



e s c u e l a  
p o l i t é c n i c a  
s u p e r i o r  
d e h u e s c a



**Universidad**  
Zaragoza

## **PROYECTO- TRABAJO FIN DE CARRERA**

### CLASIFICACIÓN Y GÉNESIS DE LOS SUELOS

### DE LA PLANA DE MEQUINENZA

<b>AUTOR:</b>	<b>SILVIA SAMPER MARCO</b>
<b>ENSEÑANZA:</b>	<b>INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA</b>
<b>DIRECTOR:</b>	<b>D. DAVID BADÍA VILLAS</b>
<b>FECHA:</b>	<b>24 de AGOSTO del 2015</b>

## **AGRADECIMIENTOS**

El presente trabajo de final de carrera no hubiera sido posible sin la colaboración de varias personas a las cuales quiero expresar mi más sincero agradecimiento:

En primer lugar, a mi director de proyecto, Dr. David Badía Villas, por su valiosa dirección, por sus consejos, su inmensa ayuda, su infinita paciencia conmigo y por hacerme sonreír en más de un email.

A Belén Aguado, responsable de laboratorio de la EPSH, por su amabilidad, ayuda y atención durante los análisis de las muestras.

Al Dr. Thomas Guillot, Dr. Andrés Pocoví, Dra. Clara Martí Dalmau y al profesor Ánchel Belmonte por compartir conmigo sus experiencias y conocimientos.

A mis padres, por su cariño, por todo lo que han hecho por mí, porque les debo todo lo que soy y porque no creo que existan padres más maravillosos que ellos. Nunca encontraré palabras suficientes para expresar mi agradecimiento y todo lo que os quiero.

A Blas, porque sin su apoyo y todo su amor este proyecto no hubiera sido posible. Por estar a mi lado siempre, por apoyarme como nadie, por aguantar mis mil locuras y mis ratos menos buenos, por ser el mejor padre del mundo y porque te debo tanto que no sé cariño si tendré tiempo suficiente en esta vida para agradecértelo.

A mi hermana, por su buen corazón, su ayuda y por enseñarme a luchar por lo que se quiere.

A Elena, por estar a mi lado en gran parte de este trabajo, ser tan buena amiga como persona, por todas las cosas que hemos vivido juntas y por las que vendrán.

A los buenos amigos que cada día están a mi lado apoyándome y regalándome buenos momentos: A mi carnalito Juan Carlos por dibujarme mil sonrisas y ser un apoyo fundamental en mi vida, a Marta O. y Loida por compartir su saber conmigo, a Carolina, a mis compañeras de piso y amigas de la universidad; en especial a Zoila y Marta, a mi ojitos de El Temple, a Sergio, a mi viverista preferido José Luis, al buen Ernesto, a mis amigas de la infancia, a las guapas chicas del grupo de las pequeñas flores y un agradecimiento especial, cargado de cariño a mis amigas del pueblo de Atea.

Y por último, a el amor de mi vida, mi hijo Isaac, por tus abrazos constantes y por esas mil veces que te has aparecido bajo mi mesa de estudio para regalarme una sonrisa.

A todos, muchas gracias.

## **RESUMEN**

El suelo es un recurso fundamental para sustentar la vida en la tierra. Con este estudio se pretende contribuir a su mayor conocimiento, evaluándolo, buscando su mejora productiva y su conservación medioambiental.

En este trabajo se caracterizan los suelos de la partida de La Plana, en el término municipal de Mequinenza (Bajo Cinca), paraje enclavado dentro del Valle Medio del Ebro, analizando como se han formado los diferentes suelos allí presentes, sus propiedades y su evolución.

Se han estudiado seis perfiles edáficos distribuidos en varias posiciones dentro de una toposecuencia (plataforma, ladera, fondo, rellano y terraza fluvial) con el fin de obtener la máxima interacción de factores y procesos de formación. Cada perfil se describe en campo según las normas del Sinedares (C.B.D.S.A., 1983) y se analizan las propiedades físicas y químicas en laboratorio siguiendo los métodos oficiales (M.A.P.A., 1984), con las modificaciones pertinentes debidas a la presencia de yeso (Porta, 1996). La descripción micromorfológica se lleva a cabo tras la preparación de muestras y su posterior análisis con el microscopio petrográfico o de luz polarizada. Se determina el porcentaje relativo de los elementos principales presentes en varios de los perfiles mediante un analizador XRF portátil DELTA. Los suelos se clasifican según la WRB (IUSS, 2014) y Soil Taxonomy (USDA; 2014).

Los procesos formadores que tienen más importancia en la génesis de estos suelos son la translocación y acumulación de carbonatos y yesos. Esto genera la aparición de horizontes de diagnóstico mólicos, cálcicos y gípsicos. La precipitación de los carbonatos en relieves de laderas y rellanos se da bajo diferentes morfologías como: acumulaciones filiformes (pseudomicelios), esféricas (nódulos) o cemento geopetal bajo los cantos. Y aparecen en forma de costra (horizonte petrocálcico) en las primitivas y estables plataformas estructurales. El proceso de gipsificación también se observa en perfiles de ladera formando acumulaciones de yeso masivas o en terrazas aluviales, como cemento geopetal recubriendo la base de los cantos.

La presencia de estos tipos de acumulaciones de carbonatos y yesos son los principales responsables de la clasificación del suelo. Encontrándonos principalmente suelos de los siguientes grupos según WRB (2014): Calcisoles, Kastanozems, Gipsisoles o Fluvisoles.

La caracterización de los suelos del área objeto de estudio resulta de interés para conocer las oportunidades y limitaciones para su posible uso (agrícola, servicios o industrial).



<b>3.-EL MEDIO FÍSICO</b>	<b>31</b>
3.1.-SITUACIÓN GEOGRÁFICA	31
3.2.-EL CLIMA	32
3.2.1.-El clima atmosférico	33
3.2.2.-El clima edáfico	40
3.3.-GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO	42
3.3.1.-Litología	43
3.3.1.1.-Paleogeografía	43
3.3.1.2.-Estratigrafía	46
3.4.-HIDROLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL	49
3.5.-UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	51
3.6.-VEGETACIÓN	54
3.6.1.-La vegetación en ambientes secos	55
3.6.2.-La vegetación de los campos cultivados en regadío y secano	57
<b>4.-MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>58</b>
4.1.-ESTUDIO PREVIO DE LA ZONA DE MUESTREO	58
4.2.-DESCRIPCIÓN DE CAMPO	59
4.2.1.-Identificación de las unidades geomorfológicas y elección de los puntos de muestreo	59
4.2.2.-Apertura de calicatas y descripción de perfiles	59
4.2.3.-Toma de muestras	61
4.3.-ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS	61
4.3.1.-Preparación de las muestras para el análisis	62
4.3.2.-Parámetros físicos	63
4.3.2.1.-Determinación del porcentaje de elementos gruesos	63
4.3.2.2.-Determinación del contenido de humedad	65
4.3.2.3.-Densidad aparente	66
4.3.2.4.-Determinación del color	68

4.3.2.5.-Granulometría y clase textural	70
4.3.3.-Parámetros químicos	72
4.3.3.1.-Reacción del suelo o pH	72
4.3.3.2.-Determinación del carbonato cálcico equivalente	75
4.3.3.3.-Determinación del yeso	77
4.3.3.4.-Determinación de la salinidad por conductimetría	79
4.3.3.5.-Determinación de la materia orgánica	82
4.3.3.6.-Nitrógeno total y relación C/N	84
4.3.3.7.-Determinación del fósforo asimilable	85
4.3.3.8.-Determinación del potasio	86
4.4.-MEDIDA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LOS PERFILES	87
4.5.-ESTUDIO MICROMORFOLÓGICO (LÁMINAS DELGADAS)	88
4.6.-CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	90
4.7.-HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS	90
<b>5.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>91</b>
5.1.-IDENTIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE LA TOPOSECUENCIA DE SUELOS EN LA PLANA DE MEQUINENZA	91
5.2.-DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA Y ANALÍTICA DE LOS PERFILES	93
5.3.-CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TOPOSECUENCIA	121
5.4.-PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS	123
5.4.1.-Parámetros físicos	123
5.4.1.1.-Color	123
5.4.1.2.-Elementos gruesos	124
5.4.1.3.-Textura y granulometría	127
5.4.1.4.-Estructura	131
5.4.1.5.-Compacidad	131
5.4.1.6.-Acumulaciones secundarias	132
5.4.1.7.-Densidad aparente	133

5.4.2.-Parámetros químicos	135
5.4.2.1.-Reacción del suelo o pH, relación con el yeso y el carbonato cálcico	135
5.4.2.2.-Materia orgánica, nitrógeno total y relación C/N	140
5.4.2.3.-Salinidad	144
5.4.2.4.-El fósforo y el potasio	147
5.5.-GÉNESIS DEL SUELO	148
5.5.1.-Factores formadores del suelo	148
5.5.2.-Procesos formadores	151
5.6.-DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LOS PERFILES	160
5.7.-CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS	162
5.7.1.-Horizontes diagnóstico	162
5.7.2.-Propiedades diagnóstico	164
5.7.3.-Soil Taxonomy (2014)	164
5.7.4.-Clasificación World Reference Base (2014)	165
5.8.-EVALUACIÓN DE SUELOS	168
5.8.1.-Sistema de clases agrológicas	168
5.8.2.-Manejo de los suelos estudiados	171
<b>6.-CONCLUSIONES</b>	<b>174</b>
<b>7.-BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>176</b>
<b>8.-ANEXOS</b>	<b>182</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS:

	Página
<b>Fig.1:</b> Unidades geomorfológicas utilizadas en SINEDARES (CBDSA, 1983)	21
<b>Fig.2:</b> Posición de la pendiente en laderas	22
<b>Fig.3:</b> Forma de la pendiente y direcciones de la superficie	23
<b>Fig.4:</b> Localización de Mequinenza en la Península Ibérica	32
<b>Fig.5:</b> Temperaturas medias anuales y pluviometría media anual de la comunidad autónoma de Aragón	33
<b>Fig.6a, 7a, 8a:</b> Diagrama ombrotérmico de las tres estaciones termopluviométricas	36
<b>Fig.6b, 7b, 8b:</b> Precipitación media mensual y la ETP mensual de las tres estaciones termopluviométricas.	36
<b>Fig.9:</b> Períodos geológicos	43
<b>Fig.10:</b> Esquema geológico de NE de la Península Ibérica	45
<b>Fig.11:</b> Dinámica del curso fluvial del río Segre y formación de la actual Plana de Mequinenza.	46
<b>Fig.12:</b> Cartografía de las Unidades Tectosedimentarias (T1 a T8)	47
<b>Fig.13:</b> Litología de la zona de estudio	49
<b>Fig.14:</b> Mapa de altitudes	51
<b>Fig.15:</b> Mapa de pendientes	52
<b>Fig.16:</b> Geoformas de la Plana de Mequinenza	54
<b>Fig.17:</b> Mapa de usos del suelo y comunidades vegetales	55
<b>Fig.18:</b> Diagrama de clases texturales	72
<b>Fig.19:</b> Analizador XRF portátil	88
<b>Fig.20:</b> Situación de los perfiles objeto de estudio	91
<b>Fig.21:</b> Unidades geomorfológicas en La Plana de Mequinenza	93
<b>Fig.22:</b> Esquema de la toposecuencia de suelos	122
<b>Fig.23:</b> Representación del porcentaje en peso de elementos gruesos de cada uno de los perfiles, por horizonte	126
<b>Fig.24:</b> Diagrama triangular USDA con la clase textural de los horizontes superficiales de los perfiles.	128
<b>Fig.25:</b> Representación de las fracciones granulométrica (% p/p) por perfiles	129
<b>Fig.26:</b> Relación $\text{CO}_3^{-2}$ y el pH potencial en perfiles sin yeso	136
<b>Fig.27:</b> Distribución de carbonato cálcico equivalente por perfiles	138
<b>Fig.28:</b> Relación yeso – carbonato cálcico equivalente	139
<b>Fig.29:</b> Contenido en porcentaje de materia orgánica en los horizontes superficiales de cada perfil	141
<b>Fig.30:</b> Distribución de la materia orgánica en profundidad en los perfiles	142

<b>Fig.31:</b> Regresión lineal entre el nitrógeno total(N total) y la materia orgánica en porcentaje	144
<b>Fig.32:</b> Valor de la conductividad eléctrica en profundidad en los perfiles	146
<b>Fig.33:</b> Representación de los niveles de fósforo y potasio en los horizontes superficiales	148
<b>Fig.34:</b> Clases agrológicas en la zona de estudio	171

## ÍNDICE DE TABLAS:

	Página
<b>Tabla 1:</b> Principales horizontes genéticos (IUSS, 2006)	5
<b>Tabla 2:</b> Principales subíndices utilizados (IUSS, 2006)	6
<b>Tabla 3:</b> Clases de gradiente de la pendiente	23
<b>Tabla 4:</b> Principales efectos sobre el suelo según las características de la forma del relieve	26
<b>Tabla 5:</b> Características de las estaciones termopluviométricas	34
<b>Tabla 6:</b> Clasificación Agroecológica de Papadakis de las estaciones termopluviométricas consultadas	34
<b>Tabla 7:</b> Valores de Temperatura media mensual (°C)	35
<b>Tabla 8:</b> Valores de Precipitación media mensual (°C)	35
<b>Tabla 9:</b> Valores de Evapotranspiración media mensual (°C)	35
<b>Tabla 10:</b> Valores de precipitación media anual (P), temperatura media de mínimas del mes más frío, temperatura media anual, temperatura media de máximas del mes más cálido evaporación media anual obtenida por el método de Thornthwaite	37
<b>Tabla 11:</b> Variación de la reserva hídrica del suelo, según el método de Thornthwaite	41
<b>Tabla 12:</b> Clasificación de la cantidad de elementos gruesos (C.B.D.S.A., 1983)	64
<b>Tabla 13:</b> Valores de densidad aparente más frecuentes en función del material del suelo (Porta et al., 2003)	68
<b>Tabla 14:</b> Tipos de partículas según diámetro (USDA, 1980)	71
<b>Tabla 15:</b> Interpretación del pH según criterios del USDA (1980)	74
<b>Tabla 16:</b> Diagnóstico del contenido de carbonato cálcico equivalente (Herrero et al., 1993)	77
<b>Tabla 17:</b> Valores orientativos de la humedad de saturación en diferentes categorías de suelos	81
<b>Tabla 18:</b> Criterios USDA de clasificación de los suelos según su nivel de salinidad (Porta et al., 2003)	82
<b>Tabla 19:</b> Contenido en materia orgánica (Herrero et al., 1993)	83
<b>Tabla 20:</b> Norma de diagnóstico del nitrógeno total en los suelos agrícolas (Badía y Martí, 2002)	84
<b>Tabla 21:</b> Interpretación de la relación C/N en un suelo	85
<b>Tabla 22:</b> Niveles de P-Olsen en el suelo	86
<b>Tabla 23:</b> Niveles de potasio en el suelo (mg Kg <sup>-1</sup> ), extraído con AcONH <sub>4</sub> , a pH 7 (Badía y Martí, 2002)	86
<b>Tabla 24:</b> Factores formadores de los perfiles estudiados	92
<b>Tabla 25:</b> Norma de diagnóstico de la caliza activa (Yanez, 1989)	140
<b>Tabla 26:</b> Clasificación Soil Taxonomy (S.S.S, 2014) de los suelos de la toposecuencia estudiada	165

<b>Tabla 27:</b> Clasificación de los suelos de la toposecuencia de la Plana de Mequinenza (WRB, 2014)	167
<b>Tabla 28:</b> Clasificación de los suelos estudiados, según Soil Taxonomy (S.S.S., 2014) y según World Reference Base (2014)	167
<b>Tabla 29:</b> Capacidades Agrológicas de los suelos estudiados en la toposecuencia de la Plana de Mequinenza	169
<b>Tabla 30:</b> Resumen de los parámetros físicos textura y granulometría	182
<b>Tabla 31:</b> Resumen de los parámetros físicos elementos gruesos, densidad aparente y color	183
<b>Tabla 32:</b> Resumen de los parámetros químicos pH, carbonatos, yesos y salinidad	184
<b>Tabla 33:</b> Resumen de los parámetros químicos caliza activa, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio	185
<b>Tabla 34:</b> Distribución de los principales elementos químicos en los perfiles P, LC, LY Y R	186
<b>Tabla 35:</b> Matriz de coeficientes de correlación entre los distintos parámetros físicos y químicos en la toposecuencia de la Plana de Mequinenza	187

## ÍNDICE DE FOTOS:

	<b>Página</b>
<b>Foto 1:</b> Ortofoto del año 2007 que muestra la zona de confluencia de los ríos Cinca, Segre y Ebro	50
<b>Foto 2:</b> Foto aérea de la Plana de Mequinenza	58
<b>Foto 3:</b> Retroexcavadora abriendo una calicata en la zona de estudio	60
<b>Foto 4:</b> Proceso de tamizado de muestras	62
<b>Foto 5:</b> Código Munsell	69
<b>Foto 6:</b> pH-metro	74
<b>Foto 7:</b> Manejo del Calcímetro de Bernard	76
<b>Foto 8:</b> Preparación de la pasta saturada	80
<b>Foto 9:</b> Conductímetro	81
<b>Foto 10:</b> Detalle perfil "P"	94
<b>Foto 11:</b> Zona de muestreo perfil "P"	94
<b>Foto 12:</b> Detalle perfil "F"	98
<b>Foto 13:</b> Zona de muestreo perfil "F"	98
<b>Foto 14:</b> Detalle perfil "LY"	102
<b>Foto 15:</b> Zona de muestreo perfil "LY"	102
<b>Foto 16:</b> Detalle perfil "LC"	107
<b>Foto 17:</b> Zona de muestreo perfil "LC"	107
<b>Foto 18:</b> Detalle perfil "R"	112
<b>Foto 19:</b> Zona de muestreo perfil "R"	112
<b>Foto 20:</b> Detalle perfil "T"	117
<b>Foto 21:</b> Zona de muestreo perfil "T"	117
<b>Foto 22:</b> Morfología del yeso en el horizonte By de perfil "Terraza"	133
<b>Foto 23 y 24:</b> Actividad de la fauna muy abundante como canales y galerías rellenos, excrementos y rasgos de paso de fauna en la zona de transición entre el horizonte Ah y el Bk (15-35 cm) del perfil "Ladera Yesosa"	153
<b>Foto 25 y 26:</b> Hiporevestimientos impregnativos de micrita en bioporos en el horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" (30-50 cm)	155
<b>Foto 27 y 28:</b> Hiporevestimientos de micrita alrededor de algunos poros de fauna en la transición del horizonte Ah al horizonte Bwkc del perfil "Ladera Caliza" (15-35 cm)	156
<b>Foto 29 y 30:</b> Rellenos de yeso microcristalino en canales, centimétricos, con inclusiones de materia orgánica en el horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" (35-50 cm)	158
<b>Foto 31 y 32:</b> Revestimientos de yeso lenticular, alrededor de bioporos, orientados perpendicularmente a la pared del poro, sobre una masa de yeso microcristalino en el horizonte By <sub>1</sub> del perfil "Ladera Yesosa" (50-65 cm)	158

**Foto 33 y 34:** Fragmentos de costras algales de 0,25 mm de grosor, como intercalaciones en la masa basal del horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa"

159

# 1.-INTRODUCCIÓN

## **1. INTRODUCCIÓN:**

Los suelos son unidades multifuncionales resultantes de la acción combinada de diversos factores formadores, que definen el tipo e intensidad de los procesos edafogénicos. La importancia de los distintos factores varía de unos suelos a otros y a lo largo del tiempo (Porta et al., 2003).

El tiempo necesario para la formación de un suelo es suficientemente largo como para tener que considerar que es un recurso natural no renovable a escala humana. El suelo constituye uno de los factores más importantes en el equilibrio global de la biosfera, haciendo posible el crecimiento de las plantas al suministrarles agua, anclaje y nutrientes. Es por ello que podemos decir que la vida, y los medios de vida, en el planeta, en su forma actual, dependen de la capacidad de los suelos para producir.

El conocimiento del suelo es útil para la evaluación de tierras y su clasificación en tierras fértiles y productivas o en tierras menos valiosas e improductivas. Los suelos son un elemento fundamental del paisaje, y el estudio de su distribución es importante para preservar un alto nivel de calidad ambiental además de resultar fundamental por sus funciones económicas, sociales y culturales.

### **1.1.-CONCEPTOS BÁSICOS:**

#### **1.1.1.-EL SUELO:**

El Servicio de conservación de Suelos (SSS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en 1999 define suelo como "un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurre en la superficie de la tierra, ocupa un espacio y se caracteriza o porque tiene horizontes o capas que se diferencian del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, traslocaciones y transformaciones de energía y materia o porque es capaz de soportar plantas arraigadas en un ambiente natural".

Podemos dividir los componentes del suelo en:

a) Inorgánicos:

- Minerales en distintos estados de disgregación. Desde fragmentos de la roca original de la que proceden de diferentes tamaños. Hasta materiales que han sufrido meteorización química y se encuentran alterados liberando iones.
- Agua. Imprescindible para la movilidad de los materiales: nutrientes, sales, arcillas, etc.
- Gases. Condicionantes en la respiración o fermentación en el suelo.
- Sales: Su presencia es importante en la estructura y propiedades químicas del suelo, así como en la capacidad para obtener nutrientes por parte de las plantas.

b) Orgánicos:

- Materia orgánica en disolución.
- Restos orgánicos.
- Microorganismos (hongos y bacterias).

#### **1.1.1.1.-FUNCIONES DE LOS SUELOS:**

Los suelos son cuerpos naturales, dinámicos y vivos que desempeñan múltiples funciones tales como:

- Hacen posible la producción de biomasa: alimentos, forrajes, fibras, biocombustibles, masas forestales, etc.
- Regulan el ciclo hidrológico: al controlar la entrada de agua en el suelo (infiltración), el almacenamiento y la transferencia de agua.
- Mantienen y mejoran la calidad de las aguas que lo atraviesan: al controlar el filtrado, los intercambios iónicos, el almacenamiento y posible transferencia a otro compartimiento ambiental.

- Atenúan los contaminantes ambientales y patógenos.
- Transforman las sustancias que recibe: evolución de la materia orgánica.
- Regulan el microclima, al absorber la radiación solar e intervenir en la evaporación.
- Constituye un hábitat biológico y reserva genética al ser un medio poroso en el que viven gran cantidad de organismos y en el que se conservan muchas semillas.
- Sirven de soporte físico de actividades humanas: viviendas, industrias, diferentes tipos de infraestructuras, etc.
- Es una fuente de materias primas: arcilla, grava, arena, yeso, caliza, turba, etc.
- Mantienen el paisaje, que vendrá determinado por los suelos que existan en cada ámbito geográfico.
- Proporcionan información geológica y geomorfológica.

### **1.1.2.-PERFIL EDÁFICO:**

La dimensión vertical de un corte de terreno, lo suficientemente amplio como para evaluar y estudiar las propiedades edáficas de un punto en particular, desde la superficie del terreno hasta el material originario se define como perfil edáfico.

### **1.1.3.-SECCIÓN CONTROL:**

Parte del suelo, delimitada de forma específica, adaptada al objetivo buscado y establecida con la mayor precisión posible. Se utiliza para caracterizar el régimen de humedad del suelo, para definir familias de suelos según las clases del tamaño de las partículas o según las clases mineralógicas, etc., (S.S.S., 1999). El criterio utilizado para delimitar una

sección control no es el mismo según la característica a que se haga referencia.

#### **1.1.4.-EL PEDIÓN:**

El pedión es un volumen arbitrario de suelo, considerado como el más pequeño que puede reconocerse como un suelo individual, cuyas dimensiones laterales son suficientes para permitir el estudio de las formas de los horizontes y sus relaciones. Su superficie puede ser de 1 a 10 m<sup>2</sup>, según la variabilidad del suelo. Su extensión vertical comprende desde la superficie (límite superior), hasta la aparición del material originario (S.S.S., 1999).

#### **1.1.5.-CALICATA:**

Una calicata es una excavación que permite observar el suelo en su conjunto (los horizontes y sus relaciones). Debe de presentar un tamaño suficiente para poder estudiar todo el suelo trabajando con comodidad, unos 70 cm de ancho y unos 180 cm de profundidad o hasta una roca coherente y dura, si es más superficial.

#### **1.1.6.-HORIZONTES GENÉTICOS:**

Los horizontes genéticos son las diferentes capas que conforman un perfil edáfico, cada una con sus características y propiedades diferentes. Estos horizontes son el resultado de la evolución o génesis de un suelo a partir de un material originario. La formación de los horizontes se debe a los diversos procesos que pueden tener dentro de un suelo y a las condiciones del medio en el que este emplazado dicho suelo.

Esto explica las distintas morfologías en suelos a lo largo de un territorio. Sin embargo, la variabilidad no es infinita y al existir suelos con

horizontes semejantes, resulta posible desarrollar un sistema de denominación de ámbito general.

Dokuchaev introdujo en 1833 la utilización de las primeras letras del alfabeto latino para designar los sucesivos horizontes del suelo. Este uso se ha generalizado en el ámbito mundial de manera que los horizontes genéticos principales se designan atendiendo a su posición en el perfil y al proceso formador predominante, así como una característica o propiedad destacable. Para ello se utilizan letras mayúsculas y subíndices, cuyo significado se explica a continuación (tabla 1,2).

Denominación	Definición
<b>H</b>	Horizonte de un suelo orgánico formado por acumulación "in situ" de materia orgánica en superficie en medios saturados durante largo tiempo.
<b>O</b>	Horizonte orgánico de un suelo mineral formado en condiciones aeróbicas con contenido en materia orgánica mayor o igual al 20%.
<b>A</b>	Horizonte mineral oscurecido por la incorporación de materia orgánica formado en la parte superior del suelo o debajo de un O.
<b>E</b>	Horizonte mineral empobrecido por eluviación máxima. Su color claro se debe a la pérdida de materia orgánica, hierro, aluminio y/o arcilla.
<b>B</b>	Horizonte mineral formado en el interior del suelo. Puede ser de alteración (Bw) así como de acumulación de diferentes componentes (By, Bt).
<b>C</b>	Horizonte mineral comparativamente poco afectado por procesos edafogénicos, excepto meteorización o hidromorfismo. Si es un material consolidado, al remojarlo en agua durante 24 horas, se deshace.
<b>R</b>	Roca consolidada subyacente, demasiado dura para romperla con la mano.

Tabla 1. Principales horizontes genéticos (IUSS, 2006)

Subíndice	Definición	Usado para:
<b>b</b>	Horizonte enterrado. Superposición de suelos.	Horizontes minerales, no crioturbados, ni en C
<b>c</b>	Concreciones o nódulos.	Horizontes minerales
<b>g</b>	Gleificación.	No hay restricción
<b>h</b>	Horizontes ricos en humus, con independencia del proceso.	Horizontes minerales
<b>k</b>	Acumulación secundaria de carbonato cálcico.	No hay restricción
<b>m</b>	Cementado en un 90%.	Horizontes minerales
<b>n</b>	Acumulación de arcilla iluvial sódica.	No hay restricción
<b>p</b>	Horizonte en superficie labrado o perturbado antrópicamente.	No hay restricción
<b>r</b>	Reducción muy fuerte.	No hay restricción
<b>s</b>	Acumulación significativa de sesquióxidos (Fe y Al) y humus.	Horizonte B
<b>t</b>	Acumulación de arcilla iluvial.	Horizontes B y C
<b>w</b>	Desarrollo de estructura o color diferenciador del material originario.	Horizonte B
<b>y</b>	Acumulación secundaria de yeso.	No hay restricción
<b>z</b>	Acumulación de sales más solubles que el yeso.	No hay restricción

Tabla 2. Principales subíndices utilizados (IUSS, 2006).

### **1.1.7.-HORIZONTES DIAGNÓSTICO:**

Es un horizonte definido morfométricamente o al menos con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio, para su utilización taxonómica. No son unidades independientes, sino que los de cada suelo corresponden a una determinada organización y derivan de los procesos edafogénicos actuantes. Esto, junto con la objetividad alcanzada en la aplicación de estos conceptos explica que su uso se haya generalizado.

El concepto de horizonte diagnóstico fue introducido por el Soil Survey Staff del USDA en 1955, cuyo uso se ha generalizado en todo el mundo. Y son otros los sistemas de clasificación que usan también este concepto.

### **1.1.7.1.-EPIPEDIÓN Y ENDOPEDIÓN:**

Los horizontes de diagnóstico formados en la parte superior del suelo se denominan *epipediones* (SSS, 1999). Presentan un color relativamente oscuro, debido a la incorporación de materia orgánica (aportes de hojarasca y raíces) o bien por ser horizontes eluviales superiores.

Epipedión no es sinónimo de horizonte A, puede incluir parte o la totalidad del horizonte B, si está oscurecido por materia orgánica desde la superficie. Por otro lado, para que se trate de un epipedión se requiere la acción de procesos edafogénéticos, por lo que depósitos recientes, finamente estratificados, no constituyen un epipedión.

Los *endopediones* se forman debajo de un horizonte A o de una capa de hojarasca. Son el resultado de procesos de meteorización del material originario o de la translocación de sustancias movilizadas en la parte superior del suelo y acumuladas en él.

### **1.1.8.-PROPIEDADES DIAGNÓSTICO:**

Las propiedades diagnóstico se caracterizan por una combinación de atributos que reflejan extensamente los procesos de formación del suelo o indican específicas condiciones de la misma. Algunas de las propiedades diagnóstico más frecuentes en suelos con características similares a los estudiados son (WRB, 2014):

- *Propiedades Protocálcicas o Carbonatos secundarios*: carbonato cálcico translocado que ha precipitado a partir de la solución del suelo.
- *Propiedades arídicas*: rasgos propios de las condiciones arídicas con aportes superficiales eólicos o aluviales.
- *Roca continua dura*: Material original duro (que no se puede cavar) que yace debajo del suelo. Quedan excluidos de este concepto los horizontes cementados por procesos edáficos (como el petrocálcico, etc.). Se considera

capa continua cuando presenta pocas fracturas con un ancho igual o mayor de 10 cm.

