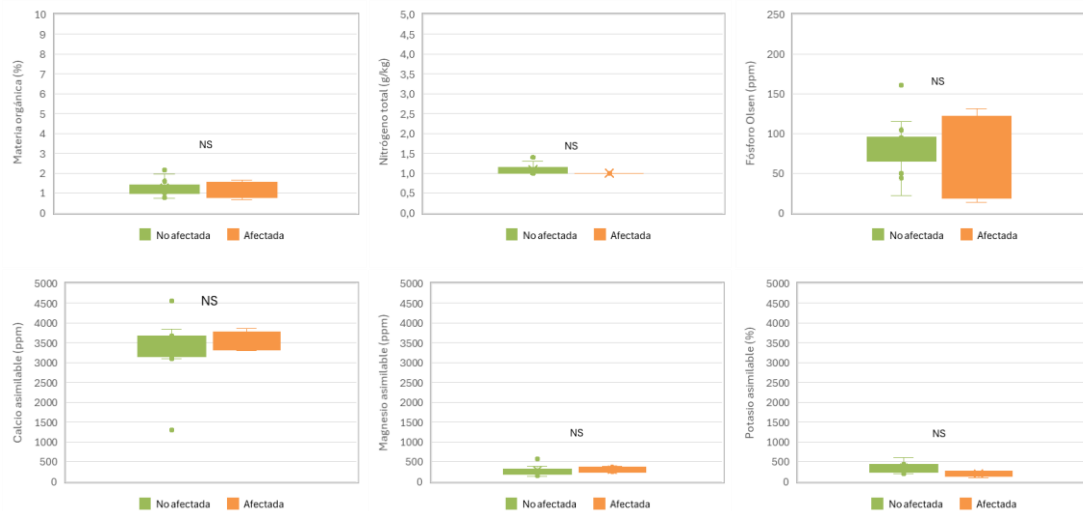


Figura 54. Efecto de la DANA sobre el contenido de macroelementos asimilables en viña en zona erosiva.

Contaminación orgánica: Hidrocarburos

La figura 55 presenta la distribución espacial de los contenidos de hidrocarburos. En este mapa se aprecia que los niveles son bajos con la práctica totalidad de la superficie evaluada (99 %) con niveles menores a 200 mg/kg de hidrocarburos. La menor densidad de población, polígonos industriales, gasolineras etc., en combinación con el efecto de lavado y arrastre de la DANA de los posibles contaminantes hacia zonas de sedimentación, hacen que esos niveles sean bajos y menores a los obtenidos en la zona de sedimentación en los que un 74 % de los suelos tenían valores menores de 200 mg/kg de hidrocarburos. Dado que es un valor bajo para considerar el suelo como contaminado, no se ha realizado análisis de fruta en esta zona.

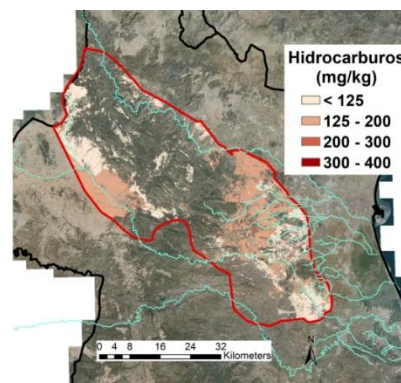


Figura 55. Distribución espacial de las concentraciones de hidrocarburos encontrados en la zona de erosión.

Por otro lado, no se observaron diferencias significativas en la mayoría de los cultivos evaluados entre las zonas afectadas y no afectadas (Figura 56). Únicamente en los suelos de parcelas de cultivos leñosos de secano se detectaron diferencias, con valores inferiores en las zonas afectadas; no obstante, en ambas áreas las concentraciones de hidrocarburos fueron muy bajas.

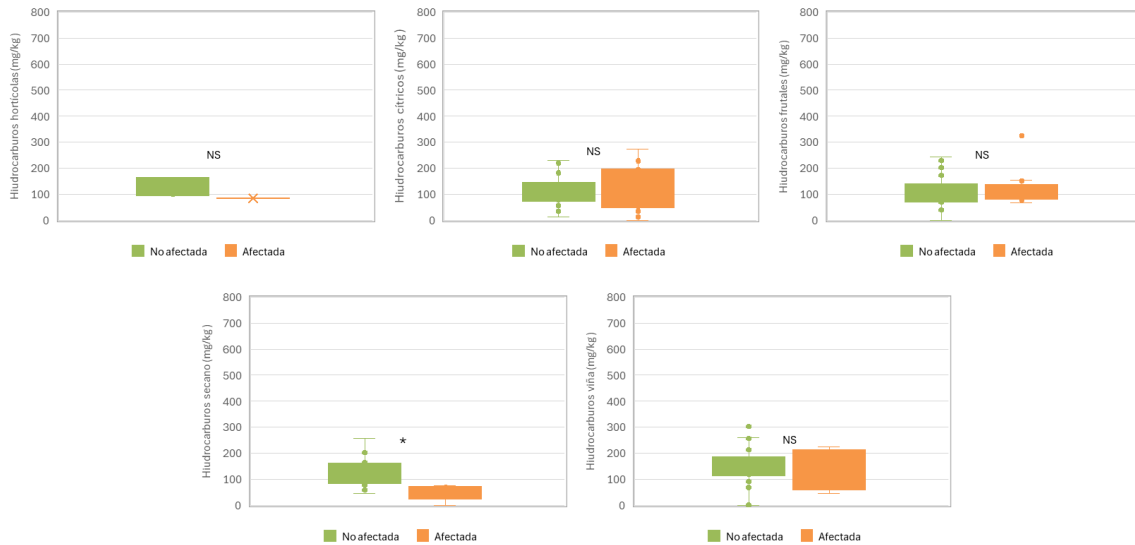


Figura 56. Efecto de la DANA en la concentración de hidrocarburos por cultivo.

Parámetros microbiológicos

En la figura 57 se presenta la distribución espacial de la concentración de *E. coli*, y la probabilidad de presencia de *Salmonella*. Al igual que en la zona sedimentaria, no se detectó *Listeria*, por lo que no se elaboró ningún mapa para este parámetro.

