



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARACTERIZACIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LOS SUELOS A NIVEL DE
CUENCA Y DE PARCELA

CHARACTERIZATION OF SOIL VARIABILITY AT WATERSHED AND PLOT
LEVELS

Autor

Manuel Sampériz Sarvisé

Directora

Asunción Usón Murillo

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

2024

RESUMEN

La variabilidad en el desarrollo de los cultivos está intrínsecamente ligada al cultivo, su manejo y al entorno agroambiental en el que se desarrolla. A nivel de parcela, y bajo la premisa de manejos homogéneos, esta variabilidad se relaciona directamente con las diferencias edáficas y el comportamiento hidrológico específico de cada parte de la parcela.

Con el propósito de abordar esta variabilidad, se llevó a cabo un análisis de las bandas espectrales de satélites (NDVI, radar), en conjunto con el modelo digital del terreno y el mapa parcelario. El objetivo primordial fue identificar aspectos del relieve, uso o manejo que influyeran en estas propiedades, permitiendo así ubicar puntos de muestreo representativos. Tras la descripción de los perfiles de suelo se delimitan y caracterizan unidades de suelos homogéneas a nivel de cuenca. La variabilidad de estas unidades a nivel de parcela se analizó con el desarrollo de los cultivos en cada parcela, a través de su NDVI y la relacionándolos con las unidades de suelos, el tipo de cultivo (verano/invierno) y el momento de desarrollo del cultivo (crecimiento, madurez e inicio de la senescencia).

El estudio se realizó en los municipios de Montesusín y Robres, que presentan diferencias significativas en cuanto a su manejo agrícola. Mientras Montesusín ha experimentado concentración parcelaria y modernización de regadíos con el paso a riego por aspersión, en Robres predominan las parcelas pequeñas y abancaladas con riego por superficie. Estas disparidades afectaron la interpretación de la información de sensores remotos, ya que el tamaño y la pendiente de las parcelas tienen un impacto notable en su variabilidad interna.

El uso del mapa multibanda, mediante la combinación de elevación y pendiente permitió la delimitación y definición de siete unidades de suelos homogéneas entre las que se encontró una alta correlación con el desarrollo de los cultivos. Esas diferencias se estudiaron en mayor detalle dentro de una misma parcela para limitar el efecto del manejo, y se evaluó la desviación estándar del NDVI como indicador de la variabilidad de los cultivos, obteniendo diferencias significativas en la homogeneidad de las unidades y en el desarrollo de los cultivos, siendo mayor en las plataformas y menor en las laderas.

Se concluye en que la integración de información obtenida de sensores remotos junto con datos de terreno y de cultivos es una herramienta potente para caracterizar y gestionar la variabilidad edáfica y el comportamiento hidrológico tanto a nivel de cuenca como de parcela, facilitando la elaboración de mapas de suelos y la aplicación de modelos predictivos que permitan una mejor comprensión de la variabilidad del suelo y una optimización en el manejo del cultivo y reducción de la contaminación ambiental adaptando las prácticas agrícolas a las características específicas de cada unidad edáfica, además de poner en marcha una zonificación no solo a nivel de parcela para poder evaluar la evolución de los flujos de retorno a un nivel de superficie superior.

Palabras clave: Regadío, variabilidad, unidad edáfica, cartografía, teledetección, NDVI, cultivo.

ABSTRACT

The variability in crop development is inherently linked to the crop itself, its management, and the agro-environmental conditions in which it thrives. At the parcel level, under the premise of homogeneous management, this variability is directly related to the soil differences and the specific hydrological behavior of each parcel.

To address this variability, an analysis of satellite spectral bands (NDVI, radar), combined with digital terrain models and parcel maps, was conducted. The primary objective was to identify aspects of relief, land use, and management that influence these properties, thus allowing the delineation of homogeneous soil units and the placement of representative sampling points. Additionally, the aim was to characterize both the overall variability of the basin and the variability of crop development at the parcel level, correlating them with soil units, crop type (summer/winter), and crop development stage (growth, maturity, and onset of senescence).

The study was carried out in the municipalities of Montesusín and Robres, which exhibit significant differences in their agricultural management. While Montesusín has undergone parcel concentration and modernization of irrigation systems, transitioning mainly to sprinkler irrigation, Robres is characterized by small, terraced parcels with surface irrigation. These disparities affected the interpretation of remote sensing information, as the size and slope of the parcels significantly impact their internal variability.

The use of multi-band mapping, combining elevation and slope, allowed for the delineation and definition of seven homogeneous soil units, among which a high correlation with crop development was found. These differences were examined in greater detail within the same parcel to limit the effects of management, and the standard deviation of NDVI was evaluated as an indicator of crop variability, revealing significant differences in the homogeneity of units and in crop development, with greater variability on platforms and lesser on slopes.

In conclusion, the integration of information obtained from remote sensors with terrain and crop data is a powerful tool for characterizing and managing soil variability and hydrological behavior at both basin and parcel levels. This facilitates the creation of soil maps and the application of predictive models to better understand soil variability and optimize crop management, thereby reducing environmental pollution by adapting agricultural practices to the specific characteristics of each soil unit. Additionally, it enables zoning not only at the parcel level but also the evaluation of return flow evolution at a higher surface level.

Key words: Irrigation, soil unit, cartography, remote sensing, NDVI, crop.

ÍNDICE DEL TRABAJO

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE TABLAS | IV |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | V |
| ÍNDICE DE ECUACIONES | VIII |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. MAPAS DE SUELOS..... | 1 |
| 1.2. TELEDETECCIÓN: DETERMINACIÓN ÍNDICE NDVI | 2 |
| 1.3. SENSORES PARA CARTOGRAFÍA..... | 4 |
| 1.3.1. CARTOGRAFÍA A NIVEL DE CUENCA | 5 |
| 1.3.2. CARTOGRAFÍA A NIVEL DE PARCELA..... | 6 |
| 1.4. CARTOGRAFÍA LIGADA AL REGADÍO..... | 8 |
| 2. OBJETIVOS | 9 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 10 |
| 3.1. ÁREA DE ESTUDIO..... | 10 |
| 3.1.1. LOCALIZACIÓN | 10 |
| 3.1.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL | 11 |
| 3.1.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA..... | 12 |
| 3.2. VARIABILIDAD A NIVEL DE CUENCA..... | 14 |
| 3.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO | 17 |
| 3.2.2. MUESTREO DE SUELO. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES | 18 |
| 3.2.3. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO | 20 |
| 3.2.4. SEGUNDO MUESTREO DE SUELO..... | 21 |
| 3.3. VARIABILIDAD A NIVEL DE PARCELA..... | 23 |
| 3.3.1. VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO A NIVEL DE PARCELA..... | 23 |
| 3.3.2. VARIABILIDAD DE UNA PARCELA CON DOS UNIDADES DE SUELO..... | 27 |
| 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS..... | 28 |
| 3.4.1. VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO HOMOGÉNEAS..... | 28 |
| 3.4.2. VARIABILIDAD DE UNA PARCELA CON DOS UNIDADES DE SUELO..... | 28 |
| 3.4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES.... | 29 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 30 |
| 4.1. VARIABILIDAD DE LOS SUELOS A NIVEL DE CUENCA..... | 30 |
| 4.1.1. MAPA DE SUELOS A NIVEL DE CUENCA | 30 |
| 4.1.2. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EDÁFICAS | 31 |

| | | |
|--|--|----|
| 4.1.3. | CONDICIONANTES DE LAS UNIDADES PARA EL MANEJO | 36 |
| 4.1.4. | MAPAS TEMÁTICOS..... | 38 |
| 4.2. | VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO A NIVEL DE PARCELA ... | 43 |
| 4.3. | COMPARACIÓN DE DOS UNIDADES DE SUELO EN UNA PARCELA..... | 48 |
| 4.4. | ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES | 54 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 57 |
| 6. | LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO..... | 58 |
| 7. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 59 |
| ANEJO I. DESCRIPCIÓN DE PERFILES Y SONDEOS | | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1: | Fecha y valores NDVI cultivo cebada en función del momento. Fuente: elaboración propia. | 25 |
| Tabla 2: | Superficie que ocupa cada unidad de suelos y su porcentaje sobre el total de la cuenca. Fuente: elaboración propia. | 31 |
| Tabla 3: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 1. Fuente: elaboración propia. | 32 |
| Tabla 4: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 2. Fuente: elaboración propia. | 32 |
| Tabla 5: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 3. Fuente: elaboración propia. | 33 |
| Tabla 6: | Resultados análisis pasta saturada para la unidad 3. Fuente: elaboración propia. | 33 |
| Tabla 7: | : Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 4. Fuente: elaboración propia. | 34 |
| Tabla 8: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 5. Fuente: elaboración propia. | 35 |
| Tabla 9: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 6. Fuente: elaboración propia. | 35 |
| Tabla 10: | Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 7. Fuente: elaboración propia. | 36 |
| Tabla 11: | Referencias de profundidad del nivel freático, elevación del punto y elevación del nivel freático. | 38 |
| Tabla 12: | Diferencias significativas para la unidad de suelo en función del momento de desarrollo del cultivo (SOS, PICO, EOS y MEDIA) para el NDVI y la desviación estándar del NDVI. Se presentan los valores del nivel de significación. Intervalo de confianza del 95%. Fuente: elaboración propia. | 43 |
| Tabla 13: | Diferencias significativas para la media de los cultivos de verano e invierno en función del NDVI y la desviación estándar del NDVI. Se presentan los valores del nivel de significación. Intervalo de confianza del 95%. Fuente: elaboración propia. | 46 |

| | |
|---|----|
| Tabla 14: Media de los cultivos de verano e invierno de los últimos 5 años para la fecha en cada momento de desarrollo seleccionado en la parcela de estudio. Fuente: elaboración propia. | 49 |
| Tabla 15: Diferencias significativas para la mediana, p90 y desviación estándar del NDVI en función del momento de desarrollo del cultivo. Intervalo de confianza del 95%. | 49 |
| Tabla 16: Resultados del análisis de correlación. Coeficientes de Spearman y niveles de significación >95%. Colores verdes indican correlaciones positivas, colores rojos indican correlaciones negativas. Fuente: elaboración propia. | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Reflexión de las bandas RGB y NIR por parte de las hojas según el estado de la vegetación. Fuente: Domínguez (2020). | 3 |
| Figura 2: Representación de un mapa categorizado en función de los materiales originales del suelo a la izquierda, y de un mapa con la ubicación de los puntos de muestreo a la derecha. Fuente: Cahyana et al. (2023). | 5 |
| Figura 3: Modelo Digital del Terreno. Fuente: PNOA (2024). | 6 |
| Figura 4: Mapa de NDVI para un cultivo de trigo de secano. Fuente: Sampériz (2022). | 8 |
| Figura 5: Mapa de conductividad eléctrica aparente profundidad 0-90 cm. Fuente: Sampériz (2022). | 8 |
| Figura 6: Mapa de la localización de los municipios de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del Visor SIGPAC (MAPA, 2024). | 10 |
| Figura 7: Mapa sobre los usos de la tierra y tamaño de parcelas en los municipios de Montesús y Robres (MAPA, 2024). Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS. | 11 |
| Figura 8: Mapa de suelos de la provincia de Huesca a escala 1:250.000, delimitación de la extensión de la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de Guerra et al. (1970). | 12 |
| Figura 9: Diagrama ombrotérmico elaborado con los datos de temperaturas y precipitaciones medias del municipio de Robres (2006-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de SAIH Ebro (2024). | 13 |
| Figura 10: Diagrama de temperaturas mensuales máximas, mínimas y media de medias elaborado con los datos de temperaturas y precipitaciones medias del municipio de Robres (2006-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de SAIH Ebro (2024). | 13 |
| Figura 11: Distribución climática de zonas de Aragón. Fuente: elaboración propia a partir de Gutiérrez (2023). | 14 |
| Figura 12: Mapa de elevaciones categorizadas en tres clases (verde claro: 300-330 m.s.n.m.; verde intermedio: 330-350 m.s.n.m.; verde oscuro: 350-400 m.s.n.m). Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS... .. | 15 |
| Figura 13: Mapa de pendientes categorizadas en tres clases (azul claro: 0-2 %; azul intermedio: 2-5 %; azul oscuro >5 %). Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS. | 16 |

| | |
|--|-----------|
| <i>Figura 14: Mapa multibanda. Colores rosas claros expresan mayores elevaciones y rosas oscuros menores; colores verdes claros expresan mayores pendientes y verdes oscuros menores. Representación municipios Robres y Montesusín junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>17</i> |
| <i>Figura 15: Disposición 8 puntos de muestreo para calicatas (FLU) en relación a la irregularidad de la cuenca indicada por la capa multibanda. Representación municipios Robres y Montesusín junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>18</i> |
| <i>Figura 16: Excavadora realizando uno de los perfiles. Foto: M. Sampérez</i> | <i>18</i> |
| <i>Figura 17: Esquema de la morfología del pedión para su estudio. Fuente: elaboración propia.</i> | <i>19</i> |
| <i>Figura 18: Proceso de pesado de las bandejas con las muestras de suelo para el cálculo de la Densidad Aparente. Foto: M. Sampérez.</i> | <i>20</i> |
| <i>Figura 19: Proceso de obtención de muestras con la barrena Edelman. Foto: M. Sampérez.</i> | <i>22</i> |
| <i>Figura 20: Distribución muestras suelo para su secado al aire. Foto: M. Sampérez.</i> | <i>22</i> |
| <i>Figura 21: Filtrado de las muestras de suelo. Foto: M. Sampérez.</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 22: Medición conductividad muestras suelo filtradas. Foto: M. Sampérez.</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 23: Mapa sobre la distribución de las 12 parcelas para el estudio del NDVI. Representación divisoria municipios, fondo ortofoto PNOA. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>24</i> |
| <i>Figura 24: Ejemplo toma valores NDVI en crecimiento, madurez y senescencia. Fuente: elaboración propia a partir de Copernicus (2024).</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 25: Evolución de los cultivos en la parcela S-11 para los últimos 5 años. Rodeado en color rojo se indica un cultivo plurianual de alfalfa, las flechas rojas indican los momentos de madurez de dos cultivos de cebada y maíz respectivamente. Elaboración propia a partir de imágenes del satélite Sentinel 2 con 0% dispersión atmosférica. Fuente: Copernicus (2024).</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 26: Evolución de los cultivos en la parcela FLU-4 para los últimos 5 años. Distintas letras indican el cultivo. Elaboración propia a partir de imágenes del satélite Sentinel 2 con 0% dispersión atmosférica. Fuente: Copernicus (2024).</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 27: Representación polígonos sobre parcela de estudio y ubicación concreta en la cuenca de estudio; de fondo unidad Ladera y unidad Plataforma. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>27</i> |
| <i>Figura 28: Mapa de suelos de la cuenca regable de Montesusín y Robres. Se diferencian por colores las 7 unidades edáficas homogéneas descritas. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>30</i> |
| <i>Figura 29: Mapa sobre las ubicaciones de las calicatas donde se ha alcanzado el nivel freático. De fondo capa multibanda. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>37</i> |
| <i>Figura 30: Mapa de la clase textural del horizonte superficial (Soil Survey Division Staff, 1993). El color verdoso oscuro indica la clase textural media y el verdoso claro la clase textural moderadamente fina. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 31: Mapa de la familia textural del perfil (Soil Survey Staff, 2022). El color azulado indica la clase textural Franco-fina y el color pálido indica la clase textural Fina. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>39</i> |
| <i>Figura 32: Mapa del porcentaje de elementos gruesos del horizonte superficial. El gradiente de color hacia el gris oscuro indica mayor presencia. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>40</i> |

| | |
|---|-----------|
| <i>Figura 33: Mapa de la profundidad efectiva. El gradiente de color verde indica clases de mayor profundidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>41</i> |
| <i>Figura 34: Mapa de la salinidad del horizonte superficial. Medida de la conductividad eléctrica de la pasta saturada. El gradiente de color hacia el rojo indica clases de mayor salinidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>42</i> |
| <i>Figura 35: Mapa de la salinidad media de los horizonte de la unidad. Medida de la conductividad eléctrica de la pasta saturada. El gradiente de color hacia el rojo indica clases de mayor salinidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>43</i> |
| <i>Figura 36: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para el estudio de la influencia de la unidad de suelo en el valor del NDVI (a la izquierda) y de la desviación estándar del NDVI (a la derecha) para los momentos 1-SOS y 2-PICO. Se diferencia entre cultivos de verano e invierno. Fuente: elaboración propia.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Figura 37: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para el estudio de la influencia de la unidad de suelo en el valor del NDVI (a la izquierda) y de la desviación estándar del NDVI (a la derecha) para los momentos 3-EOS y 4-MEDIA. Se diferencia entre cultivos de verano e invierno. Fuente: elaboración propia.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Figura 38: Distribución de las fechas del momento 1-SOS para todos los cultivos evaluados. Fuente: elaboración propia.</i> | <i>46</i> |
| <i>Figura 39: Estadístico descriptivo de la evolución del NDVI para los tres momentos de desarrollo del cultivo y en función de las unidades de suelo. Fuente: elaboración propia.</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 40: Estadístico descriptivo de la evolución de la desviación estándar del NDVI para los tres momentos de desarrollo del cultivo y en función de las unidades de suelo. Fuente: elaboración propia.</i> | <i>47</i> |
| <i>Figura 41: Comparación de la evolución en el desarrollo de los cultivos de verano (color verde) e invierno (color azul) para los últimos 5 años en la parcela de estudio. El eje horizontal representa los 365 días del año y el eje vertical el momento del cultivo. Fuente: elaboración propia.</i> | <i>48</i> |
| <i>Figura 42: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 1-SOS para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.</i> | <i>50</i> |
| <i>Figura 43: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 1-SOS para la unidad de suelo y cultivo.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 44: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 1-SOS para la unidad de suelo y cultivo.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 45: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 2-PICO para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Figura 46: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 2-PICO para la unidad de suelo y cultivo.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Figura 47: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 2-PICO para la unidad de suelo y cultivo.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Figura 48: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 3-EOS para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.....</i> | <i>53</i> |

Figura 49: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 3-EOS para la unidad de suelo y cultivo..... 53

Figura 50: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 3-EOS para la interacción entre unidad de suelo y cultivo... 53

Figura 51: Gráfico de cargas respecto a las dos componentes y su relación con los parámetros analizados en función de su proximidad. Se rodean en colores aquellas agrupaciones de variables más significativas. Fuente: elaboración propia..... 56

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Fórmula para el cálculo del NDVI. Fuente: Rouse et al. (1974). 3

Ecuación 2: Cálculo de la Densidad Aparente. Fuente: elaboración propia..... 21

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista agronómico, el suelo es el sustento de todos los cultivos implantados, por lo que el conocimiento de sus características y propiedades proporciona la información necesaria para cualquier proceso de análisis o de toma de decisiones (Jiménez, 2013). Aunque la importancia de los suelos no se limita únicamente al campo de la agricultura, en este trabajo nos centraremos en el uso agronómico del mismo, sin descartar la mitigación de los efectos nocivos en su entorno.

La realización de mapas de suelos o delimitación de unidades de suelo homogéneas es útil tanto desde el punto de vista de su manejo agronómico como para ayudar a reducir el impacto ambiental de estas actividades agrarias.

Además, las imágenes de satélite nos aportan gran cantidad de datos de forma económica y pueden ser, por tanto, una herramienta útil tanto para hacer una caracterización de los suelos de las parcelas que sirvan tanto a los agricultores de base para unos planteamientos de agricultura de precisión como a ciertas instituciones para conocer de forma más precisa el comportamiento de la cuenca.

1.1. MAPAS DE SUELOS

Un mapa de suelos es una representación cartográfica aproximada de la distribución de sus características y propiedades sobre el terreno, y deben ser sintetizadas mediante la representación delimitada de unas unidades edáficas homogéneas que hayan sido previamente definidas y descritas (Jiménez, 2013).

A su vez, los mapas de suelos deben ser suficientemente visuales y sintéticos para permitir el acceso a toda la información allí recogida tanto a personas especialistas en la materia como simplemente a interesados en ello para que este trabajo pueda servir como base a futuras investigaciones, evaluaciones del medioambiente etc.

Los mapas de suelos se conciben en la actualidad como una herramienta básica que permite seleccionar un sistema de medidas práctico-económicas necesarias para su adecuada aplicación en campos como la modernización de regadíos, la aplicación de los manejos de agricultura de precisión y la evaluación de los balances hídricos a nivel tanto de cuenca como de parcela (FAO, 2019), para mejorar la fertilidad de los suelos y optimizar las prácticas agronómicas (Martínez et al., 2019), entre otras aplicaciones; sin embargo el empleo de los mapas de suelo para el ámbito de la agricultura no es reciente, pues en los años 60s ya se hablaba de los mapas de suelo para establecer prácticas agronómicas concretas que permitieran alcanzar un cierto rendimiento de los cultivos para un determinado suelo y extender esos conocimientos (Alcayaga, 1968).

Estos factores hicieron de desencadenantes para el comienzo de este trabajo, pues conocer los aportes de contaminantes agrícolas a las masas de agua en los retornos y cauces es esencial para reducir esa contaminación ambiental y conseguir una agricultura sostenible, para lo que es indispensable tener un profundo conocimiento de los suelos y poder así prever la evolución de dichos contaminantes.

El primer requisito a la hora de iniciar un trabajo cartográfico es delimitar la escala de trabajo, pues en función de ella es necesario aplicar una metodología concreta que permita alcanzar esos objetivos; y a la hora de definir esa escala de trabajo no solo es

relevante la cantidad de fuentes disponibles, sino que el principal limitante se trata del presupuesto, pues es el condicionante para el uso de unos u otros sensores y herramientas.

En nuestro caso, el bajo presupuesto disponible requería encontrar medios con los que cumplir los objetivos de obtener una delimitación que permitiera elaborar un mapa de suelos semidetallado a una escala de trabajo aproximada de 1:50.000 y estudiar la variabilidad a nivel de parcela a mayor detalle para las unidades edáficas en las que fuera necesario.

1.2. TELEDETECCIÓN: DETERMINACIÓN ÍNDICE NDVI

La **Teledetección** es una forma de obtener información tanto del suelo como de los cultivos muy utilizada hoy en día y que puede definirse como *“la ciencia y tecnología para adquirir información sobre la superficie de la Tierra sin estar realmente en contacto con ella. Esto se realiza mediante la detección y grabación de la radiación reflejada y/o emitida y su posterior procesamiento, análisis e interpretación de la información resultante”* (Martínez-Casasnovas, 2019).

Se puede explicar que la teledetección está enfocada a la toma y procesado de datos de radiancia espectral, es decir, luz de diferentes longitudes de ondas que son captadas por sensores multispectrales posicionados en plataformas móviles espaciales como son los satélites, aeronaves o recientemente en drones.

Una de la información espectral más ampliamente utilizada es la obtenida mediante imágenes de satélite, la cual facilita y abarata los costes operacionales ya que permite el trabajo sobre una imagen descargada a la que se aplican distintos filtros en función de lo que se quiere extraer de ella; sin embargo presenta los inconvenientes de la resolución de los píxeles, pues dependiendo de los satélites empleados esta medida puede variar y de la dificultad en la obtención de imágenes nítidas de la superficie terrestre cuando aparece algún obstáculo intermedio como son habitualmente las nubes y que causan la conocida dispersión atmosférica.

Gracias a su uso, la teledetección permite obtener datos de distintos índices destinados a aportar información concreta sobre distintos parámetros del suelo, cultivo, humedad etc. El **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index) o índice de vegetación de la diferencia normalizada es el más usado a la hora de determinar estados de desarrollo de la mayoría de los cultivos y obtener mapas georreferenciados con dicha información, del cual es conocida la directa correlación con las propiedades fisicoquímicas del suelo y por tanto puede emplearse para llevar a cabo una categorización a bajo coste y alta resolución de los suelos.

Su obtención se lleva a cabo mediante la información que se encuentra en ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja, concretamente es necesaria la información contenida en las bandas roja (Red) en infrarroja (NIR), y para su cálculo, en el caso de imágenes obtenidas de la constelación *Planet Scope* (Planet, 2024), se debe hacer la diferencia entre la reflectancia de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de reflectancia (MappingGIS, 2015) tal y como se muestra en la ecuación 1.

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

Ecuación 1: Fórmula para el cálculo del NDVI. Fuente: Rouse et al. (1974).

Los valores de este índice fluctúan entre -1 y +1, y para su interpretación es necesario conocer las siguientes premisas:

- **Valores negativos:** Indican la presencia de nubes o agua, y también de algunos suelos desnudos, por lo que dichos valores no son representativos en el análisis del estado de desarrollo de la vegetación.
- **Valores cercanos a 0:** Indican que el suelo se encuentra al descubierto, es decir, no existe vegetación en dicha zona.
- **Valores cercanos a 1:** Indican mayor índice de vegetación de la planta, es decir, un mayor desarrollo de la planta que puede apuntar a mayores rendimientos productivos.

La figura 1 muestra gráficamente las diferencias en la reflexión de las bandas RGB y NIR, en función del estado del cultivo.

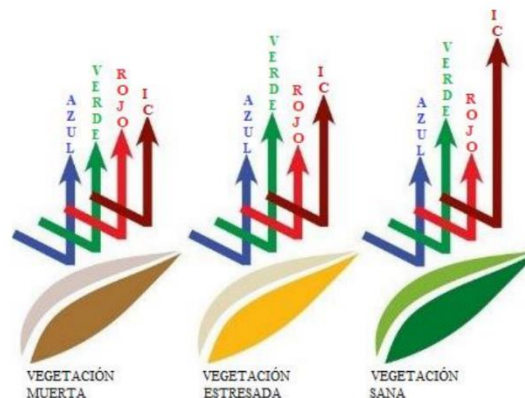


Figura 1: Reflexión de las bandas RGB y NIR por parte de las hojas según el estado de la vegetación. Fuente: Domínguez (2020).

Son numerosas las fuentes que han trabajado con este índice bien a nivel de cuenca como en el estudio de Cahyana et al. (2023); así como a nivel de parcela.

Dentro de este segundo ámbito de trabajo, el NDVI en combinación con datos texturales y de precipitación fue una herramienta útil para la determinación en tiempo real del estrés sobre diferentes cultivos, sirviendo como indicador de las condiciones de déficit hídrico, lo cual se empleó para diferenciar entre las clases texturales ligeras y pesadas de suelos en la India (Kumar et al., 2023); además, la tesis doctoral titulada "Identificación temprana de la presencia y el desarrollo de cultivos de regadío mediante técnicas de teledetección" aborda el uso de la teledetección mediante sensores remotos aplicados al índice NDVI para la identificación temprana de la presencia y desarrollo de cultivos de regadío, confirmándose como un indicador robusto para el monitoreo de esos cultivos (Pérez, 2022).

De estos estudios que han trabajado con el NDVI se refleja su capacidad para la identificación y diferenciación de áreas con distinta biomasa, que si bien debe ser reforzado mediante una mejora de la resolución, incluyendo datos de campo bien de suelo o de cultivo o con el análisis de distintas series temporales para verificar si existe una relación con los tipos de suelo a escalas de trabajo de mayor detalle y obtener datos contrastados que nos den una información precisa del suelo en profundidad.

De esta forma, mediante al análisis y estudio del NDVI de los cultivos implantados en ciertas parcelas de las que se tendrá información precisa del suelo se buscará determinar si esta variabilidad espacial está directamente relacionada con la unidad edáfica a la que pertenece esa parcela y fortalecer la precisión del mapa de suelos elaborado.

1.3. SENSORES PARA CARTOGRAFÍA

Para analizar la variabilidad espacial y temporal tanto de los cultivos como del terreno y tener así información concreta con la que aplicar manejos óptimos se cuenta con distintos mecanismos y tecnologías que facilitan esa toma de datos. En los últimos años se ha avanzado mucho en la aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la agricultura y, en concreto, de las TIG (Tecnologías de la Información Geográfica), al tiempo que se han incrementado los recursos de teledetección disponibles (Pérez, 2022).

Todas esas metodologías se fundamentan en el empleo de datos obtenidos por sensores, que son herramientas que permiten medir una gran cantidad de parámetros y obtener de ellos información específica. Existen distintos tipos, dependiendo de la información que son capaces de medir y de su funcionamiento, diferenciando entre sondas para la medición de la humedad o temperatura del suelo, sensores para la medida de la Conductividad Eléctrica Aparente (CEa) que se correlaciona directamente con muchas de las propiedades fisicoquímicas más importantes de los suelos, sensores de cultivo para medir la radiación espectral reflejada y obtener valores del estado de desarrollo del cultivo, así como sensores remotos capaces de tomar imágenes aéreas o satelitales con distintas bandas en función de su aplicación.

La selección de un sensor u otro depende fundamentalmente del presupuesto y de la escala objetivo, pues para un trabajo a pequeño detalle los sensores remotos como la teledetección acompañada de unas pocas actuaciones en campo es suficiente (Porta et al., 2003), mientras que para alcanzar un mayor detalle en el trabajo es necesario operar con sensores cercanos como los de determinación de la CEa.

De acuerdo con ciertos trabajos disponibles, la combinación de datos geofísicos con datos de sensores cercanos y remotos como pueden ser los rayos gamma, susceptibilidad magnética o de temperatura de la superficie pueden usarse para representar de forma satisfactoria el material original y los minerales que componen el suelo a una pequeña o media escala de trabajo local y regional (Cahyana et al., 2023), lo que nos da una idea de los resultados que pueden obtenerse tanto con el uso de ciertos sensores como de la medida en la que se puede profundizar con su combinación.

En la figura 2 se detalla una delimitación inicial de las unidades de suelos mediante la información de sensores remotos en el estudio de Cahyana et al. (2023) obteniendo una categorización en forma de mapa a la izquierda, y la ubicación de los puntos de muestreo con los que profundizar en el trabajo en el mapa de la derecha.

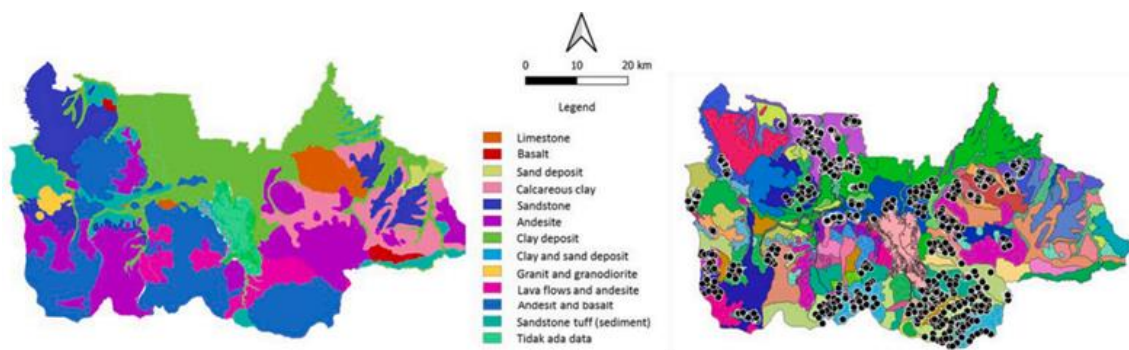


Figura 2: Representación de un mapa categorizado en función de los materiales originales del suelo a la izquierda, y de un mapa con la ubicación de los puntos de muestreo a la derecha. Fuente: Cahyana et al. (2023).

Así pues, estudios revelaron la aplicabilidad de la combinación de los datos de sensores remotos con información del material parental para la determinación de la relación y distribución de los suelos a una escala de trabajo de poco detalle 1:250.000 (Loiseau et al., 2020).

1.3.1. CARTOGRAFÍA A NIVEL DE CUENCA

Cuando los objetivos para la cartografía consisten en alcanzar una descripción general del área de estudio, es decir, emplear una escala de trabajo de 1:25.000 o ligeramente inferior (en nuestro caso será 1:40.000) el procedimiento debe incluir métodos que permitan esa visión macroscópica de los rasgos generales aparentes, por lo que el uso de los sensores remotos, fundamentalmente la Teledetección es la herramienta idónea.

Dentro de la Unión Europea, se creó el programa Copernicus, desarrollado por la Agencia Espacial Europea (ESA), que lanzó la misión Sentinel-2 en 2015 y 2017. Esta misión consta de dos satélites (Sentinel-2A y Sentinel-2B) con un tiempo de revisita entre los dos satélites de 5 días y una resolución espacial de 10 m de pixel en las bandas del visible (RGB) e infrarrojo próximo (NIR) para la caracterización de la vegetación, el suelo y la cubierta de agua.

En definitiva, estos sensores remotos permiten trabajar con resoluciones de pixel de 10 metros o incluso inferiores, lo cual es suficiente para esa visión a gran escala, y para esa cartografía una de las herramientas que más información aportan son los **Modelos Digitales del Terreno (MDT)** y que pueden definirse como “una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua” (Felicísimo, 1994) y se trata de un mapa topográfico en formato digital (figura 3) obtenido a partir de establecer una relación de correspondencia con la realidad en forma de algoritmos o formalismos matemáticos.

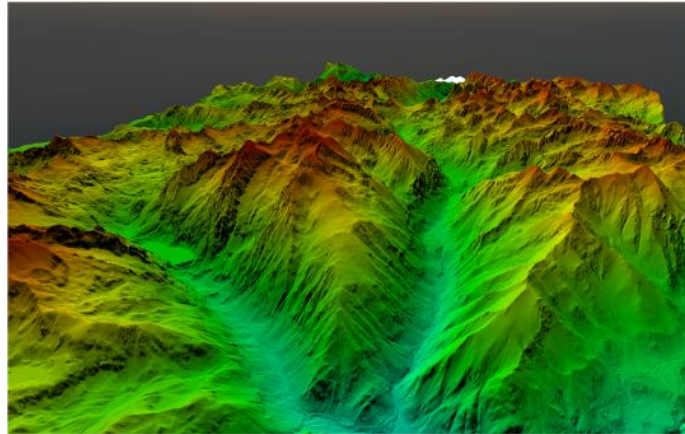


Figura 3: Modelo Digital del Terreno. Fuente: PNOA (2024).