### **1.1.9.-MATERIALES DIAGNÓSTICO:**

Los materiales diagnóstico son materiales originales en los que los procesos formadores todavía no han actuado de manera importante sobre ellos. Su utilización sirve para reflejar la influencia que tienen como criterio de diagnóstico. Se pueden considerar los siguientes (WRB, 2014):

- Flúvicos: Sedimentos fluviales, marítimos y lacustres que reciben aportes frescos a intervalos regulares.
- Colúvicos: Formados por sedimentación a través de erosión inducida por el hombre. Normalmente se acumula en posición de pie de pendiente, en depresiones o por encima de filas de arbustos. La parte superior del material colúvico muestra características (textura, color, pH y contenido de carbono orgánico) similares a la capa superficial del material de origen en la cercanía.
- Calcáricos: Materiales con una fuerte reacción al HCl al 10%.
- Gipsíferos: material que contiene más de un 5% de yeso en volumen.

### **1.2.-GÉNESIS DEL SUELO:**

La génesis de un suelo o edafogénesis explica el origen y modo de cómo se ha formado un suelo, a partir de un material originario, que puede ser una roca in situ, un material transportado o un suelo anterior.

Este material originario se altera por la acción de los factores ambientales, sufriendo una serie de procesos que lo transforman y por los que se forma el suelo con unas propiedades y morfología definidas.

La apariencia externa, los componentes, la organización y las propiedades de un suelo en un momento dado son el resultado de los

procesos formadores que han actuado hasta aquel momento. Los procesos pueden variar a lo largo del tiempo, al hacerlo las condiciones (factores formadores) que caracterizan el medio.

### **1.2.1.-FACTORES FORMADORES DEL SUELO:**

El suelo puede ser considerado como una determinada combinación de sus factores formadores. Esta concepción del suelo fue expresada por primera vez por Jenny en 1940 según la siguiente ecuación:

$$S = f (cl, r, o, p, t)$$

Representando: "S" al suelo, "f" es una función, "cl" al clima, "o" a los organismos, "r" al relieve, "p" a la roca madre y "t" al tiempo.

Esta ecuación es muy importante pues representa que para una determinada combinación de los factores formadores sólo puede existir un tipo de suelo (la misma combinación de factores originará siempre el mismo tipo de suelo independientemente del lugar geográfico en que se encuentre). Igualmente importante es que la magnitud de cualquiera de las propiedades del suelo, tales como pH, contenido en arcillas, porosidad, etc., está determinada por la combinación de estos factores formadores.

Para resolver con éxito la función de Jenny es condición necesaria la definición y reconocimiento de cada uno de los factores de estado:

**a) El clima.** Los dos principales agentes del clima en la formación del suelo son la precipitación y la temperatura.

La *lluvia* es un agente importante y necesario para la formación del suelo puesto que aporta el agua necesaria para:

- Disolver el material soluble del suelo.

- Permitir el crecimiento de las plantas y otros organismos que aportan materia orgánica al suelo.
- Traslocar material de una parte a otra del perfil (carácter y extensión del lavado del suelo).
- Disgregar físicamente el material parental al congelarse o por el efecto de salpicadura de la lluvia.
- Igualmente determina el tipo y la velocidad de muchas reacciones químicas que ocurren en el suelo si bien estas también depende de otros agentes como son temperatura, pH y potencial redox.

La lluvia, sin embargo, no es en muchos casos un factor independiente, así, por ejemplo, viene afectada por la temperatura que determina su efectividad, puesto que las pérdidas por evaporación y transpiración aumentan con la temperatura.

La *temperatura* es un agente fundamental en:

- En los procesos de alteración y transformación mineral, condicionando la velocidad de muchas reacciones químicas que se dan en el suelo.
- En el control sobre la lluvia efectiva al influir en la evapotranspiración.
- Cuando desciende de los 0°C, el agua se congela, todas las reacciones en que interviene el agua cesan, pero se producen procesos de alteración física al fracturarse el material parental debido al aumento de volumen al solidificarse el agua.
- En el tipo y cantidad de vegetación presente en una zona determinada, y a través de ella y de su efecto sobre la actividad microbiana, controla los procesos de descomposición de la materia orgánica.

**b) El relieve.** Ejerce una acción importante sobre la pedogénesis debido sobre todo a la modificación que provoca en el régimen de las aguas. Las relaciones del relieve con las propiedades de los suelos sólo deben hacerse para áreas geográficas específicas, debido a las variaciones en intensidad y naturaleza de los otros factores de formación. Dentro de una región

geográfica determinada, las siguientes propiedades edáficas comúnmente se encuentran relacionadas con el relieve:

- Profundidad del solum.
- Espesor y contenido en materia orgánica del horizonte A.
- Régimen hídrico del perfil.
- Color del suelo.
- Grado de diferenciación de horizontes del perfil.
- Reacción química del suelo.
- Contenido en sales solubles.
- Clase y grado de desarrollo de capas endurecidas.
- Temperatura del suelo.

**c) Factores bióticos u organismos vivos.** Viven en el suelo formando junto a este un ecosistema. Estos organismos pueden ser clasificados en tres categorías: vegetación, fauna y hombre.

El tipo de vegetación presente depende tanto del tipo de clima como del suelo en el que encuentre. Y a su vez, el tipo de suelo se verá influido por el tipo de vegetación que esté sobre él.

La fauna del suelo se puede dividir en dos grupos: macro-fauna y microorganismos, quedando en la macro-fauna normalmente también incluida la meso-fauna (artrópodos, anélidos, etc.). La macrofauna y meso-fauna, contribuyen a la formación del suelo con sus madrigueras, desechos y con sus esqueletos cuando mueren, removiendo y mezclando el suelo, y aportando materia orgánica. Los microorganismos contribuyen de una forma diferente, puesto que intervienen sobre todo en procesos de descomposición.

El hombre tiene una gran influencia en el suelo, tanto por las prácticas agrícolas y ganaderas como a través del desarrollo urbano e industrial.

**d) Roca madre.** Es el material del cual se desarrolla el suelo, es la "materia prima del suelo", el "suelo en el tiempo cero de formación".

Podemos hablar de diferentes tipos de material parental:

- Residual. Lecho de rocas formadas "in situ".
- Coluvial. Material transportado por gravedad.
- Aluvial. Material transportado por los ríos.
- Glacial. Material transportado por glaciares.
- Eólico. Material transportado por el viento (arena, formación de dunas).
- Lacustre.
- Etc.

Muchos parámetros de la litología inciden en la formación y evolución de los suelos e influyen en las propiedades del mismo; textura, color, infiltración, tipo de arcillas, fertilidad natural (pH, saturación de bases), etc., las cuales dependen de la susceptibilidad de la roca a meteriorizarse, del régimen de humedad y de las características físicas y otros factores. La influencia de la roca en los constituyentes y propiedades del suelo es muy acusada en suelos jóvenes, disminuyendo a medida que transcurre el tiempo y actúan los procesos formadores.

**e) Tiempo.** No resulta fácil hablar de este factor en términos absolutos por que la velocidad de los procesos de alteración y por lo tanto la duración de los procesos de evolución del suelo, depende de la acción diferencial de los otros factores de formación como el clima y la naturaleza de la roca madre. Pero puede establecerse la edad de los suelos en términos relativos, definiendo diferentes fases en la evolución del suelo.

La edad de un suelo expresa el tiempo durante el cual han actuado los procesos formadores, y para determinarla es necesario fijar un momento cero. Este coincide con el de la formación de la superficie geomórfica sobre la que se desarrolla el suelo. Se debe tener en cuenta que en una superficie de erosión, la edad geológica de los materiales no se corresponde con la de la superficie, ni con la del suelo.

Cuando se habla de suelo «joven» o «maduro», no se hace referencia a la edad del suelo en años, sino al grado de meteorización y de desarrollo del suelo. Los suelos jóvenes e inmaduros son aquellos que han desarrollado pocas propiedades y que sus horizontes están poco desarrollados. A medida que van evolucionando, sus características se desarrollan más rápidamente originando suelos más profundos y también más diferenciados los unos con los otros.

### **1.2.2.-TOPOSECUENCIA Y CATENA:**

Las sucesiones regulares de suelos, idénticas en la misma curva de nivel, pero que varían de forma continua a lo largo de la pendiente, se designan con la expresión "catena" (Milne, 1935). En una catena los suelos se diferencian por variaciones de relieve y en el drenaje, desarrollándose a partir del mismo material original y bajo las mismas condiciones climáticas. El concepto de catena supone que los suelos tengan la misma edad, lo cual resulta difícilmente sostenible en la mayor parte de las laderas, debido a la acción de procesos erosivos. La definición de catena resulta algo confusa (Watson, 1960), por lo que a veces se prefiere el término de toposecuencia como menos restrictivo, ya que no hace mención a la naturaleza del material original. Es decir, si a la acción de la pendiente se suman variaciones en la litología, pasan a denominarse "toposecuencias" (Duchaufour; 1984, Thompson; 1988).

En una toposecuencia todos los factores formadores del suelo no varían, a excepción del relieve, existiendo una dependencia entre el grado de evolución del suelo y su posición en el paisaje. Así pues, la topografía es

uno de los factores principales que determinan la distribución espacial o el patrón de los suelos en una zona.

Los conceptos de catena y toposecuencia son aproximaciones dinámicas y morfológicas respectivamente, de los métodos actuales de estudio muy detallado en suelos de ladera, con el empleo de transectos como forma estratificada de muestro en campo. Suponen el desarrollo de secuencias espaciales específica de suelos, en relación con su posición en una pendiente y/o litología expuesta, condiciones que determinan importantes consecuencias sobre el drenaje interno y externo en suelos en formación y sobre el movimiento general de materiales, que individualiza sus horizontes y dinámica.

### **1.2.3.-PROCESOS FORMADORES DEL SUELO:**

La actuación de los factores formadores (clima, vegetación, roca madre, geomorfología y tiempo) se produce mediante unos procesos de edafogénesis, que pueden sucederse en el tiempo, actuar simultáneamente e incluso ser antagónicos.

Los procesos edafogénicos que dan lugar a un suelo concreto son aquellos que resultan compatibles con los factores formadores que prevalecen en un lugar y momento determinados y se prolongan suficientemente a lo largo del tiempo (Porta et al., 2003).

Los procesos edafogénicos consisten en una serie de reacciones y redistribuciones de materia, de manera que un material originario más o menos isotrópico sufre una progresiva diferenciación de horizontes (horizonación) y alcanza un grado de organización (estructuración).

Además de los procesos progresivos, también se deben identificar los procesos regresivos que tienen lugar en el perfil del suelo y que provoca haploidización del perfil (Phillips, 1993, Johnson et al., 1990). Éstos pueden ir ligados a una degradación del suelo por erosión superficial o bien a procesos de edafoturbación por acción de la fauna o a una expansión/retracción de arcillas al humectarse y secarse.

Los procesos que actúan en un suelo se pueden agrupar en tres categorías:

**a) Transformaciones dentro del suelo.**

a.1) *La meteorización.* Consiste en la transformación por los distintos agentes atmosféricos del material mineral del suelo o de la roca madre. Por tanto, los diferentes procesos de meteorización pueden ser considerados tanto procesos edafogénicos como procesos previos a la diferenciación de horizontes. Pueden ser de naturaleza física (fragmentación y disgregación mecánica de la roca), química (se produce un cambio en la naturaleza de los materiales) o biológica, que en última instancia engloba procesos físicos o químicos provocados por la actividad orgánica.

Las características climáticas, precipitación y temperatura, determinan fundamentalmente el predominio de uno y otro tipo de meteorización.

a.2) *Empardecimiento y rubefacción.* Consisten en la liberación de hierro por meteorización de los minerales primarios. Ambos términos designan un proceso único cuya diferenciación se basa en el mineral de hierro formado, lo que a su vez se relaciona con las condiciones ambientales de su formación. Se considera que el mineral precursor es la ferrihidrita que, en condiciones cálidas y secas evoluciona rápidamente a hematita en un proceso de deshidratación de los óxidos de hierro ligados a las arcillas. Es un proceso casi irreversible que confiere al suelo un intenso color rojo, típico de climas mediterráneos o climas con contraste estacional bien marcado. Por el contrario, en medios más húmedos y fríos no es posible la deshidratación de los óxidos de hierro y se favorece la formación de goetita por lo que el suelo se empardece o brunifica. Se trata de un proceso propio de climas semicontinentales y atlánticos templados.

a.3) *Melanización.* Proceso de oscurecimiento de los horizontes superficiales del suelo por la evolución de restos orgánicos frescos hacia formas complejas (humus), con la participación de los microorganismos. El oscurecimiento es más o menos intenso según domine la mineralización o la humificación. Así en suelos agrícolas, las labores favorecen la mineralización

por lo que el oscurecimiento es menos intenso que en las áreas de vegetación natural, siempre que las condiciones de humedad sean semejantes.

a.4) *Edafoturbación*. Proceso en el que los materiales del suelo sufren cambios posicionales y efectos de mezcla. Pueden tener su origen en la acción de hielo-deshielo (crioturbación) como en el comportamiento de la meso y macrofauna (bioturbación) e incluso en el efecto de la expansión-retracción de las arcillas (argiloturbación).

### **b) *Translocaciones dentro del suelo.***

Implican un cambio de posición de un componente que, si bien puede ser tanto ascendente como descendente dentro de un perfil, habitualmente domina este último. Supone la concentración de materiales en ciertos puntos del perfil. Según la causa que genera este movimiento se distinguen translocaciones en solución y en suspensión.

#### *b.1) Translocaciones en solución.*

El incremento de ciertos componentes, tales como los carbonatos, yesos, sales más solubles que el yeso y ópalo, tiene lugar tras el desplazamiento en solución y posterior precipitación en ciertas zonas del perfil a causa de diversos mecanismos.

b.1.1) *Descarbonatación/Carbonatación*. Proceso que comporta la solubilización, de los carbonatos en las estaciones húmedas, para lo que se requiere su transformación en bicarbonatos (descarbonatación). Ello se produce gracias al CO<sub>2</sub> y los ácidos orgánicos producidos por la actividad biológica por lo que su intensidad es máxima en los horizontes superficiales. Los bicarbonatos migran dentro del perfil hasta cierta profundidad donde precipitan en forma de carbonatos (carbonatación). Esta precipitación es debida a la desecación del suelo, la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> con la profundidad y la reserva cálcica de los suelos.

b.1.2) *Desgipsificación/Gipsificación*. Proceso que comporta la solubilización del yeso o desgipsificación, en las estaciones húmedas, para, tras la

translocación en el suelo, precipitar en los periodos secos (gipsificación). El yeso es más soluble que el carbonato cálcico, por lo tanto, cuando tienen lugar la carbonatación y la gipsificación en un mismo suelo, la acumulación de éste ocupa una posición inferior.

b.1.3) Salinización. Proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el yeso, en concreto cloruros y sulfatos de sodio y magnesio, y que generan importantes efectos en la vegetación: efecto osmótico, efecto de ion específico y sobre el balance energético.

b.1.4) Sodificación. Proceso de enriquecimiento en sodio intercambiable, por el contacto del suelo con soluciones de sales neutras sódicas. Suele ir acompañado de un proceso de iluviación de arcillas sódicas, ya que su dispersión favorece la translocación. Conlleva una degradación de la estructura del suelo y unas condiciones físicas desfavorables para el crecimiento de las plantas y la circulación del agua.

b.2) Translocaciones en suspensión.

El desplazamiento afecta a partículas discretas en el seno del suelo, de un horizonte a otro en el que tiene lugar la acumulación. El transporte se produce en suspensión en el agua que circula a través del suelo. Los componentes afectados pueden ser la arcilla, humus, oxihidróxidos, hierro y aluminio que sean objeto de quelación.

b.2.1) *Argiluviación*. Proceso de movilización en suspensión de arcilla por acción del agua, que actúa como agente físico de transporte, sin reaccionar químicamente con ella. El proceso de translocación de arcillas a lo largo del perfil requiere de la existencia de fases húmedas intensas y periodos secos. En las primeras, el agua con las arcillas en suspensión, se infiltra a través de los macroporos que al secarse dejan, por succión, las arcillas en sus paredes. Se requiere que las arcillas estén dispersas, y por lo tanto es necesario que exista una eliminación previa de los carbonatos y una ligera acidificación.

Cuando la argiluviación se da simultáneamente a la carbonatación el horizonte de acumulación de carbonatos ocupa una posición inferior al horizonte de acumulación de arcillas.

**c) Adiciones y pérdidas.**

Incluye procesos de enriquecimiento y de eliminación, respectivamente, de materiales y componentes del perfil edáfico.

c.1) *Cumulización*. Proceso de aporte de material que se traduce en el engrosamiento del horizonte superficial de materia mineral, lo que repercutirá en la evolución del suelo.

Puede diferenciarse entre aluvionamiento, o aporte por las corrientes fluviales, y coluvionamiento, con aportes derivados de la combinación de la fuerza de la gravedad y de corrientes de agua. Estos aportes se tratan en muchos casos de material pre-edaforizado o suelos erosionados.

c.2) *Lixiviación*. Migración, más o menos continuada, de un componente del suelo, por la acción de un agente químico. La pérdida del componente afectado se producirá progresivamente dentro del perfil tal y como el frente de humectación lo atraviese de forma habitual.

c.3) *Erosión*. Proceso de degradación física del suelo que consiste en la pérdida de parte o la totalidad del perfil. Consiste en la pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que van quedando en superficie. Los agentes erosivos son: agua, viento, nieve, hielo, gravedad, fauna y raíces y el hombre.

**1.2.4.-RELACIONES SUELO-PAISAJE:**

Existe una relación importante entre la distribución de los distintos suelos y la posición que ocupan en el paisaje. El estudio de las propiedades de las formas del paisaje y de los factores y procesos responsables de su formación constituye un enfoque posible para intentar explicar las variaciones, tanto verticales como laterales que presentan las propiedades. Y explicar así la distribución de los suelos en un determinado paisaje.

La Geomorfología estudia la evolución de la superficie terrestre, los factores, procesos, formas y sedimentos resultantes de los procesos,

teniendo en cuenta una dimensión temporal e histórica. De la dimensión temporal en el estudio de las formas se desprende que la superficie del terreno cambia a lo largo del tiempo y esta evolución lleva aparejada la del suelo. Los diversos rasgos y características de un suelo reflejan su evolución histórica, la cual se relaciona con la posición que ocupa el suelo en el paisaje y con los suelos próximos. De ahí la importancia del estudio de las formas del terreno y de los depósitos superficiales (Porta et al., 2003).

En un estudio edafológico debe precisarse la representatividad de un suelo en una forma determinada de paisaje, pudiéndose definir distintas escalas de observación. Las relaciones suelo paisaje se establecen para áreas uniformes, lo que implica un análisis detallado de las formas. Mediante fotointerpretación, se pueden facilitar los puntos de observación (calicatas en este estudio) e interés, al permitir identificar y delimitar unidades geomorfológicas que suelen estar relacionadas con unidades de suelos. La relación existente entre unidades geomorfológicas, y unidades de suelos se debe a su origen y evolución comunes lo que permite establecer unidades morfoedáficas (Gaucher, 1981).

Ollier (1976) explica que las relaciones suelo-paisaje sólo aparecen claramente en situaciones extremas, dominadas por condiciones de áridas o frías. En el resto del mundo, bajo condiciones no extremas, los procesos de erosión, de depósito en laderas y de edafogénesis están entrelazados, por lo que las interpretaciones deben realizarse con prudencia.

Las relaciones suelo-paisaje resultan fundamentales para explicar el modelo de distribución de los suelos en una zona como la de este estudio a través de catenas y toposecuencias. Además esto permite que puedan ser usadas como base para establecer modelos de distribución de suelos, que sirvan de apoyo en trabajos de cartografía de suelo y ordenación de territorio.

#### **1.2.4.1.-LA INFLUENCIA DEL CLIMA EN LAS RELACIONES SUELO-PAISAJE:**

La influencia del clima en las relaciones suelo-paisaje son función de la zona climática considerada. El clima condiciona los procesos en las laderas, la meteorización, los procesos edafogenéticos, la erosión así como el transporte y depósito de materiales. Análogamente, condiciona la vegetación de una región o, por efecto del topoclima, da lugar a diferencias a escala mucho más detallada (Porta et al., 2003).

#### **1.2.4.2.-EL RELIEVE Y SUS FORMAS:**

El relieve controla la distribución de masa y energía. Por esa razón, en un determinado paisaje es posible distinguir superficies deposicionales y superficies de erosión, cuyo distinto origen, características de suelo, etc. explican de manera diferente las distintas partes de un paisaje, que condicionarán los usos que se planteen y las prácticas de manejo. Superficies resultantes de procesos combinados de erosión y depósito serán más difíciles de interpretar.

La descripción del relieve se realiza atendiendo a la geometría de las formas. Las principales formas del relieve para relacionar suelos y paisaje son:

- **Plataforma:** Es una superficie de topografía llana formada por una capa resistente incluida en una serie sedimentaria subhorizontal. Si el estrato más resistente se encuentra en el nivel más externo, la superficie estructural puede ser *primitiva*, pero lo más normal es que anteriormente se encontrase recubierta por otras series de estratos de rocas más deleznable que han podido ya ser eliminadas por la acción de los agentes de la erosión, pudiendo entonces considerar la superficie estructural como una forma *derivada*.

- **Interfluvios:** hacen referencia a las divisorias de aguas.

- **Terrazas:** son una forma escalonada de relieve, con uno o varios rellanos, generalmente estrechos y alargados, adosados a una ladera de un valle fluvial y limitado por un talud. Se forman como consecuencia de la acumulación de materiales que ha ido depositando el río a lo largo de la evolución, en diferentes niveles escalonados. Son testigos del lecho de inundación de los ríos.

- **Fondo:** son superficies de depósito, en las que confluyen las aguas de escorrentía. En ellos se encuentran las terrazas fluviales. Se distinguen fondos de valle, asociados a un canal de desagüe y fondos cerrados o depresiones que, se denominan endorreicas, por no presentar salida de aguas. Según sea su sección transversal, los fondos de valle pueden ser en uve (V), planos, o en forma de cuna (U).

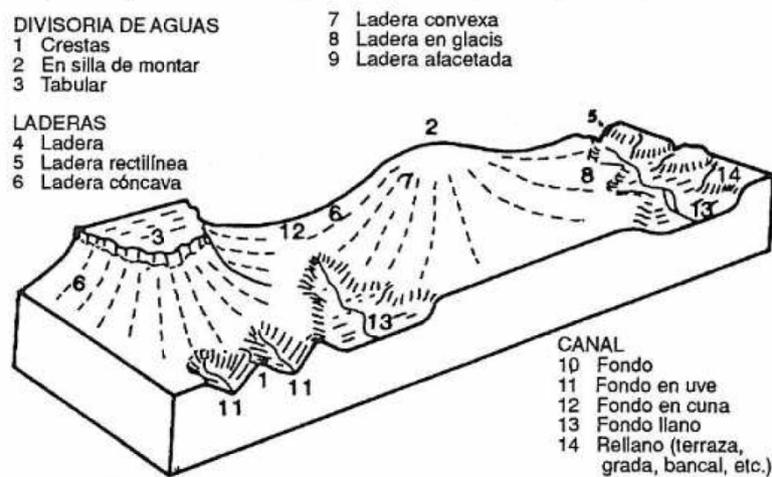


Fig.1. Unidades geomorfológicas utilizadas en SINEDARES (CBDSA, 1983)

- **Rellano:** llano que interrumpe la pendiente de un terreno. Su origen suele ser erosivo o sedimentario.

- **Laderas o vertientes:** elemento inclinado con respecto a la horizontal, que enlaza una divisoria de aguas con un fondo.

### **1.2.4.3.- LADERAS; CARACTERÍSTICAS Y PROCESOS:**

La posición, la forma, el gradiente, uniformidad y la orientación relativa de una ladera o vertiente a lo largo de una pendiente afecta directamente a los procesos o acciones fundamentales que repercutirán en la evolución del suelo

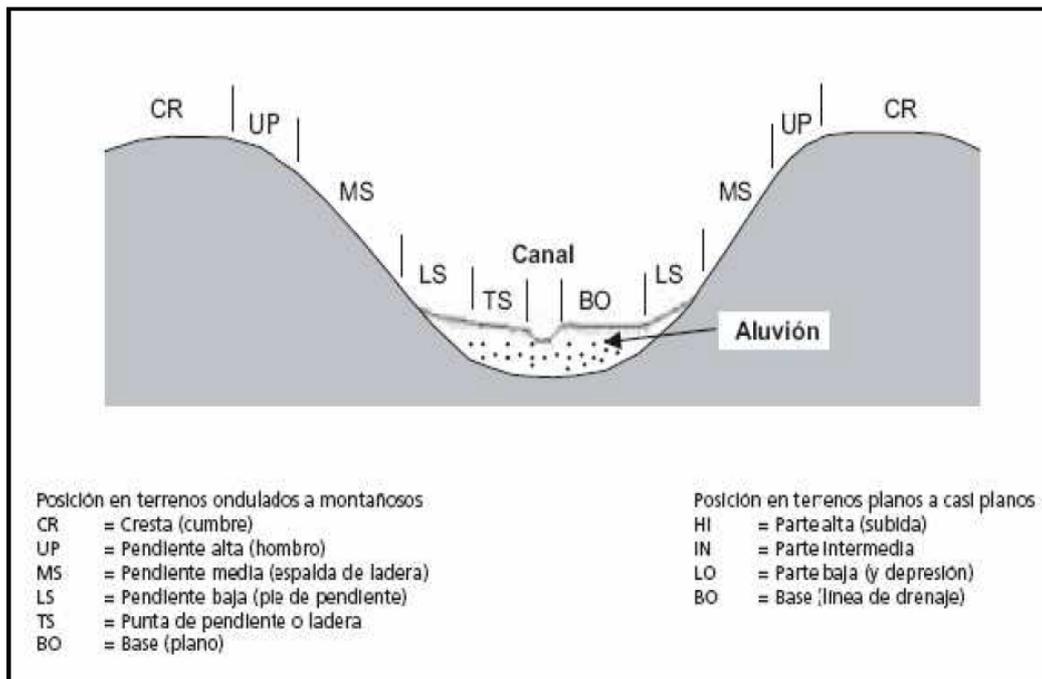


Fig.2. Posición de la pendiente en laderas (Fuente: Guía FAO para la descripción de suelos, 2009)

La interpretación de la inclinación de una ladera puede hacerse atendiendo a siguiente descripción:

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

Tabla 3. Clases de gradiente de la pendiente (Fuente: Guía Fao para descripción de suelo, 2009)

En un perfil de una ladera o vertiente se pueden diferenciar tres tramos, un tramo convexo en la parte superior, un segmento rectilíneo central y un tramo cóncavo en la parte basal y que enlaza con el fondo.

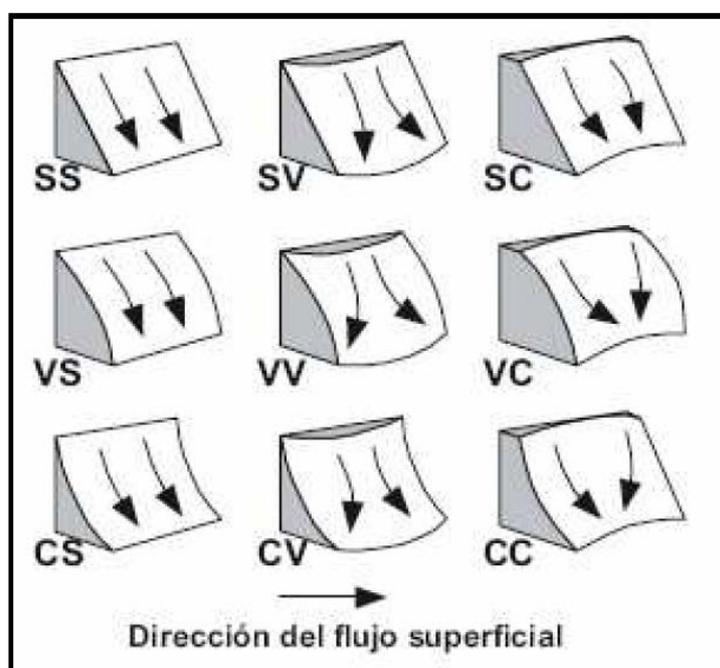


Fig.3. Forma de la pendiente y direcciones de la superficie, S: lineal; C: Cóncava; V: convexa. (Fuente: Guía FAO para descripción de suelos, 2009).

El desarrollo de cada uno de los tramos depende de diversos factores, entre ellos el clima. En zonas áridas y semiáridas la parte basal alcanza un mayor desarrollo, mientras que en zonas templado-húmedas predominan las laderas de forma convexa. Las laderas rectilíneas son superficies de erosión que se modelan sobre un sustrato rocoso y su inclinación depende de la litología.

Si atendemos a los criterios morfológicos, las vertientes se pueden dividir en simples o complejas atendiendo a la uniformidad o irregularidad del perfil según la máxima pendiente.

También es importante la influencia de la longitud de la pendiente (observada desde su parte superior) y de la orientación, que afecta por ejemplo a la precipitación, insolación y régimen de temperatura, entre otros.

La evolución del suelo, el relieve y sus características ejercen acciones fundamentales que se materializan en una clara dependencia de los constituyentes y propiedades del suelo con el propio relieve en el caso del estudio que nos ocupa:

*1) Transporte de materiales por la acción de la gravedad;* que depende de su posición en el paisaje, por la que el suelo se someta a la acción de la erosión, como en ocurre en zonas altas y sobre todo en áreas que presentan fuertes inclinaciones (posición que se considera residual y que se conforma por suelos esqueléticos), suelos situados a media ladera y sometidos a un continuo transporte de materiales sólidos y soluciones (presentando pequeños o moderados espesores de suelo) y por último, suelos en la ruptura de las pendientes a los que siguen los fondos, en los que se produce la deposición de materiales arrastrados (formando suelos en constante acumulación, de espesor y de texturas finas).