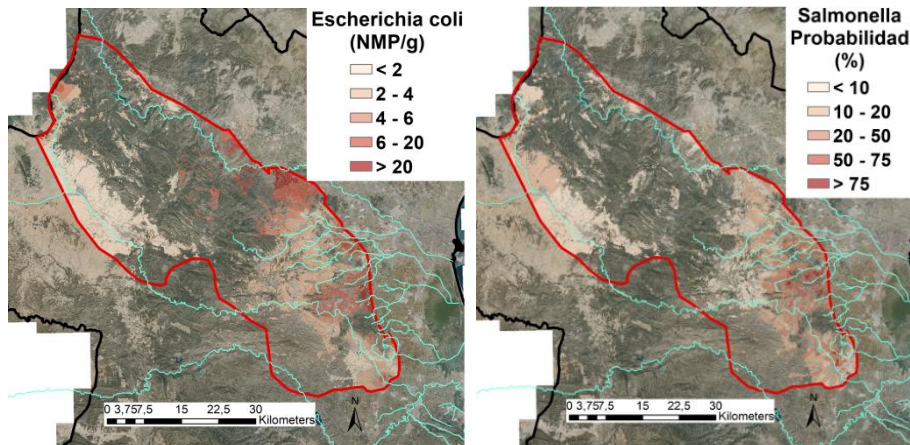


Figura 57. Distribuciones espaciales de los microorganismos estudiados en la zona erosiva

En general, los valores encontrados son muy bajos, incluso inferiores a los registrados en la zona sedimentaria. La Plana de Utiel-Requena, dedicada al cultivo de viñedo, es el área donde se observan los niveles más bajos para todos los microorganismos analizados.

La distribución de *Salmonella* tampoco muestra un patrón espacial definido, sin evidencias de relación con el evento de la DANA. Su presencia se asocia, como ya se ha indicado anteriormente, al uso de estiércoles u otros materiales orgánicos que pueden introducir la bacteria en el suelo. Esta distribución, condicionada en parte por la localización de los puntos de

muestreo, se manifiesta en un patrón espacial de núcleos circulares similar al observado en la zona sedimentaria, sin diferencias entre zona afectada y no afectada (Tabla 8).

Tabla 8. Efecto de la DANA sobre parámetros microbiológicos del suelo.

Cultivo	Zona	<i>E. coli</i>	<i>Listeria</i>	<i>Salmonella</i> spp.
Tierra arable	No afectada	2,0±0,0	ND	0,0
	Afectada	2,0±0,0	ND	50,0
	ANOVA	NS	NS	NS
Cítricos	No afectada	3,2±1,2	ND	17,7
	Afectada	10,6±7,0	ND	30,8
	ANOVA	NS	NS	NS
Frutal	No afectada	13,6±0,0	ND	26,3
	Afectada	6,0±2,4	ND	8,3
	ANOVA	NS	NS	NS
Leñosos secano	No afectada	2,5±0,8	ND	5,6
	Afectada	2,0±0,0	ND	0,0
	ANOVA	NS	NS	NS
Viña	No afectada	2,0±0,0	ND	11,8
	Afectada	2,0±0,0	ND	15,0
	ANOVA	NS	NS	NS

5.3 Comparación de resultados post-DANA con referencias históricas

Los resultados obtenidos para los distintos parámetros analizados se compararon con valores descritos en estudios previos realizados en suelos y sedimentos afectados por episodios hidrológicos intensos en ambientes mediterráneos (Belmonte, 1995; 1999; Peris, 2005; Micó, 2006; Agrosal-Web), empleándose como referencia ambiental histórica para contextualizar las características físicas y químicas observadas. Esta comparación debe interpretarse de forma orientativa, dado que existen diferencias en los objetivos de estudio, metodologías analíticas y condiciones de muestreo respecto a la presente evaluación. Para los parámetros microbiológicos y los contaminantes emergentes (fármacos y PFAs), la interpretación se realizó principalmente conforme a criterios normativos y valores guía actuales, al no disponerse de referencias históricas directamente comparables.

En la comparación de metales pesados, únicamente se observaron incrementos significativos en cobre y zinc en las parcelas afectadas por la DANA de octubre de 2024, mientras que cadmio, níquel, cromo y plomo se mantuvieron dentro de los rangos históricos y por debajo de los valores límite legislativos aplicables (Tabla 9).

Respecto a la textura del suelo, se detectó un ligero incremento del contenido de arcilla en el Parque Natural de la Albufera tras la DANA, aunque estas diferencias se diluyen al analizar toda la zona sedimentaria. Los valores de limo y arena no mostraron variaciones significativas en comparación con los datos históricos, lo que indica que los aportes de sedimentos por la DANA no difieren de los eventos históricos de avenida en la región (Tabla 10).

Tabla 9. Comparación de medias entre los niveles de metales pesados determinados en estudios anteriores y los del muestreo realizado después de la DANA.

Metal (ppm)	N	pre-DANA	post-DANA	p-valor	Valor límite
Cadmio	8	0,37±0,03	0,45±0,11	NS	1,5
Niquel	8	14,44±7,78	17,67±3,38	NS	70
Cromo	8	22,55±13,30	27,42±9,98	NS	100
Cobre	8	18,33±11,64	30,48±8,18	*	100
Plomo	8	16,74±18,39	27,75±15,61	NS	100
Zinc	8	28,95±20,78	56,74±	*	200

La materia orgánica y los carbonatos presentaron ligeras variaciones respecto a estudios previos, sin que estas diferencias fueran estadísticamente significativas. Esto sugiere que los aportes de materia orgánica derivados del evento fueron limitados en comparación con los niveles preexistentes, y que los procesos naturales de carbonatación continúan predominando en la zona (Tabla 11).

Tabla 10. Comparación de medias entre los parámetros de arcilla, limo y arena, determinados en el muestreo post-DANA con respecto a los valores obtenidos previamente en otros estudios (Belmonte 1999, AGROSAL-web).

Parámetro	Zona	N	pre-DANA	post-DANA	p-valor
Arcilla (%)	Albufera	47	30,05±10,21	34,65±7,71	*
	Sedimentación	101	31,66±19,49	34,77±14,50	NS
	Erosión	114	25,2±8,20	21,77±4,71	*
Limo (%)	Albufera	47	42,81±14,99	43,13±3,97	NS
	Sedimentación	101	39,06±13,17	38,30±9,68	NS
	Erosión	114	30,36±8,41	27,79±5,53	*
Arena (%)	Albufera	47	28,36±22,70	22,61±6,82	NS
	Sedimentación	101	29,26±10,48	27,37±8,91	NS
	Erosión	114	44,43±13,20	50,82±8,06	*

En la zona de erosión se constató una pérdida relativa de partículas finas (arcilla y limo) frente al contenido de arena, consistente con la acción de escorrentía durante la DANA. No obstante, los niveles de materia orgánica y carbonatos permanecieron dentro de rangos habituales, indicando que la capacidad productiva y la fertilidad química del suelo no se vieron comprometidas de manera relevante.