Los MDT se obtienen a partir de datos LIDAR (Light Detection and Ranging), una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz láser para obtener una muestra densa de la superficie terrestre, en la que al combinarse con la información posicional (GPS) dichas medidas se transforman en puntos tridimensionales geo-posicionados (Esri, 2024).

El resultado es un archivo que puede procesarse mediante los programas basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG) y que tiene un paso de malla de entre 2 y 5 metros con información referente a pendientes o elevaciones. Esta información puede servir de ayuda para la delimitación de unidades geomorfológicas que son la base fundamental del *modelo de distribución basado en unidades morfoedáficas* (Porta, 2003) con el que puede establecerse la organización de la cubierta edáfica en las diferentes unidades presentes, o incluso para el análisis hidrológico mediante la extracción y caracterización de redes de drenaje, la definición y caracterización de cuencas vertientes y la modelización de los procesos hidrológicos como precipitación, evaporación o infiltración (Olaya, 2021).

Estos modelos son fundamentales para apoyar la cartografía digital y mejorar la precisión en el estudio de los procesos hidrológicos o ambientales, y por tanto se aplicarán en nuestro trabajo mediante el empleo de la relación entre las pendientes y elevaciones junto con la morfología para obtener así una delimitación inicial de características de la cuenca y enfocar el estudio de campo en profundidad

1.3.2. CARTOGRAFÍA A NIVEL DE PARCELA

Se ha visto como la teledetección es aplicable para una cartografía a pequeña escala, sin embargo presenta ciertos problemas a la hora de aumentar el grado de detalle (escala 1:25.000 y superiores) debido a la resolución en el tamaño de pixel, si bien estos problemas pueden corregirse con el uso de un vehículo aéreo no tripulado (VANT) más conocidos como drones, en los que una menor altura de vuelo permite obtener imágenes de mayor precisión (menor tamaño de píxel) y evitar esa dispersión atmosférica; sin embargo dado su mayor coste no se han tenido en cuenta para la realización de este trabajo.

También existen compañías privadas de observación terrestre como *Planet Labs*, que disponen de sus propios satélites, llamados en este caso *PlanetScope constellations*, y presentan la capacidad de obtener imágenes de alta resolución espacial y temporal

gracias a una constelación que consta con aproximadamente 180 nanosatélites capaces de obtener imágenes de 150 millones de km² por día en las bandas espectrales RGB y NIR, dando como resultado imágenes diarias con resolución de 3 m de pixel a lo largo de toda la superficie terrestre.

Estas imágenes de mayor resolución son comúnmente empleadas para analizar la variabilidad intraparcularia, especialmente útil para la estimación temprana de rendimientos, aplicación de manejos variables en agricultura de precisión, y se usarán en este trabajo para analizar esa variabilidad del suelo a nivel de parcela aumentando el detalle de las observaciones para obtener un mapa de suelos más preciso.

Estos sensores de mayor precisión no solo se limitan a sensores aéreos, sino que existe gran multitud de sensores cercanos de suelos como los empleados para la medida de la CEa, sondas y termómetros para la medida de la temperatura, humedad, salinidad u otros parámetros de suelo, células para la medida de flujos fotosintéticos etc. todos ellos destinados a una evaluación mucho más profunda y en detalle tanto del suelo como de los cultivos implantados, sin embargo su mayor coste hizo descartarlos inicialmente ya que el presupuesto con el que se contaba para la financiación de este trabajo era bajo, y se fundamentó en el empleo de los sensores remotos de menor coste.

Existen numerosos campos en los que pueden aplicarse dichos sensores de suelo (*Dualem, Veris, etc.*), algunos ejemplos son la determinación de la variabilidad de las propiedades del suelo en cada punto de una parcela agrícola (Martínez-Casasnovas et al., 2021), la comprensión y evaluación de la variación espacial del suelo (Corwin & Lesch, 2003) o la definición de zonas de manejo diferenciado en las parcelas agrícolas, cualquiera que sea el cultivo (Uribeetxebarria et al., 2018); gracias a que se han documentado buenas correlaciones con respecto a la salinidad del suelo, la capacidad de retención de humedad y su textura, o incluso con el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el contenido de CaCO₃ o la profundidad del suelo.

De esta forma queda reflejada la posibilidad de emplear estos sensores cercanos para el mapeo de las distintas clases texturales dentro del suelo a nivel de parcela, enfocados hacia manejos de agricultura de precisión (Pérez, 2022), sin embargo muchos de ellos concluyen en la relación directa existente entre esas medidas de la conductividad eléctrica aparente del suelo y los índices de cultivo como el NDVI (Sampériz, 2022), lo que unido a un mayor coste de aplicación respecto a los sensores remotos hizo descartarlos inicialmente ya que el presupuesto con el que se contaba para la financiación de este trabajo era bajo.

A continuación se aprecia esa similitud entre la CEa y el NDVI referente al trabajo de Sampériz (2022) en el municipio de Valsalada (Huesca). En la figura 4 aparece detallado un mapa de la CEa medida mediante el sensor veris 3100 a una profundidad de 0 a 90 cm en el que los colores azules indican los valores más elevados, correlacionados con las zonas deprimidas de la parcela y tradicionalmente cultivadas, los colores rojos indican los valores más bajos que se relacionan con las zonas roturadas y recientemente cultivadas. La figura 5 representa el mapa del NDVI de un cultivo de trigo de secano para la campaña agrícola 2022 en la misma parcela de Valsalada en el que pueden apreciarse en color azul los valores más elevados y por tanto donde mayor rendimiento presenta el cultivo y que se relacionan con las zonas deprimidas tradicionalmente cultivadas y de mayor CEa, en colores amarillos los valores más bajos y con menor rendimiento del cultivo asociados a las regiones recientemente roturadas y de menor valor de CEa.

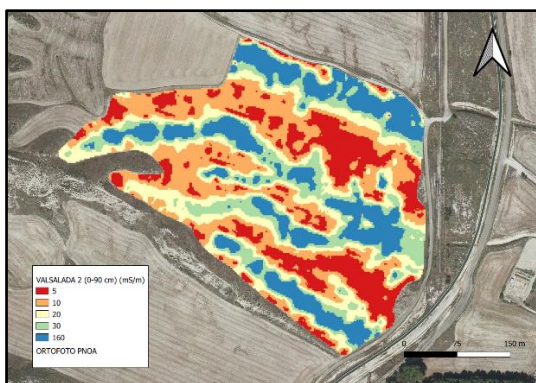


Figura 4: Mapa de conductividad eléctrica aparente profundidad 0-90 cm. Fuente: Sampériz (2022).

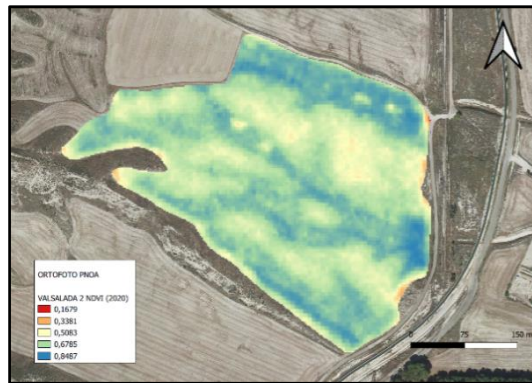


Figura 5: Mapa de NDVI para un cultivo de trigo de secano. Fuente: Sampériz (2022).

1.4. CARTOGRAFÍA LIGADA AL REGADÍO

La motivación fundamental de este trabajo era conseguir datos de la información del suelo a nivel de cuenca que pudieran ser utilizados para reducir la cantidad de contaminantes provocados por la actividad agrícola en los flujos de retorno.

De esa idea surgieron distintas líneas de actividades para la caracterización de los suelos de las cuencas de estudio dentro del Proyecto “**M164 Flumen-Agrogestor**”, presentado a la convocatoria de subvenciones de apoyo a Acciones de Cooperación de Agentes del Sector Agrario, en el marco del Programa de Desarrollo Rural (PDR) para Aragón 2014-2020, para 2021 (ORDEN AGM/44/2021, de 26 de enero, BOA núm.32 de 15 de febrero de 2021); para seguir las recomendaciones de la Unión Europea en materia de contribuir al objetivo del Pacto Verde sobre pérdidas de nutrientes con la adopción de medidas adecuadas para reducir el excedente y la lixiviación de nitrógeno y fósforo procedentes de la agricultura, especialmente en las regiones con mala calidad de las aguas subterráneas, promoviendo prácticas agrícolas innovadoras y respetuosas con el medio ambiente.

Dicho PDR fue aprobado, resultando en el proyecto enfocado hacia la aplicación de la herramienta Agrogestor-Agroasesor y control de la calidad de la Masa de Agua 164 (Río Flumen desde el Río Isuela hasta su desembocadura en el Río Alcanadre). La aportación a este trabajo es la caracterización de los suelos de la cuenca como información básica a utilizar en los modelos de simulación hidrológica para mejorar el conocimiento del movimiento de nutrientes en esa cuenca en regadío.

De esta forma se consultaron los principales trabajos disponibles en esta materia, centrándonos en la búsqueda de referencias acerca de trabajos cartográficos de suelos destinados al regadío en el Valle del Ebro. En Aragón, sirvieron como modelo los trabajos de Nogués (2002) sobre un mapa de los suelos de Barbués y Torres de Barbués; de Andrés (2013) en Lasesa (Monegros); de Jiménez-Aguirre (2018) en el municipio de Almudévar; y Usón et al. (2020) en la cuenca del Barranco del Reguero, entre Peralta de Alcofea y Torres de Alcanadre, todos ellos en la provincia de Huesca; si bien fuera de nuestra comunidad autónoma, especialmente en las limítrofes este trabajo está más avanzado, contando con visores cartográficos, mapas de suelo y series a escalas de medio detalle (1:25.000) como son el catálogo de suelos del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña (ICGC, 2024) o la plataforma web de la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA, 2024).

2. OBJETIVOS

Los objetivos principales de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) son (I) elaborar un mapa de suelos a nivel de cuenca con bajo presupuesto, y (II) evaluar la variabilidad intraparcular asociada a esas unidades edáficas homogéneas.

Los objetivos principales se alcanzarán mediante la consecución de los siguientes objetivos específicos:

- 1- Delimitar las distintas regiones de la cuenca mediante el uso de imágenes satelitales y seleccionar parcelas objetivo de muestreo.
- 2- Caracterizar fisicoquímicamente las parcelas seleccionadas mediante la elaboración de calicatas y el análisis de sus distintos estratos.
- 3- Establecer unidades edafoclimáticas con la ayuda de sondeos.
- 4- Evaluar el efecto de las propiedades del suelo de estas unidades sobre el desarrollo de cultivos de cereal de invierno y de verano en condiciones de regadío.

Este trabajo se alinea con los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible, sobre los que se detalla su justificación y los cuales se consiguen mediante la optimización de los recursos productivos al tener un profundo conocimiento de los suelos, permitiendo una producción sostenible y ajustada para cada unidad edafoclimática y de esta forma alcanzar una drástica reducción de la contaminación ambiental:

- Poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria y una mejor nutrición, y promover la agricultura sostenible.
- Fomentar el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo, y el trabajo decente para todos.
- Garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles.
- Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de la tierra, y frenar la pérdida de diversidad biológica.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. LOCALIZACIÓN

La zona de estudio de este trabajo se trata de la cuenca del barranco de la Sardeta, de 2.324 hectáreas pertenecientes a los municipios de Montesusín y Robres, dentro de la provincia de Huesca (Aragón) y en concreto corresponden a la comarca de Los Monegros. Se encuentra ubicada 28 kilómetros al sur de Huesca y presenta una elevación comprendida entre los 300 y 350 metros sobre el nivel del mar. La figura 6 muestra la ubicación geográfica de sendos municipios.

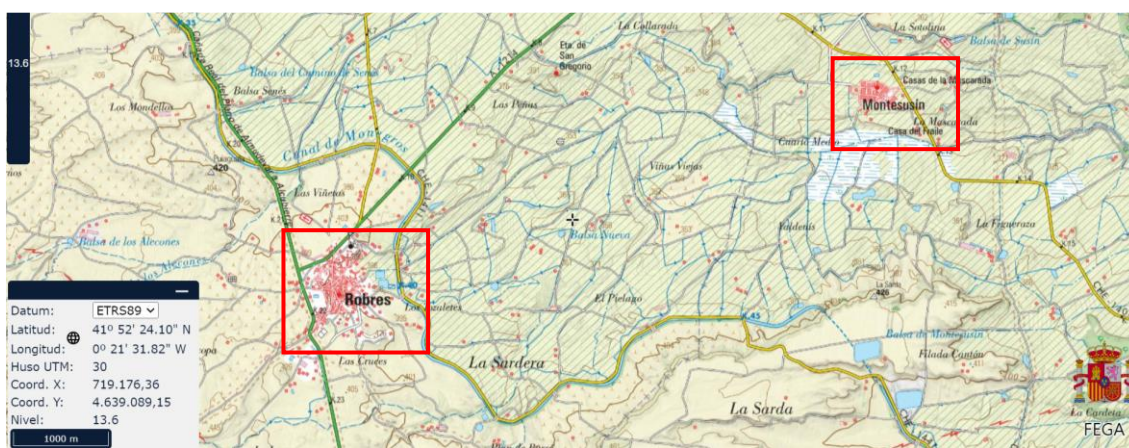


Figura 6: Mapa de la localización de los municipios de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del Visor SIGPAC (MAPA, 2024).

El municipio de Robres es el de mayor tamaño de los dos, mientras que Montesusín pertenece al municipio de Grañén, siendo un pueblo que surge de la colonización durante la construcción del Canal de los Monegros (Ayuntamiento de Grañén, 2024), infraestructura que trajo el regadío a la zona durante los años 50s del siglo XX, lo que hace que la práctica totalidad de su superficie agrícola sea regable; en concreto las comunidades de regantes de base responsables de esta cuenca regable son Collarada I y Collarada II.

En Montesusín se ha realizado la concentración parcelaria y la modernización (paso de riego a manta a riego por aspersión, mayoritariamente), mientras que en Robres aún no se ha llevado a cabo, por lo que predominan las parcelas pequeñas abancaladas y con riego por superficie.

Esta diferencia en la morfología de las parcelas se puede apreciar al observar imágenes satelitales y es más notoria al analizar un mapa de los usos de la tierra a partir de la fuente MAPA (2024) referente al Visor SIGPAC como se hace referencia en la figura 7 en la que aparecen en color crema las parcelas con uso TA (Tierra Arable) y en color morado las de uso PS (Pastizal), y puede apreciarse como a la izquierda de la línea divisoria de los municipios las parcelas tienen un tamaño muy inferior, pues se trata del término de Robres, que contrasta con las parcelas de mayor tamaño en la extensión de Montesusín.

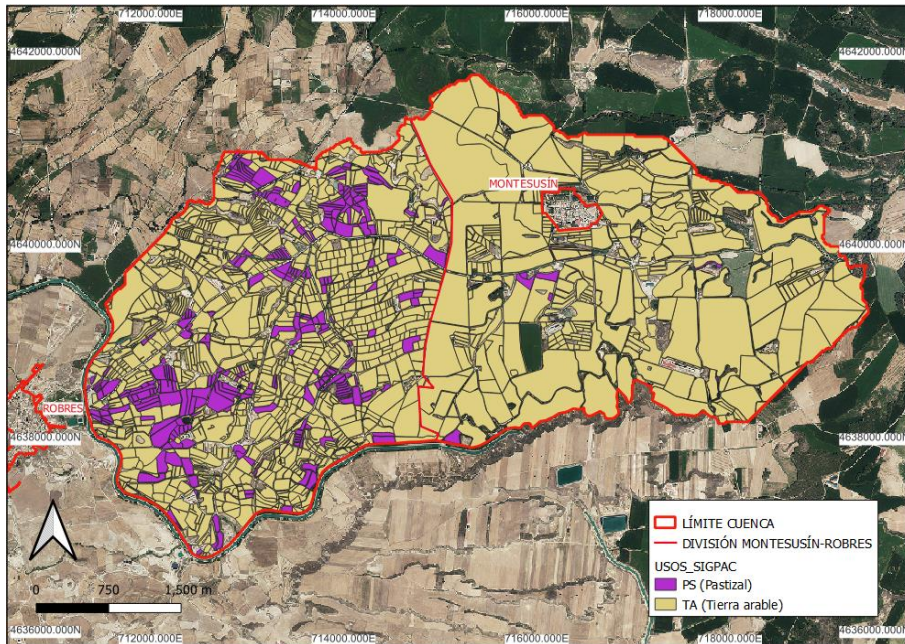


Figura 7: Mapa sobre los usos de la tierra y tamaño de parcelas en los municipios de Montesús y Robres (MAPA, 2024). Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Esa diferencia en el manejo condicionará el uso de información con unos sensores u otros ya que el tamaño de la parcela influye notablemente en la pendiente de la misma y en su variabilidad interna, ambos aspectos claves para obtener información relevante de los suelos.

3.1.2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA LOCAL

La provincia de Huesca puede dividirse fundamentalmente en dos zonas siguiendo la dirección norte-sur, la montañosa, que a su vez se subdivide en **Pirineo** y **sierras del pre-Pirineo**, caracterizadas por las cotas más altas; y la **Llanura Ibérica**, cuyo límite se encuentra unos kilómetros al norte de la capital (Guerra et al., 1970).

Los municipios de Montesús y Robres se encuentran en una latitud inferior a la ciudad de Huesca, por lo que se comprenden dentro de la Llanura Ibérica, caracterizada por su suave inclinación hacia el Valle del Ebro, con altitudes entre 200 y 600 m sobre el nivel del mar, sustentada por materiales terciarios similares a la provincia de Zaragoza, principalmente oligocenos (margas, molasas, conglomerados y algunos niveles de yesos) y miocenos (margas, yesos y calizas poco compactas en forma de lajas) (Guerra et al., 1970).

Los suelos de la cuenca de estudio son referidos por Guerra (1970) como fundamentalmente suelos poco evolucionados sobre sedimentos margosos, los cuales se presentan en llanadas recubiertas por estos sedimentos procedentes de la erosión de margas y molasas circundantes aunque también pueden encontrarse suelos de terraza pardo calizos pedregosos, ligados a un origen sedimentario fluvial formados por variaciones del régimen hidrográfico de los cursos actuales o ya desaparecidos, con capas de suelos no potentes de aproximadamente 50 centímetros y conocidos generalmente como sasos o planas (Guerra et al., 1970).

La figura 8 muestra un mapa de suelos a escala 1:250.000 de los tipos de suelo en la zona de la cuenca de estudio (Guerra et al., 1970). Se trata de una escala de trabajo que da una idea general de los suelos a poco detalle y sobre el cual resulta necesario trabajar a una escala de trabajo menor para ampliar la información a mayor detalle.

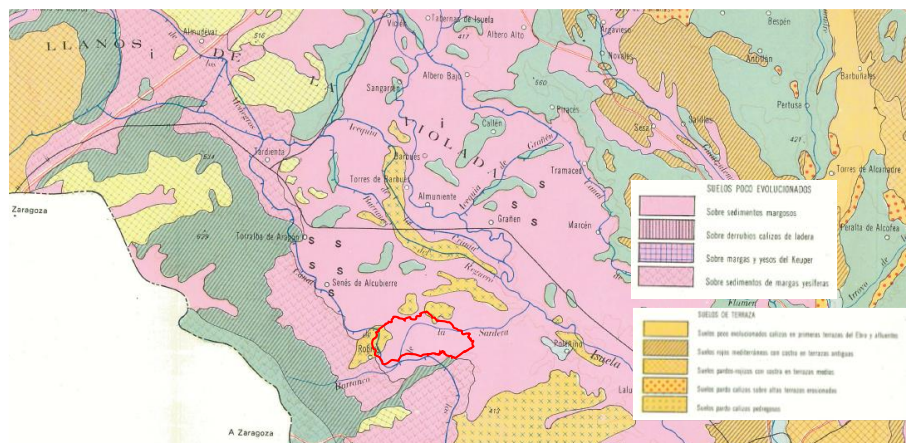


Figura 8: Mapa de suelos de la provincia de Huesca a escala 1:250.000, delimitación de la extensión de la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia a partir de Guerra et al. (1970).

3.1.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Para el análisis de la climatología en la cuenca de estudio se ha recurrido al estudio de los datos climáticos obtenidos de la página del Sistema Automático de Información Hidrográfica (SAIH) de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) referentes a precipitaciones acumuladas, temperaturas máximas, mínimas y medias recogidas entre los años 2006 y 2023.

Para ello se solicitó al SAIH mediante un formulario online en la plataforma “Datos a la Carta” (SAIH Ebro, 2024) dicha información referente a la estación meteorológica ubicada en el municipio de Robres y con referencia R054, los cuales se recibieron en formato Excel para procesarse y presentarse en forma de gráficos de más fácil interpretación.

Con esos datos ha sido posible elaborar un climograma histórico (figura 9) donde se recogen temperaturas y precipitaciones medias mensuales recogidas en los últimos 18 años. Así pues, se aprecia cómo se trata de un clima cálido con temperaturas superiores a los 40 °C en los meses de verano (junio, julio y agosto) y mínimas que han llegado a alcanzar los - 7 °C en los meses de enero y febrero. Referente a la pluviometría, es una región de precipitaciones escasas, pues el acumulado anual medio para este periodo desde el año 2006 es de 341,1 mm, además únicamente se superan los 30 mm mensuales en 6 meses al año. La época más lluviosa es la primavera, concretamente Abril con 45,74 mm, mientras que el mes más seco es Agosto con 16,41 mm.

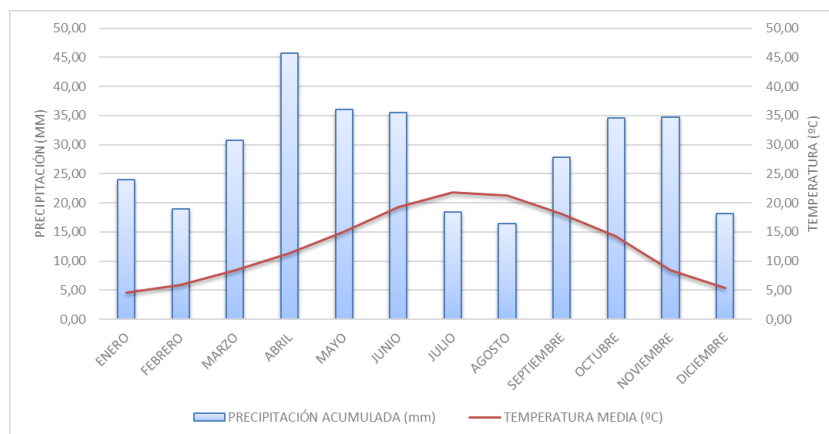


Figura 9: Diagrama ombrotérmico elaborado con los datos de temperaturas y precipitaciones medias del municipio de Robres (2006-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de SAIH Ebro (2024).

También se han analizado las temperaturas máximas, mínimas y medias registradas en dicha estación de Robres en los últimos 18 años (figura 10), y se observa la amplitud térmica entre las distintas épocas del año, e incluso dentro de los mismos meses, superando en ciertos meses los 30,0 °C. Respecto a la temperatura media anual del aire en Robres se puede decir que es de aproximadamente 13,0 °C.

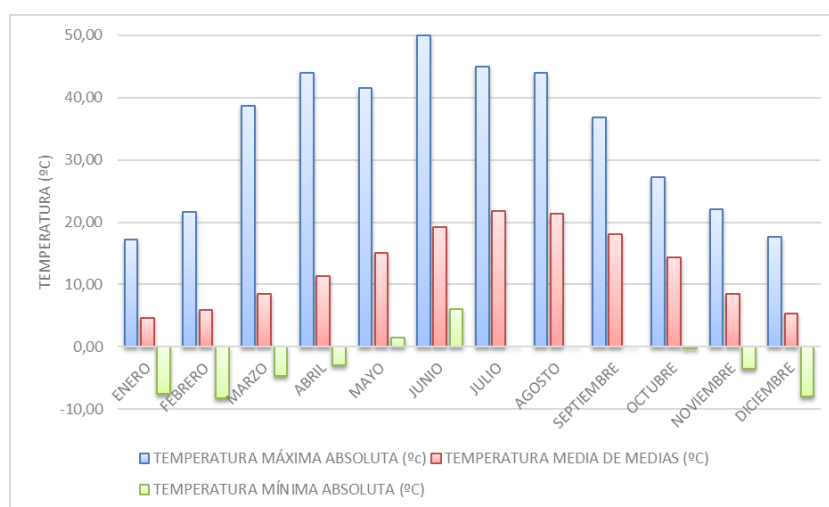


Figura 10: Diagrama de temperaturas mensuales máximas, mínimas y media de medias elaborado con los datos de temperaturas y precipitaciones medias del municipio de Robres (2006-2023). Fuente: elaboración propia a partir de los datos de SAIH Ebro (2024).

De esta forma, Robres y por tanto Montesús, los dos municipios que componen nuestra cuenca de estudio pertenecen a los secanos áridos del Valle del Ebro y bajo Aragón, referidos por Gutiérrez (2023) y que se caracterizan por unos veranos cálidos e inviernos fríos, con precipitaciones escasas en la mayor parte del año. De forma más concreta, el tipo climático de la zona de estudio se trata de un Clima Semiárido según el índice de humedad de Thornthwaite (Elías et al., 2001) caracterizado por valores negativos del índice de humedad (I_m) comprendidos entre -33,3 a -66,0.

La figura 11 muestra un mapa de la distribución de las zonas climáticas de Aragón y aparece señalada la ubicación de la cuenca de estudio.

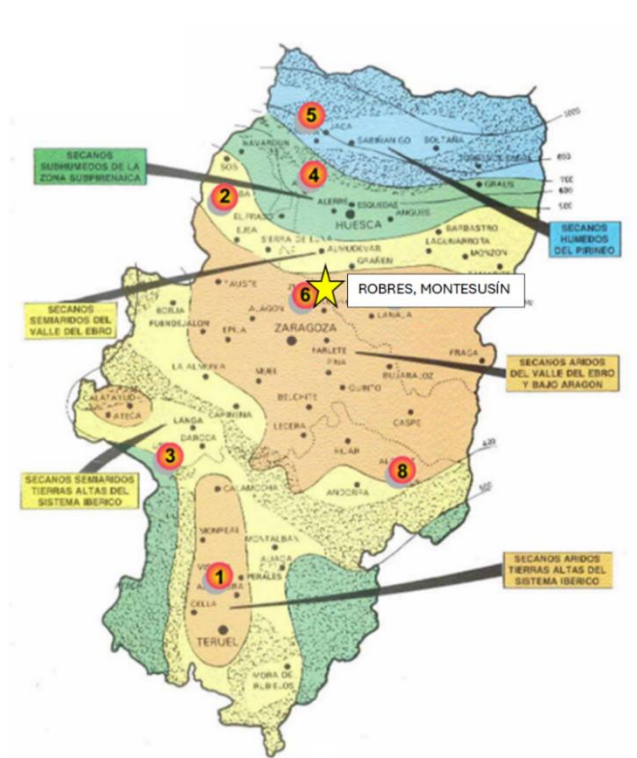


Figura 11: Distribución climática de zonas de Aragón. Fuente: elaboración propia a partir de Gutiérrez (2023).

3.2. VARIABILIDAD A NIVEL DE CUENCA

En un primer lugar, se presentaba la cuenca regable ya citada, cuya extensión concreta es de 2.324 hectáreas, lo que unido al bajo presupuesto para su caracterización hizo necesaria una primera revisión general con el objetivo de obtener ciertas nociones de las diferencias existentes entre zonas, así como de los puntos con especial interés como podían ser regiones salinas, plataformas o zonas deprimidas, entre otras (Kumar et al., 2023).

Para ello se recurrió al programa QGIS en su versión 3.18.2, con el que fue posible delimitar el área total de la cuenca de estudio y analizar las distintas capas que fueron cargadas. Era necesario considerar toda la información disponible de los sensores remotos por su bajo coste, por lo que se emplearon:

- Imágenes de radar que dan información de la humedad del suelo (Monterroso & Chang, 2020). Se analizaron imágenes de los primeros meses de 2021, tras una tormenta intensa (Filomena) que saturó el suelo en superficie. Los datos de humedad no reflejaron ningún patrón claro, por lo que se descartó este análisis
- NDVI de la cuenca mediante datos de la fuente Planet (2024): la variabilidad de cultivos y la diferencia en el tipo de riego (aspersión/superficie) y tamaño de parcelas en las dos localidades dificultaron el conseguir una respuesta del cultivo que se pudiera asociar al tipo de suelo.
- Las mejores relaciones con las unidades de paisaje se obtuvieron con el análisis de los MDT, en concreto los mapas de elevaciones y pendientes obtenidos de la página de descargas del IGN (Instituto Geográfico Nacional) (CNIG, 2024), que tras acotarse a los límites de la cuenca y aplicarse formatos de colores a los

distintos valores se obtuvieron mapas que daban una primera información acerca de la morfología local.

En la figura 12 se presenta el mapa de las elevaciones categorizadas en tres rangos, el primero de ellos en color verde más claro muestra las elevaciones inferiores a 300 m.s.n.m, el segundo en color verde intermedio muestra las elevaciones comprendidas entre 300 y 330 m.s.n.m., y por último la categoría representada por el color verde más oscuro muestra los valores de elevaciones superiores a 330 y hasta 350 m.s.n.m. De esta forma se aprecia la disminución de la elevación en dirección Este, que representa la desembocadura de un barranco cuya disposición se hace visible en el color verde intermedio.

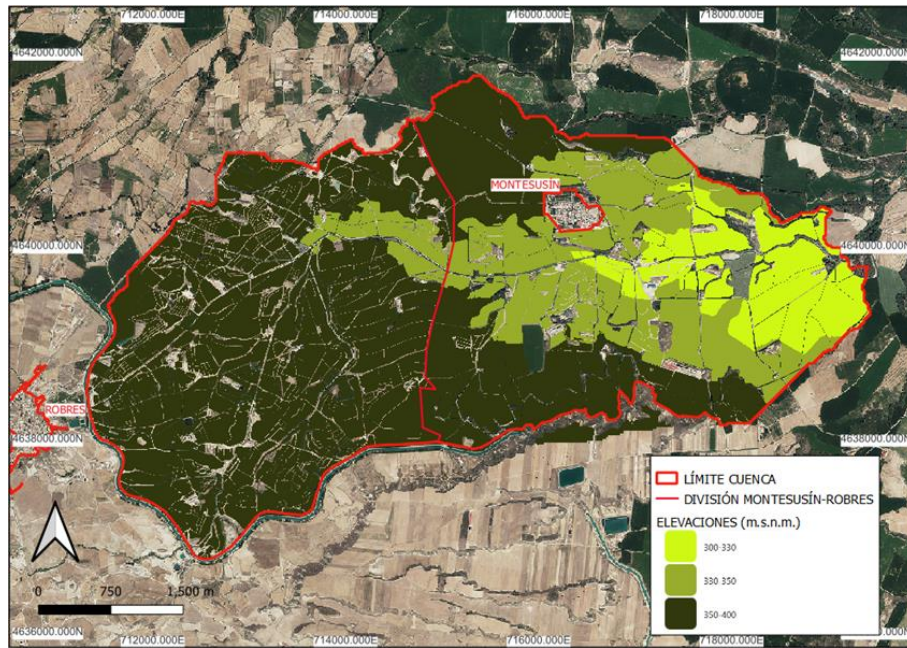


Figura 12: Mapa de elevaciones categorizadas en tres clases (verde claro: 300-330 m.s.n.m.-; verde intermedio: 330-350 m.s.n.m.; verde oscuro: 350-400 m.s.n.m). Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

La figura 13 muestra el mapa obtenido tras categorizar las pendientes de la cuenca en tres intervalos, inferiores al 2%, desde el 2% hasta el 5%, y las mayores al 5%; representadas por colores azules crecientes en intensidad. En la zona intermedia de la cuenca se ha representado una línea vertical en color rojo, la cual muestra la divisoria de ambos municipios, a la derecha Montesús y a la izquierda Robres.

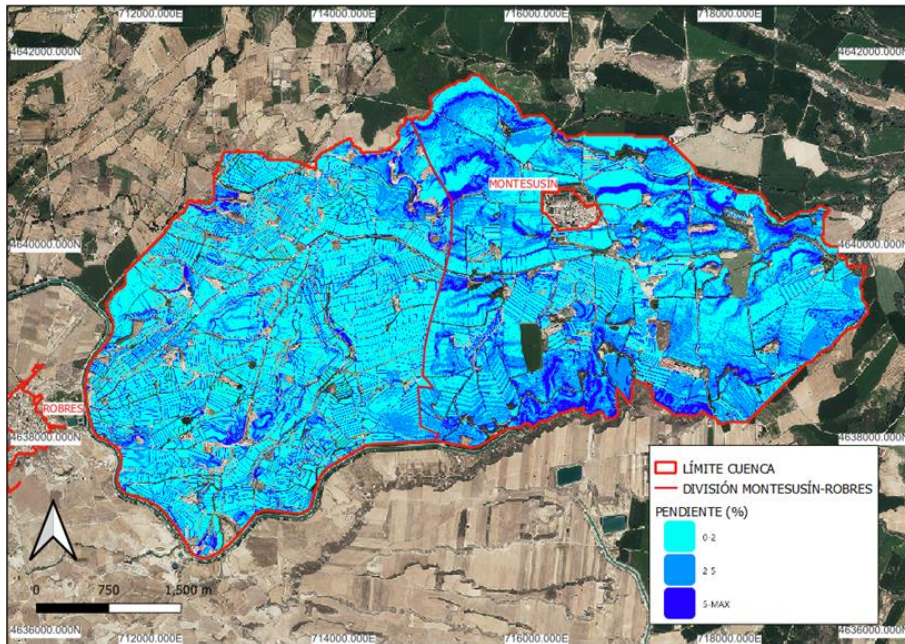


Figura 13: Mapa de pendientes categorizadas en tres clases (azul claro: 0-2 %; azul intermedio: 2-5 %; azul oscuro >5 %). Representación municipios Robres y Montesusín junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Se aprecia de forma muy clara como la homogeneidad de estas pendientes es superior en Robres y como esos valores pertenecen en su mayoría al intervalo del azul más claro, es decir, las pendientes inferiores al 2%, mientras que en Montesusín aparecen zonas más abundantes de las categorías con una pendiente superior. Esto se explica por la modernización de regadíos y concentración parcelaria que ha sufrido el municipio de Montesusín, en el que tras eliminar los abancalamientos para instalar el riego por aspersión las parcelas muestran la pendiente; mientras que al presentar Robres el sistema de riego por superficie, las parcelas tienen pendientes cercanas al 0%, quedando limitadas las pendientes mayores a las márgenes entre bancales o parcelas.