La interpretación del origen de la forma de la ladera puede relacionarse con la velocidad de meteorización y la de transporte (Weyman y Weyman, 1977), lo que lleva a la existencia de:

a) Laderas de desarrollo limitado por el transporte, en las que la tasa de transporte es inferior a la de meteorización, produciéndose un progresivo aumento del espesor del suelo.

b) Laderas de desarrollo limitado por la meteorización, que dan lugar a suelos de escaso espesor.

2) *Influencia directa en la cantidad de agua que accede y pasa a través del perfil del suelo*; la posición del suelo en el relieve condiciona la situación de la capa freática y, en consecuencia las condiciones de drenaje y permeabilidad del suelo además de los rasgos morfológicos asociados a ellas, color, síntomas de oxido-reducción, como moteado, concreciones, etc.

La clase de drenaje de un suelo viene condicionada por su textura, estructura, permeabilidad, capacidad de almacenamiento de agua, posición geomorfológica y evapotranspiración. Atendiendo a la influencia del relieve, en las áreas altas se produce un drenaje de tipo vertical rápido, oblicuo en laderas e impedido en las depresiones.

3) *Modifica las características del clima edáfico*; la temperatura y en la humedad en función de la inclinación (intensidad calorífica de las radiaciones recibidas), orientación (regulando el tiempo de incidencia de la radiación solar) y altitud (que influye sobre los elementos climáticos en general). Todo ello también afectará al desarrollo de la vegetación y a la actividad microbiana.

Características de la forma	Efectos sobre el suelo
<i>Inclinación de la ladera</i>	Radiación recibida Velocidad de escorrentía Erosión Deposito de materiales
<i>Longitud de la ladera</i>	Escorrentía Erosión
<i>Orientación de la ladera</i>	Efecto solana-umbría: topoclima Radiación recibida Temperatura del suelo Exposición al viento Exposición a la lluvia Humedad del suelo Vegetación, infiltración y escorrentía Erosión Contenido de materia orgánica y espesor del horizonte A Morfología del perfil
<i>Posición en la forma</i>	Erosión, depósito Características de los materiales depositados Condiciones de drenaje Profundidad capa freática: estacionalidad Morfología del perfil Profundidad del suelo Contenido de sales solubles

Tabla 4. Principales efectos sobre el suelo según las características de la forma del relieve (Porta et al., 2003).

### **1.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS:**

#### **1.3.1.- SOIL TAXONOMY (SSS, 2014):**

Soil Taxonomy System es un sistema de clasificación de suelos propuesto por el Soil Conservation Service del USDA en 1975. Este sistema de clasificación considera primordialmente las propiedades actuales de tipo físico, químico y biológico que presentan los suelos y, en segundo término, los procesos de génesis de suelo que han existido para conformar un determinado pedión. Tiene una terminología autoexplicativa, es clara y no requiere traducción a los distintos idiomas con taxones excluyentes. La metodología para llegar a establecer la clasificación de un suelo incluye la identificación de las características de diagnóstico (propiedades y

materiales) y de los horizontes de diagnóstico, la analítica físico-química de las muestras y, la definición de los regímenes de humedad y temperatura del suelo.

El sistema está jerarquizado, es decir, al clasificar se van eliminando sucesivamente, una a una, todas las clases que incluyen criterios no válidos en el suelo a clasificar. Consta de 6 niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia y Serie.

### **1.3.2.-WORLD REFERENCE BASE (IUUS, 2014):**

La primera versión oficial de la Base de referencia mundial para los recursos de suelos (WRB) se publicó en 1998. Fue respaldada y adoptada como el sistema de correlación y comunicación internacional de la Unión Internacional de Ciencias del Suelo (IUSS). En 2006 tras intensas pruebas y obtención de datos a nivel mundial se publicó una actualización. La última versión realizada fue en el año 2014, fruto del trabajo de un amplio grupo de expertos con la colaboración de la IUSS y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Esta clasificación se basa en propiedades del suelo definidas en términos de horizontes y características de diagnóstico (propiedades y materiales) que tienen en cuenta los procesos formadores. Tiene una nomenclatura basada en denominaciones tradicionales e introduce términos fáciles para el lenguaje común. No utiliza las condiciones climáticas del suelo para su clasificación a diferencia de sistema de clasificación de Soil Taxonomy.

El sistema tiene dos niveles jerárquicos, el primero, es el Grupo de suelos de referencia (RSGs). Está formado por 32 grupos de suelos de referencia atendiendo al proceso formador principal. El segundo, consiste en el nombre del RSG combinado con un juego de calificadores principales y suplementarios, que tienen en cuenta un proceso formador secundario y para reflejar variaciones espaciales y poder establecer relaciones dentro del paisaje.

## **1.4.-LOS SUELOS DE ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS:**

En los suelos de las zonas áridas y semiáridas, como la de este estudio, las condiciones climáticas hacen que la evapotranspiración potencial sea mucho mayor que las precipitaciones en la mayor parte del año, lo que provoca bajos contenidos de materia orgánica y favorece la permanencia de carbonatos, sulfatos y sales más solubles que el yeso en los suelos, que alteran las características químicas y físicas de éstos.

Estos suelos en general son pobres en materia orgánica, con altos valores de PH, poco evolucionados pues la meteorización es poco intensa y las reacciones químicas progresan con lentitud debido a la escasez de agua. Por ello, gran parte de estos suelos están condicionados por el material original del tipo evaporítico a partir del que se han formado, puesto que no es posible la lixiviación de las abundantes bases y su eliminación del perfil del suelo. Dominan los procesos de translocación y acumulación en horizontes subsuperficiales de las bases existentes en el material original: calcificación cuando son carbonatos, gipsificación cuando se trata de yeso o salinización cuando son sales más solubles que el yeso. El predominio de un proceso u otro dependiente del material original y la posición topográfica condicionarán el tipo de suelo (Ibarra, 2004).

En la Depresión del Ebro, son abundantes los suelos que presentan una acumulación de carbonato cálcico a cierta profundidad, fundamentalmente por translocación desde horizontes más superficiales. La acumulación se puede dar bajo distintas formas: pulverulentas (pseudomicelios), nódulos con distinta morfología y dureza, revestimientos bajo los cantos (cemento geopetal) e incluso masas cementadas (mallacán).

Aparecerán frecuentemente en los relieves estructurales calcáreos (plataformas) especialmente sobre laderas con depósitos coluviales, así como sobre niveles de glaciares y terrazas. Presentan espesores variables pero normalmente superan los 60 cm o incluso el metro. Suelen presentar alto contenido en gravas y su textura más habitual es franca por lo que su drenaje es bueno. Son suelos favorables para el desarrollo de la vegetación y de los cultivos, sin problemas de salinidad, aunque pueden formarse

costras calcáreas endurecidas en su superficie que dificultan su aprovechamiento agrícola.

En cuanto a los suelos que presentan horizontes de acumulación de yeso (sulfato cálcico dihidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en su perfil, podemos encontrar yeso de origen litológico y yeso de origen edáfico. El primero, conocido como yeso primario o heredado, es el que se ha generado como consecuencia de procesos diagenéticos, como el yeso fibroso que aparece rellenando grietas, formado a partir de la hidratación de anhidrita. El segundo, denominado yeso secundario o edafogenético, es aquel que precipita en el seno del suelo, a partir de una solución saturada de sulfato cálcico, sin proceder de la transformación de fases minerales precursoras (anhidrita). Son yesos secundarios el yeso lenticular, farináceo, etc.

El aumento de la acumulación de yeso en suelos afecta a la mayoría de las propiedades del suelo, causando serios problemas físicos, químicos y de fertilidad (Mashali, 1996).

La presencia de yeso influye negativamente a propiedades físicas del suelo, como la permeabilidad, la estabilidad estructural, la cohesión y la agregación y características químicas del suelo, tales como la capacidad de intercambio catiónico.

Esto es especialmente importante en los suelos de las zonas semiáridas y áridas, donde el yeso se comporta como un semi - soluble constituyente del suelo y donde su presencia más allá de un umbral afecta al crecimiento de la planta y a su productividad (FAO, 1990).

## 2.-OBJETIVOS

## **2. OBJETIVOS:**

En el presente trabajo se pretende estudiar una toposecuencia de suelos entre la confluencia de los ríos Segre-Ebro y el Montnegre, en la partida de La Plana de Mequinenza. Para ello, los objetivos a llevar a cabo son:

1. Identificar las diferentes unidades geomorfológicas que forman la zona elegida para llevar a cabo el estudio.
2. Describir macromorfológicamente los perfiles edáficos según normas del SINEDARES (C.B.D.S.A., 1983), y analizar física y químicamente los suelos siguiendo los métodos oficiales (M.A.P.A., 1994).
3. Estudiar el origen y los distintos factores formadores que han actuado en la génesis de los suelos caracterizados.
4. Clasificar los suelos estudiados según Soil Taxonomy System (SSS, 2014) a nivel de subgrupo y World Reference Base (IUSS, 2014) a nivel de unidades, a partir de los resultados obtenidos.
5. Interpretar las características y cualidades de los suelos estudiados para optimizar su uso agrícola.

## 3.-EL MEDIO FÍSICO

### **3. EL MEDIO FÍSICO:**

#### **3.1.-SITUACIÓN GEOGRÁFICA:**

El área de estudio se encuentra localizada en la partida de La Plana, en el término municipal de Mequinenza, localidad que se halla en la comarca del Bajo Cinca, en el extremo oriental de la provincia de Zaragoza, situada en la confluencia de los ríos Segre, Cinca y Ebro. Esta confluencia de los tres ríos, localmente denominada Aiguabarreig es de gran interés por la gran diversidad biológica que allí se puede encontrar (Carceller et al., 2010).

Mequinenza limita al Oeste con la comarca de los Monegros, al Sur con la comarca del Bajo Aragón-Caspe, al este con la provincia de Lleida y a norte con los términos de los municipios de Torrente de Cinca y Fraga pertenecientes también a la comarca del Bajo Cinca.

El paraje de La Plana se halla situado entre las coordenadas 41° 22' y 41° 23' de latitud N y 0° 17' y 0° 18' de longitud E (Fig.4).

La Plana se divide en Plana Alta y Baja. La Plana Alta está rodeada por su parte posterior por elevaciones de la sierra de Riols, en la cual se encuentra el punto más alto del estudio, Montnegre (410 m). La Plana Baja en su parte inferior limita con la actual zona urbana del municipio de Mequinenza. En 1966 el casco urbano de la localidad presentaba otra ubicación. Pero la inundación de la mayor parte del pueblo primitivo por la construcción del embalse de Ribarroja para así obtener un mayor aprovechamiento de las aguas para la producción de energía eléctrica, llevó a una variación en el asentamiento del pueblo.



Fig.4. Localización de Mequinenza en la Península Ibérica. Mapa topográfico nacional 1:50.000 del Instituto Geográfico Nacional, 2015. En rojo, la zona donde se realiza el estudio.

### **3.2.-EL CLIMA:**

La decisiva acción del clima en la formación del suelo se desprende al considerar que el clima va a regular el aporte de agua al suelo, así como su temperatura. Ambos factores (humedad y temperatura) ejercen una influencia decisiva en la formación de la materia orgánica, en los procesos de migración y translocación a lo largo del perfil edáfico, en la actividad biológica y en la vegetación que se puede encontrar en una determinada zona.

### 3.2.1.-EL CLIMA ATMOSFÉRICO:

Las reducidas dimensiones del área de estudio hacen que toda ella presente unas características climáticas en las que no se llegan a identificar ambientes climáticos diferenciados. Solo podemos encontrar variaciones microclimáticas relacionadas con la exposición.

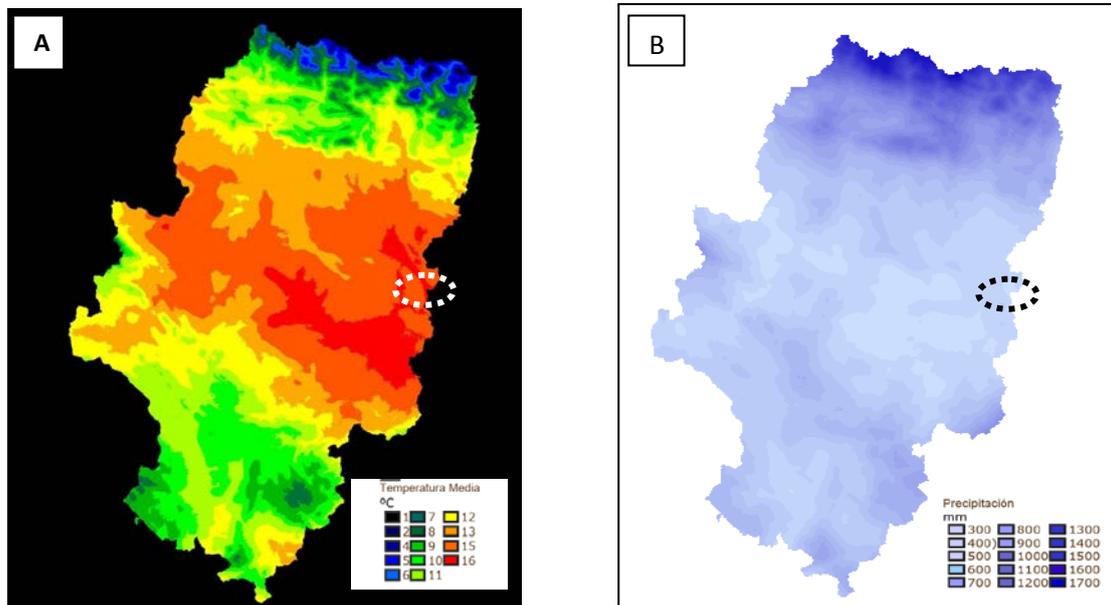


Fig.5. Temperaturas medias anuales (A) y pluviometría media anual (B) de la comunidad autónoma de Aragón. Fuente Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. En línea discontinua se señala el área donde se encuentra la zona llevada a estudio.

Para el análisis del clima atmosférico tomaremos en consideración los datos de temperatura ambiente, precipitación y evapotranspiración potencial (medida según el método Thornthwaite) y la clasificación de Papadakis (tabla 6), de tres estaciones termopluviométricas cercanas a la zona de estudio y con disponibilidad de datos de un período amplio de años (tabla 5), (dos pertenecientes a la provincia de Zaragoza y una a la provincia limítrofe de Lleida), así como, los datos medios de los municipios localizados en zona de estudio (tabla 10), obtenidos en el servidor de

cartografía del SIGA del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

ESTACIÓN	MUNICIPIO (Provincia)	COORDENADAS	ALTITUD (msnm)	AÑOS ÚTILES DISPONIBLES
Mequinenza "Embalse Asinel"	Mequinenza (Zaragoza)	X:0773300 Y:4584820	125	27 años (1972-1998)
Fraga "Las Balas"	Fraga (Huesca)	X:0793516 Y:4598800	150	14 años (1961-1974)
Utxesa "Embalse"	Aitona (Lleida)	X:0793516 Y:4598800	170	Precipitación 28 años (1961-1994) Temperatura 23 años (1961-1988)

Tabla 5. Características de las estaciones termopluviométricas disponibles.

Clasificación agroecológica de Papadakis*	Mequinenza Embalse Asinel	Fraga "Las Balas"	Utxesa "Embalse"
Tipo de invierno	ay	Av	Av
Tipo de verano	O	O	O
Régimen térmico	CO/Co	CO/Co	CO/Co
Régimen de humedad	Me/St	Me	Me
Clasificación	Mediterráneo continental	Mediterráneo continental	Mediterráneo continental

Tabla 6. Clasificación Agroecológica de Papadakis de las estaciones termopluviométricas consultadas. (Av: avena cálido, ay: avena fresco; O: arroz; Co: continental cálido, Co: continental frío; Me: mediterráneo, St: estepario). \* Esta clasificación se ha utilizado para la determinación de la clase agrológica.

Los valores medios de temperatura, precipitación y evapotranspiración potencial obtenidos por el método de Thornthwaite de las tres estaciones termopluviométricas elegidas para el estudio. (M) Mequinenza "Embalse", (F) Fraga "Las Balas", (U) Utxesa "Embalse".

	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Anual</i>
<i>M</i>	5,1	6,9	10	12,4	16,5	21,1	24,6	24,4	20,7	15,3	9,6	5,7	14,4
<i>F</i>	5,2	6,9	9,8	13,3	17,6	21,3	24,7	24,0	20,9	15,6	8,9	5,1	14,4
<i>U</i>	6,2	8,0	10,6	13,3	17,2	21,8	24,8	24,5	21,5	16,3	10	6,4	15,0

Tabla 7. Valores de Temperatura media mensual (°C).

	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Anual</i>
<i>M</i>	24	19	27	42	53	39	14	28	41	39	25	30	381
<i>F</i>	22	20	31	32	30	32	13	23	39	37	43	32	355
<i>U</i>	28	21	30	43	53	43	15	29	43	51	43	32	431

Tabla 8. Valores de Precipitación media mensual (mm).

	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>M</i>	<i>A</i>	<i>M</i>	<i>J</i>	<i>J</i>	<i>A</i>	<i>S</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>D</i>	<i>Anual</i>
<b>1</b>	9,1	14,6	31,8	47,1	82,1	119,7	153,1	141,1	96,9	56,5	24,2	10,5	786,7
<b>2</b>	9,1	14,4	30,5	52,3	89,9	121,7	154,1	137,6	97,9	57,8	20,9	8,8	795
<b>3</b>	11,1	16,7	32,8	50,3	84,9	124,5	155,1	141,1	100,8	59,9	23,8	11,3	812,2

Tabla 9. Valores de Evapotranspiración media mensual (mm).

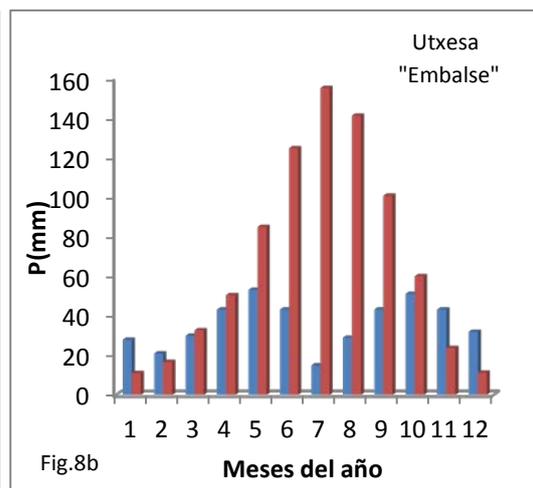
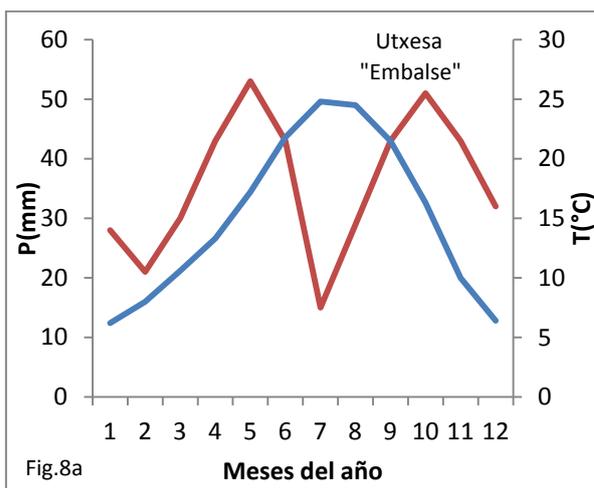
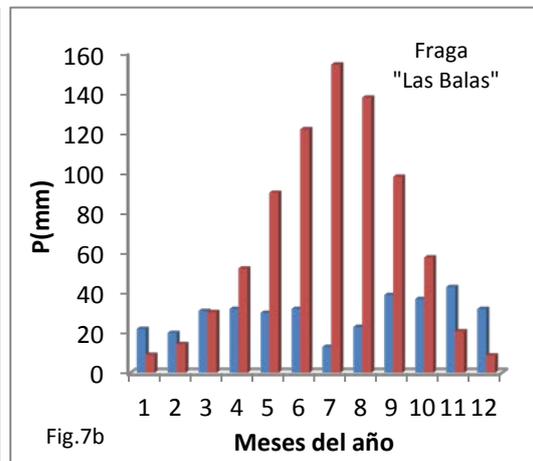
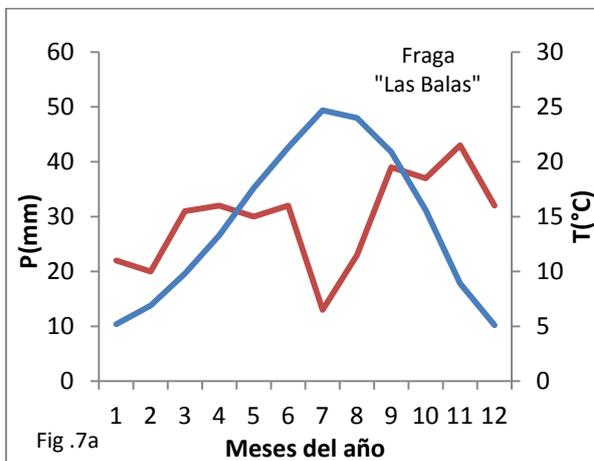
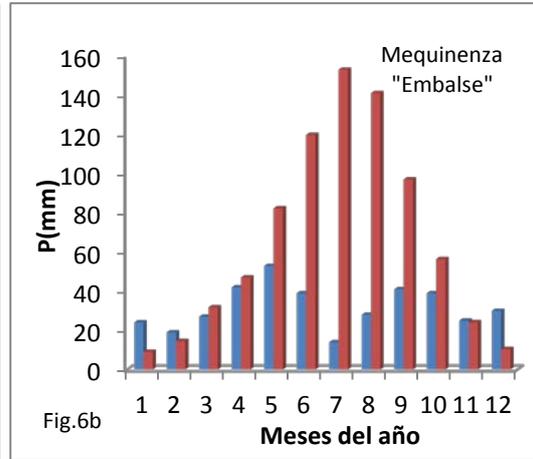
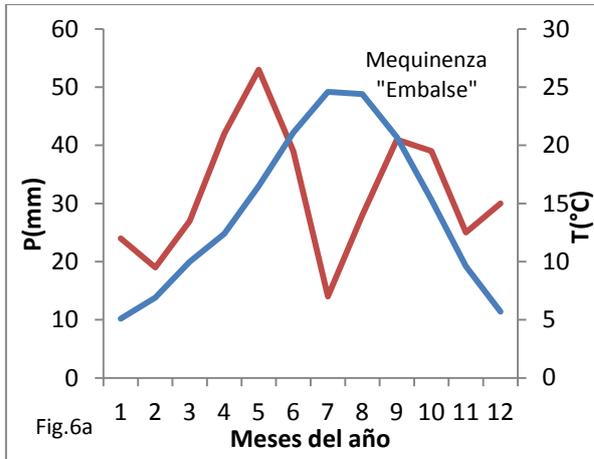


Fig. 6a, 7a, 8a. Diagrama ombrotérmico de las tres estaciones termopluviométricas. En color rojo se representan las precipitaciones mensuales (mm), y en color azul, las temperaturas medias mensuales (°C). El área comprendida entre ambas líneas refleja el déficit hídrico (período seco) que se produce durante los meses de verano.

Fig. 6b, 7b, 8b. Precipitación media mensual (mm) en color azul y la evapotranspiración potencial media mensual (mm) en color rojo de las tres estaciones termopluviométricas.

Valores termopluviométricos de los municipios de alrededor de la zona de estudio (Período 1940-41/1990-91).

	<b>Aitona</b>	<b>Caspe</b>	<b>Fraga</b>	<b>Massalcoreig</b>	<b>Mequinenza</b>	<b>Peñalba</b>	<b>Seròs</b>
<b>Altitud(msnm)</b>	163	220	254	106	247	328	218
<b>P(mm/año)</b>	396	332	364	369	371	339	384
<b>T<sup>a</sup> mín.(°C)</b>	0,9	1,5	0,8	0,9	1,1	0,6	0,8
<b>T<sup>a</sup> media(°C)</b>	14,7	15	14,7	14,7	14,4	14,7	14,4
<b>T<sup>a</sup> máx.(°C)</b>	32,7	32,6	33,2	32,9	31,5	34,4	31,9
<b>ETP(mm/año)</b>	802	816	809	800	790	815	787

Tabla 10. Valores de precipitación media anual (P), temperatura media de mínimas del mes más frío (T<sup>a</sup> mín), temperatura media anual (T<sup>a</sup> media), temperatura media de máximas del mes más cálido (T<sup>a</sup> máx), evaporación media anual obtenida por el método de Thornthwaite. Fuente: CHE y SIGA-MAPA.

La relación entre los valores mensuales de precipitación con la evapotranspiración potencial (P/ETP), calculada por la metodología de Thornthwaite de denomina índice de aridez (IA). Los valores según UNESCO-FAO son:

- Zona de desierto  $IA < 0,03$
- Zona árida  $0,03 < IA < 0,20$
- Zona semiárida  $0,20 < IA < 0,50$
- Zona subhúmeda seca  $0,50 < IA > 0,65$
- Zona subhúmeda húmeda  $0,65 < IA < 0,75$
- Zona húmeda  $IA > 0,75$

Los valores obtenidos para las estaciones de Mequinenza, Fraga y Utxesa han sido 0,48; 0,44 y 0,53 respectivamente. Este mismo índice presenta valores entre 0,40 y 0,49 en los municipios de la zona de estudio. Por lo que este territorio se caracteriza por ser una zona semiárida, en tránsito a subhúmeda seca.

La zona de estudio presenta un clima mediterráneo continental, semiárido (en tránsito a subhúmedo seco), con temperaturas medias

anuales entre 14°C-15°C y una precipitación anual entre 300-400 mm, siendo máxima en primavera y otoño, y mínima en verano. La evapotranspiración potencial media anual, calculada según el método Thornthwaite, está en torno a los 800 mm.

La temperatura del aire experimenta a lo largo del año importantes variaciones, tanto en las medias de las máximas y mínimas diarias, como en la amplitud de la oscilación térmica. Se registran máximas estivales, desde mitad de junio a mitad de agosto, con temperaturas cercanas a los 40°C, mientras que las mínimas invernales son incluso inferiores a los - 7°C y suelen darse en los meses de diciembre y enero.

Los datos pluviométricos disponibles nos muestran que existe a lo largo del año un máximo primaveral, centrado en el mes de mayo, cuya causa es el paso de los sistemas frontales del Atlántico en dirección oeste-este y otro otoñal que suele recaer en el mes de octubre producido por el efecto de los sistemas frontales atlánticos unidos a la entrada de flujos húmedos de levante.

La sequía atmosférica en gran parte del año va a ser una característica predominante en la zona de estudio, que condiciona las características de los ecosistemas que nos vamos a encontrar. Las altas temperaturas estivales junto con la escasez de precipitaciones provocan un descenso de la producción vegetal, producido por un predominio de la respiración frente a la fotosíntesis durante ese periodo de tiempo. Mientras que las bajas temperaturas que se dan en los meses de invierno reducen la circulación de sustancias por las plantas y disminuyen toda su actividad.

Se observa que la pluviometría es algo mayor en las estaciones cercanas al río Ebro; así en la estación de Fraga "Las Balas" la precipitación media anual es de 355 mm, 371 mm en el municipio de Mequinenza y 381 mm en la estación pluviométrica de Mequinenza "Embalse".

La estación de Mequinenza presenta generalmente a lo largo de todo el año valores medios de temperatura algo inferiores a otras estaciones cercanas como Utxesa "Embalse" o Fraga "Las Balas", siendo esta diferencia

algo más marcada en primavera donde los valores promedio se sitúan próximos a 1°C o 2°C de diferencia.

Todo esto se debe a la influencia del Mediterráneo, que aunque se encuentra relativamente lejos, deja sentir los efectos de los temporales del Levante en esta zona del río Ebro. Además algunos modelos climáticos apuntan que en las zonas de más bajas, localizadas cerca de cauces y embalses, presentan temperaturas medias anuales inferiores (en torno a 1°C) que las plataformas que los rodean (Cuadrat, 2008; Ninyerola et al., 2005).

Otros aspectos de interés en la zona son la niebla y el viento. La presencia de nieblas durante el invierno es casi constante, aparece al finalizar el otoño y se mantiene durante todo el invierno. Los rayos del sol no pueden atravesar la niebla, lo que lleva a una disminución de la insolación del suelo, a un descenso de las temperaturas y a un aumento de la humedad relativa que evita las pérdidas producidas por la evapotranspiración y facilita la condensación de agua sobre las superficies. Esto favorece a las plantas higroscópicas de la región que incrementan su biomasa y al grado de reserva hídrica del suelo que puede mantenerse a un nivel superior. No obstante, la niebla suele ir acompañada de fenómenos de inversión térmica, que produce que la temperatura sea menor en los fondos de los valles.

Los vientos dominantes en la zona son el bochorno y el cierzo. Con su acción van a favorecer las pérdidas hídricas incrementando la evaporación del agua del suelo y la transpiración vegetal, en especial el cierzo, viento del WNW que llega seco a la región aragonesa, por donde discurre paralelo al cauce del río Ebro. Su flujo se produce cuando existe una menor presión atmosférica en el Cantábrico que en el Mediterráneo, a diferencia del bochorno, viento de dirección ESE, cálido y húmedo, que aparece en primavera y verano, ascendiendo por el Ebro desde el mar.

### **3.2.2.-EL CLIMA EDÁFICO:**

El concepto de clima edáfico hace referencia al clima del suelo y de él depende gran parte de la capacidad para sustentar la vegetación y condiciona igualmente los procesos edafogénéticos. El edafoclima está constituido por dos elementos fundamentales: humedad y temperatura.

Para aplicar los criterios de clasificación de suelos de Soil Taxonomy (SSS, 2014) es necesario conocer los regímenes de temperatura y de humedad del suelo.

El **régimen de temperatura del suelo** se define a partir de la temperatura media del suelo, a 50 cm de profundidad o a la profundidad en que se encuentre un contacto lítico, si éste está antes de los 50 cm, la cual corresponde a la zona radicular y está influenciada por los cambios de temperatura estacionales y no diarios.