En conjunto, estas comparaciones confirman la resiliencia de los suelos aluviales y sedimentarios de la región, mostrando que, a pesar del episodio de la DANA, los parámetros físicos y químicos evaluados permanecen dentro de rangos históricos, sin impactos significativos sobre la producción agrícola ni sobre la seguridad alimentaria.

Tabla 11. Comparación de medias entre los parámetros de materia orgánica y carbonato del suelo determinados en el muestreo post-DANA con respecto a los valores obtenidos previamente en otros estudios (Belmonte 1999, AGROSAL-web).

Parámetro	Zona	N	pre-DANA	post-DANA	p-valor
Materia org. (%)	Albufera	43	3,83±1,65	4,30±1,39	ns
	Sedimentación	101	2,76±1,69	2,84±1,43	ns
	Erosión	114	1,69±0,77	1,76±0,43	ns
Carbonatos (%)	Albufera	33	35,11±5,94	34,36±3,82	ns
	Sedimentación	85	28,97±10,72	30,89±6,15	ns
	Erosión	114	29,83±14,21	28,38±7,80	ns

5.4 Conclusiones

El análisis integral realizado sobre 12.605 determinaciones analíticas en suelo, sedimentos, fruto y agua permite evaluar de manera fiable la afectación de los sistemas agrarios por la DANA de octubre de 2024, considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

En la zona de sedimentación, la DANA provocó deposición de limos y arcillas principalmente en las proximidades de cauces, ramblas y meandros, afectando sobre todo a parcelas cercanas al lago de la Albufera y a los barrancos del Poyo y del Júcar-Magro. No obstante, los suelos aluviales presentan una gran resiliencia: los niveles de metales pesados, hidrocarburos y macroelementos nutricionales (P, K, Ca, Mg, N) se mantienen dentro de rangos normales y por debajo de los límites legislativos aplicables, sin diferencias significativas entre parcelas afectadas y no afectadas, salvo ligeras variaciones puntuales sin implicaciones agronómicas o ambientales. La textura y la composición del suelo muestran procesos de deposición habituales, sin alteraciones estructurales que comprometan la fertilidad ni la capacidad productiva de los cultivos.

En términos microbiológicos, la presencia de *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. y *Listeria monocytogenes* es muy baja y no presenta patrones asociados a la DANA. La detección de *Salmonella* es puntual y aleatoria, y las analíticas de fruto cumplen la legislación vigente en materia de seguridad alimentaria, tanto para contaminantes químicos (hidrocarburos) como microbiológicos.

Respecto a los PFAS y fármacos, se detectaron algunos compuestos de manera residual en suelos y aguas, pero sin diferencias significativas entre parcelas afectadas y no afectadas. La calidad de las aguas analizadas es conforme con la normativa vigente para aguas superficiales y uso agrícola (Directiva Marco del Agua 2000/60/CE; Directiva 2008/105/CE; Directiva 2013/39/UE; RD 817/2015). Actualmente, para los fármacos detectados no existen límites reglamentarios establecidos, y los valores medidos no implican riesgo ambiental ni sanitario.

En la zona de erosión, los suelos presentan mayor proporción de partículas arenosas debido a la extracción de limos y arcillas por la escorrentía. Sin embargo, los niveles de metales pesados permanecen bajos, la fertilidad química se mantiene alta y la materia orgánica, aunque menor que en zonas sedimentarias, se encuentra dentro de rangos típicos de la región. No se identifican impactos relevantes sobre la capacidad productiva de los cultivos, ni riesgos significativos para la seguridad alimentaria o el medio ambiente.

En conjunto, los mapas de afectación y los análisis realizados indican que la DANA de 2024 tuvo un efecto limitado sobre la calidad del suelo y del agua en los sistemas agrarios estudiados, y que los parámetros evaluados cumplen con los criterios normativos y agronómicos, confirmando la resiliencia de los suelos aluviales y la ausencia de riesgos para la producción agrícola y la seguridad alimentaria.

La comparación con estudios previos realizados en suelos agrícolas y ambientes sedimentarios mediterráneos indica que los cambios observados tras la DANA de octubre de 2024 se sitúan, en términos generales, dentro de la variabilidad natural asociada a episodios hidrológicos intensos característicos de estos sistemas. En consecuencia, los resultados obtenidos no evidencian una degradación significativa de la calidad edáfica respecto a las condiciones de referencia previas, confirmando que los suelos mantienen sus funciones agronómicas esenciales y su aptitud para el uso agrícola.

6 ESTABLECIMIENTO DE PROTOCOLO DE RECOMENDACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS ZONAS AFECTADAS

Para la restauración de las áreas afectadas por la DANA, se propone un protocolo de recomendaciones, que contemple tanto la recuperación de la fertilidad y la estructura del suelo como la sanidad de los cultivos y la prevención de futuros impactos. Las estrategias se organizan según las problemáticas detectadas, sedimentación, erosión, alteraciones químicas o microbiológicas y se enfocan en acciones técnicas prácticas y adaptadas a cada cultivo y zona, garantizando la eficacia de las intervenciones y la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

6.1 Recomendaciones para la recuperación de cultivos afectados por inundaciones

Las inundaciones pueden provocar alteraciones físicas, químicas y biológicas del suelo, así como daños en las infraestructuras de riego y en el estado fisiológico de los cultivos. Los principales efectos incluyen deposición de sedimentos, lixiviación de nutrientes, posibles incrementos de salinidad, condiciones de anoxia radicular y mayor susceptibilidad a enfermedades.

Las siguientes recomendaciones tienen como objetivo favorecer la recuperación progresiva del suelo y del cultivo, restableciendo las condiciones necesarias para la actividad agrícola.

6.1.1 Mejora del suelo

Tras un episodio de inundación, el suelo suele presentar problemas de encharcamiento, pérdida de estructura, compactación superficial y alteraciones químicas derivadas del arrastre y deposición de materiales. Las actuaciones iniciales deben orientarse a restablecer la aireación, la infiltración y la actividad biológica del suelo, creando condiciones favorables para la recuperación del sistema radicular.

La recuperación debe abordarse de forma progresiva, priorizando la restauración del funcionamiento físico del suelo antes de intensificar el manejo agronómico, ya que la adecuada oxigenación y estructura condicionan la reactivación biológica y la capacidad de absorción radicular.