Con estos dos mapas ya nos podíamos hacer una idea de las posibles diferencias entre zonas de la cuenca, sin embargo nos faltaba información para enfocar de forma más concreta el estudio. Para ello se recurrió a obtener una capa **multibanda** mediante la combinación de 2 capas de elevación (bandas rojo y azul) y una capa de pendiente (banda verde), cuyo fin era el de conocer con exactitud la irregularidad general de la cuenca. Tras aplicar a esa capa formatos de colores se obtuvo un tercer mapa que nos aportara información más generalizada, no únicamente información concreta sobre los valores de elevación o pendiente en cada caso individual.

En la figura 14 se presenta esa capa **multibanda** georreferenciada dentro de los límites de la cuenca. En ella se han empleado dos categorías de colores, la primera muestra en color verde claro las mayores pendientes y en color verde oscuro las menores, mientras que la segunda muestra en colores rosa claro las mayores elevaciones y en color rosa oscuro las zonas más deprimidas.

Con el uso de esa capa multibanda fue posible encontrar patrones que nos ayudaron en la delimitación y descripción de esas macro unidades edáficas.

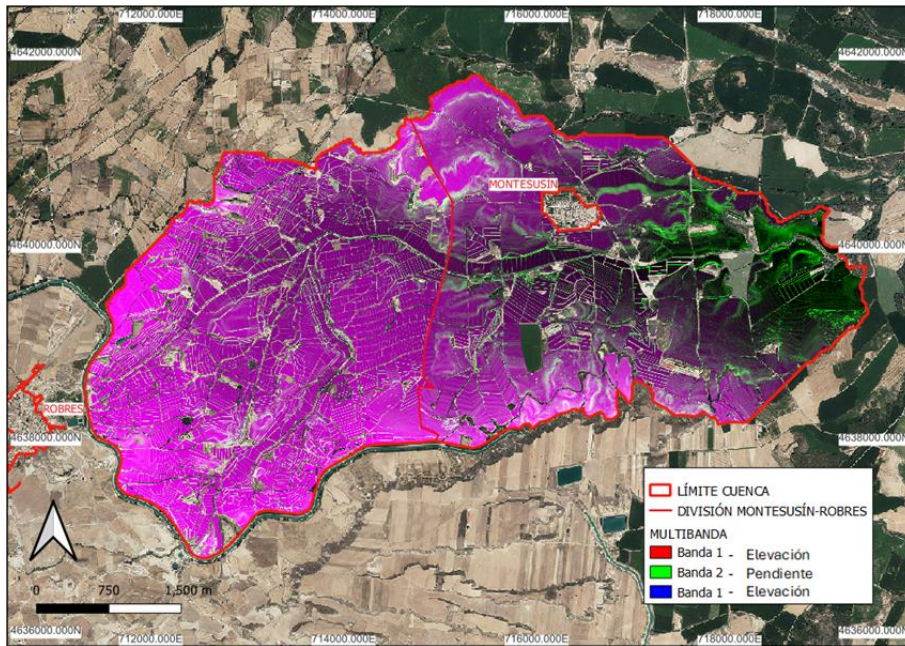


Figura 14: Mapa multibanda. Colores rosas claros expresan mayores elevaciones y rosas oscuros menores; colores verdes claros expresan mayores pendientes y verdes oscuros menores. Representación municipios Robres y Montesusín junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

3.2.1. DETERMINACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Con esta metodología de trabajo fue posible establecer varios puntos de muestreo que recogieran de la forma más representativa posible las diferencias observadas en la cuenca, en concreto 8, labor en la cual participaron ambas comunidades de regantes y los agricultores locales, que ayudaron mediante su criterio y disponiendo de las parcelas en las que no hubiera implantado ningún cultivo para evitar daños.

En la figura 15 se plasma la representación de esos ocho puntos de muestreo marcados y como fondo la capa multibanda, con el objetivo de justificar las notables diferencias para la selección de dicha disposición.

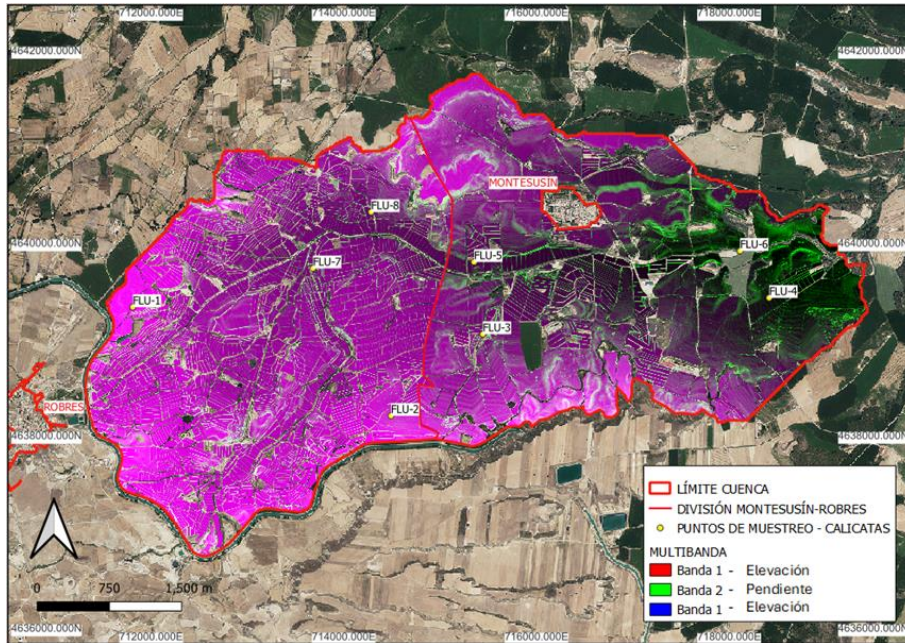


Figura 15: Disposición 8 puntos de muestreo para calicatas (FLU) en relación a la irregularidad de la cuenca indicada por la capa multibanda. Representación municipios Robres y Montesús junto con su divisoria. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

3.2.2. MUESTREO DE SUELO. DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES

Una vez estos 8 puntos habían sido dispuestos en los lugares más representativos de la cuenca, el siguiente paso fue, mediante una excavadora (figura 16), realizar un corte vertical del perfil del suelo hasta una profundidad aproximada de entre 1,5 y 2,5 metros dependiendo de la morfología observada en cada caso o de la proximidad esperada hasta el nivel freático.



Figura 16: Excavadora realizando uno de los perfiles. Foto: M. Sampérez

Con ello se buscaba realizar un corte perpendicular del perfil para poder observar, identificar y describir cada uno de los horizontes del pedión, tomando en todos los casos muestras de suelo que fueron enviadas al **Laboratorio Agroambiental** para obtener un análisis sobre los parámetros fisicoquímicos más relevantes para nuestro estudio.

Ese corte perpendicular a la superficie debía tener una base horizontal en el fondo para poder trabajar y una rampa para acceder a él de la forma más segura posible, resultando en una forma de trapecio rectángulo como se aprecia en la figura 17.

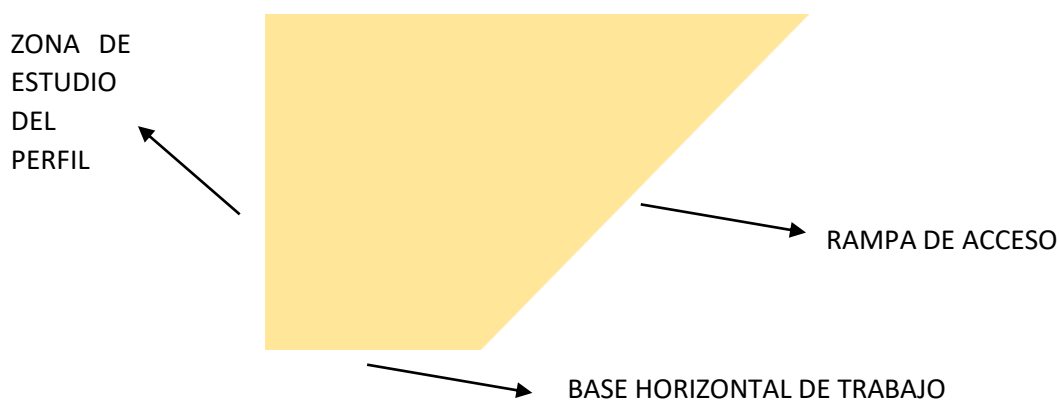


Figura 17: Esquema de la morfología del pedión para su estudio. Fuente: elaboración propia.

Una vez las calicatas habían sido abiertas por la excavadora, se procedió a la descripción de dichos perfiles, rellenando hojas de muestreo con toda la información necesaria de la morfología de los mismos y en base a los diferentes horizontes que allí se encontraban.

En los casos en los que nos resultó posible, se tomaron muestras de densidad aparente, cuyo proceso de determinación aparece detallado en el apartado 3.2.3 de este trabajo referente a los análisis de las muestras de suelo.

Con todos estos datos, (descripciones de los perfiles y resultados analíticos), preparamos un boletín para cada uno de los perfiles que fue entregado a los agricultores para, de esta forma, ayudar en el conocimiento en profundidad de sus suelos y posibilitar un mejor manejo agronómico de los mismos. La información recogida en las hojas de muestreo se encuentra dentro del Anejo I referente a las descripciones de calicatas y sondeos.

Destacar que en determinadas calicatas, en concreto las referentes a los puntos de muestreo FLU-4, FLU-5, FLU-6 y FLU-7, debido a su localización y gracias en algún caso a la mayor profundidad de excavación fue posible alcanzar el nivel freático, lo cual fue una información relevante para el mayor conocimiento de la cuenca. Para su estudio en profundidad se tomaron muestras de esos freáticos y se midió su conductividad eléctrica. Posteriormente, se caracterizaron las elevaciones absolutas en metros sobre el nivel del mar de esos freáticos para conocer si se trata del mismo o si por el contrario se trataba de freáticos aislados ligados al regadío.

3.2.3. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE LAS MUESTRAS DE SUELO

Tal y como se ha comentado, en cada uno de los horizontes de las ocho calicatas realizadas se tomaron muestras que fueron enviadas al *Laboratorio Agroambiental* para el análisis de las siguientes propiedades fisicoquímicas:

- ✓ GRANULOMETRÍA (USDA): Porcentajes de arcilla, arena y limo
- ✓ pH (1,2,5)
- ✓ PRUEBA PREVIA DE SALINIDAD (CE 1:5)
- ✓ CONTENIDO EN MATERIA ORGÁNICA
- ✓ CARBONATO CÁLCICO EQUIVALENTE
- ✓ CALIZA ACTIVA
- ✓ MACRONUTRIENTES: Nitrógeno (NO₃), Fósforo Olsen, Potasio y Magnesio (ambos extraídos por acetato amónico)
- ✓ SALINIDAD DE LA PASTA SATURADA: Porcentaje de Saturación, Calcio, Magnesio y Sodio. Solamente cuando la conductividad eléctrica del extracto 1:5 superaba los 0,2 dS/m
- ✓ MICRONUTRIENTES (EXTRACCIÓN EDTA): Hierro, Cobre, Manganeseo y Cinc

En cada una de las cuatro calicatas en las que fue posible realizar el análisis de la Densidad Aparente se emplearon cilindros metálicos huecos que se introdujeron en la cara plana del perfil utilizando una maza y un cabezal para extraer una pequeña cantidad de suelo sin alterar. Se tomaron tres muestras correspondientes a tres repeticiones por cada uno de los horizontes encontrados, lo que consistió en 13 horizontes distintos con un total de 39 muestras.

Dichas muestras fueron manipuladas en el laboratorio de la Escuela Politécnica Superior de Huesca (EPSH) tal y como se muestra en la figura 18:



Figura 18: Proceso de pesado de las bandejas con las muestras de suelo para el cálculo de la Densidad Aparente. Foto: M. Sampérez.

El proceso de análisis consistió en sacar las 39 muestras del cilindro, y tras medir el volumen de dichos cilindros, se dejaron durante una semana a la temperatura de 105°C para su correcto secado.

Una vez habían perdido todo el contenido de humedad, se pesaron obteniendo el valor de densidad aparente mediante la aplicación de la ecuación 2:

$$\begin{aligned} \text{Densidad Aparente } \left(\frac{g}{cm^3} \right) &= \frac{\text{Peso neto } (g)}{\text{Volumen } (cm^3)} \\ &= \frac{\text{Peso seco } (g) - \text{Tara cilindro } (g)}{\text{Altura cilindro } (cm) \times \text{PI} \times \text{Radio cilindro}^2 (cm^2)} \end{aligned}$$

Ecuación 2: Cálculo de la Densidad Aparente. Fuente: elaboración propia.

3.2.4. SEGUNDO MUESTREO DE SUELO

Una vez habían sido descritos todos los horizontes de las ocho calicatas y se habían obtenido los resultados del análisis de laboratorio, se realizó una segunda tanda de muestreos para alcanzar los siguientes objetivos:

1. Necesaria mejor caracterización de las plataformas.
2. Necesario caracterizar las zonas intermedias.
3. Mayor representatividad de la salinidad en el cauce.
4. Mayor discriminación del fondo.

En esta segunda actuación se pretendía abarcar un mayor número de puntos representativos de esas zonas concretas de las cuales no se tenía suficiente información o era necesario conocer con exactitud si era posible considerarlas como iguales unidades de suelos a las determinadas mediante el trabajo con las distintas capas mediante QGIS.

Así pues, y dado el bajo presupuesto disponible, se recurrió a realizar sondeos mediante la barrena *Edelman* que no aporta información tan precisa como las calicatas, pero su menor coste, el no provocar daños sobre las parcelas cultivadas, así como la representatividad de los resultados hizo decantarse por este procedimiento.

Con dicha barrena fue posible muestrear 12 parcelas en las que se avanzaba en el perfil del suelo, tomando muestras de cada uno de los estratos encontrados, conociendo en todo momento la profundidad a la que nos encontrábamos, llegando hasta los 120 centímetros, incluso se alcanzó en uno de los doce puntos de sondeo el nivel freático.

De esta forma era posible diferenciar los distintos horizontes encontrados por sus diferencias tanto en color como en humedad, lo que condicionaba la resistencia ofrecida ante el avance de la barrena, como se aprecia en la figura 19:



Figura 19: Proceso de obtención de muestras con la barrena Edelman. Foto: M. Sampérez.

Así pues, mediante esos doce puntos de sondeo, diferenciando cada uno de los horizontes encontrados y gracias a la toma de muestras independientes en todos ellos, fue posible recoger nuevas muestras con las que reforzar las hipótesis de coincidencia en las unidades de suelos, o determinar nuevas unidades geomorfológicas.

Esas muestras fueron llevadas al invernadero de la EPSH, donde se distribuyeron ordenadamente para su proceso de secado al aire y posterior molienda hasta un tamaño de partícula de 2 mm (figura 20), con los objetivos de facilitar el primer análisis que se quería llevar a cabo al igual que disminuir los costes del análisis textural de laboratorio y agilizar dicho proceso.



Figura 20: Distribución muestras suelo para su secado al aire. Foto: M. Sampérez.

Una vez ya habían sido molidas a ese tamaño de partícula inferior a 2 mm, se llevaron al laboratorio, donde se tomó una pequeña parte de la muestra (aproximadamente 100 g de suelo) para ser enviada al *Laboratorio Agroambiental* donde se llevaría a cabo tanto el análisis de granulometría como de la pasta saturada. Se continuó en la EPSH con el análisis de la conductividad eléctrica de las muestras mediante el extracto suelo agua

1:10 con el objetivo de tener una primera información acerca de la movilidad de las sales en la profundidad del perfil.

Así pues, se pesaron 5 gramos de suelo para disolverse en 50 ml de agua destilada, disolución que tras ser filtrada se midió mediante un conductímetro de laboratorio tal y como se aprecia en las figuras 21 y 22:



Figura 21: Filtrado de las muestras de suelo.
Foto: M. Sampérez

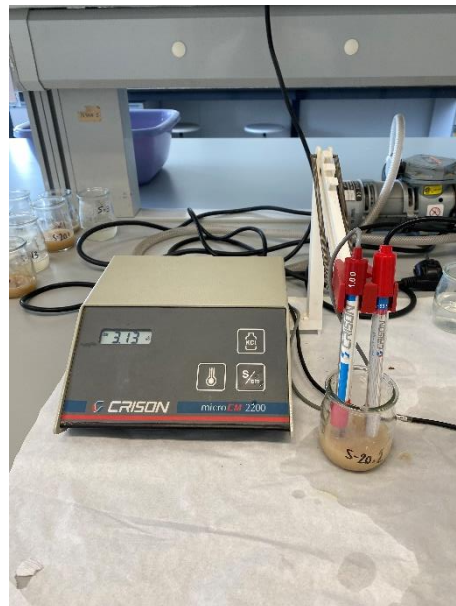


Figura 22: Medición conductividad muestras suelo filtradas. Foto: M. Sampérez

3.3. VARIABILIDAD A NIVEL DE PARCELA

3.3.1. VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO A NIVEL DE PARCELA

Una vez ya se había caracterizado el suelo de la cuenca y se tenían definidas y delimitadas correctamente todas las unidades edáficas a pequeña escala, se pasó a trabajar con la variabilidad intraparcelaria para conocer el desarrollo de los cultivos en dichas parcelas y tratar de relacionarlo con las propiedades de los suelos.

Así pues, se aumentó la escala de trabajo tomando como referencia algunas de las parcelas sobre las que se habían realizado sondeos o calicatas ya que se tenían datos de suelo para emplearse en un análisis estadístico conjunto con los datos de cultivo. En concreto se tomaron 12 parcelas distribuidas sobre las cinco unidades edáficas más representativas, tal y como se aprecia en la figura 23, descartando las unidades de asociación salina y lutitas por no encontrar sobre ellas datos representativos de cultivos.

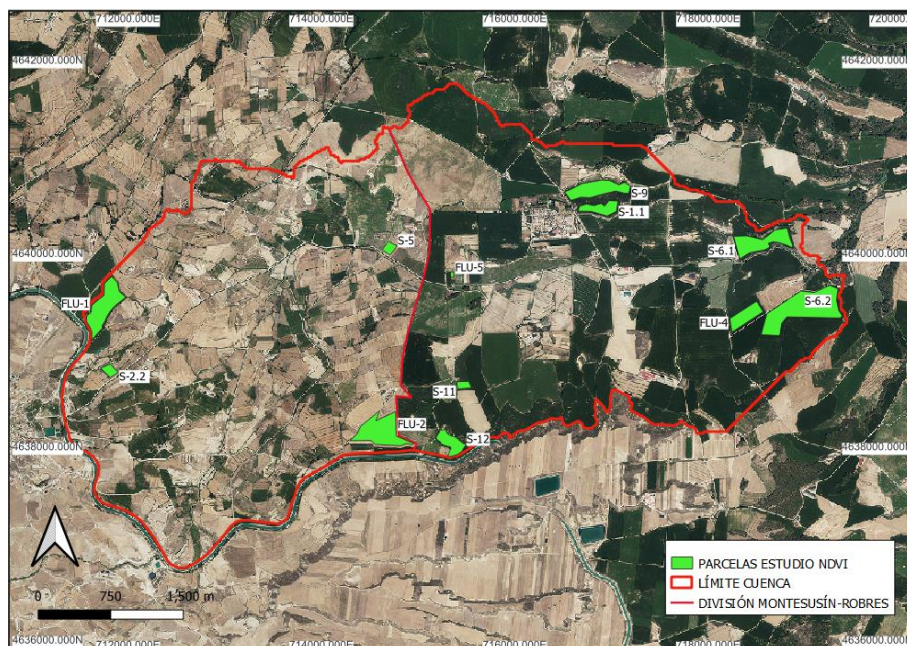


Figura 23: Mapa sobre la distribución de las 12 parcelas para el estudio del NDVI. Representación divisoria municipal, fondo ortofoto PNOA. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Sobre esas 12 parcelas se empleó el software de Copernicus Browser (Copernicus, 2024) tomando como fuente las imágenes del satélite Sentinel 2 para conseguir información del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) de los cultivos de esas parcelas para los últimos 5 años, obteniendo archivos en formato de texto delimitado por tabulaciones, los cuales podían procesarse mediante una hoja de cálculo, en concreto con Excel. Dicho archivo contenía la información respectiva al NDVI de toda la parcela para imágenes diarias, extrayendo valores máximos, mínimos y medios de la parcela así como la desviación estándar, mediana y percentiles 10 y 90, que concretaban la variabilidad media del desarrollo del cultivo para esa fecha concreta.

Se pretendía evaluar el desarrollo de los últimos cultivos en esas parcelas y compararlos en función de las distintas unidades edáficas a las que pertenecían, para lo que se empleó una metodología concreta en la que se tomaban tres datos referentes a distintos momentos del ciclo de desarrollo de cada cultivo, eliminando todas las imágenes que presentaran dispersión atmosférica, y en base al siguiente criterio:

- 1- **Crecimiento:** Primer dato tras 3 valores seguidos de ascenso, $NDVI < 0,4$.
- 2- **Madurez:** Valor máximo del NDVI para todo el ciclo del cultivo.
- 3- **Senescencia:** Primer dato tras 3 valores seguidos en descenso, $NDVI < 0,9$.

La figura 24 muestra el procedimiento para la toma de los valores en cada uno de esos tres estadios del cultivo, apreciándose en el eje horizontal la evolución temporal y en el eje vertical el valor del NDVI.

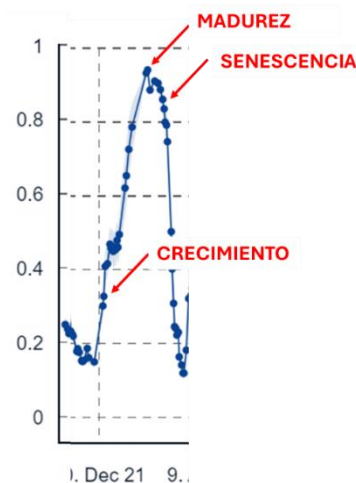


Figura 24: Ejemplo toma valores NDVI en crecimiento, madurez y senescencia. Fuente: elaboración propia a partir de Copernicus (2024).

Siguiendo el criterio empleado en el estudio de Ren et al. (2023), se emplearán abreviaturas para esos momentos, designando al momento 1 de crecimiento como **SOS** (Start of Season) o inicio de la temporada, al momento 2 o de madurez se le designa como **PICO** por ser el valor máximo de desarrollo, y al momento 3 o de senescencia se le designa como **EOS** (End of Season) o fin de la temporada como traducción del inglés.

La tabla 1 presenta un ejemplo de los valores obtenidos para un cultivo de cebada llevado a cabo en la parcela FLU-4 durante el año 2020, apreciando las fechas para cada uno de esos tres momentos y los valores que toma el NDVI.

Tabla 1: Fecha y valores NDVI cultivo cebada en función del momento. Fuente: elaboración propia.

| CULTIVO | MOMENTO | FECHA | NDVI MEDIO PARCELA |
|---------------------------|---------------|----------|--------------------|
| CEBADA 2020 (FLU-4) | 1-SOS | 26 Enero | 0,295 |
| | 2-PICO | 3 Abril | 0,937 |
| | 3-EOS | 28 Mayo | 0,594 |

Para este estudio se tomaron solamente cultivos anuales, descartando forrajes bien anuales o plurianuales como es el caso de la alfalfa ya que en estos casos resulta muy difícil encontrar valores precisos para los momentos SOS y EOS al aplicar nuestra metodología debido a los rápidos crecimientos y a la eliminación de las senescencias por las siegas. Así pues, se limitó a la evaluación de los cereales de invierno tomando como referencia la cebada, y los cereales de verano con el maíz como predominante. En la figura 25 se presenta la información de una parcela en la que se cultivó alfalfa entre los años 2019 y 2021 (rodeado en rojo), apreciándose los múltiples crecimientos anuales del cultivo, seguido de un cultivo de cebada con pico de madurez en Mayo del 2022 y un maíz de segundo cultivo con pico de madurez pasado Agosto del 2022.

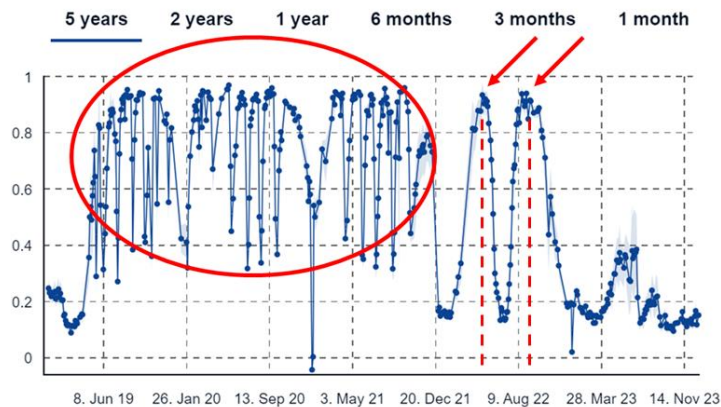


Figura 25: Evolución de los cultivos en la parcela S-11 para los últimos 5 años. Rodeado en color rojo se indica un cultivo plurianual de alfalfa, las flechas rojas indican los momentos de madurez de dos cultivos de cebada y maíz respectivamente. Elaboración propia a partir de imágenes del satélite Sentinel 2 con 0% dispersión atmosférica. Fuente: Copernicus (2024).

En la figura 26 se presenta la evolución temporal de los cultivos de la parcela FLU-4 durante los cinco últimos años como ejemplo de las parcelas seleccionadas para este estudio. Se puede diferenciar por las fechas entre cultivos de invierno y de verano, y dentro del último grupo entre los cultivos principales y los cultivos secundarios (maíz de segunda cosecha tras cultivo de cebada) ya que su madurez es posterior.

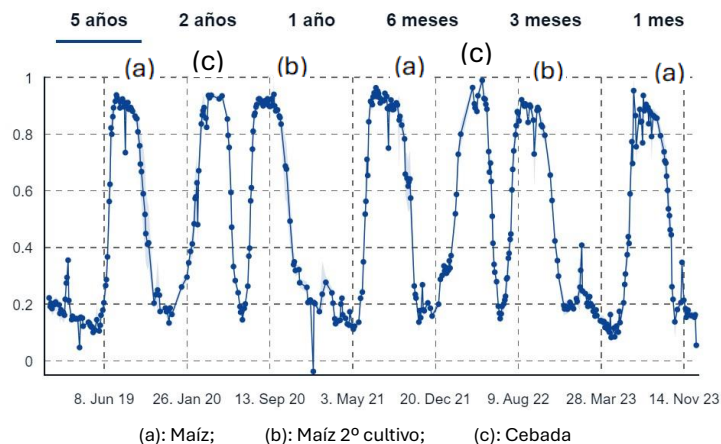


Figura 26: Evolución de los cultivos en la parcela FLU-4 para los últimos 5 años. Distintas letras indican el cultivo. Elaboración propia a partir de imágenes del satélite Sentinel 2 con 0% dispersión atmosférica. Fuente: Copernicus (2024).

Para el estudio estadístico se diferencia entre cuatro unidades de suelo (Plataformas, Laderas, Fondo y Fondo Hidromorfo) tras descartar las unidades 2 y 3 (Lutitas y Asociación Salina) por no poder discriminar cultivos y no tener valores relevantes del NDVI; y se agrupó la unidad 4 (Cauce) dentro de la unidad 5 (Fondo) debido a que por su similitud estructural no se encontraron diferencias significativas en los primeros análisis realizados.

Respecto a los momentos de desarrollo, se estudian los tres estados anteriormente descritos 1-SOS (crecimiento), 2-PICO (madurez) y 3-EOS (senescencia), así como un cuarto valor referente a la media del cultivo (4-MEDIA) como promedio de los tres valores anteriores; diferenciando entre cultivos de verano (cebada) e invierno (maíz).

3.3.2. VARIABILIDAD DE UNA PARCELA CON DOS UNIDADES DE SUELO

Para discriminar de forma más consistente las diferencias en la evolución de un cultivo para dos unidades edáficas diferentes y evaluar así cuál es el comportamiento exacto de los cultivos en cada una de ellas se procedió a tomar una parcela que incluyera dos unidades de suelo diferentes, ya que así se asegura un manejo homogéneo (fecha de siembra, fertilización, riego, aplicación de fitosanitarios y cosecha). En particular se pretendía estudiar las diferencias entre las **plataformas** y **laderas**, por lo que se tomó una parcela del municipio de Montesusín, en concreto se trató de la compuesta por las parcelas 43 y 159 del polígono 14, con una superficie aproximada de 21 hectáreas, y que presentaba las dos unidades deseadas.

Para este estudio se recurrió a tomar seis polígonos de aproximadamente 1.000 m² de superficie aleatoriamente sobre cada una de las dos unidades edáficas que componen la parcela de estudio (plataforma y ladera). Sobre esos polígonos se obtuvieron los datos referentes al NDVI de los cultivos de los últimos 5 años, y se tomaron las imágenes para las mismas fechas en cada uno de los tres momentos (SOS, PICO y EOS) para cada cultivo, asegurándonos de que se evaluaban los cultivos de una forma equitativa desde su fecha de siembra, pudiendo obtener conclusiones relevantes acerca de la evolución de los cultivos en función de la unidad de suelo en la que se encuentre, asumiendo manejos agronómicos homogéneos en base a la fecha de siembra, riego y fertilización.

En la figura 27 puede apreciarse como ha sido esa distribución de los doce recintos dispuestos homogéneamente sobre cada una de las dos unidades presentes. En color verde los referentes a la unidad de ladera y en color rojo los de la unidad plataforma. En color azul aparece delimitada la superficie total de la parcela.

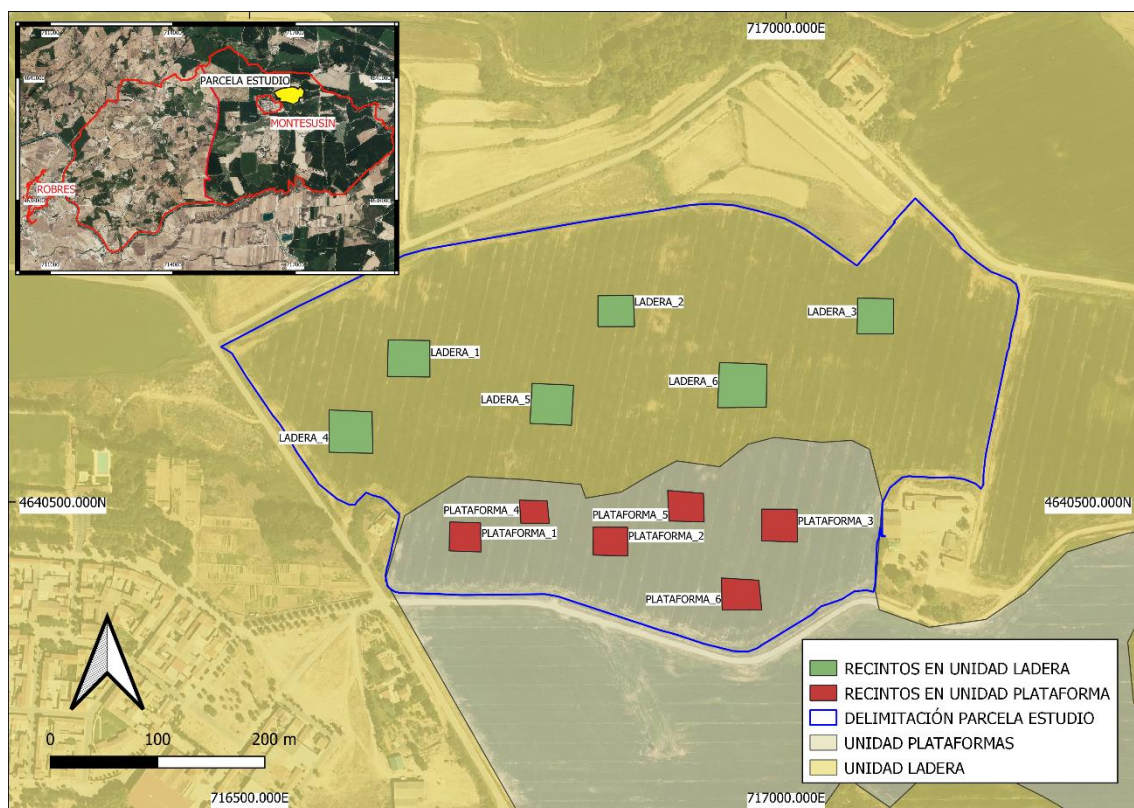


Figura 27: Representación polígonos sobre parcela de estudio y ubicación concreta en la cuenca de estudio; de fondo unidad Ladera y unidad Plataforma. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

La parte del análisis estadístico de este trabajo estaba destinada fundamentalmente al estudio de la variabilidad en el suelo y las diferencias existentes entre las unidades edáficas para reforzar el mapa de suelos elaborado, por lo que se trabajó fundamentalmente con la información de los cultivos obtenidos mediante Copernicus en forma del índice NDVI; si bien se incluye un estudio de las relaciones de los parámetros fisicoquímicos de los que se tiene información de los análisis de laboratorio y de su influencia sobre los cultivos analizados.