Dada la ausencia de datos obtenidos de una forma directa en una sección de suelo, los regímenes de temperatura deben calcularse teniendo en cuenta las series climáticas atmosféricas.

Así la temperatura edáfica se puede calcular mediante una aproximación:

$$T_{50 \text{ cm}} = T_{\text{atm}} + 1^{\circ}$$

Los tipos de régimen de temperatura del suelo más comunes en España son:

- Frígido:  $T_{50 \text{ cm}} < 8^{\circ} \text{ C}$
- Mésico:  $8^{\circ} \text{ C} \leq T_{50 \text{ cm}} < 15^{\circ} \text{ C}$
- Térmico:  $15^{\circ} \text{ C} \leq T_{50 \text{ cm}} < 22^{\circ} \text{ C}$

La temperatura edáfica media anual en Mequinenza será  $15,4^{\circ} \text{ C}$ , lo que corresponde a un **régimen de temperatura Térmico**. Además las temperaturas calculadas con los datos de cada estación meteorológica

también se corresponde con un régimen de temperatura Térmico, aunque bordeando al Mésico.

El régimen de humedad del suelo establecido de forma cuantitativa en Soil Taxonomy (SSS, 2014) se basa en la duración del estado de suelo seco (Potencial hídrico < - 1500 kPa) y de suelo húmedo (Potencial hídrico > -1500 kPa) a lo largo del año. Se obtiene mediante la extrapolación del déficit hídrico. Se expresa de una forma bastante real por el balance hídrico del suelo, el cual representa las pérdidas y ganancias de agua en el perfil en un tiempo dado, generalmente un año. Los parámetros climáticos más relevantes para realizar este balance son la precipitación y la evapotranspiración potencial.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
<b>T (° C)</b>	5,1	6,9	10	12,4	16,5	21,1	24,6	24,4	20,7	15,3	9,6	5,7	14,4
<b>P (mm)</b>	2,4	19	27	42	53	39	14	28	41	39	25	30	381
<b>ETP (mm)</b>	9,1	14,6	31,8	47,1	82,1	119,7	153,1	141,1	96,9	56,5	24,2	10,5	786,7
<b>ETR (mm)</b>	9,1	14,6	31,8	47,1	82,1	39,7	14	28	41	39	24,2	10,5	381,1
<b>R (mm)</b>	35,2	39,6	34,8	29,7	0,7	0	0	0	0	0	0,8	20,3	161,1
<b>D (mm)</b>	0	0	0	0	0	80	139,1	113,1	55,9	17,5	0	0	405,6
<b>E (mm)</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 11. Variación de la reserva hídrica del suelo, según el método de Thornthwaite. Los cálculos se han realizado a partir de los datos de la estación de Mequinenza "Embalse"(considerando una reserva máxima de 100 mm). Valores de Temperatura media mensual (T), Precipitación media mensual (P), Evapotranspiración potencial (ETP), Evapotranspiración real (ETR), Reserva (R), Déficit (D) y Exceso (E).

El balance hídrico realizado para Mequinenza muestra un déficit hídrico de 5 meses, lo que corresponde a un régimen de humedad xérico, muy próximo al arídico. El trabajo de Jarauta (1989) indica que reservas hídricas inferiores 50 mm lo convierten en arídico.

En un trabajo anterior, realizado en una zona muy próxima a la de este estudio, se concluyó que la capacidad de almacenamiento de agua de un perfil se ve condicionada por la presencia de capas cementadas de carbonato cálcico, impermeables al agua, las cuales limitan y condicionan la profundidad del perfil. Considerando un régimen arídico para este tipo de perfiles (Palacio, 2007). En este estudio también encontramos un suelo que presenta a poca profundidad una fuerte costra caliza ocupando la posición geomorfológica de plataforma por lo que consideramos que presenta ese mismo tipo de régimen de humedad.

Otra característica que condiciona que un suelo pueda tener un régimen de humedad arídico es la cantidad de elementos gruesos que presenta. Ya que a mayor cantidad de elementos gruesos menor será el valor de la CRAD (más rápido drena el perfil) y viceversa. El perfil que ocupa la posición geomorfológica de terraza contiene un porcentaje de elementos gruesos muy elevado que hace que se considere que presenta este mismo tipo de régimen.

El resto de perfiles estudiados por las características edáficas que presentan tienen un régimen de humedad xérico.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede considerar que en la zona llevada a estudio encontramos **suelos con régimen de humedad que fluctúa entre arídico y xérico**, en función de la capacidad de almacenamiento de agua en cada uno de los perfiles.

### **3.3.-GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LA DEPRESIÓN DEL EBRO:**

La zona de estudio está situada en el centro de la Depresión Media del Ebro. Es una cuenca sedimentaria terciaria localizada en el noroeste de la Península Ibérica.

### **3.3.1.-LITOLOGÍA:**

#### **3.3.1.1.-PALEOGEOGRAFÍA:**

Durante la era Secundaria, emergen una serie de cadenas montañosas de entre las aguas Mesozoicas, separando cuencas receptoras de sedimentación, tanto continental como marina. El macizo Precámbrico del Ebro y los macizos Paleozoicos Meseterio y Catalano-Balear condicionan toda una serie de ambientes sedimentarios en las cuencas Pirenaica e Ibérica.

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	EDAD ABSOLUTA Millones de años
CENOZOICA	CUATERNARIO	HOLOCENO	0,01
		PLEISTOCENO	1,8
	TERCIARIO	PLIOCENO	5
		MIOCENO	22,5
		OLIGOCENO	37
		EOCENO	55
		PALEOCENO	65
MESOZOICA (SECUNDARIA)	CRETÁCICO		141
	JURÁSICO		195
	TRIÁSICO		230
PALEOZOICA (PRIMARIA)	PÉRMICO		280
	CARBONÍFERO		345
	DEVÓNICO		395
	SILÚRICO		435
	ORDOVÍCICO		500
	CÁMBRICO		570
PRECÁMBRICO			4600

Fig. 9. Períodos geológicos.

A lo largo del Eoceno, la paleografía preterciaria se invierte totalmente. Desde finales del Cretácico, una tectónica tangencial comienza a plegar los sedimentos depositados en las cuencas. El resultado es la emersión progresiva de los Pirineos al Norte, las Cordilleras Catalanas al Sudeste y la Cordillera Ibérica al Sur y Sudoeste, delimitando así, la depresión del Ebro. Se establece así un drenaje fluvial dominante hacia el sur en forma de sistemas aluviales. La fosa del Ebro se iría colmatando por

los aportes sedimentarios de los macizos pirenaicos e ibérico. De esta forma, quedaría cubierto el original material del paleozoico.

Entre finales del Eoceno y principios del Oligoceno, el mar del Ebro queda desconectado de los mares peripeninsulares. Con ello, dicho lago o fosa se convierte en una depresión cerrada de carácter endorreico o lacustre. Cada vez que las cordilleras registraban nuevos pulsos ascendentes, los ríos transportaban más lejos sus arenas y arcillas, invadiendo así los dominios del lago y haciendo retroceder la sedimentación de carbonatos, margas o yesos que producía en su fondo. Cuando la actividad que se producía en las cordilleras se frenaba, de nuevo el lago invadía poco a poco zonas fluviales, superponiendo sus sedimentos químicos (carbonatos, evaporíticos) a los detríticos (arcillas y arenas).

Durante todo el Mioceno continua el proceso de colmatación de la cuenca del Ebro con una sedimentación de carácter ordenado, situándose los conglomerados en las orlas marginales; hacia el interior de la cuenca, los depósitos cuya sedimentación tiene lugar en condiciones más tranquilas: areniscas y margas y por fin en el centro de la cuenca, la serie de precipitados químicos: yesos (rocas evaporíticas) y calizas (rocas carbonatadas), que señalan el techo del relleno de la depresión. En épocas áridas predominaba la sedimentación evaporítica, mientras que en épocas de mayor pluviometría era la detrítica (Riba. et al., 1984).

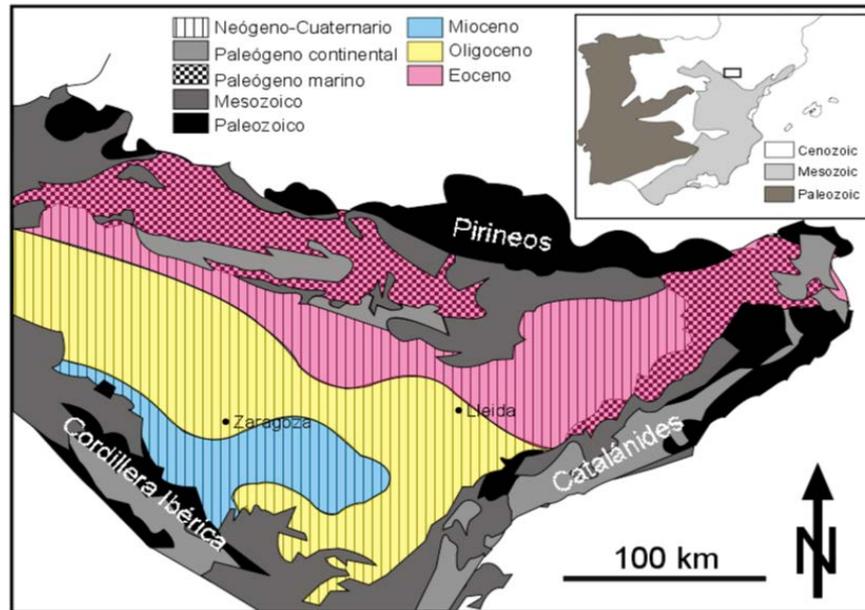


Fig. 10. Esquema geológico de NE de la Península Ibérica. En blanco y negro se representa la edad de los materiales aflorantes y en color las edades de la base del Terciario establecidas por Riba et al., 1983.

Tras la colmatación de la cuenca del Ebro, hacia finales del Terciario, durante el Plioceno, el lago del Ebro se abre hacia el mediterráneo a través de un corredor elaborado en las cordilleras catalanas. De esta forma se inicia el exorreísmo de la Depresión del Ebro y con la instalación de una incipiente red fluvial pliocuaternaria, los niveles de base comienzan a encajarse, profundizándose los cauces de los ríos y formándose distintos pisos de aluviales, de valles, terrazas y glaciais. A partir de este momento, se abre una etapa erosiva en la Cuenca del Ebro. Es en esta etapa donde se conformará la zona llevada a estudio, ya que la Plana de Mequinzenza ocupa el tramo abandonado de lo que fue un antiguo meandro del río Segre (Pocoví, A., com pers.).

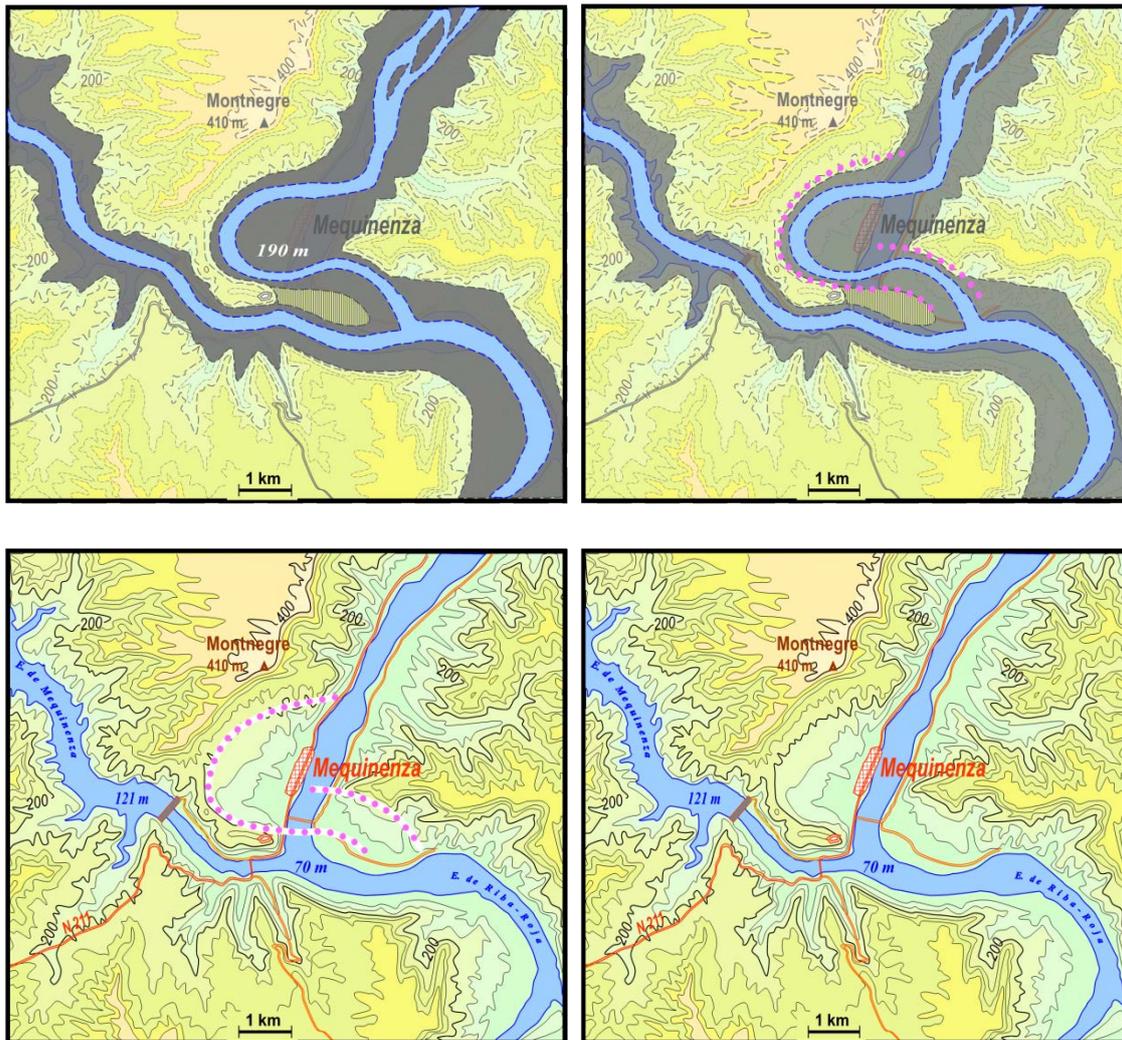


Fig.11. Dinámica del curso fluvial del río Segre y formación de la actual Plana de Mequinena.

### **3.3.1.2.-ESTRATIGRAFÍA:**

El conjunto de rocas presentes en la Cuenca del Ebro se estudian actualmente a través de lo que se denomina Unidades Tectosedimentarias (UTSs). Se trata de unidades estratigráficas de rango elevado cuyos límites tienen un significado genético a escala de cuenca (Villena et al., 1992). Dichas unidades se presentan separadas tras rupturas sedimentarias generadas por variaciones de la actividad tectónica en las cadenas que limitan la cuenca o por cambios climáticos importantes (Pardo et al., 2004).

En la Depresión del Ebro se han definido ocho UTs, la zona de este estudio se encuentra englobada en la unidad número 4.

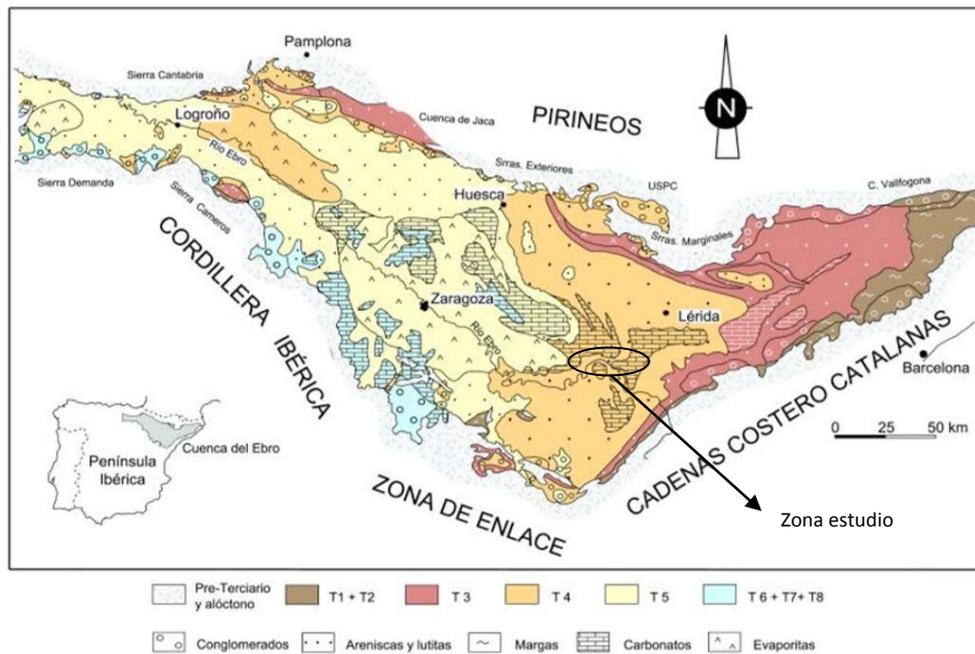


Fig.12. Cartografía de las Unidades Tectosedimentarias (T1 a T8), según Pardo et al. (2004).

Los materiales de dicha unidad pertenecen al contacto entre el Oligoceno Superior y el Mioceno, período en el cual se produjo la sedimentación ordenada de los diferentes materiales en la Cuenca del Ebro. Estos materiales terciarios que se encuentran formando parte de la zona de estudio son: calizas lacustres que se encuentran dispuestos en gruesas bandas estratificadas horizontalmente, alternando con finos niveles de margas, lutitas, yesos y localmente lignitos.

En algunos casos se formaron directamente a partir de restos procedentes de la erosión de otras rocas (son las detríticas, como la arenisca y la arcilla) o por la precipitación química de sustancias disueltas en el agua (como las calizas, los yesos y sales más solubles), o bien por mezcla de ambos procesos (como en el caso de las margas).

El escarpe del Ebro supone un excelente corte geológico donde observar la serie sedimentaria terciaria dispuesta prácticamente de forma horizontal. Las calizas de Mequinenza son los materiales más antiguos que se localizan, lógicamente, en la zona topográficamente más baja, que corresponde a las proximidades de la presa de Mequinenza. Corresponde a una potente serie de estratos calizos con tramos de lutitas, margas e intercalaciones arenosas. Las calizas, a veces arenosas, son grises, violáceas, pardas o negras, se disponen en estratos tabulares de espesor centimétrico o decimétrico que integran conjuntos también tabulares de varios metros de espesor.

A medida que nos aproximamos al río Segre, estos materiales se encuentran recubiertos por materiales cuaternarios como son las gravas con matriz limo-arenosa que ha ido depositando el río, a lo largo de los años formando terrazas fluviales.

Las características geológicas y geomorfológicas de la zona de estudio se pueden consultar en la Hoja del ITGE de Mequinenza (1:50.000), N° 415. Situada en la zona centro-oriental de la unidad fisiográfica de la Depresión del Ebro.

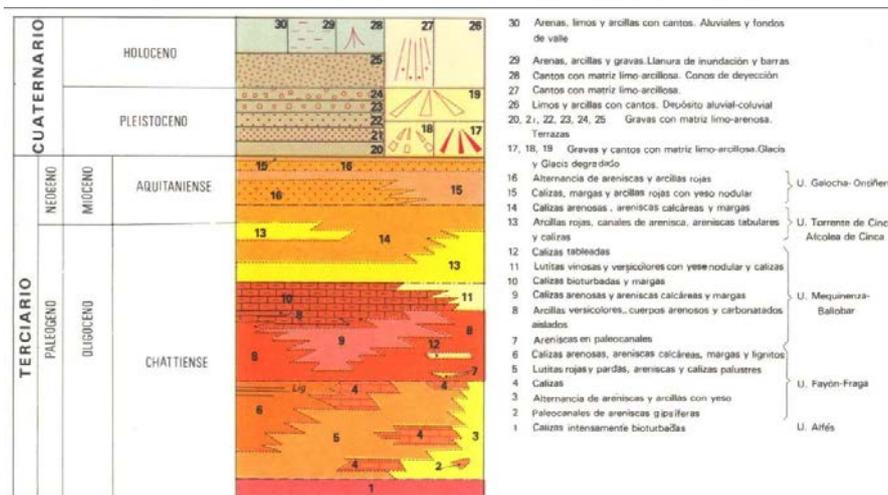
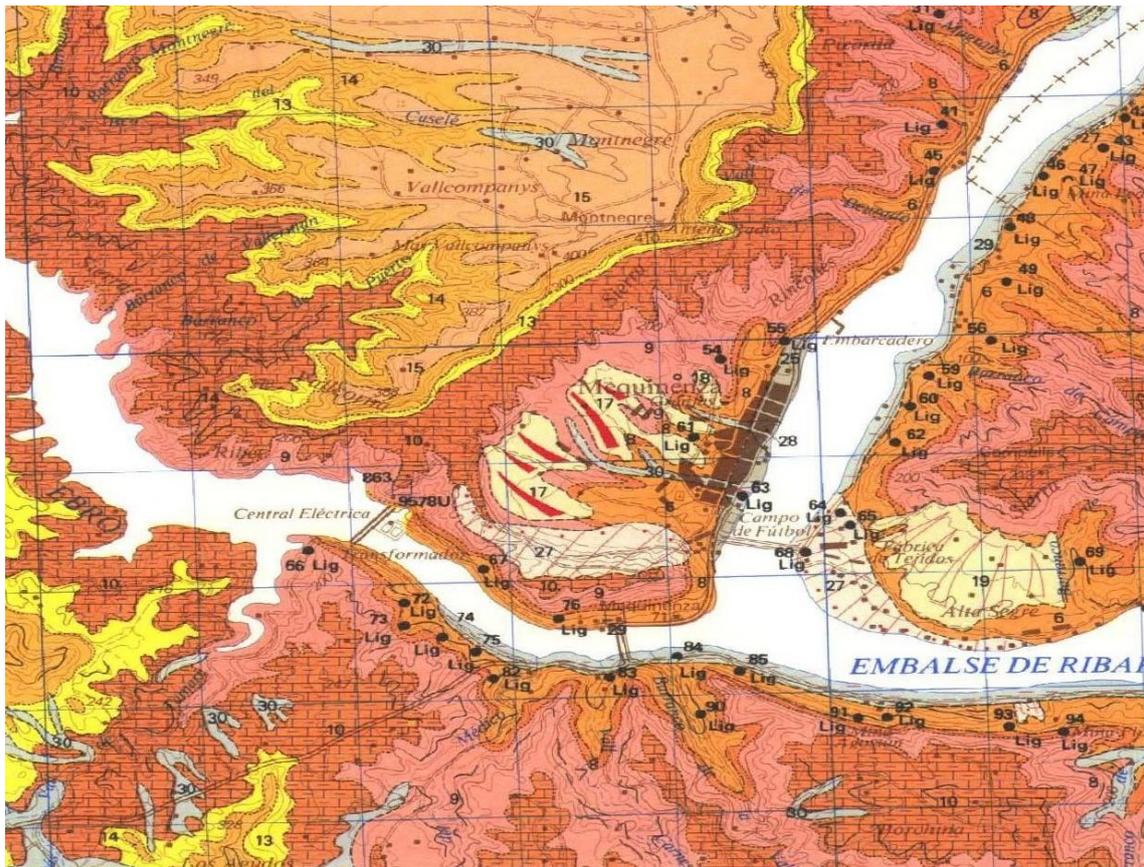


Fig. 13. Litología de la zona de estudio (Hoja N.º. 415 de ITGE).

### 3.4.-HIDROLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL:

El paisaje del territorio en que se incluye la zona de este estudio está marcado por la presencia de los ríos Cinca y Segre que se unen pocos kilómetros antes de hacerlo con el río Ebro, en la localidad de Mequinenza.



Foto 1. Ortofoto del año 2007 que muestra la zona de confluencia de los ríos Cinca, Segre y Ebro. Fuente: Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Escala 1:250.000.

Los ríos Segre y Cinca nacen en las Sierras del Pirineo a más de 2000 metros y atraviesan de norte a sur las provincias de Lleida y Huesca, respectivamente, hasta su confluencia en el Ebro en el centro de la Depresión.

En este tramo el valle de Ebro cambia totalmente de configuración, quedando los depósitos cuaternarios reducidos a una estrecha franja alternando a ambos lados del río. Los límites suelen corresponder a un escarpe de más de 60 m donde afloran los materiales del terciario.

La construcción del embalse de Riba-roja ha producido un ascenso del nivel de base del sistema Cinca-Segre produciendo un aumento de la sedimentación y la formación de numerosas islas y barras de diferentes tamaños. También en épocas de crecidas, el embalse de Mequinenza influye en la retención de sedimentos del Ebro.

La dinámica fluvial de estos ríos es fundamental en la formación y el modelado del paisaje de la zona.

### 3.5.-UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS:

Las principales unidades geomorfológicas que podemos encontrar en la zona de estudio se pueden dividir en: relieves estructurales, laderas o glacis y terrazas aluviales.

#### a) Plataforma:

Principal tipo de relieve estructural. Ocupa una posición topográfica algo superior a los 400 metros sobre el nivel del mar. Se trata de un gran nivel modelado sobre calizas del Mioceno inferior. Es por ello una plataforma estructural primitiva, por coincidir con el techo de la sedimentación terciaria en esta zona de la Depresión del Ebro. Presenta potentes estratos de calizas que ha ayudado a su conservación al frenar la erosión.

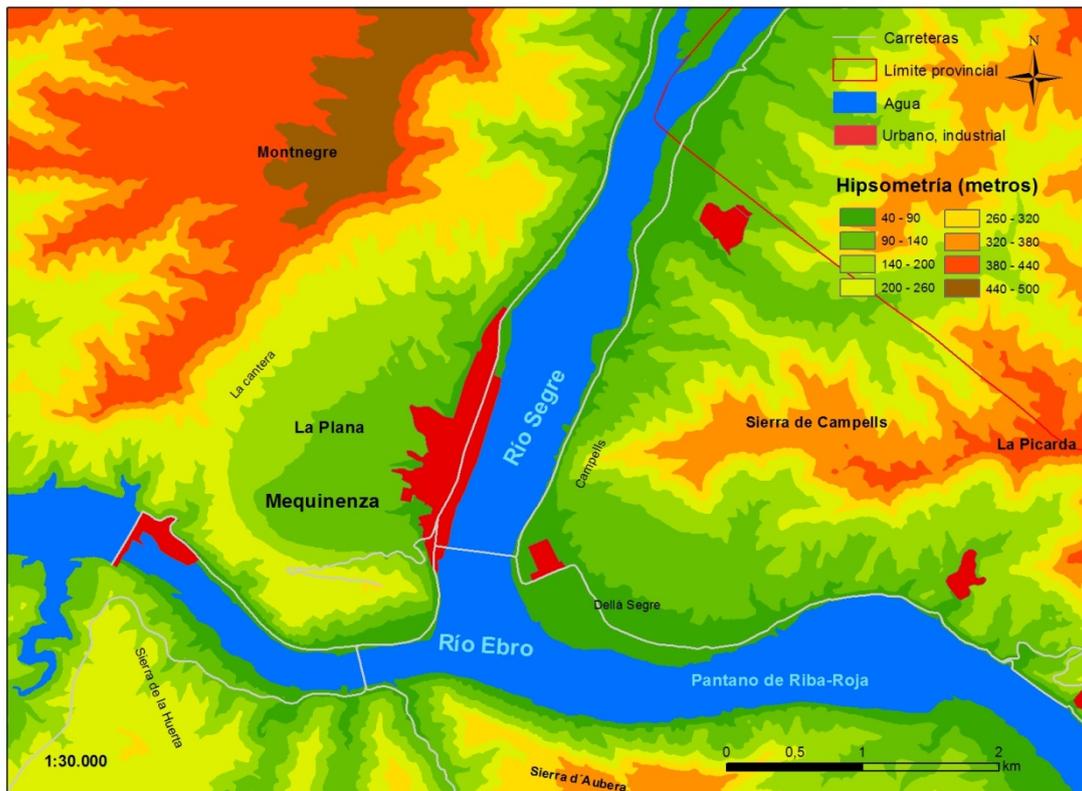


Fig.14. Mapa de altitudes.

## b) Laderas:

Se trata de superficies inclinadas que descienden desde las plataformas hasta los fondos de los valles, glacis o terrazas. Los principales procesos morfogenéticos que actúan en ellas son gravitacionales y de arroyada difusa y concentrada.

Generalmente, las laderas que unen plataformas estructurales con los fondos de valle presentan pendientes moderadas, en torno a  $30^\circ$ . Presentan una litología heterogénea, alternándose niveles blandos de margas y margas yesíferas con otros más resistentes a la erosión como calizas o areniscas calcáreas. Existen también lugares con pendientes menores en las que se ha producido el desarrollo de glacis de acumulación (fig.16), en los que aparecen gravas y cantos con matriz limo-arcillosa.

En la zona de estudio se han seleccionado dos laderas de diferente composición litológica (ladera caliza y ladera yesosa), las cuales presentan valores de pendiente entre  $20^\circ$ - $30^\circ$ .