- Drenaje: Facilitar la evacuación del agua acumulada mediante zanjas, desagües o sistemas de bombeo cuando sea necesario.
- Aireación: Realizar labores superficiales una vez que el suelo lo permita, con el fin de romper costras superficiales y mejorar la oxigenación.
- Aporte de materia orgánica: Incorporar compost o estiércol bien maduro para mejorar la estructura del suelo y reactivar la actividad biológica.
- Lavado de sales: En caso de incremento de salinidad, aplicar riegos ligeros y continuos con agua de buena calidad para favorecer la lixiviación de sales.
- Evaluación de la compactación: Si se detecta compactación, realizar subsolados superficiales únicamente cuando el suelo esté seco para mejorar la infiltración y el desarrollo radicular.

De manera complementaria, se recomienda aplicar un manejo general de recuperación post-inundación basado en los siguientes principios:

- Mejora del drenaje y la aireación del perfil para reducir condiciones de anoxia radicular prolongada.
- Recuperación progresiva de la estructura del suelo mediante labores ligeras y evitando el tránsito de maquinaria pesada en condiciones húmedas.
- Aporte de materia orgánica estabilizada que favorezca la formación de agregados estables y la reactivación microbiológica.
- Lavado controlado en situaciones de salinidad o acumulación de sales solubles, ajustado a la capacidad de drenaje del suelo.
- Ajuste progresivo del manejo del riego, evitando aportes excesivos en fases iniciales y adaptándolo a la recuperación del sistema radicular y a la capacidad real de infiltración del suelo.

6.1.2 Recuperación del sistema de riego

Las inundaciones pueden provocar la entrada de sedimentos y materiales en las infraestructuras de riego, así como daños estructurales que comprometen su funcionamiento. Antes de reanudar el manejo habitual del cultivo, resulta necesario verificar el estado del sistema y asegurar una distribución homogénea y controlada del agua.

- Inspección de infraestructuras: Revisar posibles daños en tuberías, filtros, válvulas, goteros y equipos de bombeo ocasionados por la inundación.
- Limpieza del sistema: Realizar un lavado general de las líneas de riego para eliminar sedimentos y partículas arrastradas.
- Ajuste del riego: Reprogramar el riego para evitar excesos de humedad y favorecer la recuperación progresiva del suelo.
- Monitorización: Utilizar sensores de humedad del suelo u otros sistemas de control para optimizar la gestión hídrica y evitar riegos innecesarios.

6.1.3 Manejo de la fertilización

Los episodios de inundación pueden provocar tanto la pérdida de nutrientes por lixiviación como desequilibrios nutricionales derivados de aportes externos o cambios en la dinámica del suelo.

La estrategia de fertilización debe adaptarse temporalmente al estado del sistema radicular y a la nueva condición del suelo, priorizando la eficiencia y evitando aportes excesivos.

- Análisis de suelo y agua: Realizar análisis para identificar posibles pérdidas o acumulaciones de nutrientes derivadas del episodio de inundación.
- Aportaciones foliares: Cuando exista daño radicular, emplear fertilización foliar como apoyo temporal al cultivo.
- Fertilización fraccionada: Aplicar fertilizantes en dosis pequeñas y frecuentes para mejorar la eficiencia y reducir pérdidas.
- Uso de enmiendas: En situaciones de salinidad o desequilibrios estructurales, considerar la aplicación de enmiendas adecuadas, como yeso agrícola.

6.2 Recomendaciones para parcelas afectadas por deposición de sedimentos

Cuando una parcela recibe lodos con un alto contenido de materiales en suspensión, es frecuente que se produzca la acumulación de sedimentos, lo que puede afectar tanto al desarrollo de los cultivos como a la ejecución de las prácticas agrícolas. Antes de implementar cualquier medida, es fundamental evaluar la composición y el volumen de los sedimentos para determinar las intervenciones más adecuadas, de manera que se restaure la parcela a condiciones óptimas de cultivo, minimizando tiempo, costes y posibles daños adicionales.

6.2.1 Evaluación inicial de los sedimentos

Para abordar adecuadamente la deposición de sedimentos, es fundamental realizar una caracterización inicial que permita determinar su composición, volumen y posibles efectos sobre el suelo y los cultivos:

- Extensión y espesor del depósito: identificar las zonas de la parcela afectada y la profundidad del sedimento acumulado.
- Características de los sedimentos: evaluar su textura (arenosa, limosa o arcillosa) y su grado de limpieza, observando el color, olor (posible descomposición), presencia de aceites o brillos que indiquen compuestos oleaginosos, así como, restos de plásticos, enseres u otros materiales extraños.
- Origen de los sedimentos:
 - Analizar el recorrido del agua que los ha transportado.
 - Identificar posibles fuentes de contaminación cercanas como gasolineras, granjas, talleres o polígonos industriales.
 - Considerar que, habitualmente, los sedimentos arenosos provienen de áreas próximas, mientras que los arcillosos pueden haber sido transportados desde distancias mayores.

Esta evaluación inicial permite detectar riesgos potenciales, decidir la necesidad de análisis complementarios y planificar un seguimiento adecuado del área afectada.

6.2.2 Actuaciones recomendadas

Existen básicamente dos opciones para tratar los sedimentos y recuperar la parcela, que pueden aplicarse de manera combinada en distintas zonas de una misma parcela según la distribución y características de los sedimentos:

a) Retirada de los sedimentos

Indicada cuando la cantidad o disposición de los sedimentos impide el desarrollo normal del cultivo y/o hay sospecha o evidencia de materiales contaminantes persistentes (metales pesados, aceites, plásticos, restos de enseres, ...). Esta suele ser la primera actuación realizada por los servicios públicos tras eventos de deposición masiva, como los provocados por la DANA.

b) Incorporación al suelo con prácticas de mejora

Aplicable cuando los sedimentos no son excesivos y sus características son adecuadas. Permite mezclar los sedimentos con el suelo, desagregando costras y favoreciendo la aireación. Es recomendable combinar esta estrategia con prácticas que estimulen la actividad microbiana, con beneficios como: degradación más rápida de la materia orgánica presente en los sedimentos, incluyendo posibles contaminantes en pequeñas cantidades; reducción de la supervivencia de microorganismos patógenos transportados por las aguas o los lodos y mejora de la estructura del suelo, formando complejos arcillo-húmicos que estabilicen los agregados y aumenten la aireación y capacidad de drenaje.