A través del programa informático **IBM SPSS Statistics (V26)** del que se dispone de licencia de uso se pudo llevar a cabo el trabajo estadístico, obtener así los principales estadísticos descriptivos y realizar las pruebas estadísticas siguientes, trabajando con un nivel de significación del 95%:

3.4.1. VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO HOMOGÉNEAS

En primer lugar se analiza si las variables dependientes NDVI y desviación estándar del NDVI siguen una distribución normal; y después se analiza el efecto en dichas variables de la unidad de suelo en la que se localiza cada parcela, el tipo de cultivo (invierno/verano) y el momento en el que se miden (SOS, crecimiento o EOS).

No se tienen datos suficientes para estudiar la triple interacción mediante un modelo que incluya los tres parámetros (suelo, momento, cultivo), por lo que para cada parcela se estudia tanto el valor del NDVI como su desviación estándar (indicador de la variabilidad en ese momento) en dos fases:

- I. ESTUDIO DEL SUELO Y CULTIVO EN FUNCIÓN DEL MOMENTO.
En primer lugar, se realiza un análisis univariado de varianza para 2 factores (unidad de suelo y tipo de cultivo), es decir, estudiando de forma independiente el valor del **NDVI** y el de su **desviación estándar** para los 4 momentos de desarrollo del cultivo, considerándolos independientemente.
- II. ESTUDIO DEL MOMENTO Y SUELO SIN CONSIDERAR EL CULTIVO.
Posteriormente, para comprobar si hay alguna interacción por el momento de toma de datos, se realiza un análisis univariado de varianza del NDVI y la desviación estándar del NDVI con 2 factores en el que se estudia en analiza la influencia de la **unidad de suelo** y del **momento** de desarrollo del cultivo.

3.4.2. VARIABILIDAD DE UNA PARCELA CON DOS UNIDADES DE SUELO

Se analiza el desarrollo de los cultivos de verano y de invierno en una parcela que tiene dos unidades de suelo: plataforma y ladera, en los tres momentos de crecimiento (SOS, PICO y EOS).

Se evaluará la distribución de los datos y se realiza un análisis univariado de varianza para 2 factores (unidad de suelo y tipo de cultivo), para el p90-**NDVI** y la **desviación estándar** del NDV para los 3 momentos de desarrollo del cultivo, considerándolos independientemente.

3.4.3. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES

Se analiza la influencia conjunta de las propiedades fisicoquímicas del suelo y del entorno sobre los parámetros de cultivo determinados por el NDVI.

Se hace un análisis de correlaciones entre las siguientes variables, se obtiene el coeficiente de correlación de *Spearman* y el nivel de significación (95 %):

Unidad de suelo; tipo de cultivo; año; NDVI momento 1-SOS; NDVI momento 2-PICO; NDVI momento 3-EOS; NDVI medio cultivo; desviación estándar NDVI media cultivo; desviación estándar NDVI momento 1-SOS; desviación estándar NDVI momento 2-PICO; desviación estándar NDVI momento 3-EOS, superficie de la parcela (ha); elevación y pendiente media de cada parcela; tipo de riego; porcentaje de arcilla; porcentaje de arena; profundidad del nivel freático; profundidad de aparición de mancha de oxido-reducción; materia orgánica del horizonte superficial; salinidad máxima; salinidad media; y salinidad mínima.

También se hace un análisis de componentes principales entre las variables citadas y se represente el gráfico de cargas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. VARIABILIDAD DE LOS SUELOS A NIVEL DE CUENCA

4.1.1. MAPA DE SUELOS A NIVEL DE CUENCA

Los suelos de la cuenca de estudio pueden agruparse dentro de siete unidades edáficas homogéneas y diferentes entre sí, las cuales se identifican en el mapa que representa la figura 28:

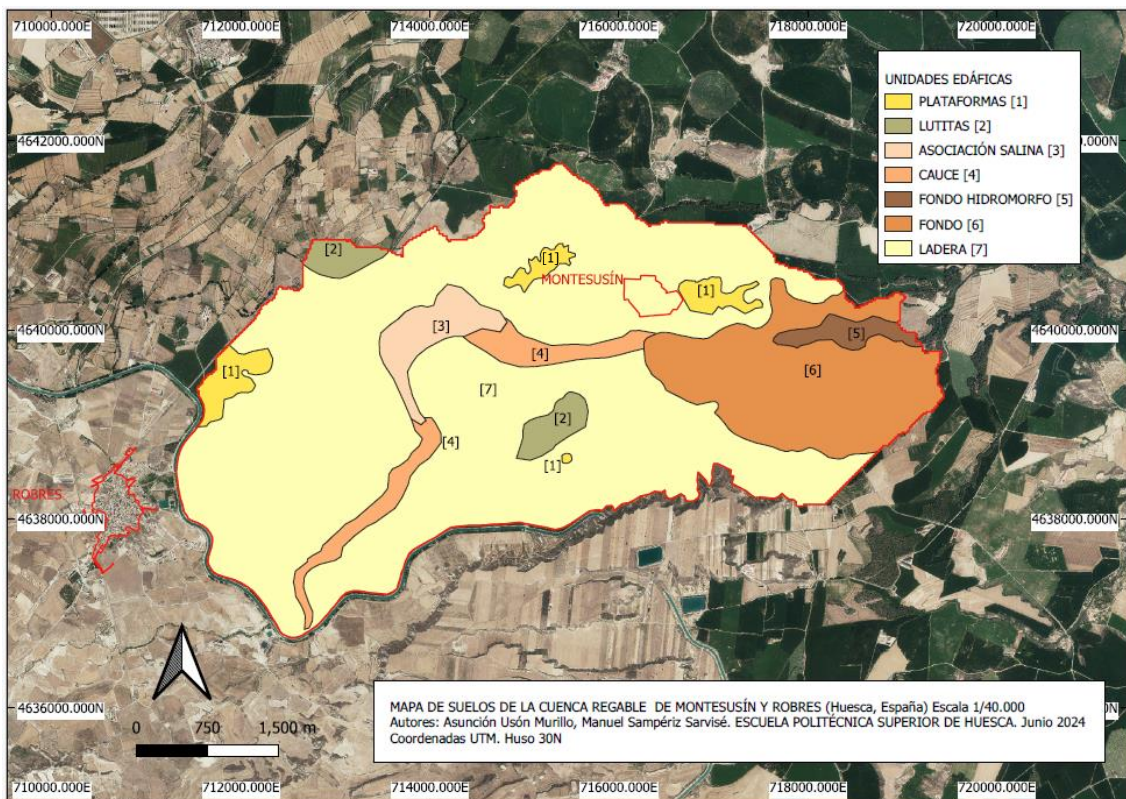


Figura 28: Mapa de suelos de la cuenca regable de Montesús y Robres. Se diferencian por colores las 7 unidades edáficas homogéneas descritas. Sistema de coordenadas: WGS84/UTM zona 30N. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Como puede apreciarse, la unidad con mayor peso por superficie ocupada se trata de la **Ladera**, mientras que la de menor representación es el **Fondo Hidromorfo**. Puede apreciarse el cauce ya descrito y su evolución hasta la zona en la que aparecen las dos unidades más deprimidas como son el **Fondo** y aún más el **Fondo Hidromorfo**. Dentro del **Cauce** y en la mitad aproximada de la cuenca se encontró una zona con alta acumulación de sales debido a la presencia de un freático colgado muy superficial que recibe la designación de **Asociación Salina** y que no permite el cultivo de cereales u otras especies vegetales. En dos ubicaciones concretas y aisladas de la cuenca aparecen dos zonas de suelos muy poco evolucionadas y que se nombran como **Lutitas**. Por último, las zonas de suelos más evolucionados son las **plataformas**, de mayor elevación y con localizaciones también aisladas.

En la tabla 2 se detalla la clasificación de cada unidad de suelos homogénea así como la superficie que ocupa cada una respecto al total de superficie de la cuenca y su porcentaje.

Tabla 2: Superficie que ocupa cada unidad de suelos y su porcentaje sobre el total de la cuenca. Fuente: elaboración propia.

| UNIDAD | CLASIFICACIÓN SOIL TAXONOMY | SUPERFICIE (ha) | PORCENTAJE |
|----------------------|--|-----------------|------------|
| 1- PLATAFORMA | Calcixerept petrocálcico, franco fino | 68,6121 | 3,02% |
| 2- LUTITAS | Xerorthent típico, fino | 53,093 | 2,33 % |
| 3- ASOCIACIÓN SALINA | Haploxeroll aquíco, limoso fino Calcixerept nátrico, fino y Xerorthent oxyaquíco, fino | 65,529 | 2,88 % |
| 4- CAUCE | Xerorthent oxyaquíco, fino, fase ligeramente salina | 87,039 | 3,82 % |
| 5- FONDO HIDROMORFO | Xerorthent aquíco, franco fino | 30,837 | 1,35 % |
| 6- FONDO | Xerorthent oxyaquíco, franco fino | 339,499 | 14,90 % |
| 7- LADERA | Haploxerept cálcico, limoso fino | 1.633,453 | 71,70 % |
| | | 2.278,062 | |

4.1.2. DESCRIPCIÓN DE UNIDADES EDÁFICAS

Dichas unidades fueron definidas y descritas en base a los criterios de Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022) y a continuación se presenta una descripción detallada de las características generales para cada una de ellas:

Unidad 1: Plataformas

Los suelos de la unidad 1 se clasifican como *Calcixerept petrocálcico*, franco (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU1 (Anejo 1).

Se caracterizan por ser poco profundos, bien drenados, de textura franca y con muy abundantes elementos gruesos a partir de 80 cm. Su capacidad de retención del agua es baja.

Aparece en plataformas con pendiente muy suave (< 1%) a distintos niveles. Estos suelos presentan acumulaciones de carbonato cálcico muy frecuentes en nódulos friables primero y después como cemento geopetal.

La secuencia típica de horizontes es Ap – Bwk – 2Ckm – 3C.

Esta unidad representa el 3,01 % de la superficie total de la cuenca (tabla 2).

En la tabla 3 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 1.

Tabla 3: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 1. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | Clase textural |
|------------------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | |
| A ₁ | 0-15 | 27,67 | 27,01 | 13,96 | 31,36 | 4,80 | 0,25 | Franca |
| A ₂ | 15-50 | 30,09 | 23,89 | 12,92 | 33,11 | 2,19 | 0,3 | Franca-Arc |
| B _k | 50-80 | 32,27 | 28,78 | 17,23 | 21,72 | 0,38 | 0,4 | Franca-Lim |
| 2CK _m | 80-125 | 49,41 | 23,27 | 6,83 | 20,49 | 0,34 | 1,4 | No |
| 3C | 125-160 | 4,12 | 49,95 | 5,83 | 40,10 | 0,60 | 0,5 | No |

Sus principales características son la pedregosidad, el alto contenido en carbonatos y la presencia de un horizonte petrocálcico a menos de 80 cm de profundidad, así como valores de materia orgánica que descienden bruscamente en profundidad y una limitada capacidad de retención de humedad, lo que los hace aptos para el cultivo pero con limitaciones derivadas de su bajo espesor y altos contenidos de carbonatos y pedregosidad (Gobierno de Navarra, 2024).

Unidad 2: Laderas con lutitas a poca profundidad

Los suelos de la unidad 2 se clasifican como *Xerorthent típico*, fino (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU3 (Anejo 1).

Son suelos de poca profundidad, moderadamente bien drenados, de textura fina y con baja presencia de elementos gruesos en superficie. Su capacidad de retención del agua es moderada.

Aparece en laderas de pendiente suave (2%). Estos suelos no presentan acumulaciones de carbonato cálcico y el material originario (lutitas) se presenta sin alterar a unos 60 cm.

La secuencia típica de horizontes es Ap – B/C – C (lutitas).

Esta unidad representa el 2,33 % de la superficie total de la cuenca (tabla 2).

En la tabla 4 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 2.

Tabla 4: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 2. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | Clase textural |
|-----------------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | |
| A _p | 0-30 | 15,46 | 41,15 | 9,48 | 33,92 | 2,54 | 0,35 | Frc-Arci-Lim |
| B _{w1} | 30-60 | 7,70 | 42,79 | 8,42 | 41,10 | 0,84 | 0,55 | Arci-Lim |
| C lutitas | 60-130 | 0,92 | 52,77 | 2,15 | 44,16 | 0,52 | 1,3 | No |

Son similares a los descritos por (ICGC, 2024) dentro de la serie tipo Farner como moderadamente profundos, bien drenados y con texturas medias, sin muchos elementos gruesos. Desarrollados sobre margas grises y/o areniscas en laderas con

pendientes moderadas o abruptas, presentando poco desarrollo edáfico y un horizonte C antes de los 80 cm en forma de marga o arenita.

Unidad 3: Complejo de suelos salinos

Los suelos de la unidad 3 se clasifican como *Haploxeroll aquíco*, limoso fino Calcixercept nátrico, fino y Xerorthent oxyaquíco, fino (Soil Survey Staff, 2022), con fases de ligeramente salina a salina y representada por los perfiles FLU7 y FLU8 (Anejo 1).

Son profundos, de moderadamente bien drenados a mal drenados, de textura fina y sin elementos gruesos en superficie. Su capacidad de retención del agua es moderada. Aparece en fondos de pendiente muy suave (< 1%) y la característica en común de este complejo de suelos es la limitación en el drenaje que provoca los problemas de salinidad.

Esta unidad se localiza en el municipio de Robles, dónde no se ha realizado la modernización de regadíos ni la concentración parcelaria, y por ello las parcelas más afectadas se dejan sin cultivar, razón por la cual se encuentran valores muy altos en el contenido de materia orgánica por la acumulación de los restos de las especies vegetales que crecen bajo esas condiciones de abandono.

La secuencia típica de horizontes es A – Bwk1 – Bwk2 – C.

Representa el 2,88 % de la superficie de la cuenca (tabla 2), aunque las limitaciones de uso no afectan a toda la superficie.

En la tabla 5 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 3.

Tabla 5: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 3. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | Clase textural | |
| A | 0-40 | 19,91 | 42,88 | 9,00 | 28,21 | 7,35 | 2,03 | Frc-Lim | 0,96 |
| Bwk1 | 40-80 | 6,45 | 49,21 | 8,43 | 36,25 | 1,17 | 3,80 | Frc-Lim | 1,555 |
| Bwk2 | 80-110 | 4,96 | 50,80 | 9,71 | 34,53 | 0,91 | 3,30 | Frc-Lim | 1,645 |
| C | 110-130 | 8,70 | 48,51 | 10,39 | 32,41 | 0,77 | 2,95 | Frc-Lim | |

Al tratarse de una unidad de suelos con alta salinidad se procedió a realizar el análisis de la pasta saturada, en la tabla 6 aparecen los resultados.

Tabla 6: Resultados análisis pasta saturada para la unidad 3. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Salinidad (Pasta saturada) | | | | |
|-----------|------------|----------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|
| | | CE (extr) dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L |
| A | 0-40 | 8,14 | 48,13 | 18,74 | 41,33 | 59,77 |
| Bwk1 | 40-80 | 14,96 | 58,88 | 28,21 | 100,41 | 109,85 |
| Bwk2 | 80-110 | 11,52 | 53,88 | 27,81 | 70,39 | 81,67 |
| C | 110-130 | 11,01 | 55,13 | 27,85 | 57,27 | 66,14 |

Unidad 4: Cauce

Los suelos de la unidad 4 se clasifican como Xerorthent oxyaquico, fino, fase ligeramente salina (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU5 (Anejo 1).

Son suelos muy profundos, moderadamente bien drenados, de textura fina y sin elementos gruesos. Su capacidad de retención del agua es muy alta.

Aparece en la parte alta y baja del antiguo cauce del río con una pendiente suave (1-2 %). Estos suelos presentan acumulaciones de carbonato cálcico vermiformes y el nivel freático se estabilizó a 240 cm (enero 2023).

La secuencia típica de horizontes es Ap – Bwk – Bw1 – Bw2.

Esta unidad representa el 3,82 % de la superficie de la cuenca (tabla 2).

En la tabla 7 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 4.

Tabla 7: : Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 4. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | Clase textural | |
| Ap | 0-40 | 9,08 | 42,56 | 8,65 | 39,72 | 2,63 | 0,80 | Frc-Arci-Lim | 1,51 |
| Bwk | 40-75 | 2,86 | 45,18 | 4,87 | 47,10 | 1,07 | 1,85 | Frc-Arci-Lim | 1,55 |
| Bw1 | 75-150 | 4,15 | 48,95 | 13,04 | 33,87 | 0,84 | 1,40 | Frc-Lim | 1,61 |
| Bw2 | 150-240 | 12,15 | 50,50 | 6,67 | 30,68 | 0,72 | 0,50 | Frc-Arci-Lim | 1,58 |

Unidad 5: Fondo hidromorfo

Los suelos de la unidad 5 se clasifican como Xerorthent aquico, franco fino (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU6 (Anejo 1).

Son profundos, imperfectamente drenados, de textura fina y sin elementos gruesos. Su capacidad de retención del agua es alta.

Aparece en la parte más baja de la cuenca con una pendiente suave (1-2 %). Estos suelos presentan morfologías de hidromorfismo y el nivel freático se estabilizó a 155 cm (enero 2023).

La secuencia típica de horizontes es Ap – Bw – Bg.

Esta unidad representa el 1,35 % de la superficie de la cuenca (tabla 2).

En la tabla 8 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 5.

Tabla 8: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 5. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | Clase textural |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | |
| Ap | 0-40 | 26,04 | 35,22 | 13,74 | 25,01 | 1,385 | 0,25 | Frc-Arci-Lim |
| Bw | 40-75 | 35,24 | 26,89 | 19,84 | 18,04 | 0,865 | 0,8 | Frc-Lim |
| Bg | 75-155 | 16,51 | 44,12 | 16,31 | 23,07 | 0,62 | 0,5 | Frc-Lim |

Unidad 6: Fondo

Los suelos de la unidad 6 se clasifican como Xerorthent oxyaquíco, franco fino (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU4 (Anejo 1).

Son profundos, moderadamente bien drenados, de textura fina y sin elementos gruesos. Su capacidad de retención del agua es alta.

Aparece en la parte baja de la cuenca con una pendiente suave (1-2 %) y se diferencian de la unidad 5 por su mejor drenaje. El nivel freático se estabilizó a 180 cm (enero 2023).

La secuencia típica de horizontes es Ap – Bk - Bw – C(lutitas).

Esta unidad representa el 14,90 % de la superficie de la cuenca (tabla 2).

En la tabla 9 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 6.

Tabla 9: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 6. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | Clase textural |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | |
| Ap | 0-40 | 18,95 | 39,04 | 11,72 | 30,30 | 2,57 | 0,3 | Frc-Arci-Lim |
| Bk | 40-80 | 17,54 | 41,67 | 10,30 | 30,50 | 0,925 | 0,25 | Frc-Lim |
| Bw | 80-130 | 16,13 | 39,34 | 10,93 | 33,61 | 0,565 | 0,25 | Frc-Lim |
| C lutitas | 130-180 | 6,61 | 46,09 | 20,54 | 26,76 | 0,22 | 0,8 | No |

Perfiles similares se han descrito por Nogués (2002) dentro de la serie SALAGONES, caracterizándose por ser profundos, moderadamente bien drenados, de textura moderadamente fina y sin elementos gruesos. Aparecen frecuentemente formando complejos con arenita superficial y presentan un horizonte de lutitas a no mucha profundidad y se suelen encontrar en vertientes de pendiente variable o en divisorias de agua de pendiente suave.

Unidad 7: Laderas

Los suelos de la unidad 7 se clasifican como Haploxerept cálcico, limoso fino (Soil Survey Staff, 2022) y está representada por el perfil FLU2 (Anejo 1).

Son suelos profundos, moderadamente bien drenados, de textura fina y sin elementos gruesos. Su capacidad de retención del agua es alta.

Aparecen reflejados en las dos laderas principales de la cuenca con una pendiente del 2 al 4% (abancalada en gran parte de la superficie).

La secuencia típica de horizontes es Ap – Bw - Bk – C.

Esta unidad es la mayoritaria en la cuenca y representa el 71,70 % de su superficie (tabla 2).

En la tabla 10 aparece un resumen de las principales propiedades texturales para cada uno de los horizontes presentes en los suelos de esta unidad 7.

Tabla 10: Principales propiedades texturales de los horizontes para la Unidad 7. Fuente: elaboración propia.

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | | Clase textural |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------------|---------------|----------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Materia orgánica (%) | CE 1:5 (dS/m) | |
| Ap | 0-35 | 22,80 | 33,77 | 12,16 | 31,27 | 2,50 | 0,38 | Frc-Arci-Lim |
| Bw1 | 35-80 | 22,08 | 34,27 | 12,49 | 31,16 | 1,38 | 0,47 | Frc-Arci-Lim |
| Bw2 | 80-110 | 18,07 | 35,43 | 15,24 | 31,26 | 0,77 | 0,38 | Frc-Arci-Lim |
| Bk | 110-150 | 5,36 | 48,08 | 9,01 | 37,55 | 0,85 | 0,60 | Arc-Lim |
| C gravas | 150-170 | - | - | - | - | - | - | No |

Estos suelos tienen características similares a los suelos de la serie Cogullada que han sido descritos en unas 2.695 hectáreas en ciertos municipio del sur de la comunidad autónoma de Cataluña por ICGC (2024) y se caracterizan por ser moderadamente profundos, bien drenados y de texturas medias, desarrollados sobre roca caliza en laderas de pendiente suave o moderada. Estos perfiles presentan pocas acumulaciones secundarias de carbonatos en forma de nódulos blandos. Su uso tradicional era el cultivo de viña sobre laderas abancaladas.

4.1.3. CONDICIONANTES DE LAS UNIDADES PARA EL MANEJO

La mayor parte de la superficie de la cuenca (1.973 ha) se encuentra sobre las unidades de plataforma o ladera, que no tienen limitaciones especiales para los cultivos, sin embargo, saber la forma en la que se desarrollan los cultivos en esas unidades nos puede ayudar a caracterizar mejor y a manejar de forma más precisa los datos disponibles, lo que nos lleva a hacer un análisis detallado en el siguiente apartado del trabajo

De forma individualizada, las **plataformas** (3,02 %) son suelos esqueléticos aptos para el cultivo, aunque con ciertas limitaciones derivadas de su escaso espesor, elevado contenido en carbonatos y la pedregosidad, los cuales no son inconvenientes cuando se puede aportar agua y nutrientes de manera frecuente (Gobierno de Navarra, 2024).

La unidad de **ladera**, la mayoritaria en superficie (71,70 %) a pesar de su designación no presenta pendientes muy elevadas (<5 %) y las texturas siguen siendo finas, por lo que esos suelos no requieren de un manejo tan frecuente del riego y la fertilización como en las plataformas.

Se han detectado drenajes imperfectos por manchas de oxido-reducción en las unidades más deprimidas como son las dos de **fondo** y **fondo hidromorfo** así como en el **cauce**, representando aproximadamente el 20 % de la superficie total. Sus clases texturales son las más finas, lo que hace a estos suelos los más idóneos para el cultivo

de cereales, sin embargo en cuatro de los perfiles se encontró el nivel freático durante la descripción de las calicatas.

Las ubicaciones de esos niveles freáticos aparecen en la figura 29, en la que se aprecia como su disposición está ligada al antiguo curso fluvial que representa un barranco o cauce en la actualidad y que es visible gracias a la capa multibanda.

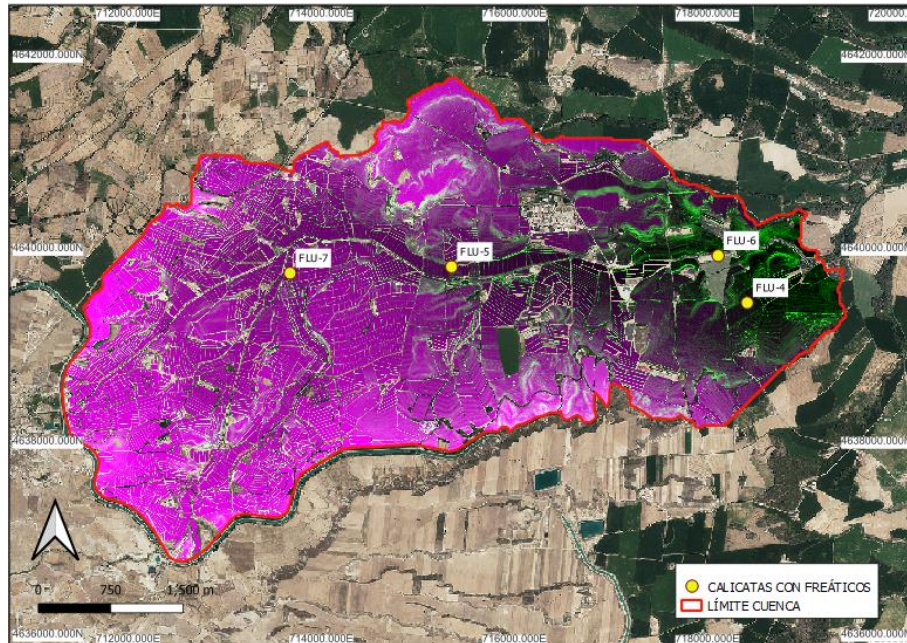


Figura 29: Mapa sobre las ubicaciones de las calicatas donde se ha alcanzado el nivel freático. De fondo capa multibanda. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Respecto a las propiedades de esos freáticos (tabla 11) observamos como la profundidad varía entre 80 y 240 cm respecto a la superficie, si bien al contrastarlo con la altitud del punto de muestreo y hallar de esa forma la elevación absoluta del nivel freático en m.s.n.m. queda reflejado como puede tratarse de dos niveles freáticos colgados, el primero de ellos dispuesto en la parte alta del cauce entre 335 y 350 m.s.n.m. (calicatas FLU-5 y FLU-7), y el segundo más ligado a la zona del fondo entre 312 y 318 m.s.n.m. (calicatas FLU-4 y FLU-6).

Enfocándonos en el freático superior, el antiguo cauce en su parte más alta está mal drenado, probablemente por algún impedimento al drenaje discontinuo (capa impermeable colgada), lo que provoca encharcamiento y/o salinidad en una parte de la cuenca en la que se encuentran las mayores limitaciones al cultivo. Pasada esa capa colgada hay mejor drenaje (freático más profundo) pero algo de salinidad en el suelo que no se traduce en salinidad del freático. Se entiende que las sales se diluyen con los lixiviados de las partes más altas de la cuenca

En la parte final de la cuenca, los freáticos no condicionan demasiado al cultivo (más de 1,5 metros de profundidad) pero presentan una salinidad elevada por la acumulación de sales de toda la cuenca.

Tabla 11: Referencias de profundidad del nivel freático, elevación del punto y elevación del nivel freático.

| CALICATA | PROFUNDIDAD (cm) | ELEVACIÓN PUNTO (m.s.n.m.) | ELEVACIÓN FREÁTICO (m.s.n.m.) | CE (dS/m) |
|----------|---------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| FLU-4 | 180 | 320,64 | 318,84 | 2,54 |
| FLU-5 | 240 | 338,04 | 335,64 | 0,74 |
| FLU-6 | 155 | 313,55 | 312,00 | 2,90 |
| FLU-7 | 80 | 351,41 | 350,61 | 1,83 |

Finalmente, la **unidad salina** representa una pequeña superficie respecto al total de la cuenca (2,88 %) pero es donde se agrupan la mayor cantidad de parcelas abandonadas sin cultivar, debido a esa presencia de una elevada salinidad ligada a un mal drenaje por la textura fina del suelo, acompañada de un nivel freático colgado muy superficial tal y como ha podido apreciarse en su descripción y que es el responsable de que aparezca esa descripción de suelo *Haploxeroll aquíco* (Soil Survey Staff, 2022) por la acumulación prolongada de materia orgánica sin manejo agronómico.

4.1.4. MAPAS TEMÁTICOS

En este apartado se muestran las salidas gráficas de la información sobre las características principales de las siete unidades de suelo homogéneas de la cuenca de estudio.

MAPA DE TEXTURAS DEL HORIZONTE SUPERFICIAL

Utilizando los datos de las descripciones de los perfiles disponibles en el Anejo I de este trabajo se elaboró el mapa representado por la figura 30 en el que se clasificaron las siete unidades en función de los criterios sobre las clases texturales de Soil Survey Division Staff (1993).

Aparecen agrupadas en dos clases texturales:

Media: agrupa la textura franca presente en las plataformas.

Moderadamente fina: agrupa la textura franco-arcillo limosa de todas las unidades restantes.

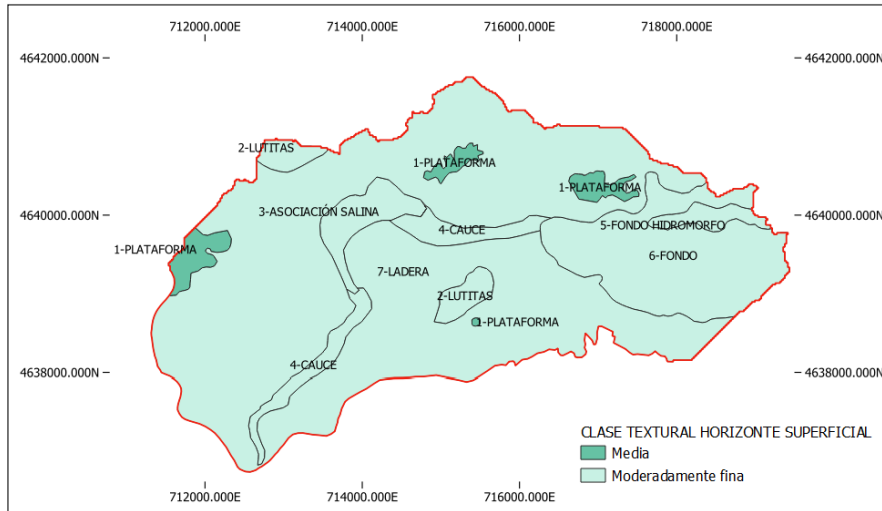


Figura 30: Mapa de la clase textural del horizonte superficial (Soil Survey Division Staff, 1993). El color verdoso oscuro indica la clase textural media y el verdoso claro la clase textural moderadamente fina. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

MAPA DE TEXTURAS DEL PERFIL

Para determinar la familia textural de cada unidad se emplean los criterios de Soil Survey Staff (2022) que aparecen en la tabla 2 del apartado de resultados sobre el mapa de suelos.

Se diferencian dos familias en la figura 31:

Fina: presente en las unidades Lutitas, Cauce y Asociación Salina

Franco-fina: presente en las unidades Plataformas, Ladera, Fondo y Fondo Hidromorfo

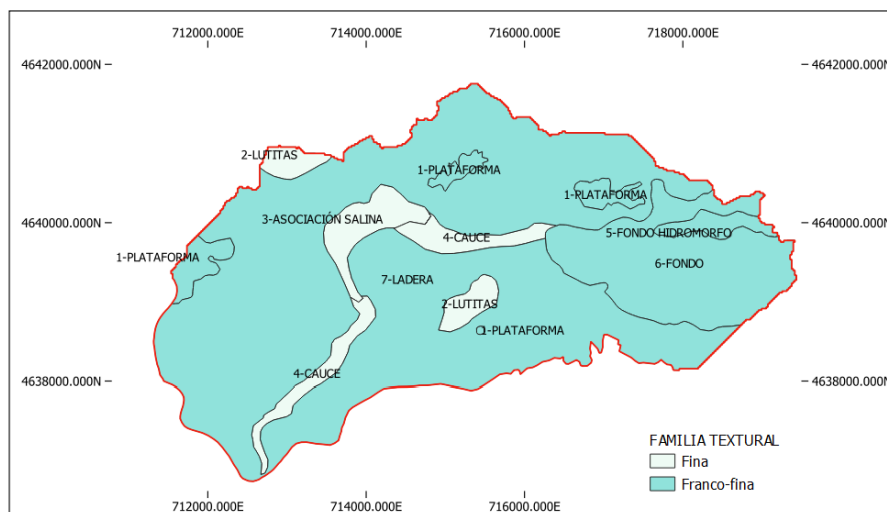


Figura 31: Mapa de la familia textural del perfil (Soil Survey Staff, 2022). El color azulado indica la clase textural Franco-fina y el color pálido indica la clase textural Fina. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

MAPA DE PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL

Mediante los datos de las descripciones de los perfiles disponibles en el Anejo I referentes a cada uno de los horizontes descritos se determinó el contenido de elementos gruesos en el horizonte superficial en base a la valoración según los criterios SINEDARES (CBDSA, 1983) y se elaboró el mapa representado por la figura 32.

Aparecen tres clases en función de ese porcentaje de elementos gruesos superficiales:

Muy pocos: su contenido es inferior al 1% y son las unidades que representan el curso fluvial (Cauce, Asociación Salina, Fondo y Fondo Hidromorfo)

Pocos: su contenido está comprendido entre el 1 y el 5%, en la unidad Lutitas.

Frecuentes: entre un 6 y un 15%, presentes en las unidades Plataformas y Ladera.

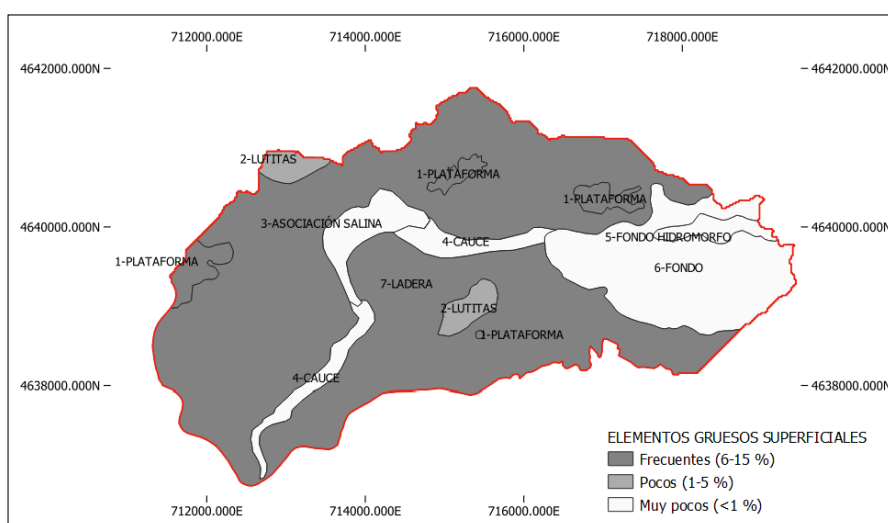


Figura 32: Mapa del porcentaje de elementos gruesos del horizonte superficial. El gradiente de color hacia el gris oscuro indica mayor presencia. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

MAPA DE PROFUNDIDAD EFECTIVA

Se elabora el mapa representado por la figura 33 al evaluar la profundidad efectiva del perfil que representa cada unidad en base a los criterios de Herrero et al. (1993). Dicha profundidad efectiva está determinada en la cuenca por un horizonte petrocálcico en el caso de las Plataformas, por un horizonte C del materia original inalterado en el caso de la unidad de Lutitas y por el nivel freático superficial donde aparece.