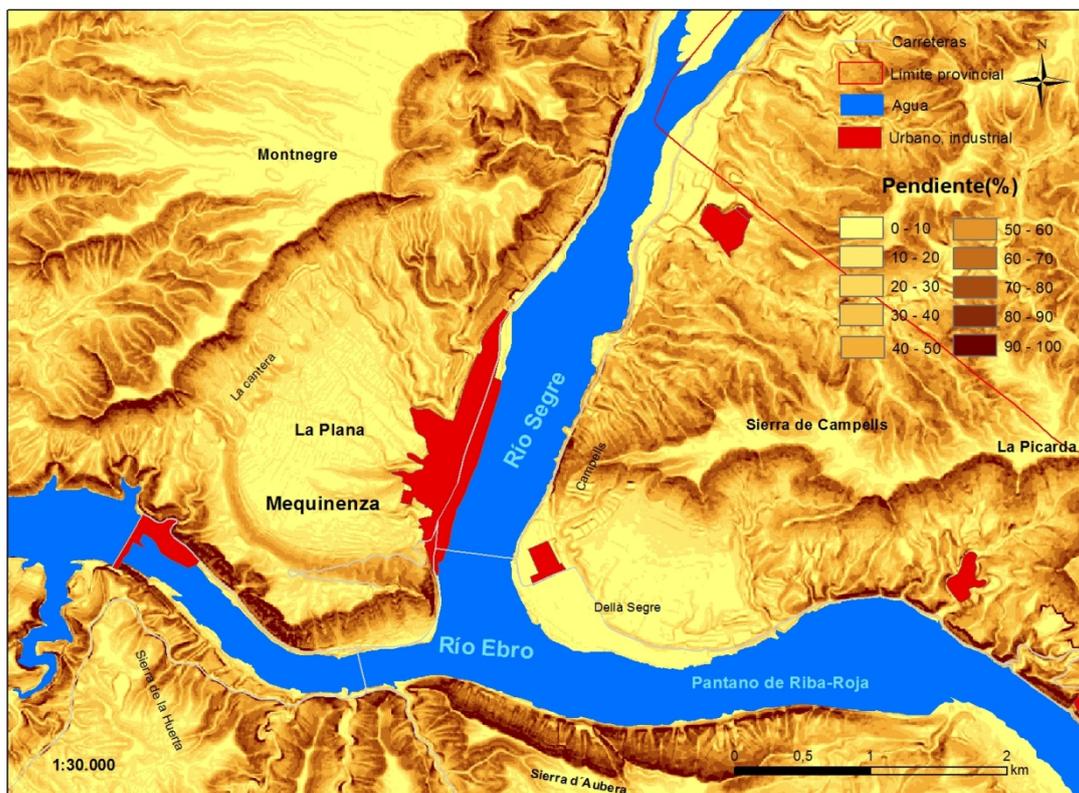


Fig. 15. Mapa de pendientes.

**c) Depósitos de ladera con poca pendiente (glacis) y depósitos aluviales (terrazas fluviales).**

La gran plataforma (Montnegre) que corona toda la Plana de Mequinenza se encuentra recortada por cursos fluviales de carácter torrencial por los que circula en agua en momentos de tormentas. Dichos cauces pueden presentar morfologías diferentes. Pueden ser valles de incisión lineal, que presentan laderas pendientes y fondo estrecho o valles de fondo plano que habitualmente suelen ser abancalado.

Los glacis y las terrazas fluviales también son elementos geomorfológicos importantes dentro de la arquitectura que conforma los alrededores de la zona de estudio. De hecho el paraje de La Plana de Mequinenza se puede considerar como un amplio glacis surcado por algún fondo de valle en el cual aparecen restos de antiguas terrazas del Segre.

Los glacis son depósitos de laderas con suave pendiente (menor de 10%). Marcan la pauta del continuo descenso de los niveles de base, entre las superficies estructurales culminantes y la llanura de inundación.

Las terrazas son superficies planas o con pendiente pequeña que ha sido modelada por un río, generalmente sobre sus propios depósitos, y que está situada sobre el cauce mayor. Una terraza corresponde a una (antigua) llanura de inundación.

En la zona de estudio encontramos resaltes de terrazas bajas formadas en el Pleistoceno medio, presentado una variada litología. Así, entre las gravas, abundan las calizas, granitos, areniscas y conglomerados de la era secundaria y rocas metamórficas como pizarras, mármol o cuarcita. En la matriz fina, limosa-arenosa, los minerales más frecuentes son el cuarzo y los feldespatos (Badía et al., 2008).

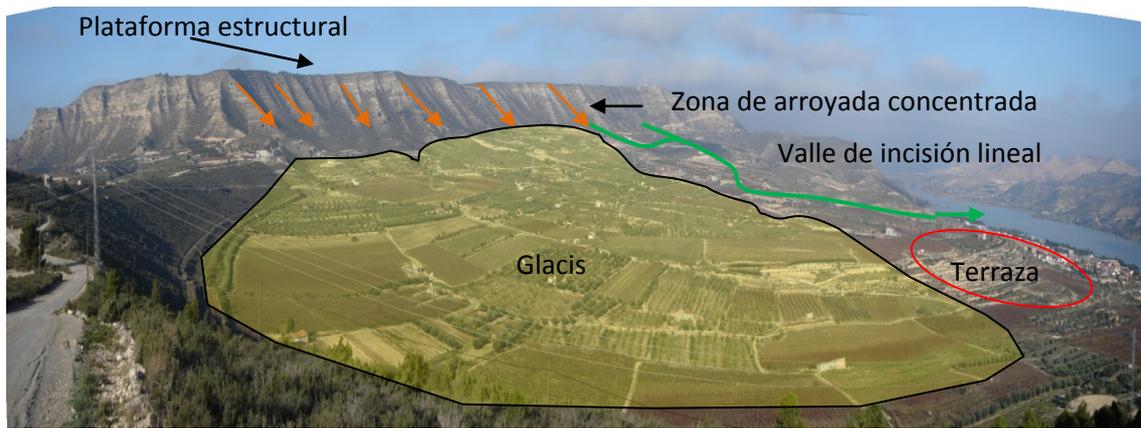


Fig.16. Geoformas de la Plana de Mequinenza.

### **3.6.-LA VEGETACIÓN:**

Dentro de conjunto de factores ambientales que influyen y condicionan la distribución de las comunidades vegetales, destacan, en primer lugar, el relieve y el clima, y en segundo lugar la litología.

Las características edáficas y climáticas que presenta la zona de estudio no facilitan la vida vegetal, lo que implica una gran especialización y adaptación biológica de las especies que se desarrollan en ella.

Las comunidades vegetales presentes en la Plana de Mequinenza van asociadas al ambiente en el cual se desarrollan y viven. Por ello distinguiremos entre vegetación en ambientes xerófitos o secos y la que encontraremos en los campos de cultivo.

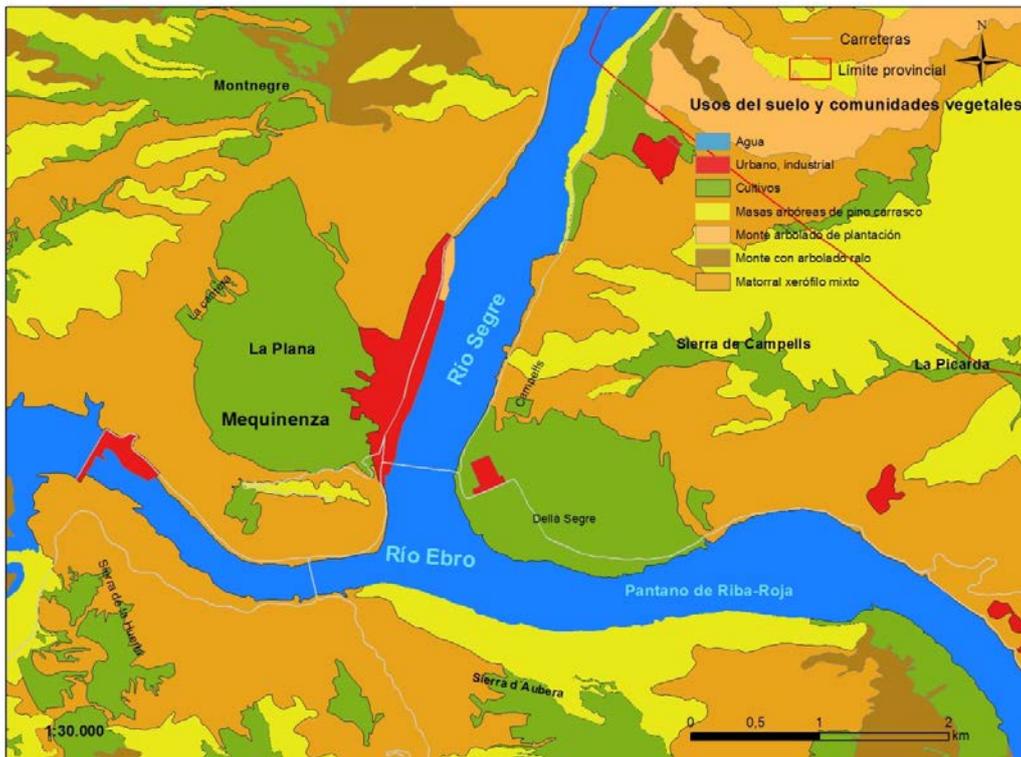


Fig.17. Mapa de usos del suelo y comunidades vegetales. Elaboración propia en base al Mapa forestal de España, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2006).

### **3.6.1.-LA VEGETACIÓN EN AMBIENTES SECOS:**

Debido a las condiciones de aridez de la zona, la vegetación presenta diversas adaptaciones orientadas a evitar la pérdida de agua por transpiración, como ceras, recubriendo epidermis, reducción de la superficie foliar, la pronta pérdida de las hojas, abundante pilosidad, almacenamiento de agua en los tejidos durante épocas húmedas, etc.

Los tipos de vegetación que podemos encontrar son los siguientes:

a) Masa arbórea de pinar con sotobosque de coscoja, escambrón y lentisco.

Es una comunidad dominada por un estrato arbóreo de pino carrasco (*Pinus halepensis*) acompañado por arbustos altos como la coscoja (*Quercus coccifera*), el lentisco (*Pistacia lentiscus*), junto a enebros (*Juniperus oxycedrus*), sabinas (*Juniperus phoenicea*) y canadillos (*Ephedra fragilis*, *E. nebrodensis*).

En el sotobosque encontraremos especies como el romero (*Rossmarinus officinalis*), la coronilla de fraile (*Globularia alypum*), la aliaga (*Genista scorpius*), tomillo (*Thymus vulgaris*) y el lastón (*Brachypodium retusum*).

b) Matorrales xerófitos.

Existen amplias extensiones de matorral bajo, como especies más representativas dentro de este grupo encontramos el romero (*Rossmarinus officinalis*) y el lino blanco (*Linum suffruticosum*), que constituye la asociación más extensa y la que mejor caracteriza a los terrenos de materiales terciarios en el curso bajo del río Segre. Crece sobre sustrato calcáreo margoso y/o arcilloso, en los suelos de las plataformas, mesetas, fondos de barranco y en vertientes tanto de solana como de umbría. Este matorral presenta diferentes características según el grado de degradación. En las zonas donde la acción del hombre ha estado más intensa suele ir acompañado de especies como la ontina (*Artemisia herba-alba* Asso), la sosa (*Salsola vermiculada*) e incluso el esparto (*Lygeum spartum*).

c) Herbazales-Pastizales

El lastonar con ruda (Ruto-Brachypodietum retussi, Braun-Blanquet et O. de Bolós; 1957) es una formación herbácea que en ocasiones reemplaza a los matorrales. Tiene aspecto de pequeño prado y se encuentra en los olivares de los fondos de los barrancos, en los cuales la asociación de romero y lino está en vías de regeneración. También en las vertientes más o menos pedregosas y en los claros de los matorrales o de la maquia.

Está constituida por gramíneas perennes, de porte no excesivamente elevado, entre las cuales domina el lastón o broza (*Brachypodium retusum*), la oreja de libre (*Phlomis lychnitis*) y la olorosa ruda (*Ruta chalepensis*).

El espartal o albardinar (Delphinio-Lygeetum sparti, Lygeo-Stipetum lagascae, Braun-Blanquet et O. de Bolós; 1957) es un herbazal graminoide de carácter continental estépico en el cual domina el esparto o albardín (*Lygeum spartum*), gramínea endémica del Mediterráneo, el cual puede aparecer acompañado con otras gramíneas (*Stipa parviflora*, *S. lagascae*), junto con la retama (*Retama sphaerocarpa*).

Se localiza en las solanas de los barrancos, en la base de las laderas donde se acumulan los materiales finos y en los taludes.

Especies gipsófilas, plantas adaptadas a suelos yesosos, aparecen en ocasiones entre los matorrales y herbazales. Así podemos encontrar ejemplares de asnallo (*Ononis tridentata*), la jara de escamillas (*Helianthemum squamatum*), la herniaria (*Herniaria fruticosa*).

### **3.6.2.-LA VEGETACIÓN DE LOS CAMPOS CULTIVADOS DE REGADÍO Y SECANO:**

Casi toda la extensión del paraje de la Plana de Mequinenza se encuentra cultivada. La mayor parte de las tierras en regadío se destinan al cultivo de frutales tanto de hueso (melocotones, nectarinas y cerezas) como de pepita (perales y manzanos) y también aparecen cultivos de regadío tradicional. Los cereales, los campos de almendros y de olivos dibujan el secano de la zona de estudio.

Las comunidades arvenses y ruderales ocupan una gran superficie dentro de estos campos cultivados. Encontraremos la asociación Roemerio-Hypecoetum pendulii, Braun-Blanquet et O. de Bolós; 1957, en campos de cereal con ejemplos de especies de amapolas (*Papaver rhoeas*, *Papaver hybridum*, *Glaucium corniculatum*, pamplinas (*Hypecoum procumbens*, *H. pendulum*), junto a vallicos (*Lolium rigidum*) y avenas (*Avenas sterilis*).

En los campos de almendros y olivos aparecen otros ejemplos de especies arvenses dominantes como la ruca (*Eruca vesicaria*) y la rabaniza blanca (*Diplotaxis erucoidis*).

Y en los taludes que separan los cultivos aparece en ocasiones la asociación formada por el sillano (*Salsola vermiculata*) y la ontina (*Artemisa hierba-alba* Asso) que presenta carácter nitrófilo. Normalmente va acompañada por la sosa (*Atriplex halimus*) y especies típicamente ruderales como el plumerillo rojo (*Bromus rubens*) o la cebadilla ratonera (*Hordeum murinum*).

## 4.-MATERIAL Y MÉTODOS

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS:**

### **4.1.-ESTUDIO PREVIO DE LA ZONA DE MUESTREO:**

Previamente a la salida a campo, se realizó un estudio previo y fotointerpretación de la zona en el aula de la zona de confluencia de los ríos Segre, Cinca y Ebro. Para ello se recopiló y consultó bibliografía sobre edafología de diversos autores (Cabrera, 1983; Bech et al, 1983; Badía, 1989). Posteriormente se efectuó un reconocimiento visual de la zona de estudio usando como apoyo distintos mapas (Mapa Topográfico Nacional de España, 1:25.000 y la hoja nº 415 de Mequinenza del Mapa Geológico Nacional del España, 1:50.000 del ITGE) e interpretando fotos aéreas del lugar, con el objeto de identificar y señalar los puntos posibles de muestreo en campo que recogieran la máxima diversidad posible tanto litológica como geomorfológica.



Foto 2. Foto aérea de la Plana de Mequinenza (delimitada con línea roja discontinua). Desembocadura del río Segre en el Ebro en el embalse de Ribarroja.

## **4.2.-DESCRIPCIÓN DE CAMPO:**

### **4.2.1.-IDENTIFICACIÓN DE LAS UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS Y ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO:**

Se realizaron diferentes salidas a la zona de estudio, recorriendo los diferentes caminos que atraviesan y rodean La Plana de Mequinenza, buscando el óptimo lugar para ubicar los diferentes puntos de muestreo. Tras esta fase de prospección se llegaron a identificar varias unidades geomorfológicas que, con su correspondiente variabilidad litológica proporcionan seis áreas a estudiar y que denominamos: plataforma, ladera caliza, ladera yesosa, fondo, rellano y terraza fluvial), conformando todas ellas una toposecuencia edáfica. *La nomenclatura elegida para nombrar cada uno de los perfiles se corresponde con la posición que ocupan en el relieve y su variabilidad litológica.*

A partir de la selección de los puntos de muestreo se procedió a la toma de contacto con los propietarios de las parcelas en las que se ubicaban dichos puntos y era necesaria la apertura de una calicata, obteniendo de este modo su consentimiento.

### **4.2.2-APERTURA DE CALICATAS Y DESCRIPCIÓN DE PERFILES:**

La apertura de calicatas se realizó teniendo en cuenta la orientación, de tal forma que el perfil quedará uniformemente iluminado para favorecer su fotografía y descripción.

En el perfil de la plataforma no fue necesario retroexcavadora, la profundidad del perfil era limitada por la existencia de un horizonte petrocálcico a partir de los 60 cm de profundidad. Se empleo una azada para adecuar el perfil. En la caliza yesosa se aprovecho un talud en un camino que mostraba a partir de los 50 cm un potente horizonte hipergípsico. En la ladera caliza se aprovecho un fuerte corte en una ladera realizado a raíz de unas obras en una parcela que dejaban a descubierto una profundidad cercana a 1,5 m. En los perfiles de fondo, rellano y terraza

se utilizó una retroexcavadora de 60 cm de pala para la apertura de las calicatas de aproximadamente 2 m de profundidad.



Foto 3. Retroexcavadora abriendo una calicata en la zona de estudio.

Una vez abierta la calicata, se preparó adecuadamente el perfil, para eliminar las huellas de la excavadora. Y en los perfiles en los que no fue necesaria la apertura de la calicata, se procedió a refrescarlo y prepararlo para su descripción. Se colocó una cinta métrica en el perfil y se tomaron una serie de fotografías del mismo y de la zona en la que se encontraban situados. Luego se recopiló la información sobre las características morfológicas necesarias en una ficha de campo siguiendo las normas de SINEDARES (C.B.D.S.A., 1983). Se utilizó instrumental de campo; gps, cuchillo, piqueta y reactivos varios necesarios para realizar las pruebas pertinentes para completar las descripciones de campo.

### **4.2.3.-TOMA DE MUESTRAS:**

Se tomaron muestras de cada horizonte con la ayuda de una piqueta, que posteriormente se introducían en bolsas de plástico resistentes debidamente etiquetadas y en cantidad de 1 o 2 kg. por cada horizonte, con el fin de tener material correctamente identificado y suficiente para el posterior análisis en laboratorio. Además se tomaron muestras relativamente no perturbadas de algunos de los horizontes siguiendo el mismo procedimiento de guardado-etiquetado estudios micromorfológicos (láminas delgadas).

Una vez descritos los suelos en los que se llevo a cabo la apertura de calicata, esta se cerró.

### **4.3-ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS:**

Los análisis de las muestras fueron realizados en base a los métodos aprobados por la Comisión de Métodos Oficiales de Análisis y Laboratorios (M.A.P.A., 1994). La preparación de las muestras para su análisis se realizó en el invernadero de la E.P.S.H. Parte de las determinaciones (elementos gruesos, densidad aparente, humedad residual, color, pH, conductividad eléctrica, carbonatos y yesos) se llevaron a cabo en los laboratorios de la misma escuela. Y el resto (granulometría, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio) en el laboratorio "Agrolab Analítica S.L." de Navarra.

Los elementos principales que aparecen en los suelos estudiados fueron medidos por espectrometría de fluorescencia de rayos X con un analizador XRF portátil DELTA y expresados como porcentaje relativo (%) de óxidos (CaO, SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO y SO<sub>4</sub>). XRF efectúa un análisis rápido (1 minuto por medida), y permite conocer la composición de un volumen de suelo de 10 cm<sup>3</sup> (Gillot, T., com pers.).

Los estudios micromorfológicos (láminas delgadas) de las transiciones entre horizontes de los perfiles ladera caliza y ladera yesosa se realizaron en Universidad de LLeida. Se empleo para ello un microscopio petrográfico que utiliza luz polarizada cruzada.

### **4.3.1.-PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA ANÁLISIS:**

El proceso de preparación previa de las muestras para su análisis requiere de varias fases con el fin de conseguir muestras que sean homogéneas, estén debidamente secadas y tamizadas, además de etiquetadas con una referencia única por cada perfil/horizonte y ordenadas para su correcta conservación y determinaciones.

**Secado de muestras:** consiste en dejar secar "al aire" las muestras de suelo, hasta que la humedad ambiental se iguale con el de las muestras. Este proceso duro alrededor de 2-3 semanas y se realizó extendiendo las muestras sobre papel de periódico con la intención de favorecer el proceso, en un lugar ventilado y sin humedad.

**Tamizado de muestras:** para deshacer los terrones y agregados se utilizó un rodillo de madera y una maza de goma, que los disgregara, pero sin llegar a romper los elementos gruesos o los posibles nódulos de las muestras de suelo. A continuación se hace pasar la muestra de suelo sucesivas veces por un tamiz de 2 mm con el fin de separar la fracción de tierra fina de los elementos gruesos (gravas, raíces, piedras, etc.) hasta que se consigue material sobradamente suficiente para realizar las determinaciones.



Foto 4. Proceso de tamizado de muestras.

**Pulverizado de muestras:** algunas determinaciones requieren tierra pulverizada y homogeneizada. Para ello se tomaron entorno a 100 g de la fracción tamizada a 2 mm y se pulverizaron con un molinillo eléctrico.

**Conservación y almacenaje:** la fracción de tierra fina < 2 mm, así como la pulverizada se almacenaron en tarrinas de 500 mL con tapa que posteriormente fueron etiquetadas. Los elementos gruesos se almacenaron en bolsas de plástico también con su correspondiente etiqueta.

Este conjunto de muestras (25) fueron ordenadas por perfiles edáficos y almacenadas en el laboratorio, en un lugar de fácil acceso para la puesta en marcha del proceso de análisis de las muestras.

En resumen, se dispuso de fracciones de: muestra inalterada para determinar la densidad aparente, tierra fina al aire para determinar el color, la humedad residual, el PH, la conductividad eléctrica, el fósforo y el potasio; tierra seca a la estufa para determinar la granulometría; tierra pulverizada seca al aire para determinar el nitrógeno total y la materia orgánica; y tierra pulverizada seca para calcular el valor de los carbonatos.

#### **4.3.2.-PARÁMETROS FÍSICOS:**

##### **4.3.2.1.-DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ELEMENTOS**

##### **GRUESOS:**

##### Fundamento:

Los elementos gruesos son la fracción de tierra con un tamaño mayor a 2 mm de diámetro, compuestos por gravas, piedras y restos de raíces. La fracción constituida por partículas de menor tamaño se denomina tierra fina.

Material: bandejas y balanza.

Procedimiento:

Antes de tamizar la muestra se pesa la tierra fina junto con los elementos gruesos, después del tamizado se pesan solamente los elementos gruesos.

Cálculos:

Los elementos gruesos se expresan en porcentaje en peso;

$$\% \text{ Elementos Gruesos} = \frac{P'}{P} \times 100$$

Donde:

P' es el peso de la muestra antes de ser tamizada (gramos).

P es el peso de los elementos gruesos (gramos).

Interpretación:

Cantidad	% Elementos gruesos
Muy pocos	< 1
Pocos	1-5
Frecuentes	16-35
Muy frecuentes	36-70
Muy abundantes	> 70

Tabla 12. Clasificación de la cantidad de elementos gruesos (C.B.D.S.A., 1983).

Se determinó el porcentaje de elementos gruesos de todos los perfiles excepto del horizonte petrocálcico que aparece en el perfil de la plataforma.

#### **4.3.2.2.-DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

##### Fundamento:

La determinación de la humedad del suelo nos indica el agua retenida por el suelo en el momento de la toma de muestras (humedad actual) a expensas de la humedad atmosférica. Corresponde al agua higroscópica que se encuentra formando una delgada película alrededor de las partículas del suelo. Se encuentra enérgicamente retenida por estas, y no es absorbible por las raíces de las plantas al no encontrarse en solución. El agua higroscópica se elimina calentando la muestra en estufa a 105° C, hasta alcanzar un peso constante.

Material: balanza de precisión, espátula, tarrinas de aluminio, estufa a 105° C, desecador.

##### Procedimiento:

Se toma una muestra de 50-60 g de tierra fina seca al aire en una tarrina de aluminio previamente tarada, y se pesa. A continuación, se introduce en la estufa a 105° C hasta que el peso de la muestra sea constante (24 horas). Dejar que la muestra se enfríe en el interior del desecador y pesarla rápidamente antes de que se hidrate.

##### Cálculos:

El contenido de humedad del suelo se expresa en porcentaje respecto al peso de suelo seco (% p/p);

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P - P'}{P} \times 100$$

Donde;

P es el peso de suelo húmedo (gramos).

P' es el peso de suelo seco a 105° C (gramos).

Por medio de este dato se calculó la humedad a saturación para la determinación del % de salinidad por conductimetría del extracto de pasta saturada. No se calculó en el horizonte petrocálcico del perfil "Plataforma".

#### **4.3.2.3.- DENSIDAD APARENTE:**

El método utilizado es el del cilindro.

##### Fundamento:

Consiste en medir la relación entre la masa y el volumen de una muestra inalterada de suelo, tomada en el campo mediante cilindros.

Material: Cilindro metálico, maza, espátula, estufa de 105°C, balanza de precisión.

##### Procedimiento:

Se clava un cilindro metálico, por su parte biselada, de 5 cm de diámetro y 5 cm de altura, con la ayuda de una maza, sobre el terreno. A continuación se saca el conjunto suelo-cilindro haciendo uso de la espátula, y se corta la tierra al ras del cilindro. Para evitar pérdidas de material, durante el transporte, en cada una de las bases del cilindro se colocan unas tapas de plástico, aseguradas con cinta aislante.

Una vez en el laboratorio, se extrae cuidadosamente el suelo del cilindro metálico y se coloca en una tarrina de plástico previamente tarada y se coloca en la estufa a 105°C durante 24 h. Una vez seca la muestra, se pesa, y conocido de antemano el volumen del cilindro utilizado, se calcula la densidad aparente ( $D_a$ ) expresada en  $\text{Kg m}^{-3}$ .

Cálculos:

$$Da = \frac{P}{V}$$

Donde:

P: Peso seco de la muestra de suelo.

V: Volumen del cilindro,  $[V = \pi \times r^2 \times h]$ , (r: radio cilindro, h: altura cilindro).

En los horizontes petrocálcicos la densidad aparente (Da) se determine aplicando el principio de Arquímedes. Se calculó el volumen de agua desplazado por un trozo de petrocálcico, envuelto en plástico y previamente pesado, introducido en una probeta, y se calculo con la siguiente expresión, en  $\text{Kg m}^{-3}$ :

$$Da = \frac{P}{V}$$

Donde;

P: Peso del petrocálcico antes de ser sumergido en agua.

V: Volumen de agua desplazado por el petrocálcico en la probeta.

Interpretación:

Material del suelo	Densidad aparente (Kg m <sup>-3</sup> )
Horizontes arenosos	1450-1600
Horizontes arcillosos con estructura	1050-1100
Horizontes compactos	1900-1950
Horizontes suelos volcánicos	850
Valor medio	1350
Horizonte turboso	250
Caliza	2460-2840
Cemento geopolital	1680-1950*

Tabla 13. Valores de densidad aparente más frecuentes en función del material del suelo (Porta et al., 2003).

\* Valor obtenido de Pustovoytov (2003).

**4.3.2.4.- DETERMINACIÓN DEL COLOR:**

El color de un suelo puede venir determinado por el contenido y estado del hierro, materia orgánica y CaCO<sub>3</sub>.

Variables que determinan el color de un suelo:

La descripción del color del suelo se realiza empleando el denominado Código Munsell. En él, el color se define a partir de tres parámetros básicos: matiz, brillo y croma.

El **matiz** expresa la longitud de onda dominante de la luz reflejada. Definiéndose cinco colores principales (rojo, amarillo, verde, azul y púrpura) y los cinco intermedios. La notación para designar el matiz consiste en emplear letras que indican uno o dos colores principales, precedidas por números del 0 al 10.

El **brillo** expresa la proporción de luz reflejada. Con este parámetro se mide el grado de claridad o de oscuridad relativa del color comparado con el

blanco absoluto. La escala del brillo comprende del 0 para el negro absoluto al 10 para el blanco puro.

El **croma** es una medida del grado de saturación del color o de su pureza. A mayor pureza del color corresponden valores de croma más altos. La notación para la saturación consiste en números del 0 al 10. Los colores acromáticos, blancos, grises y negro, serán los carentes de matiz y croma.

El color del suelo se representa por las siguientes anotaciones colocadas según se indica:

#### MATIZ BRILLO/CROMA

La cantidad de agua que permanece en el suelo, dependiendo del mayor o menos tiempo, viene indicada de menos a más por la siguiente escala de colores:

Rojizo>Amarillento> Grisáceo> Azulado o Verdoso

Material: espátula, vaso de precipitados, agua destilada, pipeta pasteur y tablas Munsell.

Procedimiento:

Comparar visualmente y a la luz natural el color de una muestra de suelo tamizada en seco y en húmedo, añadiendo unas gotas de agua. Anotar brillo, matiz (ordenada) y croma (abcisa) obtenidos de la comparación con la tabla de colores o código Munsell.



Foto 5. Código Munsell.

#### **4.3.2.5.- GRANULOMETRÍA Y CLASE TEXTURAL:**

La granulometría expresa las proporciones relativas de las distintas partículas minerales inferiores a 2 mm, agrupadas por clases de tamaño (tabla 15), en fracciones granulométricas, tras la destrucción de los agregados (Porta et al., 2003).

El método utilizado es el de sedimentación discontinua de partículas.

##### Fundamento:

El objetivo es determinar la distribución por tamaño de las partículas minerales del suelo. Se basa en la separación de estas partículas por sedimentación, en condiciones controladas, una vez han sido individualizadas (Robinson, 1922).

La ley de Stokes permite predecir la velocidad de caída de un cuerpo esférico, las partículas minerales inferiores a 2 mm en nuestro caso, en un fluido según su diámetro y la viscosidad del fluido entre otros factores. Por sedimentación y aplicando dicha ley, se pueden separar de una muestra de suelo las diferentes partículas por tamaños.

Material: baño de textura (con pipeta Robinson, vasos de sedimentación, termostato), vasos de precipitado de litro, varillas de agitación, placa calefactora, pipetas, agitador de rotación orbital, tamices, tarrinas de aluminio, báscula de precisión y estufa a 105 ° C.

Reactivos: dispersante de calcón, agua oxigenada (30 %) y agua destilada.