Las prácticas recomendadas son:

- Aplicación de enmiendas orgánicas (estiércol, compost).
- Incorporación de restos de poda, de cultivo o de cosecha, convenientemente triturados.
- Establecimiento de cubiertas vegetales. En el caso de los cultivos hortícolas, se sugiere la utilización de especies que generen abundante biomasa para su incorporación al suelo, como las brassicáceas.

c) Mantenimiento de un programa de monitorización periódica del suelo.

Se deberá mantener un programa de seguimiento en aquellas áreas donde se hayan detectado mayores aportes de sedimentos, con especial atención a la evolución de elementos traza como zinc, cobre, plomo o cadmio, cuya dinámica y biodisponibilidad están estrechamente asociadas a las fracciones finas del suelo. Esta monitorización permitirá detectar de forma temprana posibles procesos de acumulación, orientar la aplicación de medidas de manejo específicas y garantizar la seguridad alimentaria y la trazabilidad de las producciones agrícolas.

Estas prácticas son especialmente recomendables en suelos arcillosos o en aquellos en los que se incorporen sedimentos con alta proporción de fracciones finas.

6.2.3 Gestión preventiva y reducción del riesgo asociado a contaminantes transportados por sedimentos

Los sedimentos depositados durante episodios de inundación pueden actuar como vectores potenciales de transporte de contaminantes de origen difuso, especialmente asociados a las fracciones finas del suelo y a la materia orgánica.

Aunque los resultados analíticos obtenidos tras la DANA de octubre de 2024 indican que las concentraciones de metales pesados, hidrocarburos y contaminantes emergentes se mantienen dentro de rangos normales y por debajo de los límites normativos aplicables, se considera recomendable la adopción de medidas de gestión preventiva orientadas a minimizar su posible movilización futura.

Entre estas medidas se incluyen el incremento del contenido de materia orgánica para favorecer la inmovilización de metales, el mantenimiento de una adecuada estructura del suelo que limite procesos de redistribución por escorrentía o laboreo intensivo, y el seguimiento periódico de parcelas con mayor acumulación sedimentaria. Este enfoque permite consolidar la recuperación funcional del suelo y reforzar la seguridad agronómica y ambiental a medio y largo plazo, bajo criterios de manejo adaptativo basados en la monitorización continua.

6.3 Evaluación de la afectación y recomendación de manejo en zonas afectadas por erosión.

En las parcelas agrícolas donde se haya producido la pérdida parcial o total de los horizontes edáficos superficiales, la restauración del suelo no puede abordarse de forma sectorial ni limitada a la reposición de nutrientes, sino que debe orientarse a la recuperación de la funcionalidad edáfica global. Dicha funcionalidad se entiende como la capacidad del suelo para:

- infiltrar y almacenar agua.
- mantener una estructura física estable frente a la acción erosiva.
- sostener una actividad biológica suficiente.
- permitir el adecuado desarrollo radicular y la productividad agrícola.

En este contexto y, especialmente, en los sistemas agrícolas mediterráneos sometidos a una creciente recurrencia de episodios de lluvias torrenciales, las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo están íntimamente interrelacionadas, por lo que las actuaciones de restauración deben diseñarse e implementarse como un paquete integrado de medidas. Así, la estabilización del suelo constituye una medida prioritaria, ya que no solo limita la pérdida adicional de partículas finas y nutrientes, sino que también reduce la movilización secundaria de contaminantes asociados a las fracciones más finas del suelo. La recuperación más eficaz de los suelos degradados por erosión severa se alcanzará mediante la combinación simultánea de prácticas dirigidas a mejorar la estructura y estabilidad de los agregados, incrementar el contenido de materia orgánica y carbono del suelo, corregir posibles desequilibrios nutricionales y reactivar la biota edáfica, ya que estos componentes actúan de forma sinérgica y condicionarán conjuntamente la resiliencia del suelo frente a posibles nuevos episodios erosivos y su capacidad de recuperación a corto y medio plazo. Estas recomendaciones integran medidas de conservación, restauración y manejo sostenible, asegurando un enfoque integral que aborde tanto la rehabilitación inmediata como la prevención frente a futuras pérdidas de suelo.

6.3.1 Recuperación de las propiedades físicas del suelo

a) Reconstrucción de la estructura y estabilidad de agregados

La erosión hídrica asociada a lluvias torrenciales elimina preferentemente agregados estables, fracciones finas (limo y arcilla), materia orgánica asociada a estos agregados. Esto provoca suelos compactados, con baja infiltración, altamente vulnerables a nuevas pérdidas.

Medidas recomendadas:

- **Aporte de materia orgánica sólida:** Con el fin de favorecer la recuperación de la estructura del suelo y aumentar su resistencia frente a la acción erosiva del agua, se recomienda el aporte de materia orgánica sólida estabilizada, como compost maduro o

estiércol debidamente compostado. El aporte de enmiendas orgánicas contribuirá, de forma decisiva, a la formación de macroagregados estables, al incremento de la porosidad biogénica y al incremento de la cohesión del suelo, mejorando su comportamiento frente a futuros episodios de lluvia intensa.

De forma complementaria, el aporte de enmiendas orgánicas contribuye a la mejora de la continuidad de los macroporos, lo que se traduce en un aumento sostenido de la infiltración y de la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo.

- **Evitar laboreos profundos o volteos**, especialmente en suelos húmedos. Estas prácticas aceleran la destrucción de la estructura incipiente del suelo y aumentan, significativamente, la vulnerabilidad de este a nuevos procesos erosivos; en consecuencia, el laboreo deberá minimizarse y limitarse a aquellas intervenciones estrictamente necesarias.
- **Laboreo superficial puntual**, se realizará solo cuando sea imprescindible para incorporar enmiendas, evitando romper la estructura incipiente.

b) Mejora de la infiltración y reducción de la escorrentía

La pérdida del horizonte superficial conlleva una alteración profunda del funcionamiento hidrológico del suelo caracterizada habitualmente por el sellado superficial, la disminución de la macroporosidad y, en consecuencia, un incremento significativo de la escorrentía superficial. Este deterioro de la capacidad de infiltración aumenta la probabilidad de generación de flujos concentrados y acelera nuevos procesos de erosión, comprometiendo la recuperación del suelo a corto plazo.