Junto con los tres mapas anteriores, estos cuatro criterios pueden relacionarse con la CRAD (Capacidad de Retención de Agua Disponible), parámetro muy importante ligado al riego y que no ha podido determinarse por las limitaciones en el presupuesto.

Se agrupan en tres clases:

Moderadamente profundo: Entre 41 y 80 cm de profundidad, comprendiendo la unidad de Lutitas por la limitación del material originario inalterado a 60 cm y la unidad de Plataformas por el petrocálcico que aparece a 80 cm de profundidad.

Profundo: Entre 80 y 120 cm, referente a la unidad Asociación Salina.

Muy profundo: Profundidad superior a los 120 cm, se trata del caso mayoritario, pues comprende las unidades Ladera, Cauce, Fondo y Fondo Hidromorfo.

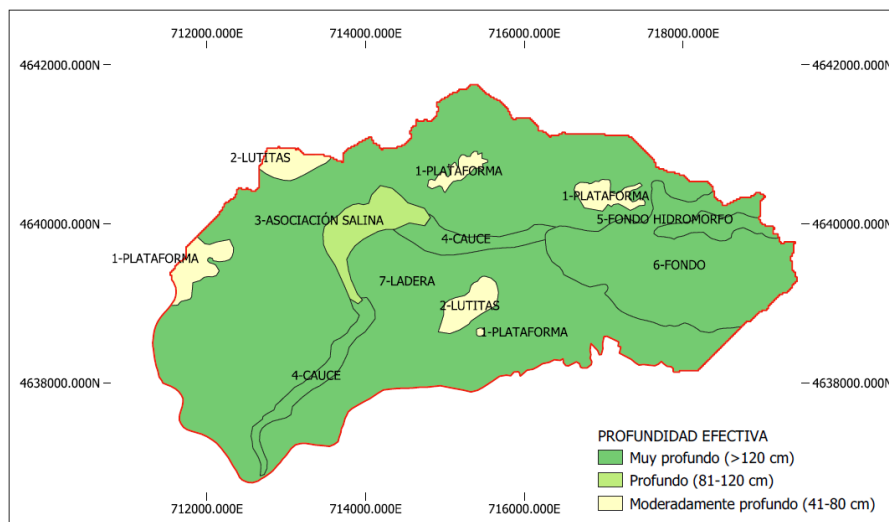


Figura 33: Mapa de la profundidad efectiva. El gradiente de color verde indica clases de mayor profundidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

MAPA DE SALINIDAD SUPERFICIAL

Gracias al análisis de la pasta saturada mediante la medida la conductividad eléctrica (CE) de las muestras en la que se consideró relevante fue posible obtener ese valor para el horizonte superficial del perfil y clasificar las siete unidades en función de su fase de salinidad para los criterios de Soil Survey Division Staff (1993).

Se agrupan en cuatro fases salinas en función del valor de esa CE (figura 34):

No salina: valor inferior a 2.0 dS/m que se encuentra en las unidades Plataformas, Fondo y Fondo Hidromorfo.

Ligeramente salina: valor entre 2.0 y 4.0 dS/m para la unidad Lutitas.

Moderadamente salina: valor entre 4.1 y 8.0 dS/m en las unidades Cauce y Ladera.

Fuertemente salina: valor superior a 8.0 y hasta 16.0 dS/m que aparece únicamente en la unidad Asociación Salina.

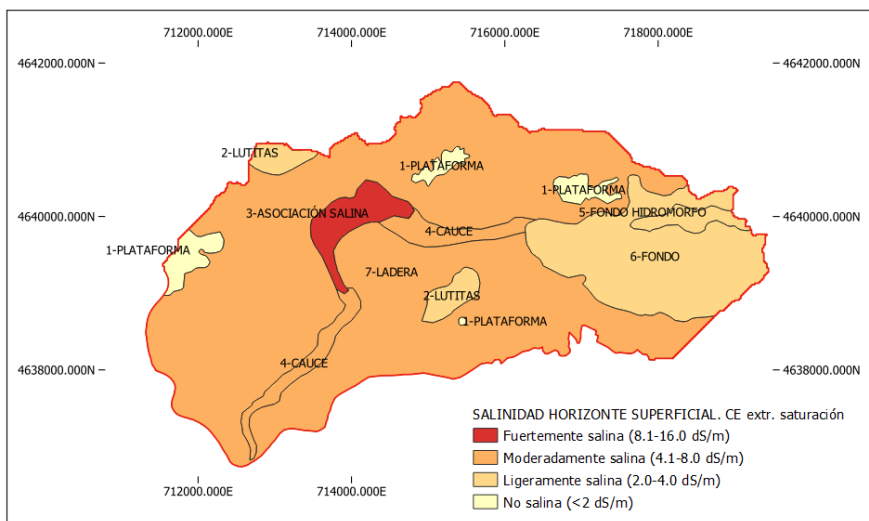


Figura 34: Mapa de la salinidad del horizonte superficial. Medida de la conductividad eléctrica de la pasta saturada. El gradiente de color hacia el rojo indica clases de mayor salinidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

MAPA DE SALINIDAD MEDIA

Mediante el cálculo de la media ponderada de la salinidad en todos horizontes en los que se disponía de ese valor de la CE de la pasta saturada se pudo obtener el mapa de la figura 35 en base a los criterios de Soil Survey Division Staff (1993). En él se aprecian tres clases en lugar de cuatro (salinidad superficial), lo que nos indica que los horizontes más profundos tienen una salinidad superior probablemente debida al lavado del horizonte superficial mediante el riego.

Esas tres clases son las siguientes:

Ligeramente salina: valor entre 2.0 y 4.0 dS/m para las unidades Plataformas y Lutitas.

Moderadamente salina: valor entre 4.1 y 8.0 dS/m en las unidades Ladera, Cauce, Fondo y Fondo Hidromorfo.

Fuertemente salina: valor superior a 8.0 y hasta 16.0 dS/m que aparece únicamente en la unidad Asociación Salina.

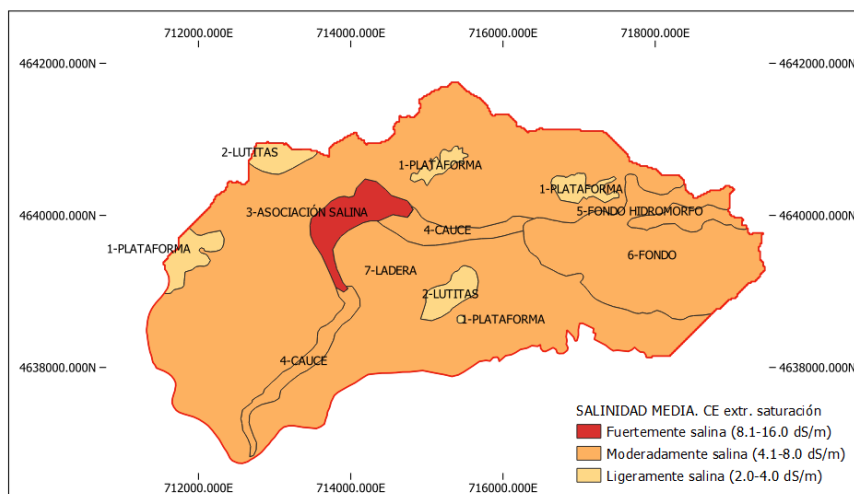


Figura 35: Mapa de la salinidad media de los horizontes de la unidad. Medida de la conductividad eléctrica de la pasta saturada. El gradiente de color hacia el rojo indica clases de mayor salinidad. Se aprecian designadas las unidades edáficas y su extensión. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

4.2. VARIABILIDAD DE LAS UNIDADES DE SUELO A NIVEL DE PARCELA

Una vez caracterizada la distribución de las unidades de suelos en las cuencas, se analiza su variabilidad con el desarrollo de los cultivos a nivel de parcela. El valor medio del NDVI para una parcela nos da información sobre el desarrollo del cultivo, mientras que la desviación estándar del NDVI en una parcela nos indica el grado de uniformidad del establecimiento de dicho cultivo.

En el primer análisis de varianza realizado no se encontraron diferencias significativas ($p=95\%$) por el tipo de cultivo en ningún caso; la tabla 12 refleja los resultados en función del nivel de significación para el estudio de la relación entre la unidad de suelo y su influencia tanto en el NDVI como en la desviación estándar del mismo para cada uno de los 4 momentos de desarrollo del cultivo:

Tabla 12: Diferencias significativas para la unidad de suelo en función del momento de desarrollo del cultivo (SOS, PICO, EOS y MEDIA) para el NDVI y la desviación estándar del NDVI. Se presentan los valores del nivel de significación. Intervalo de confianza del 95%. Fuente: elaboración propia.

| MOMENTO | PARÁMETRO ESTUDIADO | |
|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | NDVI | Desv.est. NDVI |
| 1-SOS | No significativo ($p>0,05$) | No significativo ($p>0,05$) |
| 2-PICO | No significativo ($p>0,05$) | Significativo ($p=0,006$) |
| 3-EOS | No significativo ($p>0,05$) | No significativo ($p>0,05$) |
| 4-MEDIA | No significativo ($p>0,05$) | Significativo ($p=0,01$) |

La ausencia de diferencias significativas en el valor medio del NDVI en los diferentes momentos nos indica que las 4 unidades de suelos analizadas no presentan limitaciones al desarrollo de los cultivos, y que el tipo de cultivo (invierno o verano) tampoco se desarrolla de manera diferente. Sin embargo, sí que se obtienen diferencias

significativas por la unidad de suelo para la desviación estándar del NDVI en el momento 2 (pico) y en el valor medio del NDVI para todo el ciclo de cultivo (tabla 12).

Esa dificultad para diferenciar entre cultivos de verano y de invierno se justifica en el trabajo de Tucker (1979) en el que observaron como el NDVI alcanzaba un valor máximo y se saturaba en áreas con vegetación densa, lo que limitaba su capacidad para distinguir entre diferentes tipos de cobertura vegetal y por tanto no permite la diferenciación entre diversos cultivos en áreas con una vegetación densa y saludable.

Si trabajamos con un nivel de significación del 90% en lugar del 95%, en el momento 2 también es posible encontrar diferencias entre los cultivos de verano y de invierno para la desviación estándar del NDVI ($p=0,071$). Esto nos indicaría una mayor variabilidad en los cultivos de invierno respecto a los de verano, lo que se justifica por la práctica habitual de la zona en la que se aplican manejos más homogéneos del riego en el cultivo de maíz debido a su mayor rentabilidad.

A continuación (figuras 36 y 37) se presentan los valores del NDVI (a la izquierda), y la desviación estándar del NDVI (a la derecha) según la unidad de suelo y para los cultivos de invierno o verano. Se hace la separación de medias y se expresan las diferencias entre clases con letras diferentes para las unidades de suelo:

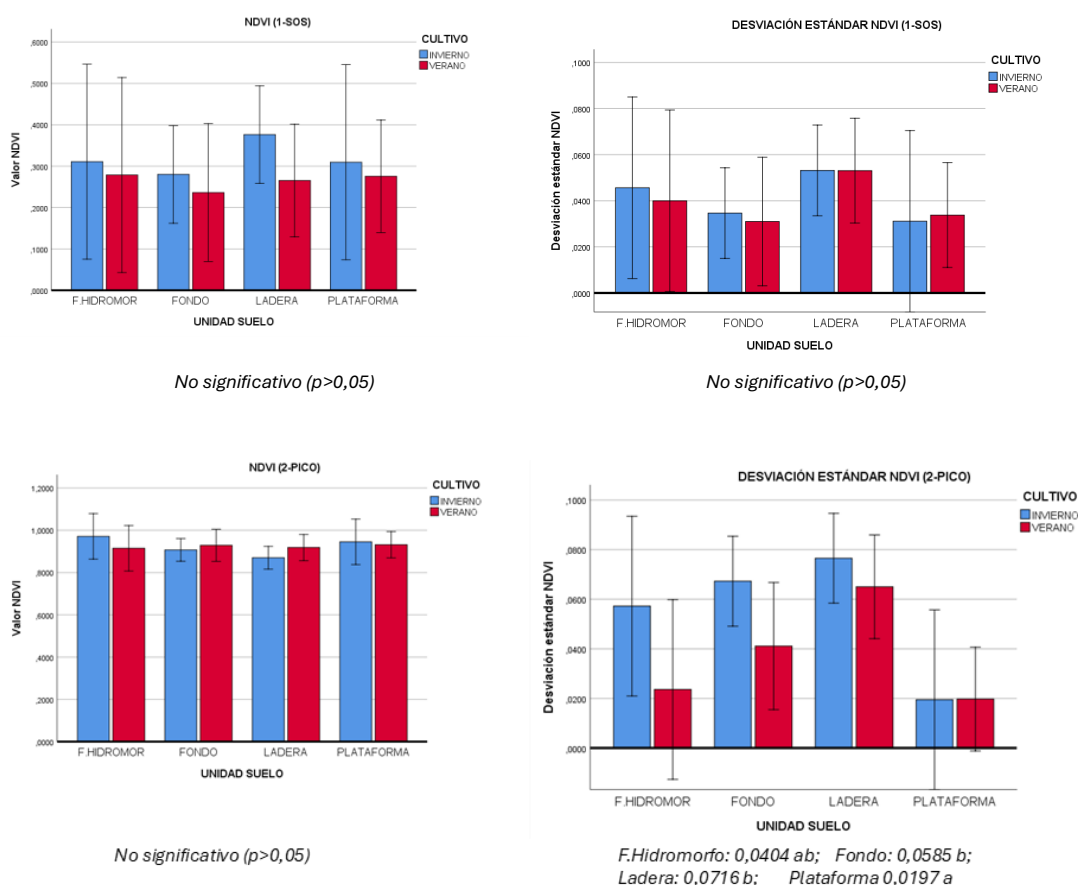


Figura 36: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para el estudio de la influencia de la unidad de suelo en el valor del NDVI (a la izquierda) y de la desviación estándar del NDVI (a la derecha) para los momentos 1-SOS y 2-PICO. Se diferencia entre cultivos de verano e invierno. Fuente: elaboración propia.

Se consideran medias de cultivos de verano e invierno para agrupar cada unidad, letras distintas muestran diferencias significativas en base al análisis univariado para Tukey B ($p<0,05$) en función de la unidad de suelo.

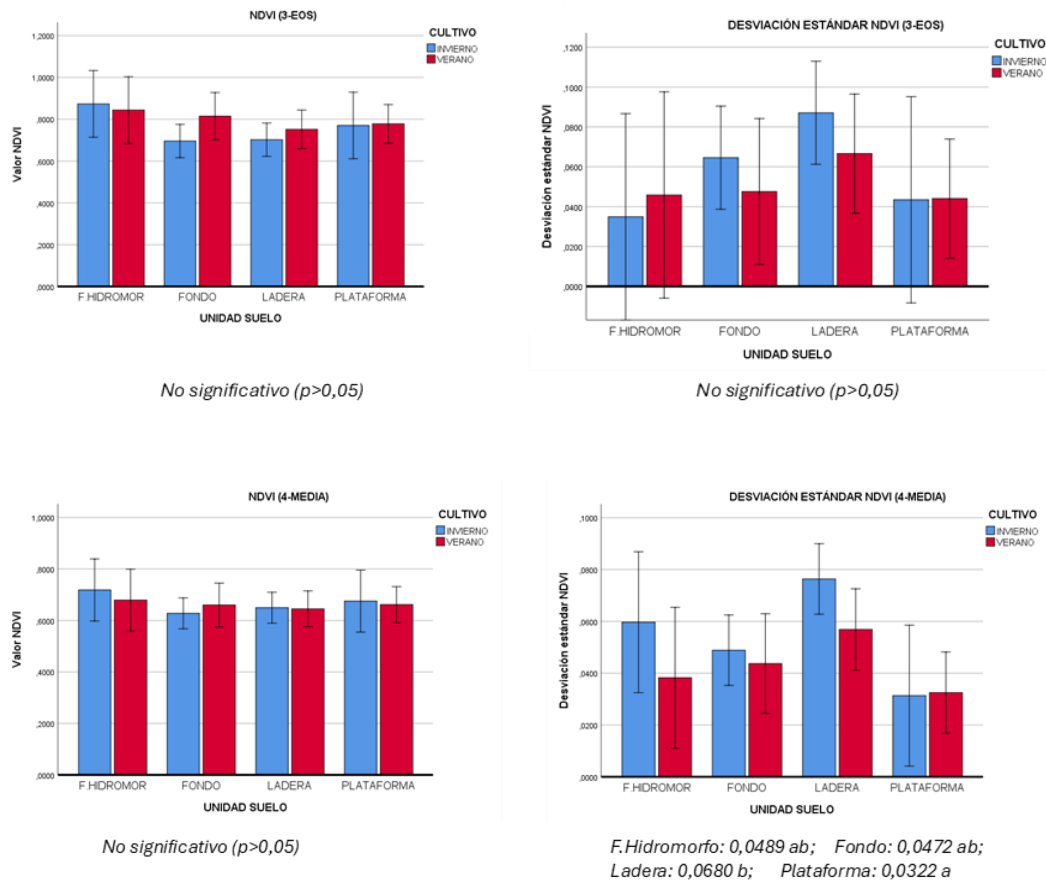


Figura 37: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para el estudio de la influencia de la unidad de suelo en el valor del NDVI (a la izquierda) y de la desviación estándar del NDVI (a la derecha) para los momentos 3-EOS y 4-MEDIA. Se diferencia entre cultivos de verano e invierno. Fuente: elaboración propia.

Se consideran medias de cultivos de verano e invierno para agrupar cada unidad, letras distintas muestran diferencias significativas en base al análisis univariado para Tukey B ($p < 0,05$) en función de la unidad de suelo.

Esto nos indica que el mejor momento para la discriminación de las unidades es el de madurez del cultivo (2-PICO) y en su caso la media del cultivo (4-MEDIA); que las diferencias entre cultivos de verano y de invierno no son muy importantes (nivel de significación $< 90\%$ para el momento 2 debido a la **saturación** del NDVI para valores altos; las diferencias fundamentales aparecen entre la unidad 1-Plataformas y la unidad 7-Laderas.

Los momentos 1 y 3 (SOS y EOS, respectivamente) también proporcionan mucha información sobre el desarrollo de los cultivos.

El no haber encontrado diferencias significativas ($p < 0,05$) para esos momentos puede deberse a la variabilidad de la información de base, ya que cada parcela tiene un manejo distinto, lo que nos hace profundizar en un análisis más concreto que implique un manejo homogéneo del cultivo.

La fecha de emergencia del cultivo depende fundamentalmente de su fecha de siembra, al evaluar la figura 38 apreciamos las diferencias existentes en el momento 1-SOS con una amplitud de hasta tres meses para los cultivos de invierno y de dos para los de verano.

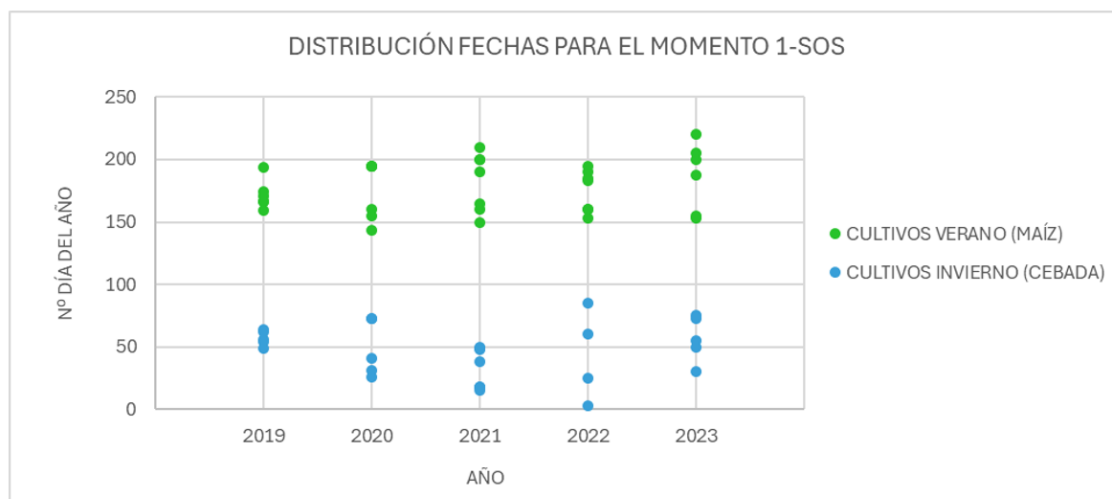


Figura 38: Distribución de las fechas del momento 1-SOS para todos los cultivos evaluados. Fuente: elaboración propia.

Para reducir esta variabilidad intrínseca a la metodología utilizada se decidió profundizar en un análisis de detalle para una parcela con manejo homogéneo del cultivo.

Además, para analizar el posible efecto de la interacción entre la unidad de suelo y la evolución del estado de desarrollo, se realiza un segundo análisis de varianza tomando como variables independientes unidad de suelo y el momento en el que se toman los valores de NDVI. En la tabla 13 se muestra el nivel de significación para cada factor y la interacción de ambos.

Tabla 13: Diferencias significativas para la media de los cultivos de verano e invierno en función del NDVI y la desviación estándar del NDVI. Se presentan los valores del nivel de significación. Intervalo de confianza del 95%. Fuente: elaboración propia.

| FACTOR FIJO | VARIABLE DEPENDIENTE | |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|
| | NDVI | Desv. est NDVI |
| UNIDAD SUELO | No significativo (p>0,05) | Significativo (p=0,000) |
| MOMENTO | Significativo (p=0,000) | No significativo (p>0,05) |
| INTERACCIÓN | No significativo (p>0,05) | No significativo (p>0,05) |

Así pues, se confirma como la **Unidad de Suelo** solamente influye de forma significativa sobre la Desviación Estándar del NDVI, mientras que el **Momento de Desarrollo** influye de forma significativa solo para el valor del NDVI, la **interacción** de esos dos factores no es significativa en ninguno de los casos. Esto se detalla en los resultados gráficos en los que se aprecian las diferencias entre el valor del NDVI (figura 39) y para la desviación estándar del NDVI (figura 40) en las cuatro unidades edáficas y tres momentos de desarrollo.

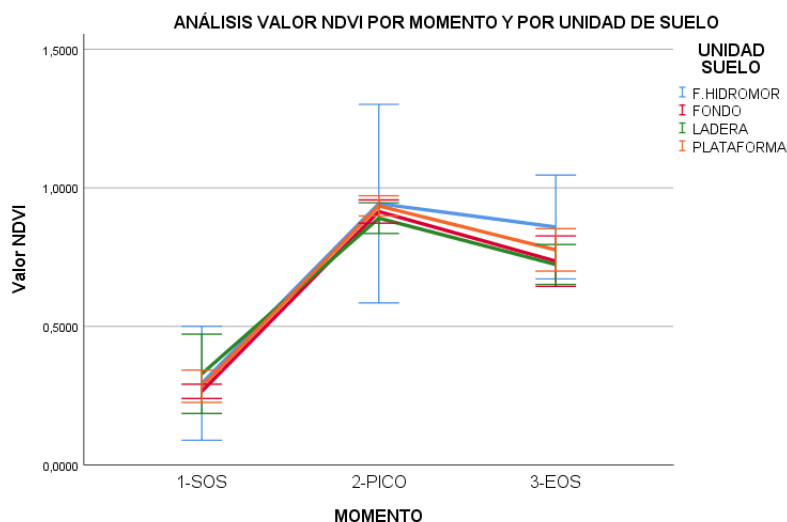


Figura 39: Estadístico descriptivo de la evolución del NDVI para los tres momentos de desarrollo del cultivo y en función de las unidades de suelo. Fuente: elaboración propia.

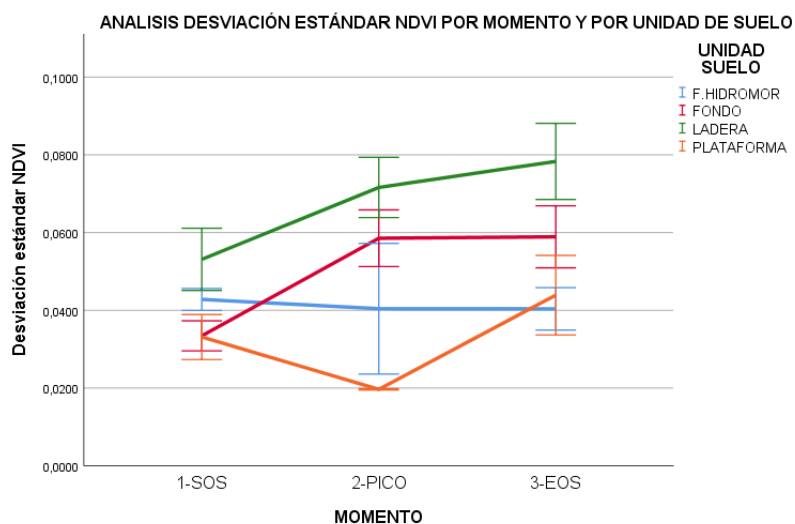


Figura 40: Estadístico descriptivo de la evolución de la desviación estándar del NDVI para los tres momentos de desarrollo del cultivo y en función de las unidades de suelo. Fuente: elaboración propia.

De dichos gráficos pueden extraerse los siguientes resultados de los que se lleva a cabo su discusión:

1. Para el estudio del **NDVI** las diferencias entre momentos son significativas, apareciendo los menores valores para el momento SOS, los mayor valores para el PICO, e intermedios en el momento EOS. Se aprecia en la figura un comportamiento distinto para el Fondo Hidromorfo ya que en la fase final (EOS) parece diferenciarse del resto de unidades.
2. Las unidades Fondo y Ladera tienen un comportamiento similar, con una alta **desviación estándar del NDVI** que se traduce en una mayor variabilidad en el desarrollo del cultivo, y que es menor en la emergencia y avanza a lo largo del

ciclo del cultivo, alcanzando su máximo en la senescencia, lo que nos indica que el secado del cultivo es heterogéneo.

3. La unidad Plataforma tiene el comportamiento más diferente, caracterizada por la menor de las **desviaciones estándar del NDVI** para los tres momentos, lo que se traduce en la menor variabilidad del cultivo, y que es inferior en el momento de madurez del cultivo que en el crecimiento y la senescencia.

4.3. COMPARACIÓN DE DOS UNIDADES DE SUELO EN UNA PARCELA

A pesar de la alta variabilidad de los valores obtenidos en el apartado anterior, se observan tendencias que podrían resultar muy interesantes para el manejo de los cultivos, lo que hace que se plantee un análisis más detallado de las variables (NDVI y desviación estándar del NDVI) en condiciones más controladas: dos únicas unidades de suelo y mismo manejo: especie, variedad, laboreo, fertilización, riegos y fitosanitarios.

En la figura 41 se presenta una representación gráfica del ciclo de crecimiento de los cultivos que se han implantado en la parcela desde el año 2019, representándose en el eje horizontal el número de día del año desde el 1 hasta el 365, y en el eje vertical los tres momentos de crecimiento estudiados (1-SOS, 2-PICO, 3-EOS). En color azul se indican los dos cultivos de invierno, que fueron dos cebadas cultivadas en los años 2021 y 2023. Respecto a los cultivos de verano, se han implantado cinco maíces entre los años 2019 y 2023, los tres en colores verdes hacen referencia a los de primera cosecha, cultivados en los años 2019, 2020 y 2022; y los dos marcados en color naranja indican dos cultivos de maíz de segunda cosecha implantados tras las dos cebadas en los años 2021 y 2023.

De este análisis puede observarse como los maíces de segunda cosecha presentan una curva de crecimiento desplazada hacia la derecha en el eje horizontal, lo que indica una siembra tardía respecto a los de primera cosecha

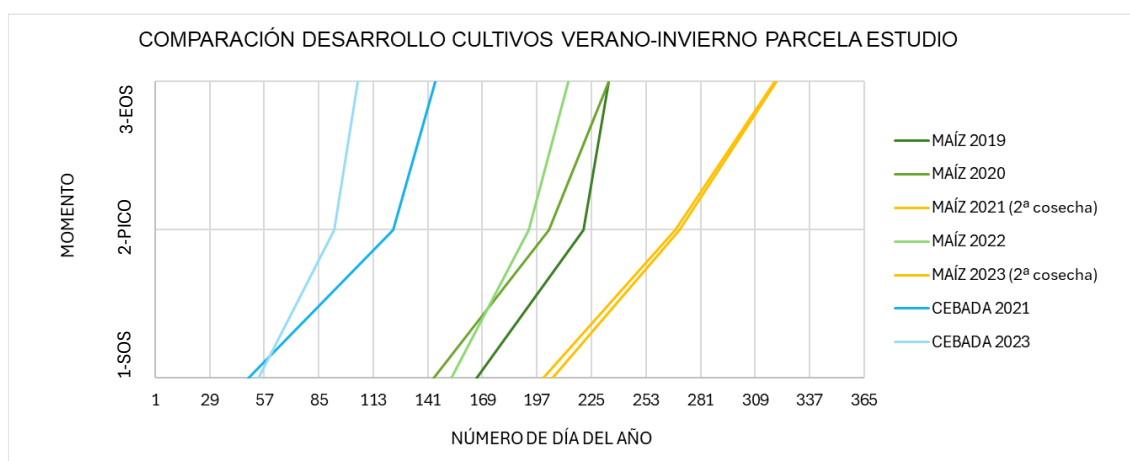


Figura 41: Comparación de la evolución en el desarrollo de los cultivos de verano (color verde) e invierno (color azul) para los últimos 5 años en la parcela de estudio. El eje horizontal representa los 365 días del año y el eje vertical el momento del cultivo. Fuente: elaboración propia.

Se han tomado las fechas de todos los cultivos para los tres momentos analizados y se han calculado las medias para cada uno de ellos diferenciando entre cultivos de verano e invierno. Los resultados se presentan en la tabla 14, la cual indica en la cuarta columna la fecha media para cada uno de los estadios de cada cultivo, y en la tercera columna aparece el número de día del año que representa dicha fecha junto con su desviación estándar. Este último dato es importante pues nos da información sobre la variabilidad anual de cada grupo de cultivos, apreciándose como ese valor es superior en los cultivos de verano por la consideración conjunta con los maíces de segunda cosecha.

Tabla 14: Media de los cultivos de verano e invierno de los últimos 5 años para la fecha en cada momento de desarrollo seleccionado en la parcela de estudio. Fuente: elaboración propia.

| CULTIVO | MOMENTO | NUMERO DÍA | FECHA |
|----------|---------|------------|--------|
| VERANO | 1-SOS | 173 ± 27 | 22-jun |
| | 2-PICO | 231 ± 36 | 19-ago |
| | 3-EOS | 264 ± 51 | 21-sep |
| INVIERNO | 1-SOS | 51 ± 3 | 20-feb |
| | 2-PICO | 108 ± 21 | 18-abr |
| | 3-EOS | 125 ± 28 | 05-may |

Respecto a la parte estadística, se comienza por el estudio de la distribución de los datos, los cuales se ajustan a una distribución normal al aislar su conjunto bien por cultivo o bien por unidad de suelo, por lo que se continua con la línea de los test paramétricos.

A continuación (tabla 15) se presentan los resultados estadísticos en los que se indican las diferencias significativas para los parámetros del NDVI evaluados (Mediana, p90 y desviación estándar) en función de los tres momentos de desarrollo, para un intervalo de confianza del 95 %. Como se puede observar, las diferencias significativas aumentan considerablemente al reducir la incertidumbre de los datos. Se llegan a detectar diferencias del NDVI por el cultivo y por la unidad de suelo, se confirma el efecto de la unidad de suelo en la desviación estándar del NDVI para el momento 2 (PICO) y, tal como se intuía en el apartado anterior, aparecen efectos de la desviación estándar del NDVI en la senescencia del cultivo (momento EOS).

Tabla 15: Diferencias significativas para la mediana, p90 y desviación estándar del NDVI en función del momento de desarrollo del cultivo. Intervalo de confianza del 95%.

| DIFERENCIAS POR PARÁMETRO ESTUDIADO | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--|
| MOMENTO | Mediana NDVI | P90 NDVI | Desv.est NDVI |
| 1-SOS | Unidad Suelo, Cultivo | Unidad Suelo, Cultivo | No significativo (p>0,05) |
| 2-PICO | Unidad Suelo, Cultivo | Unidad Suelo, Cultivo | Unidad Suelo |
| 3-EOS | Cultivo | Cultivo | Unidad Suelo, Cultivo, Interacción |

Puede apreciarse como para la mediana y el p90 aparecen las mismas diferencias significativas para los tres momentos, por lo que para una de ellas (mediana NDVI) se

presentarán los resultados en forma de mapa y para la otra (p90 NDVI) se analizará de forma más detallada en forma de gráfico. Por último, las mayores diferencias significativas se encuentran para la desviación estándar del NDVI en el momento 3 en el que aparecen para unidad de suelo, cultivo y para la interacción de ambas.

A continuación se procede con la discusión de los resultados estadísticos para cada momento de desarrollo independientemente:

1. SOS (Crecimiento)

Las diferencias significativas en la mediana del NDVI aparecen por unidad de suelo ($p=0,000$) y por cultivo ($p=0,001$). Esto nos indica que el comportamiento del cultivo es diferente entre las dos unidades, tomando mayores valores medios en la plataforma (NDVI=0,263) que en la ladera (NDVI=0,199), lo que se aprecia en la figura 42 con los recintos de la unidad plataforma en un color verde más oscuro que indica mayores valores para la mediana del NDVI. También son más altos los valores medios en los cultivos de invierno (NDVI=0,248) que en los de verano (NDVI=0,215).