##### Procedimiento:

Desagregar los complejos órgano-minerales sin afectar a la fracción mineral con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Se añade dispersante calcón a la muestra junto con agua destilada y a continuación tras 6 horas en el agitador orbital se procede a la separación de las fracciones granulométricas.

- Las arenas gruesas se separan con tamiz de 0,2 mm de luz.
- La arcilla, arcilla + limos totales y arcilla + limo fino, se obtienen con la pipeta Robinson siguiendo las indicaciones de tiempo y temperatura.
- Las arenas finas se separan mediante decantaciones sucesivas del vaso de sedimentación.

Dejar secar las muestras en la estufa a 105° C y pesarlas.

Cálculos:

Se expresan los contenidos de arena fina, arena gruesa, limo fino, limo grueso y arcilla en porcentaje respecto el suelo seco (% p/p).

Interpretación:

Tamaño de la partícula	Diámetro aparente (µm)
Arena gruesa	200-2000
Arena fina	50-200
Limo grueso	20-50
Limo fino	2-50
Arcilla	<2

Tabla 14. Tipos de partículas según diámetro; criterio del USDA (1980).

A partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla obtenidos por el método de sedimentación discontinua y utilizando el triángulo de texturas del USDA, se determina la clase textural para cada uno de los horizontes.

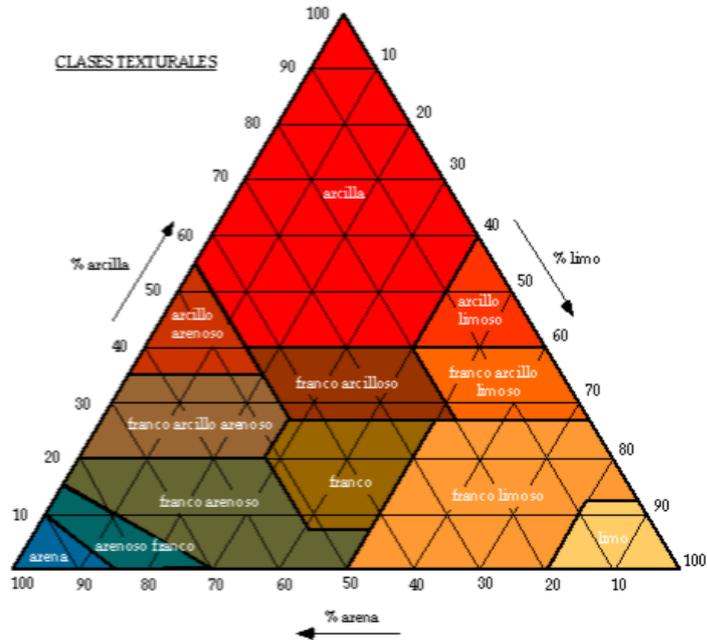


Fig. 18. Diagrama de clases texturales; criterio USDA (1980).

### **4.3.3.-PARÁMETROS QUÍMICOS:**

#### **4.3.3.1.-REACCIÓN DEL SUELO O pH:**

Se ha utilizado el método del Potenciométrico.

#### **Fundamento:**

La reacción del suelo hace referencia al grado de acidez o basicidad de dicho suelo, el cual se caracteriza por medio del pH. El pH hace referencia a la concentración de iones H<sup>+</sup> de una solución acuosa de suelo. Es un parámetro indicativo de procesos de hidrólisis, movilidad de nutrientes, actividad biológica, etc.

$$\text{pH} = -\log [ \text{H}^+ ]$$

Este método se basa en la medida del potencial eléctrico que se crea en la membrana de vidrio de un electrodo, que es función de la actividad de los iones hidrogeno a ambos lados de la membrana.

Material: potenciómetro digital (pH-metro), vasos de plástico, agitador rotacional, pipeta automática (25 mL), balanza de precisión, cucharilla o espátula, agua destilada y soluciones tampón para el calibrado del equipo.

Reactivos: KCl 0,1N.

Procedimiento:

Se calibra el equipo mediante las soluciones tampón y se realizan dos tipos de medida del pH:

1.- pH actual o en agua: consiste en preparar una solución 1:2,5 suelo-agua. Para ello se pesan 10g de suelo seco al aire y se añaden al vaso de plástico junto con 10 mL de agua destilada. Se remueve la solución en el agitador rotacional y a continuación se sumerge con cuidado el electrodo del pH-metro en el vaso que contiene la solución.

2.- pH potencial o KCl: igual que el anterior pero en este caso la solución se prepara con KCl en lugar de agua destilada como reactivo.

Se realizan medidas por duplicado de cada una de las muestras con la precaución de limpiar bien el electrodo entre las diferentes medidas con agua destilada y papel secante así como conservarlo en la solución de KCl disponible a tal efecto.



Foto 6. pH-metro.

Interpretación:

Valor del pH	Evaluación
< 4,5	Extremadamente ácido
4,5-5,0	Muy fuertemente ácido
5,1-5,5	Fuertemente ácido
5,6-6,0	Medianamente ácido
6,1-6,5	Ligeramente ácido
6,6-7,3	Neutro
7,4-7,8	Medianamente básico
7,9-8,4	Moderadamente básico
8,5-9,0	Ligeramente alcalino
9,1-10	Alcalino
>10,0	Fuertemente alcalino

Tabla 15. Interpretación del pH según criterios del USDA (1980).

El pH actual o en agua mide los  $H^+$  de la solución acuosa del suelo,  $H^+$  libres que tienen una gran actividad química dentro del suelo. A mayor concentración de  $H^+$  (o sea, menor pH) mayor es la velocidad de la mayoría

de procesos químicos del suelo, en cambio frena la actividad biológica del suelo.

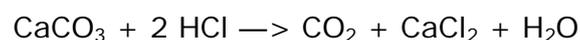
El pH potencial o KCl aporta información sobre la capacidad de intercambio catiónico y la composición catiónica del complejo de cambio pero en sentidos distintos según se trate de suelos básicos o ácidos.

#### **4.3.3.2.-DETERMINACIÓN DEL CARBONATO CALCICO EQUIVALENTE:**

Se ha utilizado el método por gasometría, mediante el calcímetro de Bernard.

##### Fundamento:

Este método se basa en la descomposición de los carbonatos por el ácido clorhídrico que da lugar al desprendimiento de dióxido de carbono. Dicha reacción se lleva a cabo en un dispositivo cerrado, a presión y temperatura constantes. La cantidad de gas es proporcional al contenido en carbonatos del suelo. El método se basa en la medida del volumen de gas (CO<sub>2</sub>) desprendido según la reacción:



Material: Calcímetro de Bernard con cierres herméticos (foto 7), botellín de cristal de 250 mL, pipeta de 10 mL, varillas de vidrio y cubilete de vidrio.

Reactivos: Acido clorhídrico (HCl) 1:1 (6N), carbonato cálcico anhidro (CaCO<sub>3</sub>), solución coloreada y saturada de cloruro sódico (NaCl) para el calcímetro.

##### Procedimiento:

Se pesan de 0,2 a 1 g de tierra fina pulverizada y secada a la estufa, se introducen en el botellín previamente humedecido con una o dos gotas de agua destilada. Se coloca el cubilete de vidrio verticalmente, dentro del botellín, en el que previamente se han introducido de 6 a 8 mL de ácido clorhídrico con ayuda de una pipeta, procurando que no se derrame nada. Se conecta el botellín al calcímetro. Con la llave del calcímetro abierta, a fin de

mantener en su interior la presión atmosférica, se enrasa la bureta a 0 moviendo el depósito del calcímetro a lo largo de la guía. Se cierra la llave y se agita el botellín, sujetándolo con cuidado, para que se vierta de forma progresiva el ácido y reaccione con la muestra de suelo. Se debe mantener la presión interior igual a la atmosférica bajando el depósito a medida que va teniendo lugar la reacción. El final de la reacción se alcanza cuando queda estacionario el nivel de líquido del calcímetro. Entonces, se deja de agitar y se igualan los niveles de ambas ramas, procediendo a anotar la lectura de la bureta.

Al principio, y durante la realización de la prueba se realizan, de la misma manera, una serie de pruebas patrón con 0,1 g de carbonato cálcico anhidro, como referencia de valor máximo.

Se realizaron triplicados de todas las muestras de suelo.



Foto 7. Manejo del Calcímetro de Bernard

#### Cálculos:

Los resultados se expresan en porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  equivalente:

$$\% \text{ Carbonatos} = \frac{L \times P'}{L' \times P} \times 100$$

Donde:

L: volumen de CO<sub>2</sub> desprendido por el suelo.

L': volumen de CO<sub>2</sub> desprendido por el CaCO<sub>3</sub>.

P: peso seco del suelo en gramos.

P': peso de CaCO<sub>3</sub> en gramos.

Interpretación:

CaCO <sub>3</sub> equivalente (%)	Clase
< 0,2	Nulo
0,2-5	Muy bajo
6-10	Bajo
11-20	Medio
21-30	Moderadamente alto
31-40	Alto
>40	Muy alto

Tabla 16. Diagnóstico del contenido de carbonato cálcico equivalente (Herrero et al., 1993).

#### **4.3.3.3.-DETERMINACIÓN DEL YESO:**

Se ha determinado por el método semicuantitativo, por gravimetría.

Fundamento:

Se basa en la pérdida de agua de cristalización. El yeso (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O), al exponerlo a altas temperaturas, pierde las dos moléculas de agua de cristalización que forman parte de su molécula, transformándose en anhidrita (CaSO<sub>4</sub>). La variación de peso que supone esa pérdida es fácilmente estimable en base al peso molecular de esos componentes. Se trata de un método semicuantitativo, recomendado para

muestras de alto contenido en yeso (al menos del 8%) y carentes de otras sales hidratadas (como la mirabilita,  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ).

Material:

Balanza de precisión, estufa y desecador.

Procedimiento:

Desecar una muestra de suelo en estufa a 50° C hasta que su peso se estabilice, lo que puede suponer varios días. Cuando el peso se haya estabilizado tendremos la seguridad de que la muestra solo contiene agua de cristalización pero se ha eliminado la humedad; en ese momento debemos anotar el peso de la muestra (P1) e introducirla de nuevo en la estufa. Ahora a 150 °C durante 24 horas. Pasado ese tiempo, volver a pesar (P2). Es conveniente que las muestras, al sacarlas de la estufa y antes de pesarlas, equilibren su temperatura con el ambiente dentro de un secador para evitar que se rehidraten.

Cálculos:

Los resultados se expresan en porcentaje de yeso, según la siguiente expresión:

$$\% \text{Yeso} = \frac{P1 - P2}{P1} \times 172/36 \times 100$$

Donde:

P1: Peso de la muestra de suelo después de secarla a 50° C.

P2: Peso de la muestra de suelo después de secarla a 150° C.

Este método se considera semicuantitativo, con un cierto margen de error, tanto menor cuanto las muestras sean más ricas en yeso y no salinas. Artieda (1993) estima que el error estándar en esos casos es del orden del 1,6 %. Si el valor obtenido es inferior al 8 %, se recomienda expresar el resultado como inferior a ese valor y confirmar su presencia mediante un análisis cualitativo de yeso (con acetona o  $\text{Cl}_2\text{Ba}$ ).

Se ha comprobado que se obtienen valores similares de yeso utilizando este método de cálculo de yeso (%) por deshidratación que con el analizador XRF portátil. Hay una correlación significativa y positiva entre ambos, con un coeficiente de correlación lineal (r) de 0,999 ( $p < 0,01$ ), establecida a través de la siguiente recta de regresión:

$$\text{Yeso(\%)} \text{ deshidratación} = 1,0371 \cdot \text{Yeso(\%)} \text{ por XRF} + 5,3323$$

#### Interpretación:

La presencia de determinado porcentaje de yeso puede reducir la producción de determinadas especies vegetales.

Además la presencia de yeso secundario tiene interés en la clasificación de suelos. Así FAO (2014) establece el límite inferior del 5% para definir un endopedión Gípsico y del 50% para catalogarlo como Hipergípsico.

#### **4.3.3.4-DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD POR CONDUCTIMETRÍA:**

El método utilizado ha sido el de pasta saturada. La pasta saturada es una mezcla suelo:agua, con todos los poros llenos y sin líquido sobrenadante.

#### Fundamento:

Los suelos afectados por sales son aquellos que presentan una acumulación de sales más solubles que el yeso, en concentración suficiente para interferir en el crecimiento de la mayoría de plantas no especializadas (suelos salinos); o bien contienen suficiente sodio intercambiable para afectar a los cultivos y la estructura de los suelos (suelos sódicos).

La prueba previa de salinidad permite realizar un diagnóstico sobre el contenido de sales solubles en la muestra, a través de la medida de la conductividad eléctrica que presenta un extracto acuoso del suelo, y en caso de resultar positivo interesará realizar un conjunto de análisis para caracterizar el nivel y tipo de salinidad.

Material: Cuencos de plástico, espátulas, kitsatos y embudos Buchner, bombas de vacío, vasitos para la lectura, y conductímetro.

Procedimiento:

Se pesan entre 300 y 500 g de tierra fina seca al aire y se colocan en un cuenco previamente tarado. Se añade agua destilada hasta conseguir una pasta que fluya lentamente pero que no deje agua libre.



Foto 8. Preparación de la pasta saturada.

Se deja reposar un par de horas, tapado, y se comprueba el punto de saturación. Se pesa para conocer la cantidad de agua retenida por la pasta saturada y, se calcula la humedad de saturación (%) en base a la siguiente expresión:

$$\text{Humedad de saturación (\%)} = \frac{V}{P} \times (100 + H)$$

Donde:

V: volumen de agua para saturar el suelo.

P: peso de tierra fina seca al aire, en gramos.

H: humedad de la muestra seca al aire.

Interpretación:

Categoría del suelo	Humedad de saturación (%)
Suelo ARCILLOSO	60-100
Suelo LIMOSO	30-50
Suelo FRANCO	30-40
Suelo ARENOSO	10-15
Suelo YESOSO	30-35

Tabla 17. Valores orientativos de la humedad de saturación en diferentes categorías de suelos.

A continuación, se vierte toda la pasta dentro del embudo de Buchner y se filtra al vacío hasta que la pasta queda casi seca. El extracto se recoge y se mide la conductividad eléctrica con la ayuda de un conductímetro con termómetro (foto 9) que corrige los valores obtenidos y los expresa a 25°C ( $\text{dS m}^{-1}$ ). También se mide el pH del extracto.



Foto 9. Conductímetro.

Interpretación:

C.E.25°C (ds/m)	Clasificación
0-2	No salino
2-4	Salino en zonas áridas
4-8	Salino
8-10	Muy salino

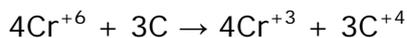
Tabla 18. Criterios USDA de clasificación de los suelos según su nivel de salinidad (Porta et al., 2003).

**4.3.3.5.-DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA:**

Se ha utilizado el método de oxidación vía húmeda, de Walkley-Black.

Fundamento:

El método se basa en la oxidación de la materia orgánica del suelo por el ión  $\text{Cr}^{+6}$  en medio ácido y valoración del exceso de ácido crómico por medio de una sal de hierro (sal de Mhor). La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Material: tubos de ensayo, digestor a 150 °C, erlenmeyers, bureta, probeta y báscula de precisión.

Reactivos: Ácido crómico 0,4 N; Sal de Mhor 0,2 N; Indicador de difenilamina y agua destilada.

Procedimiento:

Pesar la muestra de suelo secado al aire y triturado dentro del tubo de ensayo. Añadir una cantidad conocida de ácido crómico con la pipeta y calentamos los tubos en el digestor a 150 °C durante 5 minutos. Una vez se enfríen, habiéndolos sumergido en agua, trasvasar el contenido a un erlenmeyer al que se le añade agua destilada hasta enrasar y unas gotas de indicador de difenilamina. A continuación valorar con la solución de Sal de

Mhor. Simultáneamente hay que hacer una prueba en blanco solamente con el ácido crómico.

Cálculos:

El porcentaje de carbono orgánico se obtiene según la siguiente expresión:

$$\% C = B - U / B \times 1,2 / n$$

Donde;

B: mL de sal de Mhor consumidos en la prueba en blanco;

U: mL de sal de Mhor consumidos por la muestra de suelo.

n: es el peso en g de la muestra de suelo.

Para obtener el porcentaje de materia orgánica se utiliza el factor de conversión de Van Bemmelen:

$$\% C = \frac{\% MO}{1,724}$$

Interpretación:

Materia Orgánica (%)	Descripción
< 0,2	Inapreciable
0,2-1	Muy bajo
1,1-2,0	Bajo
2,1-5,0	Medio
5,1-10,0	Abundante
>10,0	Muy abundante

Tabla 19. Contenido en materia orgánica (Herrero et al., 1993).

La materia orgánica se ha determinado en todos los horizontes excepto en el petrocálcico del perfil "Plataforma".

#### **4.3.3.6.-NITRÓGENO TOTAL Y RELACIÓN C/N:**

Se ha determinado con el método Kjeldahl.

##### Procedimiento:

Se basa en una volumetría ácido-base. La muestra se descompone en medio sulfúrico, en presencia de un agente reductor catalizador (mercurio, cobre o selenio). También suele adicionarse una sal neutra para aumentar el punto de ebullición de la disolución de ácido sulfúrico. De esta forma aumenta temperatura de trabajo, con lo cual se favorece la descomposición. El tratamiento transforma el nitrógeno de la muestra en  $\text{NH}_4^+$ . La posterior adición de una base fuerte libera el  $\text{NH}_3$ , que es arrastrado hasta un frasco colector por destilación en corriente de vapor.

El frasco colector contiene un volumen medido de una disolución estándar de ácido, de forma que una fracción de ácido es neutralizada por el  $\text{NH}_3$ . Al finalizar la destilación se procede a valorar el ácido no consumido con una disolución de base patrón. El volumen de disolución básica consumido hasta llegar al punto de equivalencia permite conocer la cantidad de  $\text{NH}_3$ , y de esta forma, la cantidad de nitrógeno en la muestra.

##### Interpretación:

Nivel	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
<b>N total(%)</b>	0,05	0,06-0,10	0,11-0,20	0,21-0,30	>0,30

Tabla 20. Norma de diagnóstico del nitrógeno total en los suelos agrícolas (Badía y Martí, 2002).

La mayor parte de nitrógeno total corresponde a N-orgánico, el cual no está a disposición de las plantas cultivadas, ya que estas solo pueden absorber tal elemento en la forma nítrica y, en menor grado, la amoniacal. Por lo tanto, el contenido en N-total de un suelo no es útil como parámetro de la fertilidad nitrogenada del suelo. Ahora bien, la interpretación conjunta

de este N y la materia orgánica (relación C/N) si tiene sentido como método para la evaluación indirecta del estado de esta última y de la biomasa edáfica.

Expresión para determinar la relación C/N:

$$C/N = \frac{\% C}{(\% N \text{ total})}$$

Donde:

%C: porcentaje de carbono orgánico calculado en la prueba anterior.

% N total: porcentaje de nitrógeno total.

Interpretación:

C/N	Interpretación
< 8	Baja
8 < C/N < 10	Correcta
10 < C/N < 15	Alta
C/N > 15	Muy alta

Tabla 21. Interpretación de la relación C/N en un suelo.

El nitrógeno se ha determinado en los horizontes superficiales de cada perfil, así como la relación C/N.

#### **4.3.3.7.-DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO ASIMILABLE:**

Para la determinación del fósforo asimilable se ha utilizado el método Olsen-Watanabe (extracción con bicarbonato sódico (NaHCO<sub>3</sub>), 0,5M), con un pH constante de 8,5, que es el método recomendado para los suelos básicos, como lo son en este caso. Ese extractante decrece la concentración de calcio en solución al causar la precipitación del calcio en forma de CaCO<sub>3</sub>; por lo tanto la concentración de fósforo se incrementa. Existe una alta correlación entre el fósforo extraído con dicho bicarbonato sódico y la absorción de fósforo por las plantas.

Interpretación:

P-Olsen (mg Kg <sup>-1</sup> )	Interpretación
<3	Muy Pobre
3-5	Pobre
5-11	Normal
11-20	Rico
>20	Muy Rico

Tabla 22. Niveles de P-Olsen en el suelo.

La cantidad de fósforo se ha analizado en los horizontes superficiales de cada perfil.

#### **4.3.3.8.-DETERMINACIÓN DEL K<sup>+</sup>:**

La cantidad de potasio en suelos es asimilable a la suma del potasio intercambiable y del soluble en agua que se extrae con una solución neutra 1N de acetato amónico (AcONH<sub>4</sub>). La extracción se lleva a cabo por agitación.

Interpretación:

K (AcONH <sub>4</sub> ) (mg Kg <sup>-1</sup> )	Nivel
< 125	Muy Bajo
125-190	Bajo
190-220	Moderadamente pobre
220-250	Normal
250-300	Moderadamente alto
>300	Muy alto

Tabla 23. Niveles de potasio en el suelo (mg Kg<sup>-1</sup>), extraído con AcONH<sub>4</sub>, a pH 7 (Badía y Martí, 2002).

La cantidad de potasio se ha analizado en los horizontes superficiales de cada perfil.

#### **4.4.-MEDIDA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LOS PERFILES:**

Para estimar la distribución de los elementos principales de cada uno de los perfiles, se utilizó un analizador XRF portátil. Esta herramienta permite analizar la composición de un suelo sometido a estudio directamente en campo o en un volumen de 10 cm<sup>3</sup> de muestra.

El principio que emplea esta herramienta consiste en ionizar una muestra con rayos X para inducir un espectro característico de fluorescencia de todos los elementos y sus composiciones, que es analizado por un software incluido en la máquina.

La medición funciona en dos etapas, en la primera emplea un voltaje de 40 Kv para analizar los elementos más pesados (V, Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hf, Ta, W, As, Pb, Bi, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ti, Mn), y en la segunda etapa usa un voltaje menor de 10 Kv para los elementos más ligeros (Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Mn). La precisión varía para cada elemento y cada medición. Los elementos ligeros como O y C aparecen en la medición de manera conjunta con las siglas LE, debido a que son demasiado ligeros para que la máquina los detecte. Los datos obtenidos se expresan en porcentaje de óxidos.

El analizador XRF portátil se empleó en muestras de los perfiles plataforma, ladera caliza, ladera yesosa y rellano. Algunos valores de elementos obtenidos en el análisis se han despreciado por ser cantidades casi inapreciables en la muestra.

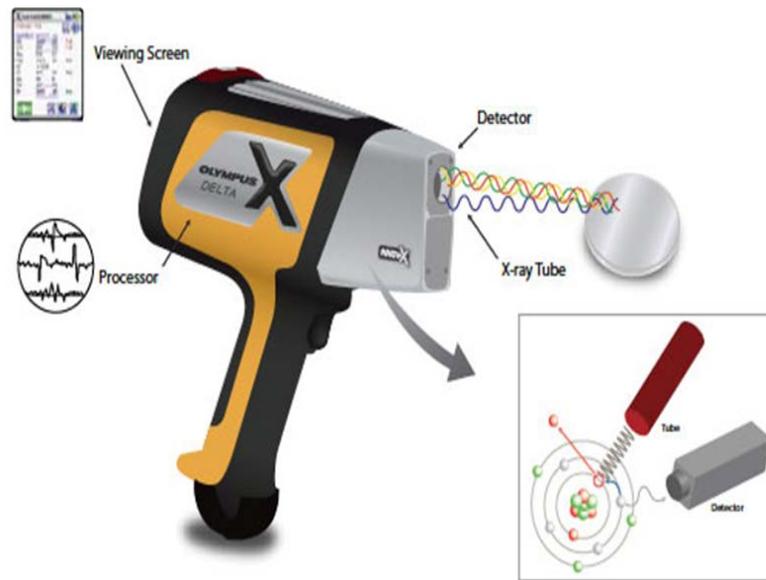


Fig.19. Analizador XRF portátil.

#### **4.5.-ESTUDIO MICROMORFOLÓGICO (LÁMINAS DELGADAS):**

Para analizar las preparaciones microscópicas de los suelos se utilizó un microscopio petrográfico. Se trata de un microscopio que usa luz polarizada plana. Las muestras se colocan entre dos láminas polaroides que tienen sus direcciones de vibración perpendiculares. En el microscopio polarizante los minerales presentan numerosas propiedades ópticas de gran ayuda para su estudio que no se manifiestan en el microscopio normal o biológico.

El polaroide inferior está siempre intercalado en la marcha de los rayos luminosos y se le llama polarizador. El polaroide superior se utiliza para analizar los efectos que se producen al atravesar la luz polarizada los minerales y por eso se le denomina analizador. A diferencia del polarizador, el analizador no está fijo en la marcha de los rayos sino que se puede incorporar o quitar a voluntad, se utiliza para unas determinadas propiedades (se habla en este caso de polaroides cruzados, XLP) pero no para otras (solo polarizador, PPL).

Con el polarizador la visión es parecida a la que se obtiene trabajando en el microscopio biológico, con luz normal, es decir no polarizada plana.

Pero con el analizador la situación es totalmente diferente. Los minerales aparecen con unos colores artificiales (llamados colores de interferencia) que son el resultado de la interferencia de las ondas que han sufrido la doble refracción en el mineral. Los colores de interferencia ayudan a identificar a los minerales, a diferenciar los distintos cristales de un mismo mineral, según en la posición en que hayan caído (distingue los granos policristalinos de los monocristalinos) y a reconocer el grado de alteración que presentan.

Los huecos del suelo (y los espacios que quedan entre los granos de las arenas) que vemos en el microscopio están rellenos de la sustancia isótropa que se utiliza para incluir las muestras de suelo y darles la coherencia necesaria para poder cortarlas y desbastarlas para hacer las preparaciones microscópicas. Esta sustancia (se trata de una resina de poliéster líquida que endurece al polimerizar), al ser isótropa, no interfiere en los rayos luminosos, y los huecos se ven negros con los polaroides cruzados (los rayos de luz no pueden pasar entre dos láminas polarizadas que presenta sus direcciones de vibración perpendiculares). Por ello las fotografías tomadas con sólo el polarizador aparecen como con fondo blanco, mientras que las de fondo negro corresponden a las de nicols cruzados.

Para diferenciar los huecos de los minerales opacos (negros) a veces los polaroides se colocan con sus direcciones de vibración formando ángulos ligeramente diferentes de los 90° (polaroides oblicuos) apareciendo en esta situación los poros de color gris.

En ocasiones se muestran microfotografías tomadas apagando la luz del microscopio e iluminando con un foco de luz externo situado sobre la platina del microscopio. En estas condiciones se habla de iluminación incidente oblicua o luz reflejada inclinada, muy diferente de las condiciones usuales del microscopio en el que se trabaja con luz transmitida a través de los minerales.

#### **4.6.-CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS:**

Los suelos se han clasificado según World Referente Base (IUSS, 2014) a nivel de unidades, y Soil Taxonomy System (USDA, 2014) a nivel subgrupo.

Para evaluar la calidad de cada uno de los perfiles se ha utilizado el sistema de Clases Agrológicas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos adaptado a España (Porta et al., 2003).

#### **4.7.- HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS:**

En el desarrollo de este trabajo se han utilizado los programas informáticos que se enumeran a continuación:

- 1.- Para el tratamiento de textos y gráficos, se han empleado respectivamente, los programas Microsoft Word 2007 y Microsoft Excel 2007 (Office XP).
- 3.- Paint 6.0 (Service Pack de Windows): Tratamiento y elaboración de esquemas y dibujos.
- 4.- En la elaboración de mapas se ha empleado ArcGIS 10.1.
- 5.- Adobe Acrobat DC: Elaboración de esquemas y gráficos.

## 5.-RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:**

### **5.1.-IDENTIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE LA TOPOSECUENCIA DE SUELOS EN LA PLANA DE MEQUINENZA:**

Se identifican seis categorías de suelo que ocupan distintas posiciones geomorfológicas (plataforma, ladera caliza, ladera yesosa, rellano, fondo y terraza), formando una toposecuencia en el paraje conocido como La Plana, en el término municipal de Mequinenza, en la comarca de Bajo Cinca (provincia de Zaragoza). En cada una de las categorías, se analiza un perfil edáfico, la localización de los cuales se muestra en la figura 20.

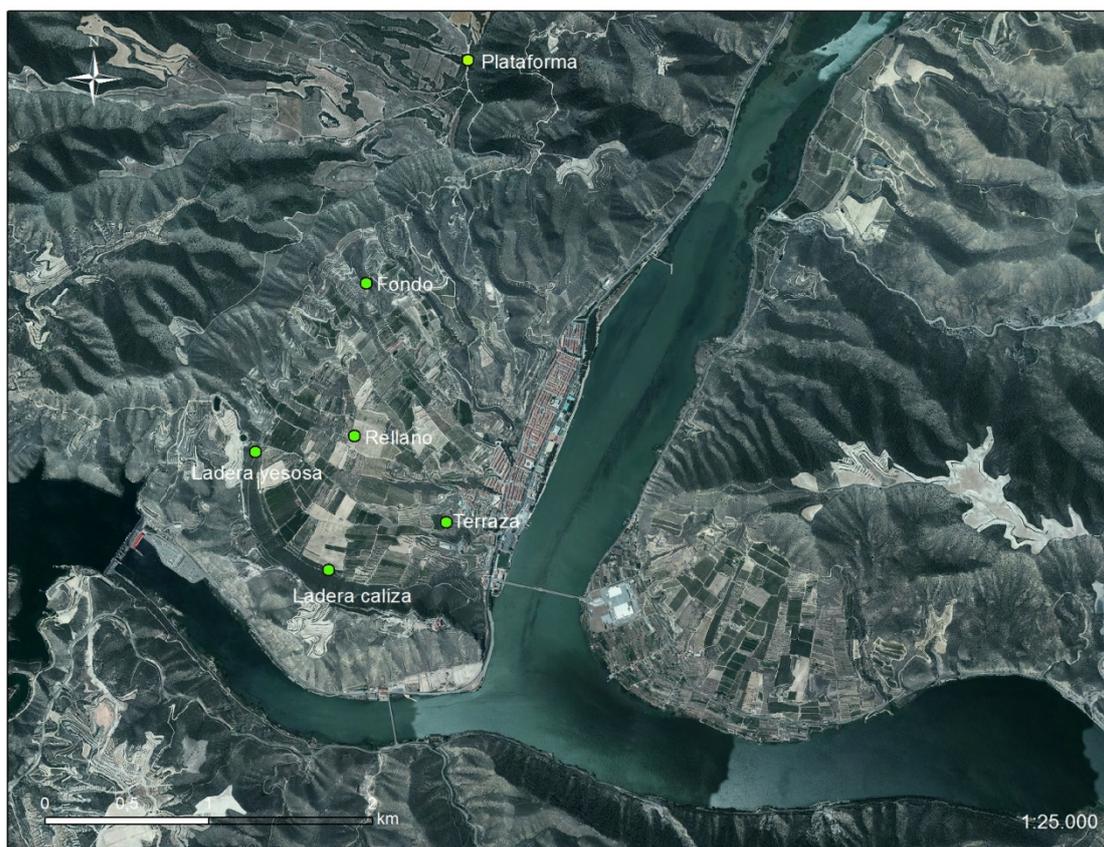


Fig. 20. Situación de los perfiles objeto de estudio.