Medidas recomendadas:

- **Implantación de cubiertas vegetales** tanto vivas como muertas. Esta medida constituye una actividad prioritaria dentro de los procesos de restauración los suelos afectados por erosión, al actuar como un elemento estructural clave del sistema suelo-planta. La presencia de cubiertas vegetales protegerá la superficie frente al impacto directo de las gotas de lluvia, favorecerá la formación de poros estables asociados al desarrollo de las raíces, contribuyendo así a la mejor infiltración, reduciendo la velocidad de circulación del agua sobre el terreno y por nuevas pérdidas de suelo.
- **Limitación del tráfico de maquinaria pesada durante la fase de recuperación**, especialmente en condiciones de elevada humedad, ya que la compactación inducida puede revertir rápidamente las mejoras estructurales alcanzadas y agravar los problemas de escorrentía. En el caso de los cultivos leñosos, la mejora de la infiltración es clave para reducir la formación de flujos concentrados entre calles.

6.3.2 Corrección de desequilibrios nutricionales post-erosión

Los procesos erosivos severos provocan la pérdida preferente de los nutrientes más móviles y de aquellos asociados a las fracciones finas del suelo, principalmente nitrógeno, fósforo y micronutrientes como zinc, cobre o hierro. Esta pérdida no solo compromete la fertilidad inmediata, sino que reduce la capacidad del suelo para sostener la actividad biológica y la

regeneración de la materia orgánica. Por ello, la recuperación de los desequilibrios nutricionales debe abordarse de manera integrada con la restauración estructural y la mejora de la materia orgánica, indicada anteriormente, garantizando que los nutrientes aplicados se incorporen de forma eficaz y contribuyan a la resiliencia frente a futuros episodios erosivos.

Medidas recomendadas:

- **Evitar la aplicación de fertilizantes minerales de forma intensiva.** La ausencia de una estructura adecuada del suelo puede provocar la pérdida de estos nutrientes que pueden lixiviarse rápidamente o perderse por escorrentía, exacerbando los desequilibrios químicos y el riesgo de contaminación de aguas superficiales y subterráneas.
- **Priorizar la nutrición mediante enmiendas orgánicas u órgano-minerales**, tales como compost maduro, estiércol compostado o fertilizantes órgano-minerales equilibrados. Estas prácticas aportan nutrientes de liberación gradual, mejoran la estructura y agregación del suelo, estimulan la actividad microbiana y aumentan la eficiencia del fertilizante aplicado, reduciendo lixiviaciones y pérdidas por escorrentía.
- **Ajustar la fertilización al análisis de suelo actual**, teniendo en cuenta no solo la concentración de nutrientes, sino también la capacidad de retención y la nueva estructura del suelo. La finalidad es garantizar que los aportes sean proporcionales a las necesidades reales del suelo y del cultivo, evitando sobre aplicaciones que podrían incrementar la erosión o la contaminación ambiental.

6.3.3 Recuperación de las propiedades biológicas del suelo

La erosión severa inducida por episodios de lluvia extrema provoca una simplificación biológica del suelo, caracterizada por la pérdida de microorganismos, la desaparición de mesofauna y la ruptura de las redes tróficas, lo que reduce significativamente la capacidad del suelo para mantener procesos esenciales del ciclo de nutrientes, formación de agregados y regeneración de la materia orgánica. Para contrarrestar estos efectos, se recomienda implementar medidas que reactiven la biota edáfica y restablezcan la actividad biológica funcional del suelo.

Medidas recomendadas:

- **Reactivación de la biota edáfica mediante aportes orgánicos y bioestimulantes.** El aporte de bioestimulantes microbianos, extractos húmicos y té de compost junto con materia orgánica fácilmente utilizable, correspondiente a la fracción lábil de compost y enmiendas orgánicas, favorece la recolonización microbiana y el restablecimiento de las funciones ecológicas del suelo.
- **Reducción drástica del uso de herbicidas y fungicidas de amplio espectro, durante la fase de recuperación.** Se debe reducir de forma drástica el uso de herbicidas y fungicidas de amplio espectro, evitando la inhibición de la actividad microbiana y promoviendo la regeneración natural de la biota.
- **Promover la actividad radicular del cultivo y de las cubiertas vegetales.** Las raíces vivas actúan como uno de los agentes más eficaces de restauración tanto biológica como estructural, al generar poros estables, liberar exudados que alimentan a los microorganismos y aumentar la agregación del suelo. La implantación de cubiertas vegetales en cultivos leñosos así como la adopción de rotaciones con especies de alta

producción radicular y aérea en cultivos hortícolas, maximizará la interacción raíz-suelo y acelerará la recuperación funcional de las parcelas afectadas.

6.3.4 Adaptación específica según tipo de cultivo

La aplicación práctica indicada en los apartados anteriores variará según el tipo de cultivo:

- **Cultivos leñosos:** se recomienda la implantación de cubiertas vegetales entre filas y bajo la copa, de manera que la actividad radicular y la materia orgánica aportada protejan la superficie del suelo, favorezcan la infiltración y contribuyan a la formación de agregados estables.
- **Cultivos hortícolas:** se aconsejan rotaciones con especies de alta producción radicular y aérea, así como la incorporación de abonos verdes o cultivos de cobertura temporales, para maximizar la interacción raíz-suelo, estimular la actividad biológica y acelerar la recuperación de la estructura y funcionalidad del suelo.

6.3.5 Medidas a medio-largo plazo de protección y control de la erosión

Estas medidas complementan las actuaciones inmediatas de restauración del suelo y están orientadas a proteger de manera sostenible los suelos agrícolas frente a futuros episodios erosivos. En zonas con pendientes y suelos desprotegidos, es fundamental la aplicación de estrategias de protección y control de la erosión que, integradas con las medidas correctivas iniciales, contribuyan a reducir la pérdida de suelo y a mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas.

a) Mantenimiento de las cubiertas vegetales y cultivos de cobertura.

Mantener el suelo cubierto con vegetación permanente o cultivos de cobertura, como leguminosas y pastos, reduce el impacto directo de las gotas de lluvia, aumenta la infiltración, disminuye la escorrentía superficial y la pérdida de partículas del suelo. Se recomienda implantar cultivos de cobertura entre los ciclos de cultivo principal y mantener residuos de cosecha como mulch sobre la superficie, protegiendo el suelo frente a la erosión. Estas prácticas, ampliamente documentadas, pueden disminuir de forma significativa la escorrentía y la formación de cárcavas incluso durante eventos de lluvia intensa.

b) Barreras físicas.

Las estructuras técnicas complementan la protección vegetal al frenar la escorrentía y retener sedimentos. Entre ellas conviene la conservación de: terrazas agrícolas en pendientes para reducir la velocidad del agua y retener suelo; establecimiento de barreras vegetales y franjas de vegetación alineadas con las curvas de nivel, creación de zanjas de infiltración y canales de desviación, que capten y redirijan el agua antes de que genere erosión concentrada. La combinación de medidas mecánicas con la presencia de vegetación que estabilice el suelo favorecerá la infiltración, reduciendo así el arrastre de partículas y contribuyendo a la consolidación de pendientes vulnerables.

c) Manejo de la escorrentía concentrada.