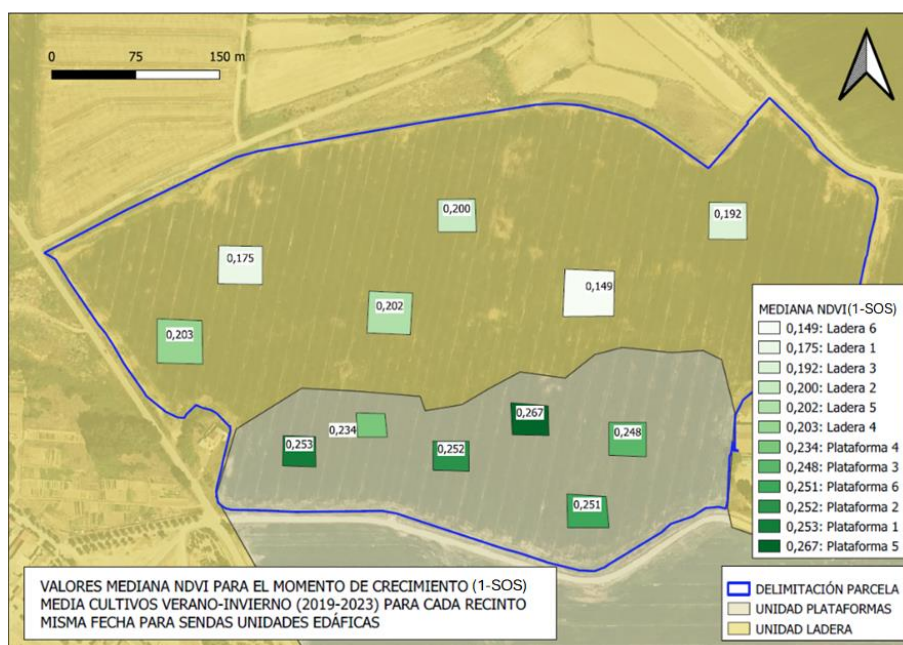
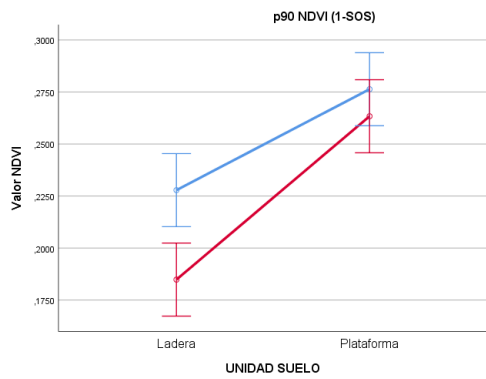


Figura 42: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 1-SOS para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Al analizar el resultado gráfico para el p90 del NDVI (figura 43) vemos como la diferencia por unidad se hace notable, alcanzando mayores valores medios en la plataforma para ambos cultivos frente a la ladera; además también se encuentran diferencias significativas por el cultivo ya que los cultivos de invierno tienen mayor NDVI que los de verano. Esto último se justifica por la mayor reflectancia que presentan los suelos húmedos en invierno (Remer et al., 2001) lo que se traduce en un mayor valor del NDVI; o por la mayor anchura en la siembra del maíz, lo que provoca un menor valor del NDVI debido a que la mayor separación entre plantas conduce a una menor cobertura vegetal en los estadios iniciales, reduciendo la reflectancia de las bandas empleadas para el cálculo del NDVI (Espinosa-Espinosa et al., 2017).

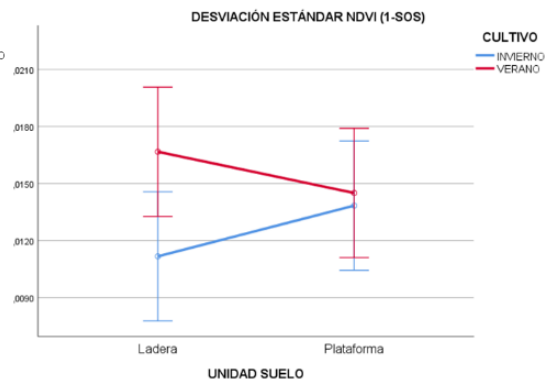
No se encuentran diferencias significativas en ningún parámetro para la desviación estándar del NDVI ($p>0,05$ en todos los casos), lo que nos indica que el momento de

crecimiento del cultivo no permite apreciar la variabilidad de la unidad de suelo o del cultivo (figura 44).



Ladera: 0,219 b; Plataforma: 0,282 a
 Verano: 0,236 B; Invierno: 0,264 A

Figura 43: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 1-SOS para la unidad de suelo y cultivo.



No significativo ($p > 0,05$)

Figura 44: Valor medio e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 1-SOS para la unidad de suelo y cultivo.

2. PICO (Madurez)

Las diferencias significativas en la mediana del NDVI aparecen por unidad de suelo ($p=0,007$) y por cultivo ($p=0,040$). Esto nos indica que el comportamiento del cultivo es diferente entre las dos unidades, tomando mayores valores medios en la plataforma que en la ladera, lo que se aprecia en la figura 45 con los recintos de la unidad plataforma en un color verde más oscuro que indica mayores valores para la mediana del NDVI; además los valores medios también son mayores en los cultivos de verano frente a los de invierno.

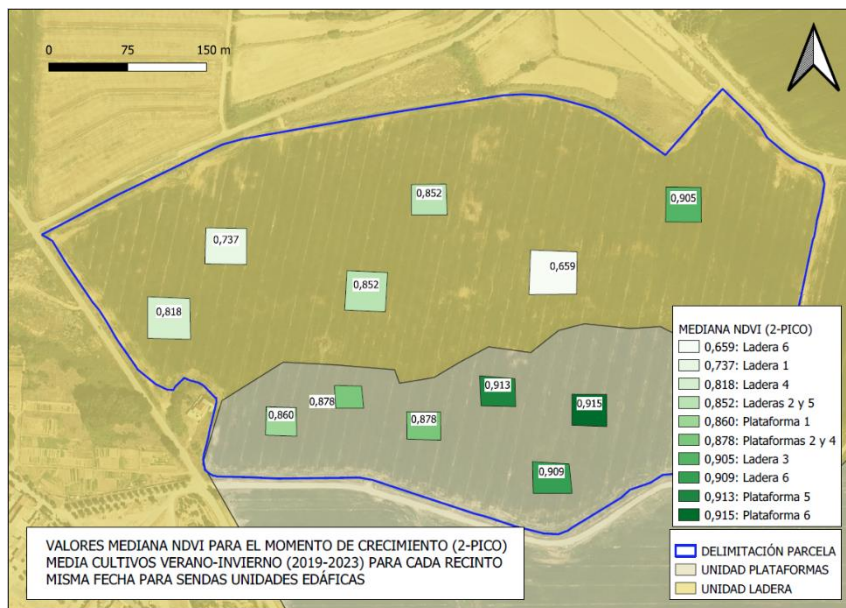


Figura 45: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 2-PICO para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

Al analizar el resultado gráfico para el p90 del NDVI (figura 46) vemos como la diferencia por unidad se hace notable, alcanzando mayores valores medios en la plataforma para ambos cultivos, frente a la ladera; además la diferencia por cultivo se aprecia en los valores medios para las dos unidades, siendo mayor los de verano que los de invierno.

Para el análisis de la desviación estándar del NDVI (figura 47) solo se encuentran diferencias significativas para la unidad de suelo, alcanzando mayores valores medios para todos los cultivos en la ladera que en la plataforma, lo que se justifica por la mayor homogeneidad de la unidad plataforma y que implica una menor variabilidad tanto en cultivos de verano como de invierno. Además, confirma los resultados obtenidos en el apartado anterior.

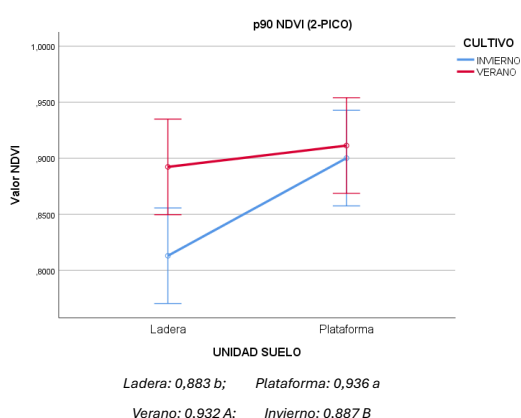


Figura 46: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 2-PICO para la unidad de suelo y cultivo.

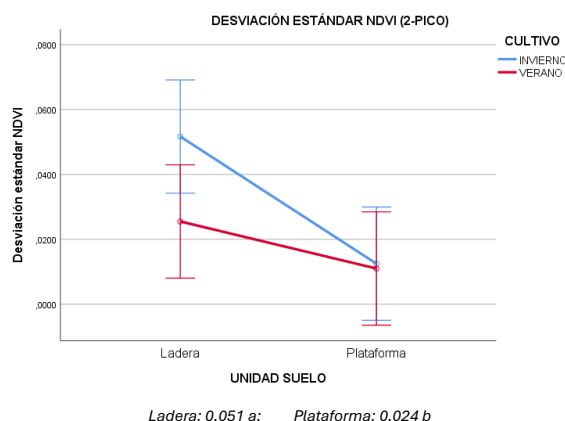


Figura 47: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 2-PICO para la unidad de suelo y cultivo.

3. EOS (Senescencia)

Las diferencias significativas en la Mediana del NDVI aparecen solamente por cultivo ($p=0,007$). Esto nos indica que el comportamiento del cultivo es diferente entre los de verano y los de invierno, tomando mayores valores medios para los de verano con respecto a los de invierno; pero que sin embargo las diferencias para las dos unidades en la senescencia no son significativas, lo que se aprecia en la figura 48 en la que no puede asociarse ningún criterio a la variabilidad de las dos unidades.

Respecto al resultado gráfico para el p90 del NDVI (figura 49) vemos que la diferencia por cultivo se aprecia al observar como los cultivos de verano toman mayores valores medios por unidad respecto a los de invierno. Esto último puede justificarse por la mayor temperatura y evapotranspiración en los momentos de senescencia de los cultivos de invierno, lo que provoca un secado más rápido y por tanto un mayor descenso del NDVI.

Para el análisis de la desviación estándar del NDVI (figura 50) se encuentran diferencias significativas para los tres parámetros estudiados: unidad de suelo, cultivo e interacción, lo que nos indica que el momento de senescencia es el que nos ofrece los mejores resultados para el estudio de la variabilidad de los cultivos. Analizando la interacción suelo-cultivo podemos ver como la unidad de ladera tiene mayores desviaciones medias que la plataforma, y que estas desviaciones medias son mayores para los cultivos de invierno que para los de verano.

Estos resultados se explican por la mayor heterogeneidad de la unidad ladera frente a la plataforma y que se acentúa para los cultivos de invierno ya que al finalizar el riego

en los días con mayor evapotranspiración (inicio del verano) las diferencias en la capacidad de retención de agua del suelo se hacen más notorias y aparecen las diferencias significativas en las unidades más heterogéneas, en nuestro caso la ladera. Este efecto no se aprecia en la plataforma dada su mayor homogeneidad.

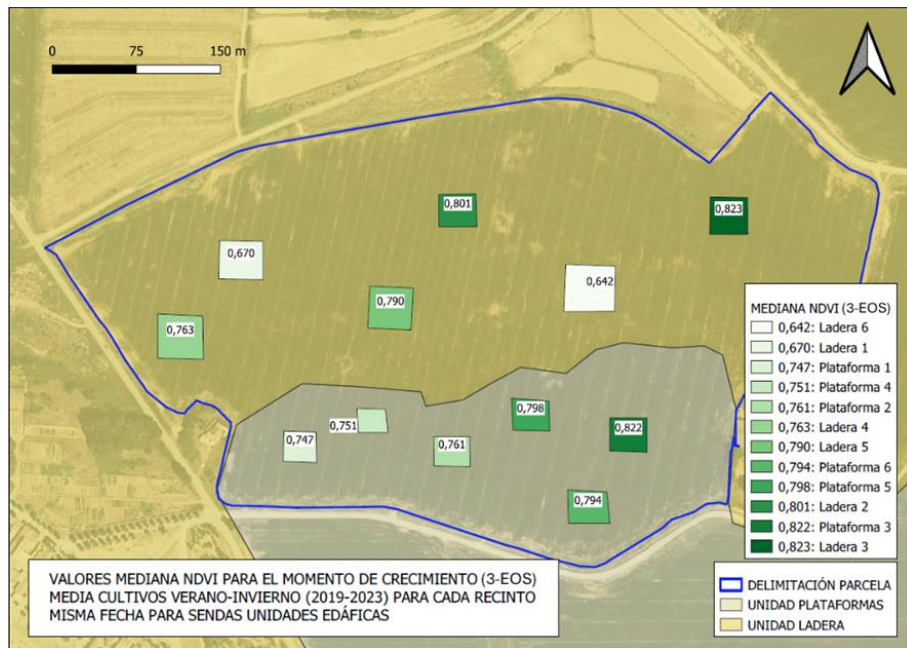


Figura 48: Mapa categorizado por colores para el valor de la mediana del NDVI en el momento 3-EOS para la media de los cultivos de verano e invierno. Gradiente de la intensidad del verde indica mayores valores. Fuente: elaboración propia mediante QGIS.

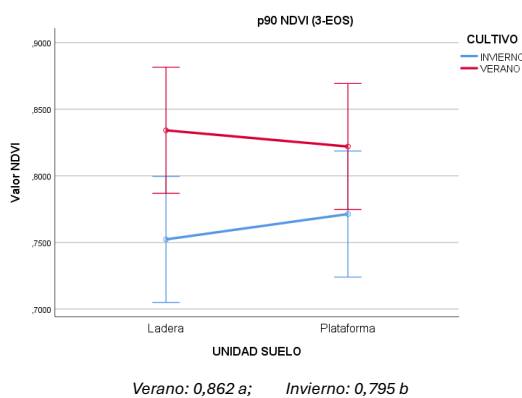


Figura 49: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para el p90 del NDVI en el momento 3-EOS para la unidad de suelo y cultivo

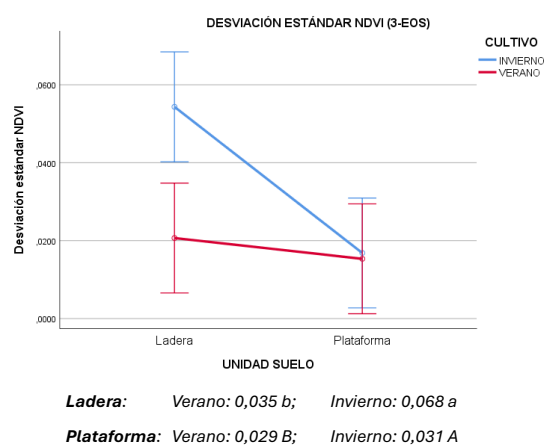


Figura 50: Valores medios e intervalo de confianza del 95% para la desviación estándar del NDVI en el momento 3-EOS para la interacción entre unidad de suelo y cultivo.

4.4. ANÁLISIS DE CORRELACIÓN Y COMPONENTES PRINCIPALES

(I) En primer lugar se muestran los coeficientes de Spearman y los niveles de significación entre las variables analizadas para el análisis de correlaciones (tabla 16). Aparecen destacados en negrita las mayores correlaciones para niveles de significación superiores al 95%, en color verde aquellas que presentan una correlación positiva y en rojo las negativas.

Tabla 16: Resultados del análisis de correlación. Coeficientes de Spearman y niveles de significación >95%. Colores verdes indican correlaciones positivas, colores rojos indican correlaciones negativas. Fuente: elaboración propia.

| | UNIDAD SUELO | CULTIVO | AÑO | NDVI (1-SOS) | NDVI (2-PICO) | NDVI (3-EOS) | NDVI medio | Desv.Est. NDVI | SUP (ha) | ELEV media | PEND media | TIPO RIEGO | % ARCILLA | % ARENA | PROF FREÁTICO | PROF MANCHAS | M.O. hor sup | SAL max | SAL min | SAL media | Desv.Est (1-SOS) | Desv.Est (2-PICO) | Desv.Est (3-EOS) | |
|--------------------|--------------|---------|--------|--------------|---------------|--------------|------------|----------------|----------|------------|------------|------------|-----------|----------|---------------|--------------|--------------|----------|----------|-----------|------------------|-------------------|------------------|--------|
| UNIDAD SUELO | 1,000 | 0,025 | -0,123 | -0,127 | 0,048 | -0,120 | 0,244 | 0,156 | 0,137 | -0,802 | 0,176 | 0,028 | 0,012 | -0,234 | -0,478 | -0,531** | -0,629** | -0,318 | 0,016 | -0,112 | 0,334* | -0,318* | 0,216 | |
| CULTIVO | | 1,000 | 0,033 | 0,306* | -0,280* | -0,102 | 0,372 | 0,180 | 0,269 | 0,000 | 0,152 | 0,586 | 0,024 | 0,016 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,077 | 0,000 | 0,288 | 0,006 | 0,009 | 0,123 | |
| AÑO | | | 1,000 | 0,038 | 0,010 | 0,046 | 0,089 | 0,079 | -0,038 | 0,034 | 0,002 | -0,027 | -0,102 | 0,142 | 0,083 | 0,174 | 0,060 | -0,038 | -0,003 | -0,000 | 0,077 | 0,084 | -0,024 | |
| NDVI (1-SOS) | | | | 1,000 | 0,028 | 0,038 | 0,074 | 0,402 | 0,528 | 0,769 | 0,762 | 0,871 | 0,891 | 0,471 | 0,244 | 0,508 | 0,769 | 0,770 | 0,344 | 0,551 | 0,768 | 0,555 | 0,844 | |
| NDVI (2-PICO) | | | | | 1,000 | 0,437* | 0,650* | -0,374** | 0,366* | 0,000 | -0,111 | 0,169 | 0,081 | 0,251* | -0,191 | 0,172 | 0,096 | 0,271* | -0,028 | -0,058 | -0,128 | -0,119 | 0,101 | -0,024 |
| NDVI (3-EOS) | | | | | | 1,000 | 0,801* | -0,396** | 0,338* | -0,275* | -0,000 | -0,102 | -0,112 | 0,012 | 0,101 | 0,084 | 0,497 | 0,311 | 0,048 | 0,112 | 0,109 | 0,544 | 0,009 | 0,031 |
| NDVI medio | | | | | | | 1,000 | 0,001 | 0,005 | 0,024 | 0,000 | 0,150 | 0,364 | 0,001 | 0,002 | 0,405 | 0,964 | 0,879 | 0,332 | 0,614 | 0,397 | 0,882 | 0,492 | |
| Desv.Est. NDVI | | | | | | | | 1,000 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | 0,012 | |
| SUP (ha) | | | | | | | | | 1,000 | 0,018 | 0,288* | 0,018 | 0,288* | 0,314* | -0,484** | -0,486** | -0,291* | -0,341** | -0,307* | 0,012 | 0,213 | 0,121 | 0,020 | |
| ELEV media | | | | | | | | | | 1,000 | 0,018 | 0,288* | 0,018 | 0,288* | 0,314* | -0,484** | -0,486** | -0,291* | -0,341** | -0,307* | 0,012 | 0,213 | 0,121 | |
| PEND media | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,012 | 0,005 | 0,044 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | |
| TIPO RIEGO | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| % ARCILLA | | | | | | | | | | | | | 1,000 | -0,869** | -0,359** | 0,406* | 0,579* | 0,519* | 0,363* | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| % ARENA | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,003 | 0,104 | 0,036 | -0,472** | -0,711** | -0,600** | 0,000 | 0,003 | -0,277* | |
| PROF FREÁTICO | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,023 | |
| PROF MANCHAS | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,433* | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| M.O. hor sup | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,593* | 0,493* | 0,552* | -0,275* | -0,483** | -0,457** | |
| SAL max | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,871** | 0,960** | 0,024 | 0,000 | 0,000 | |
| SAL min | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,961** | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| SAL media | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| Desv.Est. (1-SOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,002 | 0,002 | |
| Desv.Est. (2-PICO) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | 0,667* | |
| Desv.Est. (3-EOS) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1,000 | |

Analizando los datos de la tabla 16 pueden apreciarse correlaciones con un nivel de significación superior al 95% y que nos aportan información muy importante. Se detallan a continuación:

La **Unidad de Suelo** es el parámetro con mayor número de correlaciones significativas, en concreto con los datos de elevaciones medias, porcentaje de arena, profundidad del freático, profundidad de las manchas, materia orgánica del horizonte superficial y desviaciones estándar del NDVI.

El **tipo de Cultivo** se correlaciona con el tipo de riego ya que en las parcelas con riego por superficie no se cultiva maíz, además sobre los valores del NDVI en los momentos de crecimiento y senescencia. Esto se explica por la saturación del NDVI para valores altos (> 0,9) y que no permite apreciar diferencias entre los cultivos de verano e invierno para el momento de madurez (Tucker, 1979).

Los **valores del NDVI** se correlacionan con los parámetros edáficos de profundidad de manchas, materia orgánica del horizonte superficial, con la salinidad máxima y de forma negativa con la desviación estándar del NDVI (mayor variabilidad del cultivo, menor valor del NDVI medio).

La **desviación estándar del NDVI** se correlaciona con un mayor número de parámetros que el NDVI, siendo estos la pendiente, el tipo de riego, la profundidad del freático, la profundidad de las manchas, la materia orgánica del horizonte superficial y la salinidad; lo que concuerda con los resultados del trabajo (Meravi & Prajapati, 2018) en el que se examinó la variabilidad en la fluorescencia de la clorofila y su relación con índices de vegetación entre diferentes especies vegetales mediante el trabajo con la desviación estándar del NDVI. Esto refuerza nuestra hipótesis de que la desviación estándar del NDVI se trata de un parámetro capaz de mostrar la variabilidad de los cultivos y por tanto la variabilidad de la parcela o las unidades de suelo.

Los dos parámetros de **Elevación y Pendiente** se correlacionan significativamente con la textura, profundidad del freático y de las manchas, materia orgánica y salinidad.

La textura (contenidos de **Arcilla y Arena**) se correlacionan entre ellos y con la salinidad y la desviación estándar del NDVI, es decir, la textura es fundamental a la hora de determinar la variabilidad del desarrollo de los cultivos.

La **profundidad del nivel freático** se correlaciona de forma negativa con la salinidad; y la **profundidad de las manchas** de forma positiva con el contenido de materia orgánica del horizonte superficial.

Por último, el **contenido de materia orgánica del horizonte superficial** está directamente correlacionado con la salinidad, lo que se alinea con los resultados obtenidos en el trabajo de Singh et al. (2023) en el que se apreció como la salinidad afecta sobre la calidad y estabilidad del carbono orgánico en el suelo, lo que influye en la distribución y disponibilidad de la materia orgánica del suelo; además está inversamente correlacionado con la desviación estándar del NDVI, lo que concuerda con el trabajo de Amézketa et al. (2011) en el que se determinó el NDVI como una herramienta muy potente para detectar las zonas salinas debido a su influencia sobre los de cebada en el Valle del Ebro.

(II) Esto se lleva al análisis de las componentes principales, mediante el cual se quería correlacionar de forma conjunta toda la información que se tenía. No consigue explicar más del 40% de la varianza, si bien hay que considerar que no se han utilizado una gran cantidad de datos, además se combinan parámetros muy diferentes (NDVI de distintos cultivos, años etc.) y no se han tomado las unidades salinas o aquellas parcelas

en las que no había datos concretos de cultivos, y no es sencillo dar una explicación de todos esos factores solamente con el suelo.

Al analizar la matriz de componentes podemos apreciar como el 40,03% de la varianza se explica mediante estas dos componentes:

- La **componente 1** está relacionada más fuertemente con las fracciones texturales (arcilla=0,818 y arena=0,913, en sentidos opuestos) y con la profundidad del freático (0,695).
- La **componente 2**, sin embargo con la unidad de suelo (0,807), la elevación (0,715) y la profundidad de las manchas (0,743)

Por último, se muestra el gráfico de cargas (figura 51) en el que se observan ciertas agrupaciones de variables interesantes como son :

- El contenido de arena con la profundidad del nivel freático (color azul), debido a su alta permeabilidad tal y como citan Wrzesiński & Markiewicz (2022).
- El contenido de arcilla con la salinidad media (color naranja), pues la capacidad de retención de agua en las partículas finas puede aumentar la susceptibilidad del suelo a la acumulación de sales (FAO, 2024).
- La elevación media con la profundidad de las manchas y el contenido de materia orgánica superficial, lo que tiene su justificación por la unidad de Plataformas, en la que la textura más gruesa facilita la permeabilidad del suelo y evita la aparición de manchas (Gobierno de Navarra, 2024).

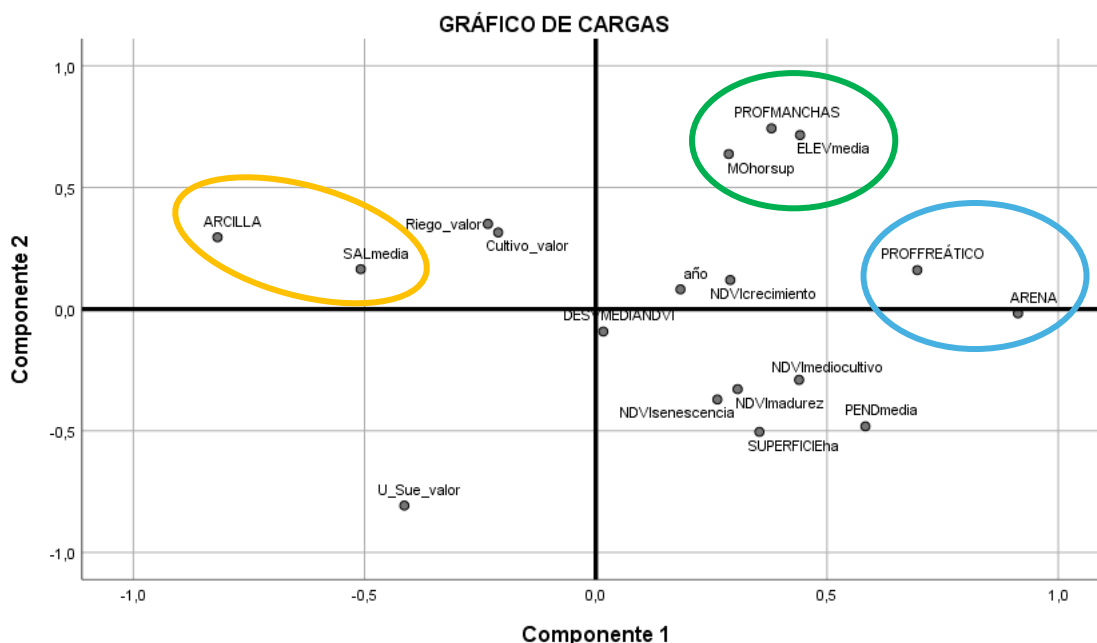


Figura 51: Gráfico de cargas respecto a las dos componentes y su relación con los parámetros analizados en función de su proximidad. Se rodean en colores aquellas agrupaciones de variables más significativas. Fuente: elaboración propia.

Este gráfico corrobora la discusión que se ha hecho anteriormente, pues en las texturas más gruesas y que permiten un movimiento más fluido del agua no se encuentran manchas ni el nivel freático, mientras que en las texturas más finas se observan problemas de salinidad y oxido-reducción que se aprecian por la aparición de manchas.

5. CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones que pueden extraerse del trabajo realizado:

- 1- El uso del mapa multibanda ha ayudado mucho en la elaboración del mapa de suelos gracias a facilitar la ubicación de los puntos de muestreo y que, en una zona con tanta heterogeneidad en el manejo del regadío, es necesario intensificar el análisis de las imágenes multiespectrales incluyendo la clasificación temporal de la cubierta del suelo, para poder extraer información relevante.
- 2- Se han definido 7 unidades de suelo homogéneas en la cuenca de estudio, y la mayor parte de ellas no presentan limitaciones para el cultivo.
- 3- La salinidad aparece en un pequeño porcentaje de la cuenca, sobre parcelas que no se cultivan actualmente. En concreto se encuentra en la parte central de la misma, lo que puede indicar un mal movimiento del agua en esa zona.
- 4- En la cuenca predominan las texturas finas, y se han detectado movimientos lentos del agua por la presencia de manchas de oxido-reducción.
- 5- El análisis del NDVI ha sido útil para estimar el desarrollo de los cultivos, aunque la relación de este desarrollo con el tipo de suelo solamente se ha detectado mediante el análisis en más detalle.
- 6- Se ha detectado una mayor homogeneidad en el desarrollo de los cultivos en la unidad de Plataforma y una mayor heterogeneidad en la unidad de Ladera, mediante el análisis de la desviación estándar del NDVI como indicador de la variabilidad de los cultivos, y esto se ha confirmado con el análisis en más detalle de una parcela con esas dos unidades.
- 7- El estudio detallado en una parcela ha mostrado nuevas diferencias para los momentos de inicio y senescencia de los cultivos, que solo se aprecian para el momento de madurez cuando se considera la cuenca en su conjunto.

6. LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y LÍNEAS FUTURAS DE TRABAJO

El principal limitante del trabajo ha sido el bajo presupuesto con el que se contaba y que ha provocado tener que centrarse en el trabajo con datos de sensores remotos y limitar el número de calicatas y sondeos que podían hacerse, lo que tiene repercusiones en la resolución del mapa de suelos obtenido, si bien la escala 1:40.000 es suficiente para los objetivos del PDR en el que se encuadra.

La unidad de Ladera es la de mayor porcentaje sobre la superficie de la cuenca y la que mayor heterogeneidad presenta. Un análisis en mayor profundidad aumentando el detalle de trabajo y con un mayor número de sondeos y calicatas Podría ayudar a subdividir esa gran unidad en otras más pequeñas y homogéneas.

Sería interesante un estudio en más detalle para corroborar lo que parecen dos capas freáticas distintas y la influencia que ello puede tener sobre la movilidad de las masas de agua subterráneas y su implicación en los contaminantes. Esto podría llevarse a cabo mediante la colocación de pozos para el estudio de esos movimientos del agua y los nutrientes.

Por último, las medidas del valor del NDVI y de su desviación estándar en parcelas de cultivo revelan un gran potencial para el trabajo a mayor grado de detalle, y que puede emplearse dentro de las técnicas de agricultura de precisión para evaluar parámetros ligados tanto al suelo como al manejo agronómico.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcayaga Casali, S. (1968). *Los mapas de suelos*. CORFO, Gerencia Agrícola, Departamento de Desarrollo Agrícola, Sección Estudios Suelos.
- Amézketa, E., Urdánóz, V., Barinagarrementeria, I., Albizua, L., Berkane, Y., Portero, C. I., & Casterad, M. A. (2011). *Validación de índices espectrales para detectar salinidad edáfica en cebada mediante sensores electromagnéticos terrestres*. En Teledetección: bosques y cambio climático. Editado por Recondo, C., & Pendás, E., 277-280 <http://hdl.handle.net/10532/1724>
- Andrés, R. (2013). *Estudio del riego por aspersión en LASESA (Monegros, Huesca)* (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://zaguan.unizar.es>
- Ayuntamiento de Grañén. (2024). *Montesusín*. Recuperado el 5 de junio de 2024, de <https://www.xn--gran-dpa1c.es/montesus%C3%ADn>
- Cahyana, D., Sulaeman, Y., Barus, B., Darmawan, & Mulyanto, B. (2023). *Improving digital soil mapping in Bogor, Indonesia using parent material information*. Geoderma Regional, 33, e00627. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00627>
- Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas. (1983). *SINEDARES: Manual para la descripción codificada de los suelos en el campo*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Copernicus. (2024). *Copernicus Data Space Ecosystem*. Recuperado el 3 de junio de 2024, de <https://dataspace.copernicus.eu/>
- Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2003). *Application of soil electrical conductivity to precisión agriculture: Theory, principles and guidelines*. *Agronomy Journal*, 95(2), 455-471. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.4550>
- Domínguez Carrera, E. M. (2020). *Diseño e implementación de un sistema óptico para captación de imágenes multispectrales a ser usado en la detección de áreas infectadas por hongos en hojas de plantas* (Bachelor's thesis). Escuela Politécnica Nacional, Quito. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20918>
- Elías, F., Castellví, F., Bosch, A. D., Cusidó, J., Sánchez, J. J., Ferreres, E., Gómez-Arnau, A., López, F., Martínez, J. A., Pérez, P. J., Porta, J., Porta, P., & Villar, J. M. (2001). *Agrometeorología*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-7114-973-7.
- Espinosa-Espinosa, J. L., Palacios-Vélez, E., Tijerina-Chávez, L., Flores-Magdaleno, H., & Quevedo-Nolasco, A. (2017). *Sistema de monitoreo satelital para el seguimiento y desarrollo de cultivos del Distrito de Riego 038*. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1), 95-104. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-07>
- Esri. (2024). *¿Qué son los datos LiDAR?* Recuperado el 3 de junio de 2024, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/las-dataset/what-is-lidar.htm>

Felicísimo, Á. (1994). *Modelos digitales del terreno: Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Gobierno de Navarra. (2024). *IDENA: Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra*. IDENA. Recuperado el 31 de mayo de 2024, de https://idena.navarra.es/navegar/?lang=es#ZXh0fGJhc2V8bWFwYWJhc2V8BqF5ZXJzXi40OTYyMDkuMzQyYzQ2ODU2OTkuNDYzYzF0MTk2OS4zNDJ8NDc5MTQ5MS4_0NjNeJDB8QDR8NXw2fDddfDF8MnwzfEBdXQ==

Guerra, A., Monturiol, F., Badorrey, T., Gallardo, J., Carlevaris, J. J., Horra, J. L., & Labrandero, J. L. (1970). *Mapas de suelos de las provincias de Zaragoza, Huesca y Logroño*. Madrid: CSIC: Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología. 66 pp.