Se han muestreado 6 perfiles de suelos a lo largo de una toposecuencia desde la plataforma estructural del Montnegre hasta las terrazas pleistocenas del río Segre; se indican sus factores formadores (Tabla 24) y la posición geomorfológica que ocupan (Figura 21).

La nomenclatura elegida para designar los perfiles se corresponde con la posición que ocupan en el relieve y su variabilidad litológica (en algunas tablas y gráficos se ha optado por utilizar las letras iniciales en mayúscula de la denominación de cada perfil).

PERFIL	FORMA	ALTURA (m)	COORDENADAS UTM 31 T X Y	VEGETACIÓN	PENDIENTE (%)	SUSTRATO
P	Plataforma	409	0274054 4586289	Maquia de coscoja con pino carrasco	<1	Calizas (Mioceno)
F	Fondo de valle	211	0273429 4584910	Olivar abandonado con comunidades de retama	<1	Material detrítico fino (Holoceno)
LY	Ladera yesosa	183	0272753 4583871	Matorrales xerófitos	20	Calizas, margas y yesos (Oligoceno)
LC	Ladera caliza	181	0273198 4583141	Matorrales xerófitos con pino carrasco	30	Calizas (Oligoceno)
R	Rellano	163	0273357 4583969	Melocotoneros con riego a goteo	4	Calizas (Oligoceno)
T	Terraza fluvial	133	0273920 4583433	Olivos con riego a goteo	3	Limos y arcillas sobre gravas heterométricas (Pleistoceno medio)

Tabla 24. Factores formadores de los perfiles estudiados.

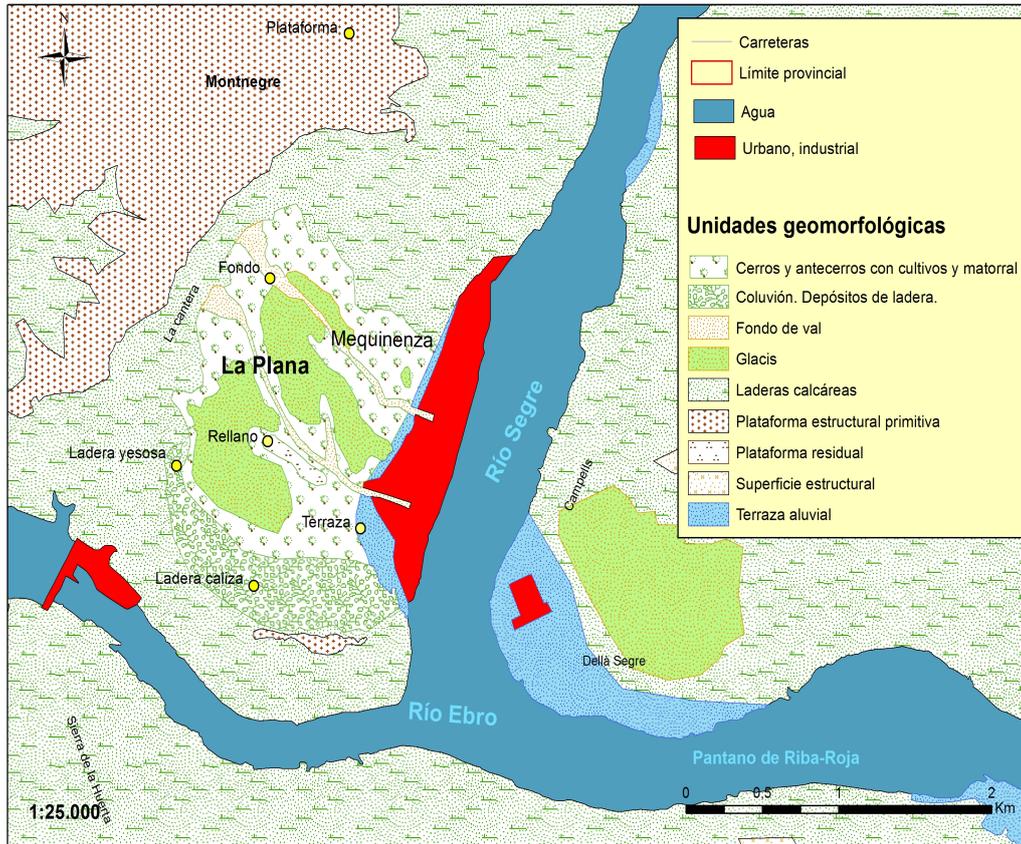


Fig.21. Unidades geomorfológicas en La Plana de Mequinenza. Elaboración propia a partir del Mapa Geomorfológico, Hoja 415 del ITGE.

## **5.2.-DESCRIPCIÓN MACROMORFOLÓGICA Y ANALÍTICA DE LOS PERFILES:**

A continuación se ofrecen las fichas detalladas (mostrando sus factores formadores, propiedades morfológicas, propiedades físicas, propiedades químicas, etc.) de cada uno de los perfiles de suelos estudiados a lo largo de la toposecuencia de suelos de La Plana de Mequinenza. Los perfiles se muestran desde la cota superior a la inferior.

## PLATAFORMA

### Situación:

Montnegre. T. M. Mequinenza (Bajo Cinca).  
Ref. figura 20: Plataforma.

### Coordenadas U.T.M.:

31 T 0274054-4586289

**Altitud:** 409 msnm.

**Topónimo:** Montnegre.

**Geomorfología:** Plataforma estructural de materiales terciarios calizos.

Pendiente: 0.5%. Casi llano.

### Material original:

Calizas arenosas, areniscas calcáreas y margas del período Oligoceno.

### Uso del suelo y vegetación:

Uso forestal. Maquia de coscoja (*Quercus coccifera*) con pino carrasco (*Pinus halepensis*).

### Profundidad efectiva:

60 cm. Moderadamente profundo.

### Pedregosidad superficial:

Extremadamente pedregoso (80%).  
Afloramientos rocosos: Inexistentes.

**Drenaje:** Bien drenado.

### Clima del suelo:

Régimen de humedad: Árido.

Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 10. Detalle perfil "P"



Foto 11. Zona de muestreo perfil "P"

## Descripción de los horizontes

---

### **Ah<sub>1</sub>** (0-30 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (10YR 5,5/2), en seco y pardo oscuro (10YR 3,5/2), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (1-5%), de grava gruesa, subredondeados y subangulares, sin orientación definida, distribución irregular. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franco-arcillosa. ESTRUCTURA: Fuerte, granular, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente. Aparecen galerías de lombrices, coprolitos, galerías rellenas y hormigueros hipogeos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Aspecto normal, de finas a medianas, frecuentes (10-25 raíces/100 cm<sup>2</sup>), vivas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Gradual.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Móllico.

### **Ah<sub>2</sub>** (30 a 60 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (10YR 6/2), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/2), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (10%) de grava gruesa, subredondeados y subangulares-esferoidales, con orientación horizontal, en bandas. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franco-arcillosa. ESTRUCTURA: Fuerte, granular, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (3%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente (1-5%), galerías de lombrices rellenas y coprolitos. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: Aspecto limitado por horizonte cementado, muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Abrupto.

### **Bkm** (mayor de 60 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Gris claro (10YR 8/1), en seco y gris claro (10YR 8/2), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ACUMULACIONES: De carbonato cálcico (Costra caliza) generalizada masiva. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,2-1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: No hay. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Muy alta.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Petrocálcico.

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
							CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ah<sub>1</sub></b> (0-30 cm)	8,2	7,6	3,39	5,85	44,4	835,2	1,23	48,5	8,1
<b>Ah<sub>2</sub></b> (30-60 cm)	8,7	7,9	2,11	3,65	67,7	947,3	0,60	51,6	8,1
<b>Bkm</b> (> 60 cm)	8,6	8,4			91,6	2214,0			

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ah<sub>1</sub></b> (0-30 cm)	12,8	19,4	14,9	31,2	21,7	Franca	8,7
<b>Ah<sub>2</sub></b> (30-60 cm)	11,8	18,2	13,4	26,9	29,7	Franco arcillosa	22,5

Horizontes (profundidad)	DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS QUÍMICOS (% RELATIVOS EXPRESADOS EN FORMA DE ÓXIDOS)							
	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	SO <sub>4</sub> (%)	TOTAL ÓXIDOS (%)
<b>Ah<sub>1</sub></b> (0-30 cm)	27,5	34,0	8,8	3,5	3,06	0,09	0,75	77,7
<b>Ah<sub>2</sub></b> (30-60 cm)	36,4	19,8	5,1	1,8	1,94	0,04	-	65,08
<b>Bkm</b> (> 60 cm)	51,3	10,1	4,9	1,1	0,89	0,07	-	68,36

\* Algunos valores de elementos obtenidos en el análisis se han despreciado por ser cantidades casi inapreciables en la muestra. Se han considerado los elementos que presentaban un valor igual o mayor a 0,05 % en alguno de los horizontes de cada perfil. Tampoco aparece en la tabla el contenido de C y O (LE) ya que el analizador XRF muestra ese valor de manera conjunta.

Propiedad		Calificación
Fertilidad química (horizonte A)	<b>N<sub>total</sub></b> (g/kg)	0,19
	<b>C/N</b>	17,84
	<b>Fósforo</b> Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	10,88
	<b>Potasio</b> Cambio (mg kg <sup>-1</sup> )	156,40
<b>Clasificación Capacidad Agrológica</b>		IV <sub>e,s</sub>
<b>Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)</b>		Palixeroll petrocalcídico
<b>Clasificación WRB (FAO, 2014)</b>		<b>Kastanozem Petrocálcico</b>

## FONDO DE VAL

**Situación:**

Plana Alta. T. M. Mequinenza (Bajo Cinca). Ref. Fig. 20: Fondo.

**Coordenadas U.T.M.:**

31 T 0273429-4584910

**Altitud:** 211 msnm.

**Topónimo:** Fondo.

**Geomorfología:** Fondo de valle abancalado.

Pendiente: < 1%.

**Material original:** Material detrítico fino. Holoceno.

**Uso del suelo y vegetación:**

Olivar abandonado con cubierta vegetal compuesta principalmente de retama (*Retama sphaerocarpa*), tomillo (*Thymus vulgaris*), aliaga (*Genista scorpius*) y enebro (*Juniperus oxycedrus*).

**Profundidad efectiva:** > 150 cm. Muy profundo.

**Pedregosidad superficial:**

Moderadamente pedregoso (7%).

Afloramientos rocosos: Inexistentes.

**Drenaje:** Bien drenado.

**Clima del suelo:**

Régimen de humedad: Xérico

Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 12. Detalle perfil "F"



Foto 13. Zona de muestreo perfil "F"

## Descripción de los horizontes

### Ap (0-40 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 6/3), en seco y marrón (10YR 4/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (20%), con tamaño de gravilla y grava media (aparecen algunos de mayor tamaño), forma angular-plana, con orientación horizontal y distribución regular, de naturaleza caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Moderada, de forma migajosa y en bloques subangulares, gruesa. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1-2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante (5-20%), en forma de galerías rellenas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: Poca. RAÍCES: Abundante presencia de raíces finas o muy finas y frecuentes las de mediano tamaño y las gruesas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Gradual, plano.

### 2C (40 a 60 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 6/3,5), en seco y marrón (10YR 4/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (50%), gravilla y grava gruesa, subredondeados-planos, subangulares- tabulares y angulares-planos, con orientación horizontal los elementos gruesos de forma plana, distribución irregular, de naturaleza caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Débil debido a la abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No se observa. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Gradual, plano.

### 3C (60 a 90 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 6/4), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/3), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (40%), gravilla y grava gruesa, subredondeados- planos, subangulares-tabulares y angulares-planos, aumentando en profundidad y de naturaleza caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Débil, en forma de bloques subangulares, fina. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No se observa. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas y finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Gradual, plano.

**4Ab** (90 a 115 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (10YR 5/3), en seco y marrón (10YR 4/4) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (40%), gravilla y grava media, subredondeados y angulares- planos, subangulares y redondeados-tabulares, con orientación definida, distribución irregular y naturaleza caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Débil, en bloques subangulares, de tamaño de fino a mediano. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No se observa. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas y finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LÍMITE INFERIOR: Gradual, plano.

**5C<sub>k</sub>** (115 a 150 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 7/4) en seco y amarillo parduzco (10YR 6/6). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (10%), de gravilla a grava gruesa, forma angular, subangular-tabular y angular-plana, de naturaleza caliza. ACUMULACIONES: Frecuentes, en forma de pseudomicelios de carbonatos distribuidos por todo el horizonte. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Muy débil, en forma de bloques subangulares, fina. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (<1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Poca (< 1%). Galerías de lombrices. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: No hay. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta. LÍMITE INFERIOR: Gradual, con forma irregular-ondulada.

HORIZONTE DIAGNÓSTICO: Cálculo.

**R** (> 150 cm):

Roca caliza.

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
							CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ap</b> (0-40 cm)	8,6	7,9	1,54	2,66	62,6	1316	0,59	30,52	8,4
<b>2C</b> (40-60 cm)	8,9	8,1	0,66	1,14	62,5	1326,2	0,42	33,10	8,3
<b>3C</b> (60-90 cm)	8,7	8,0	0,85	1,47	65,1	1074,5	0,62	32,42	8,4
<b>4Ab</b> (90-115 cm)	8,4	7,8	1,06	1,83	50,3	1130,6	1,10	38,26	8,3
<b>5C<sub>k</sub></b> (115-150 cm)	8,4	7,9	0,31	0,55	63,4	950	1,68	31,04	7,9

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ap</b> (0-40 cm)	12,8	25,4	14,8	22,2	24,8	Franca	34,3
<b>2C</b> (40-60 cm)	35,5	25,4	7,1	17,4	14,6	Franco arenosa	66,9
<b>3C</b> (60-90 cm)	17,0	29,0	11,4	20,1	22,5	Franca	39,6
<b>4Ab</b> (90-115 cm)	8,5	23,7	14,5	27,2	26,1	Franca	42,2
<b>5C<sub>k</sub></b> (115-150 cm)	8,5	20,2	17,8	32,4	21,1	Franco limosa	16,8

Propiedad	Calificación	
Fertilidad química (horizonte A)	N <sub>total</sub> (g/kg)	0,11
	C/N	14,02
	Fósforo <sub>Olsen</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	4,20
	Potasio <sub>Cambio</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	175,80
Clasificación Capacidad Agrológica	III	
Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)	Xerofluvent típico	
Clasificación WRB (FAO, 2014)	Fluvisol Calcárico Esquelético	

## LADERA SOBRE YESOS

**Situación:**

La Plana. T. M. Mequinenza (Bajo Cinca).  
Ref. Fig.20. Ladera yesosa.

**Coordenadas U.T.M.:**

31 T 0272753-4583871

**Altitud:** 183 msnm.

**Topónimo:** La Plana Alta de Mequinenza.

**Geomorfología:** Ladera rectilínea.

Pendiente: 20%. Erosión ligera por arroyada en surcos.

**Material original:** Calizas, margas y yesos (Oligoceno).

**Uso del suelo y vegetación:**

Ladera con matorral (romero, tomillo, lastón, dactilo, lino blanco, aliaga, helicriso, coronilla de fraile, sabina, enebro, lentisco) en contacto con cultivos agrícolas.

**Profundidad efectiva:** > 150 cm. Muy profundo.

**Pedregosidad superficial:**

Muy pedregoso (30 %).

Muy pocos afloramientos rocosos (< 2%).

**Drenaje:** Bien drenado.

**Clima del suelo:**

Régimen de humedad: Xérico.

Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 14. Detalle perfil "LY"



Foto 15. Zona de muestreo perfil "LY"

## Descripción de los horizontes

### Ah (0-30 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Gris parduzco claro (10YR 6/2), en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 3,5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (15%), de grava media a gruesa, angular-esferoidales y angular planos. Estos últimos con orientación horizontal, distribución regular, de litología caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA: Franco-limosa. ESTRUCTURA: Muy fuerte, granular, de tamaño mediano. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGANICA: Abundante. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundantes galerías de lombrices y hormigueros. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Aspecto normal, de finas a medianas, frecuentes (10-25 raíces/100 cm<sup>2</sup>), vivas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz): Alta al HCl, nula al BaCl<sub>2</sub> y al AgSO<sub>4</sub>. LIMITE INFERIOR: Difuso con forma plana.

### Bk (30 a 50 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo muy pálido (10YR 7/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (1%), de tamaño gravilla a grava media, con forma angular-tabular, sin orientación definida, con distribución irregular y litología caliza. ACUMULACIONES: Presencia de pseudomicelios de carbonatos, especialmente en el límite entre este horizonte y el suprayacente. TEXTURA: Limosa. ESTRUCTURA: Muy débil, granular, de tamaño muy fino. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGANICA: Poca. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Muy finas, pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz): Muy alta (HCl 10 %), baja (BaCl<sub>2</sub>) y sin reacción (AgSO<sub>4</sub>). LIMITE INFERIOR: Abrupto y plano

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálxico

### By1 (50 a 100 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Gris claro (2,5Y 8/2) en seco y Amarillo claro (2,5Y 7/3) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Inexistentes. ACUMULACIONES: Masiva, de yeso. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGANICA: Inapreciable (<0,2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas y muy finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz): Baja al HCl, alta al BaCl<sub>2</sub> y baja al AgSO<sub>4</sub>. LIMITE INFERIOR: Difuso.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Hipergípsico.

**By2** (100 a 130 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Amarillo pálido (2,5Y 8/3) en seco y amarillo pálido (2,5Y 8/4) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (5%), calizos, angular-planos. ACUMULACIONES: Masiva, de yeso. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGANICA: Inapreciable (<0,2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas y muy finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz): Baja al HCl, alta al BaCl<sub>2</sub> y baja al AgSO<sub>4</sub>. LIMITE INFERIOR: Difuso.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Hipergípsico.

**R** (>130cm):

Roca caliza.

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Yeso (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
								CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ah</b> (0-30 cm)	8,1	7,9	1,42	2,45	57,08	7,71	957,48	1,01	36,05	7,8
<b>Bk</b> (30-50 cm)	8,7	8,5	1,12	1,94	68,55	8,36	977,85	3,68	46,78	8,1
<b>By1</b> (50-100 cm)	8,3	8,2	0,35	0,61	3,37	93,74	1040,0	3,11	44,31	8,1
<b>By2</b> (100-130 cm)	8,4	8,2	0,21	0,36	4,86	90,32	1317,6	6,55	39,67	7,8

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ah</b> (0-30 cm)	4,06	26,07	16,69	34,11	19,06	Franco Limosa	25,46
<b>Bk</b> (30-50 cm)	3,11	26,43	22,08	37,19	11,19	Franco Limosa	5,00
<b>By1</b> (50-100 cm)	12,42	10,82	16,37	31,99	28,39	Franca	<1,00
<b>By2</b> (100-130 cm)	14,49	17,29	16,68	28,15	23,38	Franca	16,22

Horizontes (profundidad)	DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS QUÍMICOS (% RELATIVOS EXPRESADOS EN FORMA DE ÓXIDOS)							
	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	SO <sub>4</sub> (%)	TOTAL ÓXIDOS (%)
<b>Ah</b> (0-30 cm)	34,7	30,7	6,1	3,3	2,7	0,06	0,63	78,19
<b>Bk</b> (30-50 cm)	43,2	15,7	5,0	1,6	1,4	0,03	2,3	69,23
<b>By1</b> (50-100 cm)	34,4	1,63	6,51	-	-	0,01	47,2	89,75
<b>By2</b> (100-130 cm)	33,3	4,18	6,68	-	0,03	0,01	46,1	90,30

\* Algunos valores de elementos obtenidos en el análisis se han despreciado por ser cantidades casi inapreciables en la muestra. Se han considerado los elementos que presentaban un valor igual o mayor a 0,05 % en alguno de los horizontes de cada perfil. Tampoco aparece en la tabla el contenido de C y O (LE) ya que el analizador XRF muestra ese valor de manera conjunta.

Propiedad		Calificación
Fertilidad química (horizonte A)	<b>N<sub>total</sub></b> (g/kg)	0,13
	<b>C/N</b>	10,93
	<b>Fósforo</b> Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	2,92
	<b>Potasio</b> Cambio (mg kg <sup>-1</sup> )	68,89
<b>Clasificación Capacidad Agrológica</b>		VIIe,s
<b>Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)</b>		Calcixerept gípsico
<b>Clasificación WRB (FAO, 2014)</b>		<b>Gipsisol Cálculo (Hipergípsico)</b>

## LADERA SOBRE CALIZAS

### Situación:

Ladera umbría del castillo de Mequinenza. T. M. Mequinenza (Bajo Cinca). Ref. Fig.20. Ladera caliza.

### Coordenadas U.T.M.:

31 T 0273198-4583141

**Altitud:** 181 msnm.

**Topónimo:** La Plana.

**Geomorfología:** Ladera escarpada.  
Pendiente: 30%.Orientación Sur.

**Material original:** Calizas oligocenas.

### Uso del suelo y vegetación:

Matorral heterogéneo con especies como el tomillo (*Thymus vulgaris*), romero (*Rosmarinus officinalis*), coronilla de fraile (*Globularia alypum*), enebro (*Juniperus oxycedrus*) y pino carrasco (*Pinus halepensis*).

**Profundidad efectiva:**> 115 cm. Muy profundo.

### Pedregosidad superficial:

Muy pedregoso (20%).  
Afloramientos rocosos: Inexistentes.

**Drenaje:** Bien drenado.

### Clima del suelo:

Régimen de humedad: Xérico.  
Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 16. Detalle perfil "LC"



Foto 17. Zona de muestreo perfil "LC"

## Descripción de los horizontes

### **Ah** (0-20 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo amarillento oscuro (10YR 5/3), en seco y marrón (10YR 4,5/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (30%), de grava media y gruesa, subangulares esferoidales o planos y angulares tabulares o planos. Estos últimos presentan orientación horizontal, con distribución regular disminuyendo en profundidad y de litología caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franco-arcillosa. ESTRUCTURA: Fuerte, migajosa, mediana. COMPACIDAD: No coherente. MATERIA ORGANICA: Poca (2-3%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Coprolitos abundantes. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Aspecto normal, de finas a medianas, frecuentes (10-25 raíces/100 cm<sup>2</sup>), vivas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LIMITE INFERIOR: Abrupto, con forma plana.

### **Bwkc** (20 a 70 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 7,5/4) en seco y marrón (10YR 4,5/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (5%), calizos. ACUMULACIONES: Frecuentes en forma de nódulos de carbonato cálcico de tamaño medio a grueso, distribuidos por todo el horizonte. TEXTURA AL TACTO: Franco-arcillosa. ESTRUCTURA: Fuerte, en bloques subangulares, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGANICA: Muy poca (0,2-1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Coprolitos abundantes. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Muy alta efervescencia. LIMITE INFERIOR: Gradual con forma plana.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálculo

### **2Bkc** (70 a 115 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo muy pálido (10YR 8/3) en seco y amarillo parduzco (10YR 6/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy pocos (<1%), en forma de gravilla y grava media, subredondeados esferoidales, sin orientación e irregularmente distribuidos. ACUMULACIONES: Generalizadas de forma difusa de carbonato cálcico con la presencia de algún nódulo de carbonato cálcico de tamaño medio. TEXTURA AL TACTO: Franco-limosa. ESTRUCTURA: Débil, en bloques angulares, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGANICA: Muy poca (0,2-1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Pocas y finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LIMITE INFERIOR: Gradual con forma plana.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálcico

**Cy** (> de 115 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo muy pálido (10YR 8/4), en seco y amarillo parduzco (10 YR 6/8), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: No aparecen. ACUMULACIONES: Generalizadas de yeso distribuidos por todo el horizonte en forma de placas planas. TEXTURA AL TACTO: Arenosa. ESTRUCTURA: Sin estructura (masiva). COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGANICA: Muy poca (0,2-1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: No hay. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Moderada efervescencia. LIMITE INFERIOR: Gradual con forma plana.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Gípsico

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Yeso (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
								CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ah</b> (0-20 cm)	8,5	7,8	2,65	4,58	43,8	1,25	870,9	0,80	37,7	8,2
<b>Bwkc</b> (20-70 cm)	8,9	8,1	0,58	1,00	60,3	0,88	1017,6	0,62	34,5	8,2
<b>2Bkc</b> (70-115 cm)	9,0	8,2	0,16	0,28	42,8	2,46	1236,8	0,57	35,2	8,3
<b>Cy</b> (>115 cm)	8,3	7,9	0,01	0,03	26,3	34,2	1571,4	2,47	36,8	7,9

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ah</b> (0-20 cm)	5,9	26,0	15,9	27,8	24,4	Franca	46,77
<b>Bwkc</b> (20-70 cm)	3,8	37,3	15,7	24,8	18,4	Franca	11,34
<b>2Bkc</b> (70-115 cm)	0,6	56,7	15,7	15,0	12,0	Franco Arenosa	24,88
<b>Cy</b> (>115 cm)	11,1	62,1	16,4	7,3	3,10	Franco Arenosa	10,42

Horizontes (profundidad)	DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS QUÍMICOS (% RELATIVOS EXPRESADOS EN FORMA DE ÓXIDOS)							
	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	SO <sub>4</sub> (%)	TOTAL ÓXIDOS (%)
<b>Ah</b> (0-20 cm)	25,8	28,4	6,0	3,0	2,8	0,05	0,7	66,75
<b>Bwkc</b> (20-70 cm)	34,2	24,1	5,1	1,9	1,8	0,03	0,49	67,62
<b>2Bkc</b> (70-115 cm)	27,8	37,0	5,5	2,0	1,4	0,03	1,37	75,10
<b>Cy</b> (>115 cm)	34,4	38,2	4,0	2,2	1,6	0,02	19,08	99,50

\* Algunos valores de elementos obtenidos en el análisis se han despreciado por ser cantidades casi inapreciables en la muestra. Se han considerado los elementos que presentaban un valor igual o mayor a 0,05 % en alguno de los horizontes de cada perfil. Tampoco aparece en la tabla el contenido de C y O (LE) ya que el analizador XRF muestra ese valor de manera conjunta.

Propiedad		Calificación
Fertilidad química (horizonte A)	<b>N<sub>total</sub></b> (g/kg)	0,20
	<b>C/N</b>	13,28
	<b>Fósforo</b> Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	6,96
	<b>Potasio</b> Cambio (mg kg <sup>-1</sup> )	120,0
<b>Clasificación Capacidad Agrológica</b>		VII <sub>e</sub>
<b>Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)</b>		Calcixerept típico
<b>Clasificación WRB (FAO, 2014)</b>		<b>Calcisol Háplico (Hiper cálcico, Batigípsico).</b>

## RELLANO O PLATAFORMA RESIDUAL

### Situación:

La Plana. T. M. Mequinenza (Bajo Cinca).  
Ref. Fig.20: Rellano

### Coordenadas U.T.M.:

31 T 0273357-4583969

**Altitud:** 163 msnm.

**Topónimo:** Rellano.

**Geomorfología:** Glacis del Pleistoceno.  
Pendiente: 4 %.Orientación Este.

**Material original:** Calizas oligocenas.

### Uso del suelo y vegetación:

Agrícola. Melocotoneros con riego a goteo.

**Profundidad efectiva:** > 110 cm. Muy profundo.

### Pedregosidad superficial:

Ligeramente pedregoso (3%).  
Afloramientos rocosos: Inexistentes.

**Drenaje:** Bien drenado.

### Clima del suelo:

Régimen de humedad: Xérico.  
Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 18. Detalle perfil "R"



Foto 19. Zona de muestreo perfil "R".

---

## Descripción de los horizontes

---

### **Ap** (0-25 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Amarillo parduzco (10YR 6/6), en seco y marrón (10YR 4/4), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (10%), de grava media, redondeados y subangulares esferoidales o planos, sin orientación definida, con distribución regular y de litología caliza. ACUMULACIONES: Inexistentes. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Moderada, en forma de bloques angulares y subangulares de tamaño grueso. COMPACIDAD: Poco compacto. MATERIA ORGANICA: Poca (2%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante presencia de galerías de lombrices, coprolitos y galerías rellenas. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Aspecto normal, finas, frecuentes (10-25 raíces/100 cm<sup>2</sup>). TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Media efervescencia. LIMITE INFERIOR: De forma ondulada

### **Bwkc<sub>1</sub>** (25 a 40 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido (10YR 7/4) en seco y amarillo parduzco (10YR 6/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Frecuentes (15%), de gravilla a bloques estos últimos con distribución en un plano y con orientación oblicua, subangulares planos y tabulares y de litología caliza. ACUMULACIONES: Frecuentes, de carbonato cálcico, distribuidas por todo el horizonte en forma de nódulos blandos y alguno de consistencia más dura. TEXTURA AL TACTO: Franco-limosa. ESTRUCTURA: Fuerte, en forma de bloques subangulares de tamaño grueso. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGANICA: Poca (1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Abundante en forma de galerías rellenas y coprolitos. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: Muy pocas y finas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Media efervescencia. LIMITE INFERIOR: Ondulado.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálcico.