La erosión se concentra principalmente en rutas de flujo superficial intensivo. Por ello, es fundamental diseñar sistemas de drenaje superficial y sub-superficial, evitando canales rectos y favoreciendo la retención temporal de agua para incrementar la infiltración y reducir la

escorrentía. Esta práctica permite dispersar la energía del agua, evitando que se forme erosión lineal o cárcavas. Asimismo, se recomienda evitar el uso de plásticos o mulch sintético en pendientes pronunciadas, ya que pueden acelerar la escorrentía y favorecer la erosión localizada.

6.4 Daños físicos y químicos en las plantas

Los episodios de lluvias torrenciales asociados a la DANA han provocado, además de daños edáficos, afecciones directas sobre los cultivos derivadas tanto del impacto físico del agua y los sedimentos, como de alteraciones químicas del medio radicular. Estos daños pueden comprometer la viabilidad productiva de las parcelas afectadas a corto y medio plazo. Por estas razones resulta necesario establecer un conjunto de actuaciones orientadas a la evaluación, recuperación o, en su caso, reorientación del uso agrícola de las superficies afectadas.

a) Documento de validación de parcelas con necesidades de replantación y propuesta de nuevas variedades o cultivos alternativos.

Se recomienda la elaboración de un documento técnico de validación que identifique aquellas parcelas en las que los daños físicos en planta (arranque, enterramiento, asfixia radicular prolongada, rotura de troncos o del sistema radicular) y/o los desequilibrios químicos del suelo hagan inviable la recuperación del cultivo existente. En estos casos, el documento deberá establecer criterios objetivos para la decisión de replantación, tales como la extensión y duración del encharcamiento, el grado de pérdida del sistema radicular funcional, la compactación y degradación estructural del suelo o la presencia de contaminantes arrastrados.

Asimismo, el documento deberá incluir propuestas de nuevas variedades, patrones o cultivos alternativos mejor adaptados a las condiciones edafoclimáticas actuales y a un escenario de mayor recurrencia de eventos extremos.

- La priorización de determinadas variedades de mandarina y sus híbridos no responde a una tolerancia intrínseca al encharcamiento, sino a su mayor plasticidad fisiológica y capacidad de recuperación tras episodios de estrés radicular transitorio, siempre en combinación con patrones adecuados y suelos previamente rehabilitados. Variedades ampliamente contrastadas en condiciones mediterráneas, como *Clemenules* u *Oronules*, así como híbridos tipo *Nadorcott* u *Orri*, presentan un comportamiento agronómico estable, una demanda hídrica moderada y una recuperación funcional más eficiente frente a situaciones de estrés intermitente, en comparación con especies más sensibles como limonero o pomelo.

- En cualquier caso, la elección varietal deberá supeditarse a la mejora previa de las condiciones físicas del suelo y a la selección del patrón más adecuado.

- En parcelas donde la recurrencia de daños comprometa la viabilidad de los cítricos, el documento podrá contemplar la sustitución por otros cultivos leñosos mediterráneos más tolerantes a episodios de estrés hídrico alternado o a suelos de menor calidad estructural, como granado, algarrobo, caqui o sistemas agroforestales adaptados. La selección final deberá basarse en criterios técnicos, productivos y de sostenibilidad, considerando tanto la recuperación del suelo como la reducción del riesgo frente a futuros episodios extremos.

b) Mantenimiento de un programa de monitorización periódica de tejidos vegetales.

Se recomienda mantener un programa de seguimiento continuo de las parcelas afectadas por sedimentos o erosión, orientado a evaluar la salud fisiológica de los cultivos, la disponibilidad de nutrientes y la resiliencia del suelo frente a futuros eventos extremos. El establecimiento de puntos de muestreo representativos que incluyan zonas con mayor depósito de sedimentos, erosión visible o variabilidad en la cobertura vegetal permitirá la aplicación de medidas de manejo específicas y garantizar la seguridad alimentaria y la trazabilidad de las producciones agrícolas.

c) Poda y manejo vegetativo en cultivos leñosos.

Se debe efectuar una poda inmediata de ramas rotas o dañadas, eliminando material muerto o enfermo para disminuir la presión de patógenos y permitir que la planta dirija sus recursos a la recuperación radicular y la brotación sana. Se recomiendan podas conservadoras, preservando al máximo la madera sana, ya que la masa foliar es esencial para mantener la fotosíntesis y el vigor durante la recuperación.

d) Recuperación nutricional y fisiológica.

En cultivos leñosos, tras evaluar el daño radicular, aplicar nutrición gradual y equilibrada de N, K y micronutrientes, incrementando progresivamente las dosis conforme la raíz se recupere (guías agrarias recomiendan hasta un 20 % adicional de N y K tras inundación si no hay síntomas de podredumbre radical). Evitar aplicaciones bruscas de fertilizantes minerales en etapas muy tempranas de recuperación; preferiblemente orgánicas o foliares de liberación gradual que minimicen el estrés químico en las raíces dañadas.

e) Selección de especies herbáceas resilientes para el reinicio productivo post-DANA.

Conviene la elección de cultivos herbáceos con mayor tolerancia a condiciones húmedas temporales y rápida recuperación de raíces, como cereales de ciclo corto y alta plasticidad (avena, triticale), que toleran mejor el encharcamiento inicial y contribuyen a la recuperación de la cobertura radicular, o leguminosas forrajeras que mejoran estructura del suelo con su sistema radicular profundo y aportan nitrógeno, favoreciendo el reinicio productivo.

f) Propuesta de estrategias alternativas al uso agrícola del suelo en zonas de riesgo severo.

En aquellas áreas donde los daños recurrentes y la elevada vulnerabilidad a procesos erosivos o inundaciones comprometan de forma estructural la viabilidad agrícola, se recomienda definir estrategias alternativas de uso del suelo. Estas podrán incluir la reconversión a sistemas agroforestales, la implantación de cubiertas vegetales permanentes con función protectora, el uso extensivo con bajo nivel de intervención o, en casos extremos, la retirada de la actividad agrícola productiva, priorizando funciones de protección del suelo, regulación hidrológica y conservación ambiental.