Gutiérrez, M. (2023). *Orientaciones varietales para las siembras de cereales en Aragón*. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Dirección General de Desarrollo Rural. Servicio de Innovación y Transferencia Agroalimentaria. ISSN: 1137/1730.

Herrero, C., Boixadera, J., Danés, R., & Villar, J. M. (1993). *Mapa de sòls de Catalunya 1:25.000. Bellvís 360-1-2 (65-28)*. Direcció General de Producció i Indústries Agroalimentàries, Institut Cartogràfic de Catalunya, Generalitat de Catalunya.

Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. (2024). *Catálogo de suelos*. ICGC. Recuperado el 31 de mayo de 2024, de <https://www.icgc.cat/es/Datos-y-productos/GeoDatos/Bases-de-datos-y-catalogos/Catalogo-de-suelos>

Jiménez Aguirre, M. T. (2013). *Cartografía de suelos de la zona regable de Almudévar (Huesca) para la evaluación hidrológica de la modernización del regadío* (Trabajo Fin de Máster, Universidad de Zaragoza).

Kumar, S., Rani, P., Suneel, G. V., Geetha, P. V., Kranthi, K. C., Vinusha, V., Sneha, L., Naik, B. S. S., Pramanick, B., Brestic, M., Gaber, A., & Hossain, A. (2023). *Detection of water deficit conditions in different soils by comparative analysis of standard precipitation index and normalized difference Vegetation index*. Heliyon, 9, e15903. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15903>

Loiseau, T., Richer-de-Forges, A. C., Martelet, G., Bialkowski, A., Nehlig, P., & Arrouays, D. (2020). *Could airborne gamma-spectrometric data replace lithological maps as co- variates for digital soil mapping of topsoil particle-size distribution? A case study in western France*. Geoderma Regional, 22, e00295. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00295>.

MappingGIS. (2015). *NDVI: ¿Qué es y cómo calcularlo con SAGA desde QGIS?* MappingGIS. Recuperado el 5 de mayo de 2024, de <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-esde-qgis/>

Martínez-Casasnovas, J. A. (2019). *Sistemas de información geográfica (SIG) y teledetección*. Lleida: Universitat de Lleida, Departamento Medi Ambient i ciències del sòl.

- Martínez-Casasnovas, J. A., Arnó-Satorra, J., & Escolà-Agustí, A. (2021). *Sensores de conductividad eléctrica aparente para el análisis de la variabilidad del suelo en agricultura de precisión*. En A. Namesny, C. Conesa, L. Martín, & P. Papasseit (Eds.), *Tecnología Hortícola Mediterránea. Evolución y futuro: viveros, frutales, hortalizas y ornamentales* (pp. 837). Biblioteca de Horticultura, SPE3 S.L. Valencia, España. ISBN: 978-84-16909-46-9. Recuperado de https://issuu.com/horticulturaposcosecha/docs/tecnologia_horticola_mediterranea
- Martínez Rayo, J., Castellón Benavides, J., Mendoza Jara, F., Acuña Espinal, E., Castellón Meyrat, A., Rodríguez, W., & López, A. A. (2019, noviembre 25). *El mapeo digital de suelos en Nicaragua: Una herramienta para la toma de decisiones en el manejo de la fertilidad de suelos*. ASA. <https://asa.crs.org/2019/11/el-mapeo-digital-de-suelos-en-nicaragua-una-herramienta-para-la-toma-de-decisiones-en-el-manejo-de-la-fertilidad-de-suelos/>
- Meravi, N., & Prajapati, S. K. (2018). *Temporal variation in chlorophyll fluorescence of different tree species*. *Biological Rhythm Research*, 51(3), 331–337. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1528694>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2024). *SIGPAC Visor*. Recuperado de <https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>
- Monterroso, H., & Chang, M. (2020). *Calibración de sensores para el ajuste o estimación de humedad a través del desarrollo de metodología (HG_RCG)*. En *CENGICAÑA: Memoria Presentación de resultados de investigación Zafra 2019 – 2020* (pp. 283-288).
- Nogués, J. (2002). *Mapa de suelos (E 1/25.000) de Barbués y Torres de Barbués (Huesca): Aplicaciones para modernización de regadíos*. Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón. <http://hdl.handle.net/10532/3458>
- Olaya, V. (2021). *Hidrología computacional y modelos digitales del terreno*. Hidro SM. <https://www.hidrosm.com/2021/02/libro-hidrologia-computacional-y.html>
- Organismo Autónomo Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG). (2024). *Centro de descargas*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España. DOI: 10.7419/162.09.2020. Recuperado de <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2019). *Mapas de Suelos y Bases de Datos a nivel Regional y Nacional. Portal de Suelos de la FAO*. Recuperado el 7 de junio de 2024, de <https://www.fao.org/soils-portal>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Suelos afectados por salinidad. Portal de Suelos de la FAO*. Recuperado el 7 de junio de 2024, de <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-afectados-por-salinidad/es/>

- Pérez, E. (2022). *Teledetección multisensor para la identificación temprana consistente de cultivos en los regadíos de Aragón* (Tesis doctoral). Universidad de Zaragoza. Recuperado de <http://zaquan.unizar.es>.
- Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). (2024). *Modelo digital del terreno (MDT)*. Madrid: Instituto Geográfico Nacional, Gobierno de España. Recuperado de <https://pnoa.ign.es/pnoa-lidar/modelo-digital-del-terreno>
- Planet. (2024). Planet Explorer. Recuperado el 6 de junio de 2024, de <https://www.planet.com/explorer/>
- Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. ISBN: 84-8476-148-7.
- Ren, J., Campbell, J. B., & Shao, Y. (2023). *Estimation of SOS and EOS for Midwestern US Corn and Soybean Crops*. *Remote Sensing*, 9(7), 722. <https://doi.org/10.3390/rs9070722>
- Remer, L. A., Wald, A. E., & Kaufman, Y. J. (2001). *Angular and seasonal variation of spectral surface reflectance ratios: Implications for the remote sensing of aerosol over land*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(2), 275-283. DOI: 10.1109/36.905235.
- Rouse, J. R., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., & Harlan, J. C. (1974). *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Greenwave effect) of natural vegetation*. Texas: Texas A&M University, Remote Sensing Center, College Station Texas. Type II I Report for the Period September 1972-November 1974. Recuperado de: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>
- Sampériz, M. (2022). *Correlación entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y la medida de su conductividad eléctrica aparente: influencia en el cultivo de cereal de invierno en condiciones de secano*. Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Zaragoza, Escuela Politécnica Superior de Huesca.
- SAIH Ebro. (2024). *Datos a la carta*. Confederación Hidrográfica del Ebro. Recuperado de <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/autoservicio/inicio>
- Singh, P., Sharma, S., Nisar, S., & Choudhary, O. P. (2023). *Structural stability and organic matter stabilization in soils: Differential impacts of soil salinity and sodicity*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23, 1751–1773. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01136-3>
- Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil survey manual* (Handbook No. 18). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Soil Survey Staff. (2022). *Keys to Soil Taxonomy* (13th ed.). United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Recuperado el 3 de junio de 2024, de <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>

- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127–150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- Uribeetxebarria, A., Arnó, J., Escolà, A., & Martínez-Casasnovas, J. A. (2018). *Apparent electrical conductivity and multivariate analysis of soil properties to assess soil constraints in orchards affected by previous parcelling*. *Geoderma*, 319, 185–193. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.008>
- Usón, M. A., Isidoro, D., & Asanza, J. (2020). *Variabilidad de los suelos y su influencia en el manejo del riego en la cuenca del Barranco del Reguero (Huesca)*. En Vericat Querol, D., Martínez Casasnovas, J. A., Poch Claret, R. M., Vidalhuguet, C., & Querol, M. (Eds.), *Medi Ambient i Ciències del Sòl* (pp. 169–172). Institut d'estudis ildencs. Universitat de Lleida. <https://unidisc.csuc.cat/oc-shib/index.php/s/L0hTVyUcOmryGjs>
- Wrzesiński, G., & Markiewicz, A. (2022). *Prediction of Permeability Coefficient k in Sandy Soils Using ANN*. *Sustainability*, 14(11), 6736. <https://doi.org/10.3390/su14116736>

ANEJO I:

DESCRIPCIÓN DE PERFILES Y SONDEOS

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-1**

Fecha de descripción: 22/12/2022

Término municipal: Robres (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona: SASO

Coordenadas: 41.877510, -0.447325

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: alta

Drenaje: muy bueno

Profundidad freático: NO VISIBLE

Encharcamientos: no

Salinidad superficial: no

Agrietamientos superficiales: no

Costra superficial: no

Geomorfología

Forma general del relieve: Plataforma

Morfología local: Cerca límite plataforma

Pendiente: general (<1%) y local (<1%)

Orientación: sin orientación

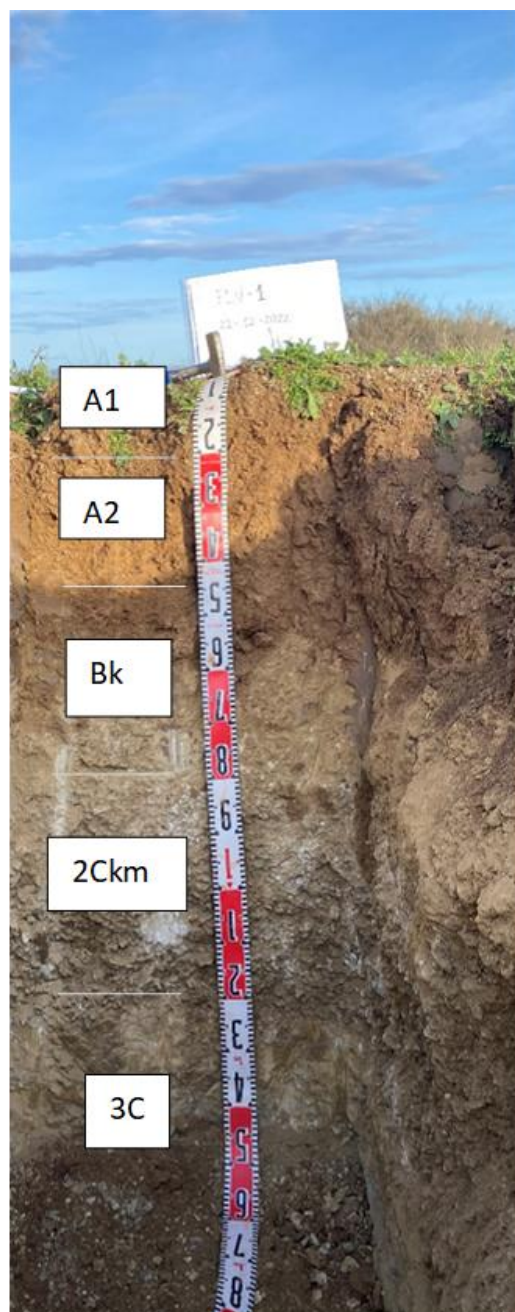
Material originario: depósitos terrígenos

Finos y gruesos

Vegetación: adventicias, cultivo maíz parcela colindante

Utilización: regadío

Tecnología: sin amueblamiento por problemas de propiedad



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Calcixerept petrocálcico, franco fino

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| A1 | 0-15 | 33,56 | 28,63 | 14,61 | 23,2 | Franca | - |
| A2 | 15-50 | 31,83 | 25,66 | 13,91 | 28,6 | Franca-Arc | - |
| Bk | 50-80 | 32,27 | 28,78 | 17,23 | 21,72 | Franca-Lim | - |
| 2CKm | 80-125 | 49,41 | 23,27 | 6,83 | 20,49 | No | - |
| 3C | 125-160 | 4,12 | 49,95 | 5,83 | 40,1 | No | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO ₃ equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--|-------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO ₃) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| A1 | 0-15 | 8 | 0,4 | > 6,69 | 37 | 11,1 | > 100 | 147 | 854 | 562 |
| A2 | 15-50 | 8,4 | 0,3 | 1,22 | 46 | > 12 | 34 | 17 | 438 | 166 |
| Bk | 50-80 | 8,4 | 0,4 | 0,38 | 40 | 7,43 | 20 | 3 | 80 | 142 |
| 2CKm | 80-125 | 8,1 | 1,4 | 0,34 | 46 | 5,48 | 3 | 3 | 108 | 227 |
| 3C | 125-160 | 8,3 | 0,5 | 0,6 | 26 | 9,83 | 8 | 12 | 140 | 397 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE extr dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| A1 | 0-15 | 1,86 | 55,75 | 11,52 | 3,18 | 1,56 | 8,58 | 6,68 | 11,78 | 19,40 |
| A2 | 15-50 | - | - | - | - | - | 4,74 | 0,88 | 5,84 | 1,04 |
| Bk | 50-80 | 3,71 | 35,00 | 18,94 | 4,59 | 18,09 | 3,38 | 0,16 | 2,92 | 0,06 |
| 2CKm | 80-125 | 5,19 | 35,00 | 40,94 | 17,93 | 15,37 | 9,58 | 0,48 | 5,48 | 0,18 |
| 3C | 125-160 | 3,23 | 58,00 | 18,44 | 13,97 | 8,62 | 4,44 | 0,56 | 3,00 | 1,04 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-015 A1

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes (5-15%), litología calizas, gravas finas y medias (0.2-2.0 cm), subredondeados-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franca (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: fuerte, bloques subangulares de tamaño fino. CONSISTENCIA: poco compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %) no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: limitado por contacto para-lítico, frecuentes, vivas, finas (1-2 mm), orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. EPIPEDIÓN: Óchrico.

015-050 A2

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10Y4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes (5-15%), litología calizas, gravas finas y medias (0.2-2.0 cm), subredondeados-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franco arcillosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada en bloques subangulares de tamaño mediano. CONSISTENCIA: compacto, firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías rellenas frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %) no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: pocas, vivas, muy finas (< 1mm), orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: pocas (<1 %) en nódulos friables, de tamaño fino (<5 mm), de carbonatos, distribuidas en canales de raíces, ligeramente duras. LÍMITE INFERIOR: gradual (5-12 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Óchrico.

050-080 Bwk

ESTADO HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR: de la matriz 10YR6/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: pocos (1-5 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), subredondeados-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franco limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques angulares de tamaño fino. CONSISTENCIA: compacto, muy firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: inapreciable (<0.2 %) no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: muy pocas, vivas, muy finas (< 1mm), orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: Muy frecuentes (5-20 %) en nódulos friables, de tamaño fino (<5 mm), de carbonatos, distribuidas en canales de raíces, ligeramente duras. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Cálculo.

080-0125 2Ckm

ESTADO HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes (>70 %), litología calizas, gravas finas y gruesas (0.2-6.0 cm), subangular-planos, con orientación horizontal, distribución regular. TEXTURA: no. ESTRUCTURA: primaria: sin estructura por elementos gruesos. CONSISTENCIA: no descrita. CEMENTACIONES: débilmente cementado de carbonatos cálcicos en estructura de migas de pan. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: inapreciable (<0.2 %) no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: no hay. ACUMULACIONES: No hay. LÍMITE INFERIOR: muy abrupto (<0.5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Cálculo.

0125-160 3C

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (<1 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), subredondeados-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: no. ESTRUCTURA: primaria: sin estructura. CONSISTENCIA: no descrita. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: inapreciable (<0.2 %) no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: no hay. ACUMULACIONES: Muy frecuentes (5-20 %), de cemento geopetal, de tamaño fino (<5 mm), de carbonatos, asociadas a elementos gruesos, duras. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: no descrito.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-2**

Fecha de descripción: 27/12/2022

Término municipal: Montesusín (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampériz

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.866789, -0.4156643

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: moderada

Drenaje: moderado

Profundidad freático: NO VISIBLE

Encharcamientos: no visibles

Salinidad superficial: no

Agrietamientos superficiales: no

Costra superficial: no

Pedregosidad superficial: 1% de diámetro 0.2-6 cm
3% de diámetro 6-15 cm

Geomorfología

Forma general del relieve: Ladera pendiente
Suave

Morfología local: Parte media

Pendiente: general (3-4 %) y local (2 %)

Orientación: 45° NE

Modificación de la forma:

Abancalamiento-modernización

Material originario: detríticos terrígenos

Principalmente finos

Vegetación: labrado sobre girasol, restos estiércol

Utilización: regadío

Tecnología: regadío por aspersión y drenaje



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Haploxerept cálcico, limoso fino

Fase salina: Ligeramente salina

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Ap | 0-35 | 18,21 | 36,42 | 11,47 | 33,9 | Frc-Arci-Lim | - |
| Bw1 | 35-80 | 17,01 | 40,2 | 11,54 | 31,25 | Frc-Arci-Lim | - |
| Bw2 | 80-110 | 9,13 | 45,74 | 9,33 | 35,8 | Frc-Arci-Lim | - |
| BK | 110-150 | 5,36 | 48,08 | 9,01 | 37,55 | Arc-Lim | - |
| C gravas | 150-170 | - | - | - | - | No | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO ₃ equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--|-------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO ₃) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| | | | | | | | Ap | 0-35 | 8,1 | 1 |
| Bw1 | 35-80 | 8,1 | 1,5 | 2,33 | 27 | 9,15 | 54 | 52 | 446 | 439 |
| Bw2 | 80-110 | 8,4 | 0,9 | 1,39 | 27 | 9,7 | 20 | 25 | 350 | 422 |
| BK | 110-150 | 8,5 | 0,6 | 0,85 | 28 | 10,43 | 19 | 9 | 222 | 476 |
| C gravas | 150-170 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE extr dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| | | Ap | 0-35 | 6,59 | 46,00 | 28,89 | 21,06 | 24,00 | 16,78 | 2,08 |
| Bw1 | 35-80 | 8,36 | 53,50 | 32,98 | 35,59 | 44,58 | 1,66 | 1,46 | 9,62 | 3,20 |
| Bw2 | 80-110 | 5,57 | 55,50 | 27,56 | 21,63 | 26,24 | 22,60 | 0,94 | 9,12 | 1,70 |
| BK | 110-150 | 3,51 | 52,75 | 9,42 | 10,24 | 18,86 | 8,44 | 0,30 | 4,16 | 0,92 |
| C gravas | 150-170 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-035 Ap

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes (5-15%), litología calizas, gravas medias y gruesas (0.6-6.0 cm), subangular-esferoides, sin orientación definida, distribución regular, aparece un canto mayor de 15 cm. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: poco compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías rellenas, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: restos restrojos, frecuentes. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %) en forma de residuos vegetales descompuestos. SISTEMA RADICULAR: normal, pocas, vivas y muertas, medianas (2-5 mm), orientación vertical regular. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. EPIPEDIÓN: Óchrico.

035-080 Bw1

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10Y4/3 (húmedo). MANCHAS: muy escasas, de tamaño muy pequeño (1-2 mm), de oxido-reducción, en restos de materia orgánica. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: pocos (1-5 %), litología calizas, gravas medias (0.6-2 cm), angular-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franca arcillosa-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques angulares de tamaño grueso. CONSISTENCIA: compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: restos de rastrojo, frecuentes. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %), residuos vegetales descompuestos. SISTEMA RADICULAR: pocas, vivas y muertas, finas (1-2 mm), orientación vertical, regular. ACUMULACIONES: pocas (<1 %) vermiformes, de tamaño fino (<5 mm), de carbonato cálcico, asociadas a elementos gruesos. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Cámbico.

080-110 Bw2

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/4 (húmedo). MANCHAS: muy escasas (<1 %), muy pequeñas (1-2 mm), de oxido-reducción, distribuidas en raíces. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (<1 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), angular-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada en bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: pocas, vivas y muertas, finas (1-2 mm), orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: pocas (<1 %) vermiformes, de tamaño fino (<5 mm), de carbonato cálcico, asociadas a elementos gruesos. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Cámbico.

110-150 Bk

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 210Y5/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (<1 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), angular-esferoides, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, en forma laminar, de tamaño medio. CONSISTENCIA: compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, muy pocas. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: muy pocas, vivas y muertas, muy finas (<1 mm), con orientación vertical, disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: muy frecuentes, en nódulos friables, de tamaño fino (<5 mm), de carbonato cálcico, asociadas a elementos gruesos, blandas. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: Cálcico.

150-170 C gravas

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10Y6/3 (seco). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes (>70 %), litología calizas, gravas finas y medias (0.2-2 cm), subangular-esferoides, sin orientación definida, distribución regular; aparece un canto mayor de 15 cm. TEXTURA: no. ESTRUCTURA: primaria: sin estructura por elementos gruesos. CONSISTENCIA: no descrita. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no descrita. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: no hay. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: Cámbico.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-3**

Fecha de descripción: 27/12/2022

Término municipal: Montesusín (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.873526, -0.404314

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: baja

Drenaje: moderado

Profundidad freático: NO VISIBLE

Encharcamientos: acumulación agua y humedad

Salinidad superficial: en lo alto de la parcela

Agrietamientos superficiales: no

Costra superficial: no apreciable por suelo húmedo

Pedregosidad superficial: 1% de diámetro 0.2-6 cm
Mayor a 50 m de distancia

Geomorfología

Forma general del relieve: Ladera rectilínea

Morfología local: En medio de la finca

Pendiente: general (2 %) y local (2 %)

Orientación: Sur

Modificación de la forma:

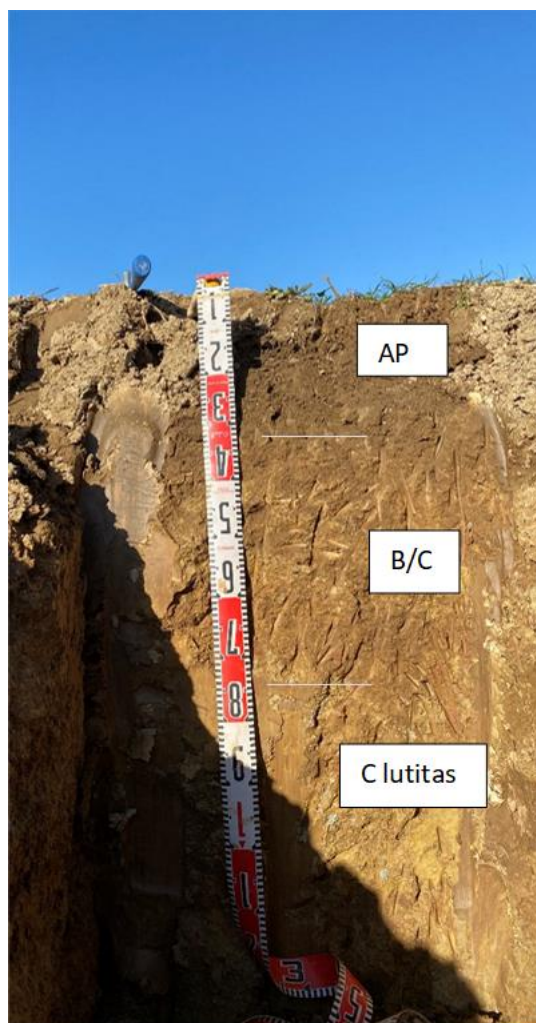
Unión de parcelas abancaladas

Material originario: Lutitas

Vegetación: Sin sembrar

Utilización: regadío

Tecnología: regadío sin amueblar



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Xerorthent típico, fino

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm3) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|----------------------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Ap | 0-30 | 14,8 | 41,6 | 9,8 | 33,8 | Frc-Arci-Lim | - |
| Bw1 | 30-60 | 11,23 | 41,25 | 9,84 | 37,68 | Arci-Lim | - |
| C lutitas | 60-130 | - | - | - | - | No | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO3 equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO3) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| | | | | | | | Ap | 0-30 | 8,1 | 0,5 |
| Bw1 | 30-60 | 8,4 | 0,3 | 0,79 | 31 | 10,43 | 5 | 4 | 98 | 370 |
| C lutitas | 60-130 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE extr dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| | | Ap | 0-30 | 2,77 | 53,75 | 21,82 | 8,31 | 6,08 | 16,38 | 0,58 |
| Bw1 | 30-60 | - | - | -- | - | - | 11,64 | 0,36 | 7,06 | 0,10 |
| C lutitas | 60-130 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-030 Ap

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/3 (húmedo). MANCHAS: escasas (1-2 %), muy pequeñas (1-2 mm), de oxido-reducción, distribuidas en raíces y en materia orgánica, con colores rojizos y negros. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: pocos (1-5 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), redondeado-esferoidales, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques subangulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: poco compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías, galerías rellenas y hormigueros, abundantes (5-20 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %) en forma de residuos vegetales descompuestos. SISTEMA RADICULAR: limitado por contacto para-lítico, abundantes, vivas y muertas, finas y medianas (1-5 mm), orientación vertical y distribución regular. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: gradual (5-12 cm). EPIPEDIÓN: Óchrico.

030-060 B/C

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10Y4/4 (húmedo). MANCHAS: no se distinguen manchas del material original. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (<1 %), litología calizas, gravas finas (0.2-0.6 cm), redondeado-esferoidales, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques subangulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: inapreciable (<0.2 %). SISTEMA RADICULAR: no descrito. ACUMULACIONES: inexistentes. LÍMITE INFERIOR: difuso (>12 cm). ENDOPEDIÓN: no descrito.

060-130 C lutitas

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: no descrito. MANCHAS: no descrito. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: no descrito. ELEMENTOS GRUESOS: no descrito. TEXTURA: no descrito. ESTRUCTURA: primaria: no descrito. CONSISTENCIA: compacto. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no descrito. ACTIVIDAD HUMANA: no descrito. MATERIA ORGÁNICA: no descrito. SISTEMA RADICULAR: no descrito. ACUMULACIONES: inexistentes. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: no descrito.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-4**

Fecha de descripción: 27/12/2022

Término municipal: Montesusín (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.876577, -0.368008

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: moderada

Drenaje: moderado

Profundidad freático: 180 cm

Encharcamientos: no visibles

Salinidad superficial: no visible

Agrietamientos superficiales: no

Costra superficial: no

Pedregosidad superficial: no hay

Geomorfología

Forma general del relieve: fondo

Morfología local: en medio del fondo

Pendiente: general (1-2 %) y local (<1 %)

Orientación: E

Modificación de la forma: no

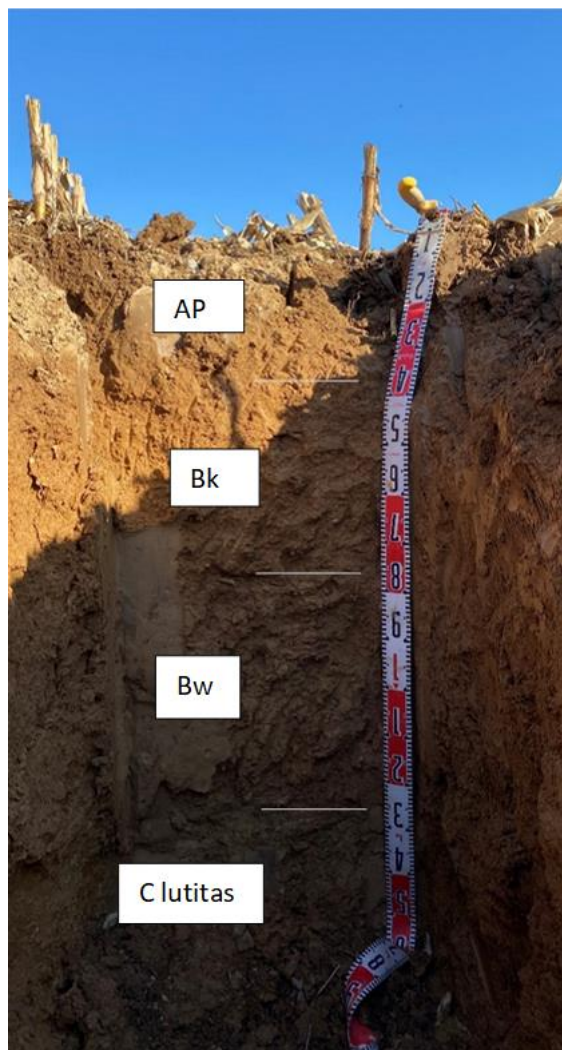
Material originario: detríticos terrígenos pp alm

Erosión: no aparente

Vegetación: rastrojo maíz sin laboreo

Utilización: tierra arable regadío

Tecnología: cultivo cereal y aporte estiércol



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Xerorthent oxyaquico, franco fino

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm3) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|----------------------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Ap | 0-40 | 13,63 | 42,28 | 10,72 | 33,37 | Frc-Arci-Lim | - |
| Bk | 40-80 | 21,57 | 35,58 | 10,58 | 32,27 | Frc-Lim | - |
| Bw | 80-130 | 26,16 | 30,33 | 15,06 | 28,45 | Frc-Lim | - |
| C lutitas | 130-180 | 6,61 | 46,09 | 20,54 | 26,76 | No | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO3 equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|----------------|--------------|---------------------------------------|--------|--------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO3) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| Ap | 0-40 | 8,3 | 0,4 | 3,29 | 23 | 8,35 | 35 | 89 | 444 | 328 |
| Bk | 40-80 | 8,6 | 0,3 | 0,84 | 26 | 8,78 | 14 | 12 | 174 | 272 |
| Bw | 80-130 | 8,6 | 0,3 | 0,35 | 28 | 5,8 | 10 | 8 | 60 | 212 |
| C lutitas | 130-180 | 8,5 | 0,8 | 0,22 | 17 | 3,8 | 5 | 2 | < 40 | 221 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|----------------|----------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|------------|
| | | CE extr dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| Ap | 0-40 | - | - | - | - | - | 10,94 | 1,00 | 9,74 | 10,60 |
| Bk | 40-80 | - | - | - | - | - | 8,86 | 0,36 | 6,50 | 1,36 |
| Bw | 80-130 | - | - | - | - | - | 4,22 | 0,16 | 2,44 | 0,44 |
| C lutitas | 130-180 | 4,19 | 53,00 | 15,14 | 9,10 | 23,94 | 2,68 | 0,08 | 1,36 | 0,14 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-040 Ap

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques subangulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: poco compacto, firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías, frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrito. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %) en forma de residuos vegetales descompuestos. SISTEMA RADICULAR: normal, frecuentes, vivas y muertas, finas (<2 mm), orientación vertical, disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. EPIPEDIÓN: Óchrico.

040-080 Bk

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10Y5/6 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques subangulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: compacto, friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %), raíces descompuestos. SISTEMA RADICULAR: normal, pocas, vivas y muertas, muy finas (<1 mm), orientación vertical, regular. ACUMULACIONES: pocas (<2 %) en nódulos friables, de tamaño fino (<5 mm), de carbonatos, irregularmente distribuidas. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: no descrito.

080-130 Bw

ESTADO HUMEDAD: mojado. COLOR: de la matriz 10YR5/6 (húmedo). MANCHAS: muy escasas (<1 %), muy pequeñas (1-2 mm), de oxido-reducción, distribuidas en raíces, de color oscuro y rojizas. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes (5-15 %), litología calizas, gravas finas y gruesas (0.2-6 cm), angular-esferoides y angulares-tabulares, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA: franca limosa (al tacto). ESTRUCTURA: sin estructura por demasiada agua. CONSISTENCIA: suelto, ligeramente adherente, muy plástico. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: normal, pocas, vivas y muertas, muy finas (<1 mm), orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: no descrito. LÍMITE INFERIOR: abrupto (0.5-2 cm), plano. ENDOPEDIÓN: no descrito.

130-180 C lutitas

ESTADO HUMEDAD: mojado-saturado. COLOR: no descrito. MANCHAS: no descrito. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado-reducido. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: no descrita. ESTRUCTURA: no descrita. CONSISTENCIA: compacto. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: no descrita. SISTEMA RADICULAR: no descrito. ACUMULACIONES: no descrito. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: no descrito.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-5**

Fecha de descripción: 9/01/2023

Término municipal: Montesusín (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.880801, -0.404565

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: regular

Drenaje: moderado

Profundidad freático: 240 cm

Encharcamientos: solo en las rodadas

Salinidad superficial: no aparente

Agrietamientos superficiales: muy poco, patrón

Poligonal, distancia 20-30 cm,

Profundidad 1-2 cm

Costra superficial: no se observa, muy húmedo

Pedregosidad superficial: no hay

Geomorfología

Forma general del relieve: fondo en U

Morfología local: fondo llano

Pendiente: general (1-2 %) y local (1 %)

Orientación: NE

Modificación de la forma: Parcelación

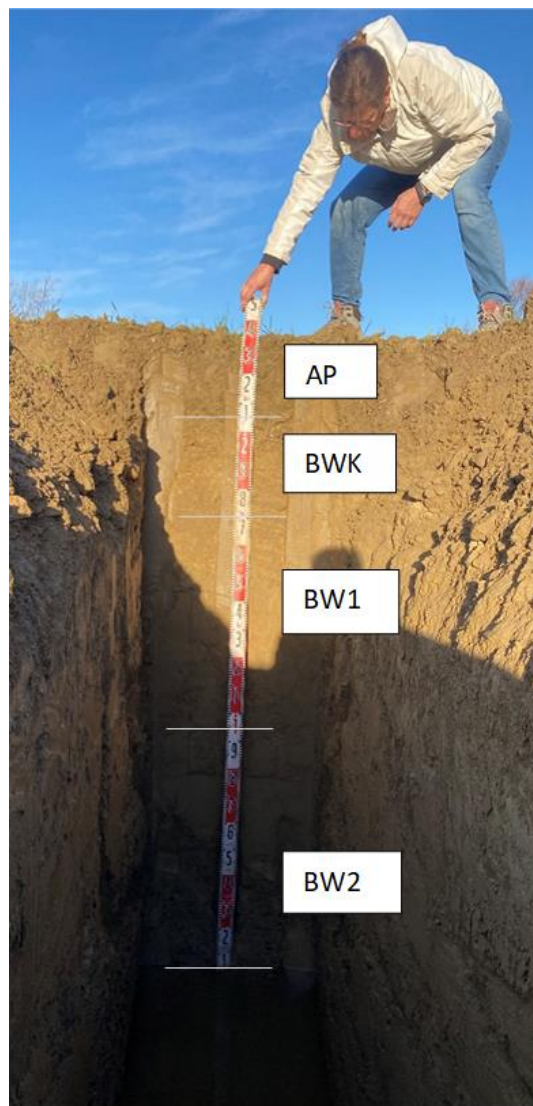
Material originario: depósitos terrígenos finos

Erosión: no aparente

Vegetación: barbecho labrado

Utilización: regadío sin amueblar

Tecnología: regadío



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Xerorthent oxyaquico, fino, fase ligeramente salina

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Apparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|--|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Ap | 0-40 | 4,44 | 47,38 | 10,18 | 38 | Frc-Arci-Lim | 1,51 |
| Bwk | 40-75 | 1,8 | 50,1 | 5,21 | 42,89 | Frc-Arci-Lim | 1,55 |
| Bw1 | 75-150 | 4,61 | 48,85 | 13,14 | 33,4 | Frc-Lim | 1,61 |
| Bw2 | 150-240 | 12,15 | 50,5 | 6,67 | 30,68 | Frc-Arci-Lim | 1,58 |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO ₃ equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--|-------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO ₃) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| Ap | 0-40 | 8,2 | 1,3 | 2,58 | 6 | 9,98 | 61 | 17 | 358 | 373 |
| Bwk | 40-75 | 8,4 | 1,9 | 0,99 | 25 | 10,43 | 16 | 4 | 192 | 500 |
| Bw1 | 75-150 | 8,3 | 0,9 | 0,77 | 24 | 9,13 | 8 | 5 | 134 | 324 |
| Bw2 | 150-240 | 8,4 | 0,5 | 0,72 | 25 | 9,25 | 3 | 2 | 138 | 284 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE (extr) dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| Ap | 0-40 | 7,52 | 62,25 | 35,71 | 25,78 | 35,64 | 10,10 | 0,94 | 5,44 | 1,20 |
| Bwk | 40-75 | 8,58 | 60,50 | 29,08 | 56,22 | 49,45 | 11,40 | 1,20 | 4,56 | 0,46 |
| Bw1 | 75-150 | 4,12 | 53,50 | 32,81 | 19,28 | 11,32 | 17,20 | 1,24 | 5,22 | 1,30 |
| Bw2 | 150-240 | 2,94 | 51,75 | 15,47 | 8,51 | 11,08 | 13,00 | 1,22 | 6,20 | 0,54 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-040 Ap

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques subangulares de tamaño fino. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %). SISTEMA RADICULAR: normal, pocas, vivas y muertas, orientación vertical. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: abrupto por laboreo (<2 cm), plano. EPIPEDIÓN: Óchrico.

040-075 Bwk

ESTADO HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR: de la matriz 10Y6/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: no descrito. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca arcillosa-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada en bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrito. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: muy pocas, vivas y muertas, orientación vertical disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: frecuentes (2-4 %) vermiformes, de tamaño fino (<5 mm), de carbonatos, en canales de raíces y asociadas a elementos gruesos. LÍMITE INFERIOR: gradual (5-12 cm), plano. ENDOPEDIÓN: no descrito.

075-150 Bw1

ESTADO HUMEDAD: mojado. COLOR: de la matriz 10YR5/4 (húmedo). MANCHAS: escasas (1-2 %), pequeñas (2-5 mm), de oxido-reducción, distribuidas en raíces, en poros y en caras de elementos gruesos, de color oscuro y rojizas. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: no descrito. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil, en bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: no hay. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. ENDOPEDIÓN: no descrito.

150-240 Bw2

ESTADO HUMEDAD: mojado, saturado a 240 cm. COLOR: de la matriz 2.5Y5/4 (húmedo). MANCHAS: frecuentes (2-20 %), pequeñas (2-5 mm), de oxido-reducción, distribuidas en raíces y en poros, de color oscuro y rojizas. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado-reducido. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil, en bloques subangulares, de tamaño medio. CONSISTENCIA: adherente, muy plástico, muy friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %) no descrita. SISTEMA RADICULAR: no descrito. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: no descrito.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-6**

Fecha de descripción: 9/01/2023

Término municipal: Montesusín (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.881066, -0.371297

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: regular

Drenaje: imperfectamente drenado

Profundidad freático: 155 cm

Encharcamientos: no se observa

Salinidad superficial: no aparente

Agrietamientos superficiales: no se observa por
vegetación

Costra superficial: no se observa por vegetación

Pedregosidad superficial: no hay

Geomorfología

Forma general del relieve: fondo en U

Morfología local: fondo al lado de azarbe

Pendiente: general (2-3 %) y local (3 %)

Orientación: N

Modificación de la forma:

Material originario: depósitos terrígenos finos

Erosión: no aparente

Vegetación: alfalfa y gramíneas

Utilización: alfalfa >4 años y malas hierbas

Tecnología: regadío por aspersión



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Xerorthent aquíco, franco fino

WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm3) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|----------------------------|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| Ap | 0-40 | 11,69 | 43,9 | 11,89 | 32,52 | Frc-Arci-Lim | - |
| Bw | 40-75 | 33,27 | 27,8 | 19,46 | 19,47 | Frc-Lim | - |
| Bg | 75-155 | 9,11 | 53,45 | 15,02 | 22,42 | Frc-Lim | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO3 equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO3) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| Ap | 0-40 | 8,4 | 0,3 | 1,72 | 23 | 9,08 | 10 | 22 | 104 | 392 |
| Bw | 40-75 | 8 | 1,5 | 1,07 | 23 | 4,35 | 5 | 18 | 68 | 202 |
| Bg | 75-155 | 8,5 | 0,8 | 0,63 | 24 | 8,63 | 3 | 4 | 88 | 324 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE (extr) dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| AP | 0-40 | - | - | - | - | - | 1,36 | 2,24 | 5,28 | 4,26 |
| Bw | 40-75 | 3,74 | 42,75 | 31,94 | 15,86 | 10,49 | 35,40 | 3,12 | 4,08 | 2,64 |
| Bg | 75-155 | 5,50 | 46,50 | 22,66 | 21,16 | 28,57 | 1,34 | 1,10 | 13,30 | 0,68 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-040 Ap

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y4/3 (húmedo). MANCHAS: no descrito. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (<1 %) en forma de gravas finas (0.2-0.6 cm). TEXTURA: franca arcillo-limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %). SISTEMA RADICULAR: normal, muchas, finas (<2 mm), vivas y muertas, orientación vertical. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. EPIPEDIÓN: Óchrico.

040-075 Bw (Oxido-reducción)

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y5/3 (húmedo). MANCHAS 1: abundantes (20-50 %), pequeñas (2-5 mm), de oxido-reducción, en caras de elementos gruesos y en raíces, de color 10R4/8. MANCHAS 2: escasas (1-2 %), grandes (>15 mm), de oxido-reducción, en parte inferior del horizonte, de color negro. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado-reducido. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada en bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: restos quemados de rastrojos. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: frecuentes, finas (<2 mm), vivas y muertas. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: abrupto (0.5-2 cm), plano. ENDOPEDIÓN: no descrito.

075-155 Bg (Reducción-oxidación)

ESTADO HUMEDAD: mojado y saturado al nivel del freático. COLOR: de la matriz 5Y4/2 (húmedo). MANCHAS: no descrito. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: reducido-oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto)-entre limo y arena muy fina, no se distingue bien. ESTRUCTURA: primaria: muy débil, laminar de tamaño muy fina. CONSISTENCIA: ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: pocas, gruesas (>5 mm) muertas. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: no descrito. ENDOPEDIÓN: no descrito.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-7**

Fecha de descripción: 12/01/2023

Término municipal: Robres (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampériz

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.8788631, -0.4256538

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Drenaje: Imperfectamente drenado

Profundidad freático: 80 cm

Geomorfología

Forma general del relieve: Fondo

Morfología local: Fondo abancalado

Pendiente: general (<1%) y local (<1%)

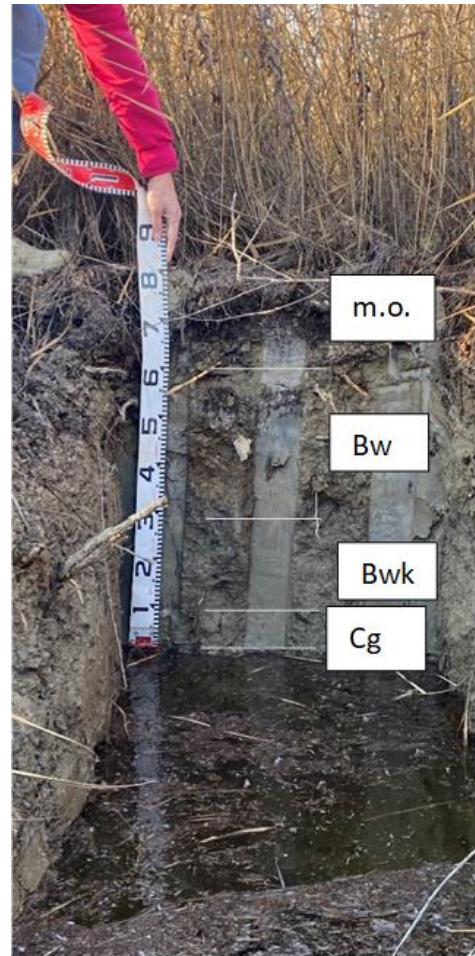
Orientación:

Material originario: detríticos terrígenos finos

Vegetación: adventicias, carrizos

Utilización: cultivo abandonado

Tecnología: riego abandono



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Haploxeroll aqúico, limoso fino
WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| MO | 0-20 | 45.32 | 28.57 | 8.08 | 18.03 | Franca | 0.5 |
| Bw | 20-50 | 11.62 | 44.75 | 10.81 | 32.82 | Frc-Arci | 1.58 |
| Bwk | 50-70 | 7.88 | 47.98 | 12.42 | 31.72 | Frc-Arci | 1.73 |
| C g | 70-80 | 11.1 | 46.12 | 11.3 | 31.48 | Frc-Lim | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO ₃ equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|-------------------|--------------|---|-----------|--|-------------------------|--|-----------------------------|---|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO ₃) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| MO | 0-20 | 7,3 | 0,8 | 17,97 | 17 | 4,3 | 131 | 316 | 1184 | 2271 |
| Bw | 20-50 | 8,1 | 3,1 | 1,4 | 23 | 7,88 | 14 | 92 | 750 | 738 |
| Bwk | 50-70 | 8,3 | 3,1 | 1,07 | 23 | 8,38 | 9 | 35 | 644 | 536 |
| C g | 70-80 | 8,2 | 2,9 | 0,92 | 23 | 8,5 | 2 | 12 | 358 | 488 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-------------------|----------------|-----------------------------------|----------------|--------------------|---------------|
| | | CE (extr) dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| MO | 0-20 | 2,56 | 41,00 | 6,25 | 18,73 | 2,37 | 31,20 | 51,60 | 12,12 | 276,00 |
| Bw | 20-50 | 7,81 | 53,25 | 25,22 | 72,64 | 26,93 | 54,60 | 2,70 | 4,84 | 2,32 |
| Bwk | 50-70 | 7,38 | 50,75 | 24,89 | 64,63 | 27,72 | 28,88 | 1,84 | 5,26 | 1,14 |
| C g | 70-80 | 6,35 | 51,25 | 26,47 | 52,70 | 22,60 | 25,84 | 1,80 | 11,50 | 1,08 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-020 MO

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR2/2 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: fuerte, granular de tamaño fino. CONSISTENCIA: poco compacto, muy friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no descrita. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. SISTEMA RADICULAR: afectado por hidromorfismo. Abundantes raíces vivas, de tamaño fino a grueso, verticales, con distribución regular. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto, plano. EPIPEDIÓN: Móllico

020-050 Bw

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y5/3 (húmedo). MANCHAS: frecuentes (2-20%), de oxidación-reducción, ligadas a canales de raíces. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado-reducido. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos, distribución regular y sin orientación definida. TEXTURA: franco arcillosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques angulares de tamaño mediano. CONSISTENCIA: compacto, firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. SISTEMA RADICULAR: Abundantes raíces vivas, de tamaño fino a grueso, verticales, con distribución regular. ACUMULACIONES: no hay. LÍMITE INFERIOR: neto, plano. ENDOPEDIÓN:.

050-070 Bwk

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 2,5Y4/3 (húmedo). MANCHAS: frecuentes (2-20%), de oxidación-reducción, ligadas a canales de raíces. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado-reducido. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franco arcillosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques angulares de tamaño grueso. CONSISTENCIA: compacto, firme. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. SISTEMA RADICULAR: Pocas raíces vivas, de tamaño fino a grueso, verticales, disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: Pocas (2-5%) vermiformes, de carnato. LÍMITE INFERIOR: neto, plano. ENDOPEDIÓN:.

070-080 Cg

ESTADO HUMEDAD: saturado. COLOR: de la matriz 2,5Y4/3 (húmedo). MANCHAS: abundantes (20-40%), de oxidación-reducción. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: reducido-oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franco limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: débil en bloques angulares de tamaño grueso. CONSISTENCIA: adherente, plástica. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: no aparente. ACTIVIDAD HUMANA: no hay. SISTEMA RADICULAR: Muy pocas raíces vivas, de tamaño fino, verticales, disminuyendo en profundidad. ACUMULACIONES: No hay. LÍMITE INFERIOR: neto, plano. ENDOPEDIÓN:.

Descripción del perfil: Datos generales

Perfil: **FLU-8**

Fecha de descripción: 12/01/2023

Término municipal: Robres (Huesca)

Descrito por: A. Usón; M. Sampérez

Cartografía

Editor: Instituto Geográfico Nacional

Escala: 1/25000

Hoja número:

Zona:

Coordenadas: 41.885633, -0.417298

Temperatura y agua del suelo

Régimen de humedad: xérico

Infiltración: baja

Drenaje: bueno

Profundidad freático: no se observa

Encharcamientos: agua en las rodadas

Salinidad superficial: no se observa por
humedad, pero afloran
sales en material extraído

Agrietamientos superficiales: no se observa por
humedad

Costra superficial: no se observa

Pedregosidad superficial: no hay

Geomorfología

Forma general del relieve: fondo

Morfología local: fondo

Pendiente: general (1 %) y local (<1 %)

Orientación: N

Modificación de la forma: abancalamiento

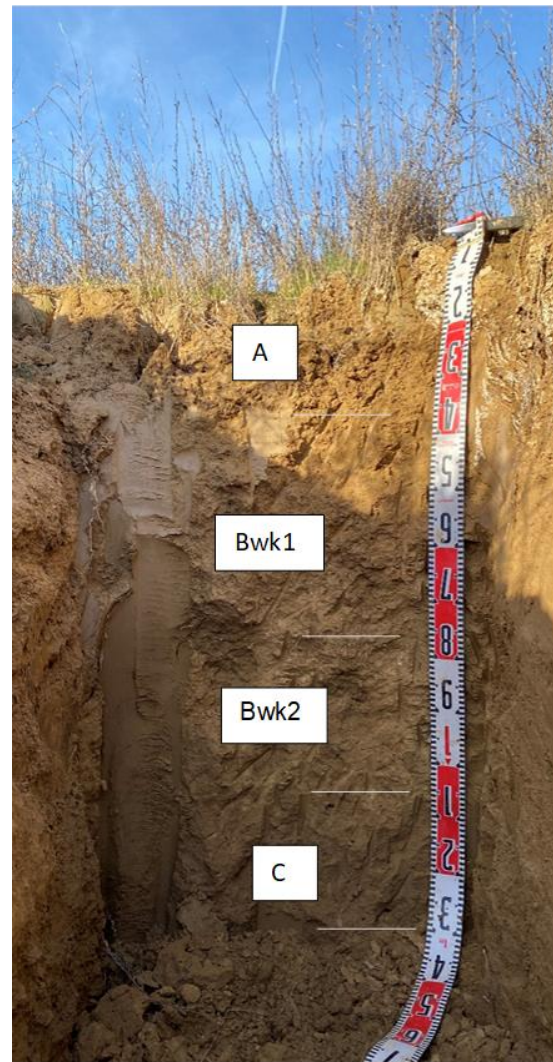
Material originario: detríticos terrígenos

Erosión: no se observa

Vegetación: vegetación salina

Utilización: abandono

Tecnología: regadío abancalado abandonado



Clasificación tentativa:

Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2022): Calcixerept nátrico, fino
WDR: I

Datos analíticos:

1. ANÁLISIS GRANULOMETRÍA + DENSIDAD APARENTE

| Horizonte | Prof. (cm) | Granulometría (USDA) | | | | | Densidad Aparente (Kg/dm ³) |
|-----------|------------|----------------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|---|
| | | Arena (%) | Limo Fino (%) | Limo Grueso (%) | Arcilla (%) | Clase textural | |
| A | 0-40 | 7.42 | 52.96 | 9.73 | 29.89 | Frc-Lim | 1.42 |
| Bwk1 | 40-80 | 1.81 | 56.8 | 5.14 | 36.25 | Frc-Lim | 1.53 |
| Bwk2 | 80-110 | 3.91 | 53.76 | 8.83 | 33.5 | Frc-Lim | 1.56 |
| C | 110-130 | 6.29 | 50.9 | 9.48 | 33.33 | Frc-Lim | - |

2. ANÁLISIS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS + MACRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Ph (1 : 2,5) | Prueba previa salinidad (CE 1:5) dS/m | M.O. % | CaCO ₃ equivalente g/100g | Caliza Activa g/100g | Nutrientes | | | |
|-----------|----------------|--------------|---------------------------------------|--------|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| | | | | | | | Nitrógeno (N-NO ₃) mg/Kg | Fósforo (Olsen) mg/Kg | Potasio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg | Magnesio (Extr. Acetato Amónico) mg/Kg |
| A | 0-40 | 8,6 | 3 | 1,31 | 22 | 9,13 | 18 | 8 | 240 | 521 |
| Bwk1 | 40-80 | 8,8 | 5,3 | 0,86 | 21 | 9,58 | 4 | 5 | 108 | 469 |
| Bwk2 | 80-110 | 8,8 | 3,1 | 0,68 | 21 | 9,13 | < 2 | < 2 | 54 | 468 |
| C | 110-130 | 8,5 | 3 | 0,61 | 20 | 10,08 | < 2 | < 2 | 52 | 520 |

3. ANÁLISIS MICRONUTRIENTES

| Horizonte | Profundidad cm | Salinidad (Pasta saturada) | | | | | Micronutrientes (Extracción EDTA) | | | |
|-----------|----------------|----------------------------|------------------|--------------|----------------|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------|------------|
| | | CE (1 : 5) dS/m | Saturación % p/p | Calcio meq/L | Magnesio meq/L | Sodio meq/L | Hierro mg/Kg | Cobre mg/Kg | Manganeso mg/Kg | Cinc mg/Kg |
| A | 0-40 | 13,72 | 55,25 | 31,22 | 63,93 | 117,17 | 8,24 | 0,80 | 6,04 | 0,62 |
| Bwk1 | 40-80 | 22,10 | 64,50 | 31,19 | 128,17 | 192,76 | 7,12 | 0,68 | 4,52 | 0,12 |
| Bwk2 | 80-110 | 15,66 | 57,00 | 30,73 | 76,15 | 135,61 | 4,26 | 0,48 | 3,74 | 0,14 |
| C | 110-130 | 15,66 | 59,00 | 29,23 | 61,83 | 109,67 | 5,54 | 0,50 | 3,98 | 0,16 |

Descripción (nomenclatura SINEDARES)

000-040 A

ESTADO HUMEDAD: mojado. COLOR: de la matriz 10YR4/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto). ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques subangulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: poca (1-2 %). SISTEMA RADICULAR: limitado por sustrato salino, frecuentes, finas (<2 mm), vivas y muertas, orientación vertical y distribución regular. ACUMULACIONES: pocas (<1 %), vermiformes de tamaño fino (<5 mm). LÍMITE INFERIOR: gradual (5-12 cm), plano. EPIPEDIÓN: no descrito.

040-080 Bwk1

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR5/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto), hacia franca arcillo-limosa. ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: limitado por sustrato salino, pocas, muy finas (<1 mm), vivas y muertas, orientación vertical y distribución regular. ACUMULACIONES: frecuentes (2-4 %), vermiformes de tamaño fino (<5 mm). LÍMITE INFERIOR: neto (2-5 cm), plano. EPIPEDIÓN: no descrito.

080-110 Bwk2

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR5/6 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto), hacia franca por arena fina/limo. ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques angulares de tamaño fino. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, frecuentes (1-5 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: limitado por sustrato salino, muy pocas, muy finas (<1 mm), vivas y muertas, orientación vertical y distribución regular. ACUMULACIONES: muy frecuentes (5-20 %), vermiformes y nódulos friables blandos de tamaño fino y medio (<15 mm). LÍMITE INFERIOR: gradual (5-12 cm), plano. EPIPEDIÓN: no descrito.

110-130 C

ESTADO HUMEDAD: húmedo. COLOR: de la matriz 10YR5/4 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDOREDUCCIÓN: oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: no hay. TEXTURA: franca limosa (al tacto), parecido al segundo. ESTRUCTURA: primaria: moderada, bloques angulares de tamaño medio. CONSISTENCIA: friable. CEMENTACIONES: no cementado. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: galerías y galerías rellenas, pocas (<1 %). ACTIVIDAD HUMANA: no descrita. MATERIA ORGÁNICA: muy poca (0.2-1 %). SISTEMA RADICULAR: limitado por sustrato salino, muy pocas, muy finas (<1 mm), vivas y muertas, orientación vertical y distribución regular. ACUMULACIONES: pocas (<1 %), vermiformes de tamaño fino (<5 mm). LÍMITE INFERIOR: no descrito. EPIPEDIÓN: no descrito.

DESCRIPCIÓN DE LOS SONDEOS

Número de Sondeo: S-5 Orden: 1°

Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS

Ubicación: Montesusín

Pendiente: 1%, orientación Sur

Vegetación: vegetación natural, cereal en la parcela contigua

Posición geomorfológica: antiguo cauce, fuera de la unidad hay afloramientos de areniscas

Material originario: DTF

Humedad: Seco en los primeros 30 cm y va aumentando la humedad en profundidad

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil

Acumulaciones: vermiformes de carbonato entre 40 y 100 cm, más frecuentes (2-5%) de 60 a 80 cm

Manchas: A partir de 90 cm alguna mancha redox asociada a canales de raíces

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 7,00 | 9,20 | 47,10 | 36,70 | 2,30 | 2,77 |
| 30-80 | 5,92 | 9,34 | 46,08 | 38,66 | 3,00 | 1,26 |
| 80-100 | 3,09 | 7,88 | 50,65 | 38,38 | 3,70 | 0,97 |

Familia textural: fina

Fase salina: moderadamente salina

Perfil más similar: FLU-5

Número de Sondeo: S-2 Orden: 2°
Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS
Ubicación: Robres
Pendiente: 1%

Vegetación: gramínea forrajera, regadío nivelado en tablas

Posición geomorfológica: plataforma, sin afloramientos rocosos, sin nivel freático aparente y poca pedregosidad

Material originario: SD finos y gruesos

Humedad: Seco en los primeros 40 cm y va aumentando la compactación hasta los 75 cm, y a partir de allí ligeramente más húmedo y suelto

Elementos gruesos: Pocos, se nota alguno con la barrena

Acumulaciones: No hay

Manchas: A partir de 50 cm material rojizo con manchas de oxido-reducción

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-35 | 16,12 | 9,15 | 40,70 | 34,03 | 0,20 | 2,69 |
| 35-75 | 4,16 | 7,00 | 44,32 | 44,52 | 0,80 | 0,88 |
| 75-100 | 0,92 | 2,15 | 52,77 | 44,16 | 1,30 | 0,52 |

Familia textural: fina

Fase salina: ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-2

Número de Sondeo: S-6.2 **Orden: 3º**
Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: 1-2 % orientación SE
Vegetación: Alfalfa, regadío por aspersión
Posición geomorfológica: fondo (final de la cuenca)
Material originario: DT finos

Humedad: Ligeramente húmedo en los primeros 40 cm y humedad aumentando en profundidad, a partir de 80 cm mojado

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil

Acumulaciones: No hay

Manchas: Pocas manchas de oxido-reducción (negras) a partir de 60 cm

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-40 | 24,26 | 12,72 | 35,80 | 27,22 | 0,20 | 1,85 |
| 40-80 | 13,51 | 10,01 | 47,75 | 28,73 | 0,20 | 1,01 |
| 80-100 | 6,09 | 6,79 | 48,35 | 38,77 | 0,20 | 0,78 |

Familia textural: limoso fina

Perfil más similar: FLU-4 o FLU-6

Número de Sondeo: S-6.1 **Orden: 4º**
Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: 3 %

Vegetación: Cebada bien implantada, restos de maíz, regadío por aspersión, recién regado, sin pedregosidad y sin freático aparente

Posición geomorfológica: fondo (final de la cuenca), cerca del drenaje de la cuenca

Material originario: DT gruesos

Humedad: recién regado

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil, aparece una capa con gravas a partir de 100 cm (posible drenaje artificial)

Acumulaciones: No hay

Manchas: Muy pocas a partir de 80 cm

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-40 | 40,38 | 15,58 | 26,54 | 17,50 | 0,20 | 1,05 |
| 40-80 | 37,21 | 20,21 | 25,98 | 16,60 | 0,10 | 0,66 |
| 80-100 | 23,91 | 17,59 | 34,78 | 23,72 | 0,20 | 0,61 |

Familia textural: franco fina

Perfil más similar: FLU-4 o FLU-6

Número de Sondeo: S-1.1 **Orden: 5º**

Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS

Ubicación: Montesusín

Pendiente: < 1 %, en la misma parcela hay cambio brusco de pendiente

Vegetación: Cebada, regadío por aspersión, sin problema de drenaje, sin afloramientos rocosos

Posición geomorfológica: plataforma, cambio de pendiente al final de la plataforma, dentro de la misma parcela hacia un fondo

Material originario: DT gruesos

Humedad: Seco en superficie, ligeramente más húmedo a partir de 30 cm

Elementos gruesos: Muy abundantes en superficie, gravas medias

Acumulaciones: Algún nódulo de carbonatos a partir de 35 cm, se ve muy mal debido a los e.g. muy abundantes

Manchas: no hay

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 29,29 | 11,83 | 25,05 | 33,83 | 0,30 | 3,78 |
| 30-50 | 28,34 | 11,93 | 22,12 | 37,61 | 0,30 | 3,15 |

Familia textural: franca

Fase salina: muy ligeramente salina

Perfil más similar: FLU1

Número de Sondeo: S-9 Orden: 6°

Fecha de descripción; autores: 30/03/23; AU/MS

Ubicación: Montesusín

Pendiente: 1-2 %, al fondo del cambio de pendiente en S-1.1, cambio de pendiente ascendente al final hacia el otro límite del fondo

Vegetación: Cebada, regadío por aspersión, sin problema de drenaje

Posición geomorfológica: fondo, representa un 2° fondo

Material originario: DT finos y gruesos

Humedad: ligeramente húmedo en superficie, húmedo a partir de 30 cm y mojado o saturado a partir de 100 cm

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil

Acumulaciones: Pocos nódulos de carbonatos a partir de 45 cm

Manchas: Muy pocas de reducción-oxidación (negras) a partir de 80 cm

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 20,84 | 11,68 | 34,84 | 32,64 | 0,30 | 2,06 |
| 30-80 | 11,07 | 10,68 | 45,06 | 33,20 | 0,30 | 1,38 |
| 80-120 | 6,10 | 12,30 | 47,70 | 33,90 | 0,30 | 0,92 |

Familia textural: limoso fina

Fase salina: muy ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-5

Número de Sondeo: S-2.2 **Orden: 7º**
Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS
Ubicación: Robres
Pendiente: 2 - 3 %

Vegetación: Cebada, regadío nivelado por tablas, buen drenaje, sin pedregosidad

Posición geomorfológica: ladera alta

Material originario: DT

Humedad: Seco en superficie, ligeramente húmedo a partir de 30 cm y húmedo a partir de 60 cm

Elementos gruesos: Muy pocos, dos piedras pequeñas

Acumulaciones: Nódulos de carbonatos a partir de 40 cm, entre 40-70 cm pocos nódulos blandos y muy pocas acumulaciones vermiformes (< 3%)

Manchas: No hay

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 31,81 | 16,10 | 22,41 | 29,68 | 0,20 | 2,34 |
| 30-80 | 30,41 | 19,69 | 21,46 | 28,44 | 0,20 | 0,61 |
| 80-100 | 25,93 | 28,56 | 20,37 | 25,14 | 0,20 | 0,32 |

Familia textural: franco fina

Perfil más similar: FLU2

Número de Sondeo: S-5.2 **Orden: 8º**
Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: 1 %

Vegetación: Gramínea forrajera, mal establecida, muchas malas hierbas y calvas salinas. Parcelas colindantes abandonadas y con salinidad superficial, sin pedregosidad. Freático observable a unos 100 cm. Riego nivelado por tablas

Posición geomorfológica: Cauce, parte alta

Material originario: DT

Humedad: Ligeramente húmedo en superficie, aumentando en profundidad, y suelo saturado a partir de 100 cm

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil

Acumulaciones: Algún nódulo de carbonatos entre 40 y 60 cm, y también vermiformes

Manchas: Manchas red-ox a partir de 40 cm que van aumentando

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 13,71 | 7,11 | 37,74 | 41,44 | 0,30 | 2,67 |
| 30-80 | 3,92 | 4,52 | 40,26 | 51,30 | 1,80 | 1,15 |
| 80-120 | 3,68 | 12,94 | 49,05 | 34,33 | 1,90 | 0,91 |

Familia textural: fina

Fase salina: ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-5 o FLU-7

Número de Sondeo: S-10 Orden: 9º

Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS

Ubicación: Montesusín

Pendiente: 3-5 %, parcela muy irregular

Vegetación: Alfalfa bien establecida, excepto en algunas manchas, riego por aspersión

Posición geomorfológica: Ladera con fuerte pendiente y muy irregular. Vegetación natural arbórea en lo alto de la ladera. Bastante pedregosidad superficial (15 %) y en alguna zona podrían ser afloramientos rocosos. Buen drenaje

Material originario: DT finos y gruesos

Humedad: Seco-Ligeramente húmedo en todo el perfil

Elementos gruesos: No hay en todo el perfil. Cálculo o petrocálculo a 60 cm que no deja bajar más la barrena

Acumulaciones: Algún nódulo blanco sobre 50-60 cm y más nódulos a partir de 60 cm

Manchas: Solamente una mancha rojiza a 45 cm, no hay más

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 13,35 | 12,65 | 41,73 | 32,27 | 0,20 | 1,57 |
| 30-50 | 11,88 | 12,77 | 37,72 | 37,63 | 0,30 | 1,06 |
| 50-60 | 12,18 | 15,97 | 38,62 | 33,23 | 0,30 | 0,80 |

Familia textural: limoso fina

Fase salina: muy ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-2

Número de Sondeo: S-11 **Orden: 10º**
Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: 1-2 %

Vegetación: Guisantes, mal establecidos, quizás por siembra tardía y húmeda. Abundante pedregosidad superficial (50%), sin afloramientos rocosos. Riego por aspersión

Posición geomorfológica: Ladera, pequeña plataforma al fondo de la ladera, bajo S-10

Material originario: DT finos y gruesos

Humedad: Húmedo en superficie, disminuyendo en profundidad

Elementos gruesos: Abundante pedregosidad superficial (50%), sin afloramientos rocosos, algo (10-15 %) hasta 2 cm, y siguen en profundidad, no pasando la barrena de 50 cm

Acumulaciones: No observadas

Manchas: No hay

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-35 | 15,63 | 11,22 | 38,98 | 34,17 | 0,30 | 3,17 |
| 35-50 | 41,23 | 9,50 | 25,95 | 23,32 | 0,20 | 1,42 |

Familia textural: franca

Fase salina: muy ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-1

Número de Sondeo: S-12 Orden: 11°
Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: 2-3 %

Vegetación: Rastrojo de maíz preparado para siembra de maíz, textura pesada, riego por aspersión

Posición geomorfológica: Ladera con pendiente homogénea y bosque arbóreo en la parte superior. Sin afloramientos rocosos

Material originario: DT finos

Humedad: Ligeramente húmedo en superficie, húmedo a partir de 30 cm y mojado a partir de 80 cm

Elementos gruesos: Pocos elementos gruesos superficiales de tamaño grueso (1-2 %), entre 60-70 cm más grava fina y media

Acumulaciones: Algún nódulo de carbonato a 50 cm

Manchas: Alguna mancha red-ox entre 40-60 cm, aumentando en profundidad

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 36,97 | 9,81 | 28,25 | 24,97 | 0,30 | 2,97 |
| 30-80 | 20,86 | 10,78 | 35,23 | 33,13 | 0,30 | 1,49 |
| 80-100 | 37,00 | 10,03 | 24,73 | 28,24 | 0,20 | 0,44 |

Familia textural: franco fina

Fase salina: muy ligeramente salina

Perfil más similar: FLU-2

Número de Sondeo: S-1.2 **Orden: 12°**
Fecha de descripción; autores: 31/03/23; AU/MS
Ubicación: Montesusín
Pendiente: <1 %

Vegetación: Cebada, no muy buena, riego por aspersión (pívor). Bien drenado, sin freático aparente, sin afloramientos rocosos

Posición geomorfológica: Plataforma, fuerte pendiente al final de la plataforma

Material originario: DT gruesos

Humedad: Suelo húmedo y oscuro

Elementos gruesos: Abundantes, pedregosidad superficial 30-40 %, 30 % en profundidad, no se puede bajar con la barrena a partir de 30 cm

Acumulaciones: No hay

Manchas: No hay

Resultados analíticos

| Profundidad (cm) | Arena (%) | Limo grueso (%) | Limo fino (%) | Arcilla (%) | CE 1:5 (dS/m) | Materia orgánica (%) |
|------------------|-----------|-----------------|---------------|-------------|---------------|----------------------|
| 0-30 | 20,15 | 15,44 | 27,36 | 37,05 | 0,20 | 3,93 |

Familia textural: franca

Perfil más similar: FLU 1