6.5 Problemas fúngicos y otras enfermedades

Los episodios prolongados de inundación asociados a la DANA han generado condiciones altamente favorables para el desarrollo de enfermedades de origen fúngico y pseudofúngico, especialmente aquellas vinculadas a patógenos de suelo. La combinación de asfixia radicular, elevada humedad edáfica, deposición de sedimentos sobre troncos y debilitamiento fisiológico general de las plantas incrementa significativamente la susceptibilidad de los cultivos, pudiendo provocar daños diferidos que se manifiestan meses después del evento extremo.

Los trabajos de seguimiento realizados en parcelas cítrcolas afectadas han confirmado la aparición de procesos patológicos asociados principalmente a *Phytophthora* spp., patógeno ampliamente distribuido en los suelos agrícolas mediterráneos cuyo desarrollo se ve fuertemente favorecido por situaciones de encharcamiento prolongado y estrés radicular (<https://portalagrari.gva.es> “Recomendaciones para las zonas afectadas por la DANA frente a gomosis de los cítricos (*Phytophthora* spp.). Por ello, resulta necesario establecer un conjunto coordinado de actuaciones orientadas a la detección temprana, control sanitario y prevención de la propagación de enfermedades en las parcelas afectadas.

a) Documento técnico de evaluación fitosanitaria post-inundación

Se recomienda la elaboración de un documento técnico específico de evaluación fitosanitaria que permita identificar parcelas con riesgo elevado de desarrollo de enfermedades radiculares y de cuello tras episodios de inundación.

Este documento deberá incluir:

- Evaluación del tiempo de permanencia del agua y nivel alcanzado sobre troncos y ramas principales.
- Identificación de síntomas iniciales compatibles con gomosis, podredumbre del cuello o decaimiento vegetativo.
- Registro de parcelas con antecedentes de problemas sanitarios o elevada presencia de inóculo en suelo.
- Clasificación del riesgo sanitario en función del patrón, variedad y estado fisiológico del cultivo.

Los muestreos realizados en parcelas afectadas por la DANA han confirmado la presencia de especies como *Phytophthora nicotianae* y *Phytophthora citrophthora*, asociadas a síntomas de gomosis observados principalmente en la base del tronco y ramas bajas

b) Programa de vigilancia y detección temprana

Dado que las infecciones por *Phytophthora* pueden permanecer latentes durante largos periodos antes de manifestar síntomas visibles, se recomienda establecer un programa de monitorización periódica durante al menos dos campañas agrícolas posteriores al evento.

El seguimiento deberá incluir:

- Inspecciones visuales periódicas del tronco, cuello y ramas principales.
- Detección de exudaciones gomosas, necrosis cortical o decaimiento progresivo.

- Evaluación del vigor vegetativo, clorosis y defoliación asociadas a pérdida de funcionalidad radicular.
- Priorización del seguimiento en variedades más sensibles y en parcelas donde el nivel del agua alcanzó la parte aérea del árbol (Recomendaciones GVA-Sanidad Vegeta).

La vigilancia continua permite intervenir en fases tempranas, momento en el que las medidas de control presentan mayor eficacia.

c) Medidas preventivas de manejo cultural

Se recomienda la aplicación inmediata de medidas culturales destinadas a reducir la presión de inóculo y limitar las condiciones favorables a la infección:

- Eliminación de acumulaciones de tierra y restos vegetales adheridos al tronco, evitando el contacto directo del patógeno con los tejidos sensibles.
- Retirada de protectores plásticos impermeables en plántones jóvenes, sustituyéndolos, si fuese necesario, por protecciones permeables que eviten la acumulación de humedad.
- Mejora del drenaje superficial y prevención de nuevos encharcamientos.
- Evitar labores que provoquen heridas en tronco o raíces mientras persistan condiciones de elevada humedad.

Estas actuaciones han sido identificadas como medidas prioritarias en las recomendaciones técnicas elaboradas para zonas afectadas por la DANA

d) Estrategia de control fitosanitario

El control químico deberá aplicarse únicamente cuando existan síntomas compatibles con infección activa, evitando tratamientos preventivos generalizados que no resulten técnicamente justificados.

En árboles con exudación de goma o síntomas iniciales se recomienda:

- Aplicación localizada de fungicidas sistémicos autorizados (fosetil-Al, fosfonatos de potasio o metalaxil).
- Tratamientos dirigidos al tronco y ramas principales o mediante riego localizado, aprovechando su capacidad de translocación vascular.
- Repetición de aplicaciones en periodos de brotación durante la campaña siguiente cuando el riesgo sanitario persista.

Los fungicidas de contacto, como los compuestos cúpricos, presentan únicamente acción preventiva y no resultan eficaces frente a infecciones ya establecidas

e) Consideraciones varietales y del patrón en la gestión sanitaria

La respuesta frente a *Phytophthora* depende en gran medida del patrón utilizado y de su tolerancia tanto a la asfixia radicular como al patógeno. Los patrones con mayor tolerancia presentan menor riesgo de desarrollo severo de la enfermedad bajo condiciones de inundación prolongada.

Asimismo, las variedades cítricas muestran diferente sensibilidad, siendo generalmente más vulnerables que los patrones y condicionando en mayor medida la viabilidad futura de la plantación cuando las infecciones afectan a la parte aérea

Por ello, la evaluación sanitaria deberá integrarse en las decisiones de replantación o reconversión varietal descritas en apartados anteriores.

f) Integración del manejo fitosanitario en la recuperación agronómica

El manejo de enfermedades tras eventos extremos debe considerarse parte del proceso global de recuperación del sistema suelo-planta. La restauración de la estructura del suelo, la recuperación progresiva del sistema radicular y el ajuste del manejo hídrico y nutricional constituyen factores clave para reducir la incidencia futura de patógenos oportunistas.

En consecuencia, las estrategias fitosanitarias deberán coordinarse con las actuaciones de rehabilitación edáfica y recuperación fisiológica del cultivo, priorizando enfoques preventivos basados en la resiliencia del agroecosistema frente a futuras inundaciones.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Belmonte RI, 1996. Aproximación al estudio de la salinidad de los suelos dedicados al cultivo del arroz en el parque natural de la albufera. TFC Universidad de Valencia.

Agrosal_web. Base de datos suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana. Elaboración propia.
<http://agrosal.ivia.es/>

Peris M. 2005. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de castellón. Tesis Doctoral. Universidad Valencia.

Mico C. 2006. Estudio de metales pesados en suelos agrarios con cultivos hortícolas de la Provincia de Alicante. Tesis Doctoral, Universidad Valencia.