### **Bwkc<sub>2</sub>** (40 a 75 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Amarillo parduzco (10YR 7/6) en seco y amarillo parduzco (10YR 6/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Pocos (5%), de gravilla a grava media, en forma plana, en algunas ocasiones con orientación horizontal y en otras oblicua, con distribución irregular y de litología caliza. ACUMULACIONES: Frecuentes, de carbonato cálcico, en forma de nódulos de tamaño medio a grueso (0,5-2 cm.). TEXTURA AL TACTO: Franco-limosa. ESTRUCTURA: Moderada, en forma de bloques subangulares de grueso tamaño. COMPACIDAD: Compacto. MATERIA ORGANICA: Muy poca (<1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Frecuente, aparecen galerías de lombrices y coprolitos. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente.

RAICES: Muy pocas. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Media efervescencia. LIMITE INFERIOR: Con forma plana.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálculo.

**Ck** (75 a 100 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): Pardo pálido(10YR 7/4), en seco y amarillo parduzco (10 YR 6/6), en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (90%), de gravilla a cantos, redondeados tabulares y planos, con orientación horizontal y aumentado en profundidad. ACUMULACIONES: En los elementos gruesos procedentes del horizonte R aparece un recubrimiento de CaCO<sub>3</sub> en la cara inferior. TEXTURA AL TACTO: Limosa. ESTRUCTURA: Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. COMPACIDAD: No coherente. MATERIA ORGANICA: Muy poca (<1%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTROPICA: No aparente. RAICES: No hay. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia. LIMITE INFERIOR: Contacto lítico.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cálculo.

**R** (> 100 cm):

Roca caliza

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
							CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ap</b> (0-25 cm)	8,5	7,9	1,24	2,15	50,0	1008	0,87	22,7	8,1
<b>Bwkc<sub>1</sub></b> (25-40 cm)	8,9	7,8	0,20	0,36	55,1	1305,5	0,42	30,4	8,2
<b>Bwkc<sub>2</sub></b> (40-75 cm)	8,9	7,9	0,22	0,38	54,5	1161,2	0,43	36,2	8,0
<b>Ck</b> (75-100 cm)	8,1	7,8	0,35	0,61	67,4	1935,3	2,42	31,0	7,8

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ap</b> (0-25 cm)	7,3	29,9	18,9	21,7	22,2	Franca	35,3
<b>Bwkc<sub>1</sub></b> (25-40 cm)	3,5	26,4	22,9	24,5	22,7	Franca	23,4
<b>Bwkc<sub>2</sub></b> (40-75 cm)	4,5	27,0	27,5	21,6	19,4	Franca	18,3
<b>Ck</b> (75-100 cm)	26,1	24,5	22,9	11,0	15,5	Franca	65,2

Horizontes (profundidad)	DISTRIBUCIÓN DE LOS PRINCIPALES ELEMENTOS QUÍMICOS (% RELATIVOS EXPRESADOS EN FORMA DE ÓXIDOS)							
	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	SO <sub>4</sub> (%)	TOTAL OXIDOS (%)
<b>Ap</b> (0-25 cm)	27,5	33,7	6,7	3,1	2,6	0,05	1,56	75,21
<b>Bwkc<sub>1</sub></b> (25-40 cm)	30,7	31,4	6,8	2,6	2,2	0,04	1,02	74,76
<b>Bwkc<sub>2</sub></b> (40-75 cm)	35,3	37,0	7,8	3,1	2,3	0,03	0,72	86,25
<b>Ck</b> (75-100 cm)	40,4	32,8	4,5	2,6	2,04	0,04	1,45	83,83

\* Algunos valores de elementos obtenidos en el análisis se han despreciado por ser cantidades casi inapreciables en la muestra. Se han considerado los elementos que presentaban un valor igual o mayor a 0,05 % en alguno de los horizontes de cada perfil. Tampoco aparece en la tabla el contenido de C y O (LE) ya que el analizador XRF muestra ese valor de manera conjunta.

Propiedad		Calificación
Fertilidad química (horizonte A)	<b>N<sub>total</sub></b> (g/kg)	0,12
	<b>C/N</b>	10,39
	<b>Fósforo</b> Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	9,31
	<b>Potasio</b> Cambio (mg kg <sup>-1</sup> )	99,73
<b>Clasificación Capacidad Agrológica</b>		II
<b>Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)</b>		Calcixerept típico
<b>Clasificación WRB (FAO, 2014)</b>		<b>Calcisol Háplico (Hipercálcico)</b>

## TERRAZA ALUVIAL PLEISTOCENA

**Situación:**

La Plana Baja. T.M. Mequinenza. Comarca: Bajo Cinca.  
Ref. Mapa 20: Terraza.

**Coordenadas U.T.M.:**

31T 0273920-4583433

**Altitud:** 133 msnm.

**Topónimo:** La Plana Baja.

**Geomorfología:**

Terraza aluvial del río Segre con inclinación del 3% y orientación SE.

**Material original:**

Limos y arcillas sobre gravas heterométricas con matriz arenosa. Material poligénico de aporte aluvial. Pleistoceno medio (Cuaternario).

**Uso del suelo y vegetación:**

Agrícola. Olivos con riego por goteo.

**Profundidad efectiva:** > 200 cm. Muy profundo.

**Pedregosidad superficial:**

Muy pedregoso (40 %).

Muy pocos afloramientos rocosos (< 2%).

**Drenaje:** Bien drenado.

**Clima del suelo:**

Régimen de humedad: Árido.

Régimen de temperatura: Térmico.



Foto 20. Detalle perfil "T"



Foto 21. Zona de muestreo perfil "T".

## Descripción de los horizontes

### **Ap** (0-25 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR: 7,5 YR 7/6 Pardo pálido en seco y 7,5 YR 5/7 marrón en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (20%) sin orientación definida, distribución irregular, de forma tabular redondeada y con un tamaño que va de grava gruesa a cantos de naturaleza mayoritariamente calizas y cuarcitas. ESTRUCTURA: Muy débil desarrollo estructural, de forma granular, fina. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1,86%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Presencia escasa de actividad faunística (galerías de lombrices). ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: frecuentes Y finas que disminuyen en profundidad. COMPACIDAD: Material no coherente. ACUMULACIONES: No se observan. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Muy alta efervescencia; reacción de la matriz al BaCl<sub>2</sub>: Moderada. TEXTURA: Franco-limosa. LIMITE INFERIOR: Plano y difuso.

### **Bw** (25 a 50 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR: 10 YR 8/6 Pardo pálido en seco y 10 YR 6/7 amarillo parduzco en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (25%) aumentando en profundidad, sin orientación definida, distribuidos irregularmente, de forma tabular redondeada y tamaño de grava gruesa a cantos. ESTRUCTURA: Muy débil desarrollo estructural, granular fina. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,5%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No se observa actividad biológica. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAICES: Pocas y finas. MATERIA ORGÁNICA: Poca (0,46%). TEXTURA: Franco limosa. COMPACIDAD: Material no coherente. ACUMULACIONES: No se observan. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Alta efervescencia; reacción de la matriz al BaCl<sub>2</sub>: Moderada. LÍMITE INFERIOR: Plano y difuso.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Cámbico.

### **By1** (50 a 100 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR: 10 YR 8/3 Pardo muy pálido en seco y 10YR 7/6 pardo pálido en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (40%), de distribución irregular, sin orientación definida, de múltiples tamaños y en aumento conforme descendemos en profundidad, con formas tabulares y plano redondeadas. ESTRUCTURA: Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. ACTIVIDAD DE LA FAUNA Y ANTRÓPICA: Sin formas de actividad faunística o humana. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,14%). TEXTURA: Arenosa. COMPACIDAD: Poco compacto. ACUMULACIONES: Abundantes, en forma de cemento geopetal de naturaleza yesosa. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Baja efervescencia; reacción de la matriz al BaCl<sub>2</sub>: Alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto y ondulado.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Gípsico.

### **By2** (100 a 160 cm):

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR: Policromático. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, de distribución irregular, sin orientación definida, cantos de múltiples tamaños, de mayor tamaño que en el horizonte By1, mayoritariamente con forma redondeada plana, aumentado en profundidad. ESTRUCTURA:

Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. ACTIVIDAD DE LA FAUNA Y ANTRÓPICA: sin formas de actividad faunística o humana. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,03%). TEXTURA: Arenosa. COMPACIDAD: Poco compacto. ACUMULACIONES: Aparecen cementaciones de naturaleza yesosa en ambas caras de los cantos de forma continua. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): Baja efervescencia; reacción de la matriz al BaCl<sub>2</sub>: Alta. LÍMITE INFERIOR: Límite plano y difuso.

HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: Gípsico.

**C (>160 cm):**

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR: Policromático. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, de distribución irregular, sin orientación definida, cantos de múltiples tamaños incluso mayores que los del horizonte By2. ESTRUCTURA: sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. ACTIVIDAD DE LA FAUNA Y ANTRÓPICA: Sin formas de actividad faunística o humana. TEXTURA: Arenosa. ACUMULACIONES: Pocas, presencia de cemento geopetal, de naturaleza yesosa de tamaño mediano. COMPACIDAD: No coherente. TEST DE CAMPO (reacción de la matriz al HCl al 10%): reacción media; reacción de la matriz al BaCl<sub>2</sub>: Alta. LÍMITE INFERIOR: gradual plano.

## Parámetros físicos y químicos

Horizontes (profundidad)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	C org (%)	MO (%)	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (%)	Yeso (%)	Da (Kg m <sup>-3</sup> )	PASTA SATURADA		
								CE <sub>e</sub> (dS/m)	HS (%)	pH
<b>Ap</b> (0-25 cm)	8,4	8,1	0,79	1,36	48,2	3,83	1202,0	2,08	34,0	8,3
<b>Bw</b> (25-50 cm)	8,1	8,0	0,26	0,46	39,2	4,77	1546,2	2,29	27,0	7,9
<b>By1</b> (50-100 cm)	8,1	7,9	0,18	0,31	6,5	54,7	1390,4	2,40	35,1	7,8
<b>By2</b> (100-160 cm)	8,1	8,0	0,15	0,26	8,7	45,7	1471,9	2,42	30,6	7,9
<b>C</b> (>160 cm)	8,0	7,9	0,14	0,24	15,3	18,0	1752,0	2,33	27,1	7,9

Horizontes (profundidad)	Arena Gruesa (%)	Arena Fina (%)	Limo Grueso (%)	Limo Fino (%)	Arcilla (%)	Clase textural (USDA)	Elementos gruesos (% p/p)
<b>Ap</b> (0-25 cm)	13,5	37,5	17,0	20,8	11,2	Franca	51,3
<b>Bw</b> (25-50 cm)	15,8	47,5	18,1	7,8	10,8	Franco Arenosa	71,9
<b>By1</b> (50-100 cm)	34,9	53,0	6,4	2,4	3,3	Arenosa	71,6
<b>By2</b> (100-160 cm)	29,0	56,9	7,0	3,2	3,9	Arenosa	80,0
<b>C</b> (>160 cm)	29,7	62,1	3,5	1,9	2,8	Arenosa	70,2

Propiedad	Calificación	
Fertilidad química (horizonte A)	N <sub>total</sub> (g/kg)	0,08
	C/N	13,48
	Fósforo Olsen (mg kg <sup>-1</sup> )	7,0
	Potasio Cambio (mg kg <sup>-1</sup> )	57,8
Clasificación Capacidad Agrológica	III <sub>s</sub>	
Clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2014)	Haplogypsid xerico	
Clasificación WRB (FAO, 2014)	Gipsisol Esquelético (Arénico)	

### **5.3.-CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA TOPOSECUENCIA:**

El material parental va a condicionar muchas de las características de los suelos. Es, junto con el clima, el factor que va a influir en mayor medida en la aparición de suelos distintos a lo largo de la toposecuencia.

En la toposecuencia estudiada se distinguen cuatro tipos de suelo, como ponen de manifiesto los resultados analíticos, y quedan reflejados en la clasificación. En parte más alta ocupada por la primitiva plataforma estructural del Montnegre aparecen suelos de la unidad Kastanozem Petrocálcico. Son suelos que presentan en los horizontes más superficiales importantes cantidades de materia orgánica, lo que hace que presenten un color más oscuro a pesar del alto nivel de carbonatos que los tiende a blanquear (>40%). El horizonte Ah se superpone a un potente horizonte petrocálcico fuertemente consolidado y cementado que contiene una gran acumulación de carbonato cálcico (>80%).

En los amplios glacis que unen la plataforma residual con los valles aparecen suelos de la unidad Calcisol Háplico (Hipercálcico), caracterizados por presentar en profundidad una concentración superior al 50%, de carbonatos.

En los suelos de las laderas inferiores se presenta yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) secundario, en forma de acumulaciones masivas (yeso farináceo), por debajo de horizontes cálcicos lo que clasifica el suelo como Gipsisol Cálcico (Hipergípsico). EL yeso se presenta también como cemento geopetal en los suelos de la terraza aluvial lo que lo clasifica como Gipsisol Esquelético, Arénico respectivamente.

Por último, en los suelos de los fondos de valle, rellenos de ricos sedimentos de carbonatos y abundante pedregosidad aparecen los suelos de la unidad Fluvisol Calcárico Esquelético.

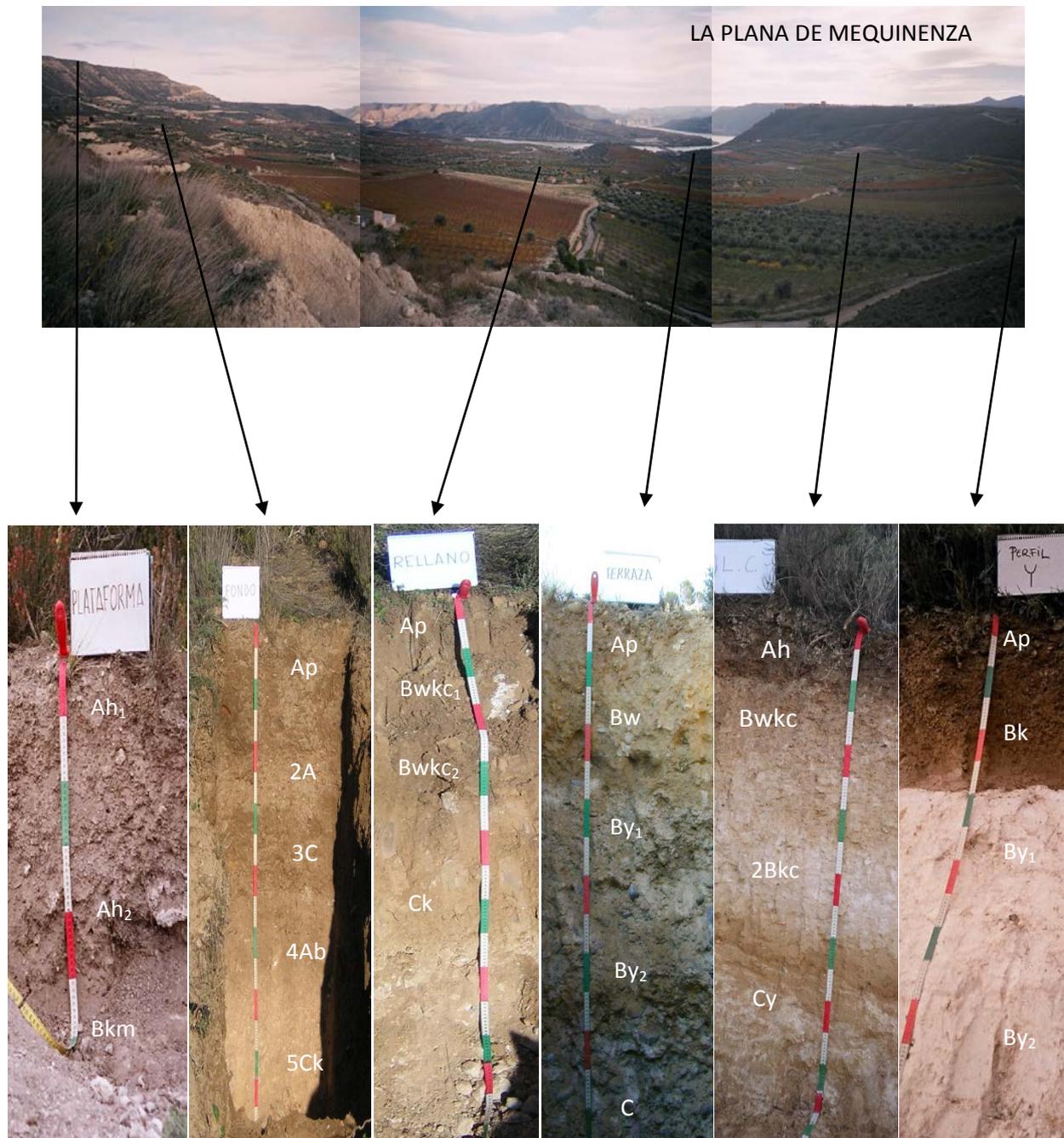


Fig. 22. Esquema de la toposecuencia de suelos

## **5.4.-PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS:**

Un dato analítico aislado tiene poco valor en la caracterización de un suelo, siendo el conjunto de varios resultados, complementados unos con otros, los que realmente nos orientan (Saña et al., 1996).

La interpretación de los resultados que a continuación se expone está hecha siguiendo las tablas de interpretación que se muestran en el apartado de material y métodos del presente trabajo.

### **5.4.1-PARÁMETROS FÍSICOS.**

#### **5.4.1.1-COLOR.**

Casi todos los perfiles muestran un matiz combinado entre amarillo y rojo siendo su graduación 7,5YR o 10YR. Siendo este último matiz el mayoritario, tanto en seco, como en húmedo a lo largo de la toposecuencia, debido principalmente a que los colores son heredados del material originario (calizas sedimentarias terciarias). El matiz 7,5 YR aparece en el horizonte más superficial del perfil "Terraza", pudiendo ser el material aluvial que lo conforma una de las razones de ello. Y tan solo los horizontes By del perfil "Ladera Yesosa" presentan un matiz amarillo con graduación 2,5Y por el porcentaje de yeso que presentan.

En general todos los perfiles presentan un brillo medio-alto y un croma bajo. Siendo estos dos parámetros los que diferenciaran básicamente unos horizontes de otros en cuanto a color se refiere, debido a la casi completa homogeneidad y dominio del matiz 10 YR a lo largo del transecto, en el cual es lógico no encontrar otras tonalidades debido a que son suelos muy evolucionados en su mayoría.

Es importante destacar que la presencia de altos contenidos de carbonato cálcico en todos los perfiles condiciona también que los horizontes presenten coloraciones pardas. El horizonte petrocálcico del perfil "Plataforma" presenta color gris claro, característico de este tipo de

horizontes. Y la presencia de acumulaciones de yeso masivas en los horizontes más profundos del perfil "Ladera Yesosa" da una coloración blanca al suelo.

En seco, los tonos predominantes son el pardo pálido (10YR 6/3) y el pardo muy pálido (10YR 6/6). En húmedo, los tonos predominantes son el pardo amarillento oscuro (10YR 4/3) y el amarillo parduzco (10YR 6/6).

En general son suelos pálidos, lo que refleja la escasez de materia orgánica que presentan, excepto en los horizontes superficiales, donde colores como el pardo amarillento oscuro (10YR 5/3), amarillento parduzco (10YR 6/6), pardo pálido (10YR 6/3) y el gris parduzco claro (10YR 6/2) son consecuencia del mayor contenido de materia orgánica y grado de humidificación, así como, de los minerales de hierro que presentan.

En el perfil "Fondo" aparecen horizontes a cierta profundidad que presentan color pardo pálido (10YR 6/4) y pardo amarillento oscuro (10YR 5/3), que pone de manifiesto un aumento en el porcentaje de materia orgánica, debido a la presencia de un horizonte enterrado Ab.

#### **5.4.1.2.-ELEMENTOS GRUESOS:**

La naturaleza o litología de los elementos gruesos presentes en la mayoría de los perfiles es caliza terciaria (Oligocena). Aparecen en el perfil "Terraza" sedimentos de litología más diversa como corresponde a una terraza aluvial pleistocena, que recoge materiales de la cuenca del Segre, abundando calizas, granitos, areniscas y conglomerados rojizos, también aparecen rocas metamórficas como pizarras, mármol o cuarcita.

Los elementos gruesos son de tamaño grava en todos los perfiles. Siendo generalmente de tamaño grava media (0,6-2,0 cm) o gruesa (2-6 cm) en los perfiles "P", "LC", "LY" y "R". Apareciendo normalmente tamaños menores, gravilla (0,2-0,6 cm), en el perfil "Fondo" y tamaños mayores, cantos (20-60 cm), en el perfil "Terraza". De forma subangular planos y esferoidales y angular planos o tabulares generalmente.

Encontramos perfiles donde los elementos gruesos, tienen orientación definida y distribución regular ("Fondo", "Plataforma" y "Ladera Yesosa"), el resto generalmente sin orientación e irregular distribución.

El porcentaje de elementos gruesos es irregular a lo largo de los perfiles, generalmente tienden a disminuir conforme nos acercamos a los horizontes más profundos, salvo en los perfiles "Terraza" y "Plataforma" que aumenta en profundidad hasta llegar en este último perfil a un potente petrocálcico. En el horizonte Ck del perfil "Rellano", se observa un fuerte aumento en la cantidad de elementos gruesos respecto a los horizontes que se encuentran por encima de este.

Es necesario mencionar que la forma de tamizar las muestras y a través del cual se obtuvo el porcentaje de elementos gruesos no fue adecuada del todo, pues si el uso de un rodillo metálico puede tener el inconveniente de llegar a triturar las calizas, el uso del rodillo de madera y la maza para disgregar los agregados de forma manual no fue capaz de romper en algunas ocasiones los agregados más compactos. Es el caso de los horizontes Bwkc y 2Bkc del perfil "Ladera Caliza" en el que cierta proporción de nódulos de carbonato cálcico, considerada la fracción  $> 2\text{mm}$ , paso a engrosar el % de elementos gruesos sin serlo. Explicando así el hecho de que en la salida a campo no se observarán prácticamente elementos gruesos en dichos horizontes.

A continuación (Fig.23) se representan gráficamente la cantidad de elementos gruesos presentes en los perfiles, por horizontes.

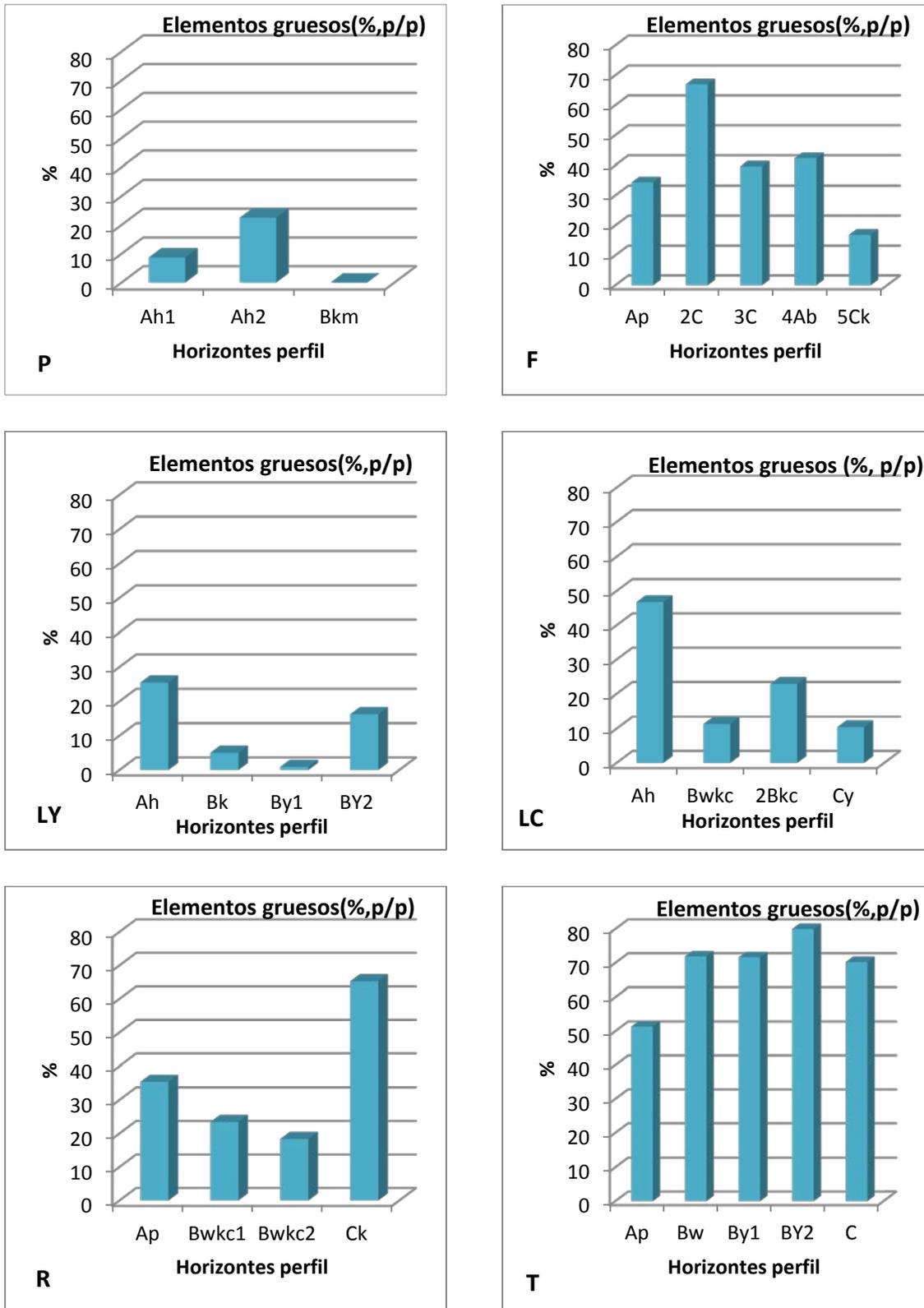


Fig. 23. Representación del porcentaje en peso de elementos gruesos de cada uno de los perfiles, por horizonte.

\* No aparece el porcentaje de elementos gruesos en el horizonte petrocálcico del perfil Plataforma debido a que todo este horizonte es una costra generalizada caliza.

#### **5.4.1.3.-TEXTURA Y GRANULOMETRÍA:**

En el presente estudio, la clase textural que predomina en todos los perfiles es la franca (Fig. 24). Salvo en los perfiles "Ladera Caliza" y "Terraza" que al aumentar la profundidad la textura tiende a ser arenosa. Los horizontes más superficiales de perfil "Ladera Yesosa" presentan textura franco-limosa.

La fracción predominante en los perfiles estudiados es la arena, dentro de la cual la arena fina es la mayoritaria. La cantidad de limo y arcilla depende del material parental y de la edad del perfil, así en los perfiles de mayor edad y formados sobre calizas terciarias, como el perfil "Plataforma", se observa un mayor contenido de arcilla y limo fino en todos sus horizontes, mientras que en los más jóvenes formados sobre materiales cuaternarios como el perfil "Terraza", el contenido es mínimo (Fig.25).

Aznar et al., (2013) describió Gipsisoles desarrollados sobre yesos miocenos en el Valle Medio del Ebro, los cuales presentaban características similares a los suelos con yeso de este estudio. En ellos aparecían yesos secundarios microcristalinos, en suelos con predominio de texturas limosas ocupando todo el volumen del horizonte en el que se encontraban y formados por la erosión de la roca de yeso en procesos explicados por Herrero et al., (1992).

En el perfil "Ladera Yesosa", rico en yeso microcristalino o farináceo, se observa un aumento del porcentaje de la fracción limosa respecto al resto de perfiles, procedente de la meteorización del material yesífero que conforma ese suelo. Mientras que en los perfiles "Terraza" y "Ladera Caliza", en las que el yeso aparece como cemento geopetal bajo los elementos gruesos y como yeso vermiforme respectivamente, la textura tiende a ser más gruesa, con un aumento significativo de la fracción arena fina.

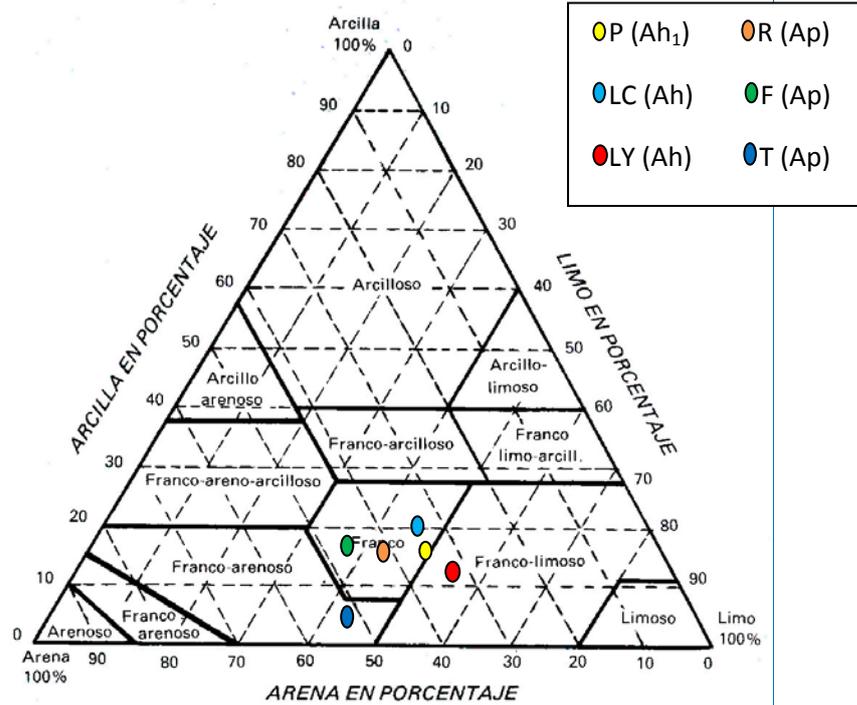


Fig. 24. Diagrama triangular USDA con la clase textural de los horizontes superficiales de los perfiles.

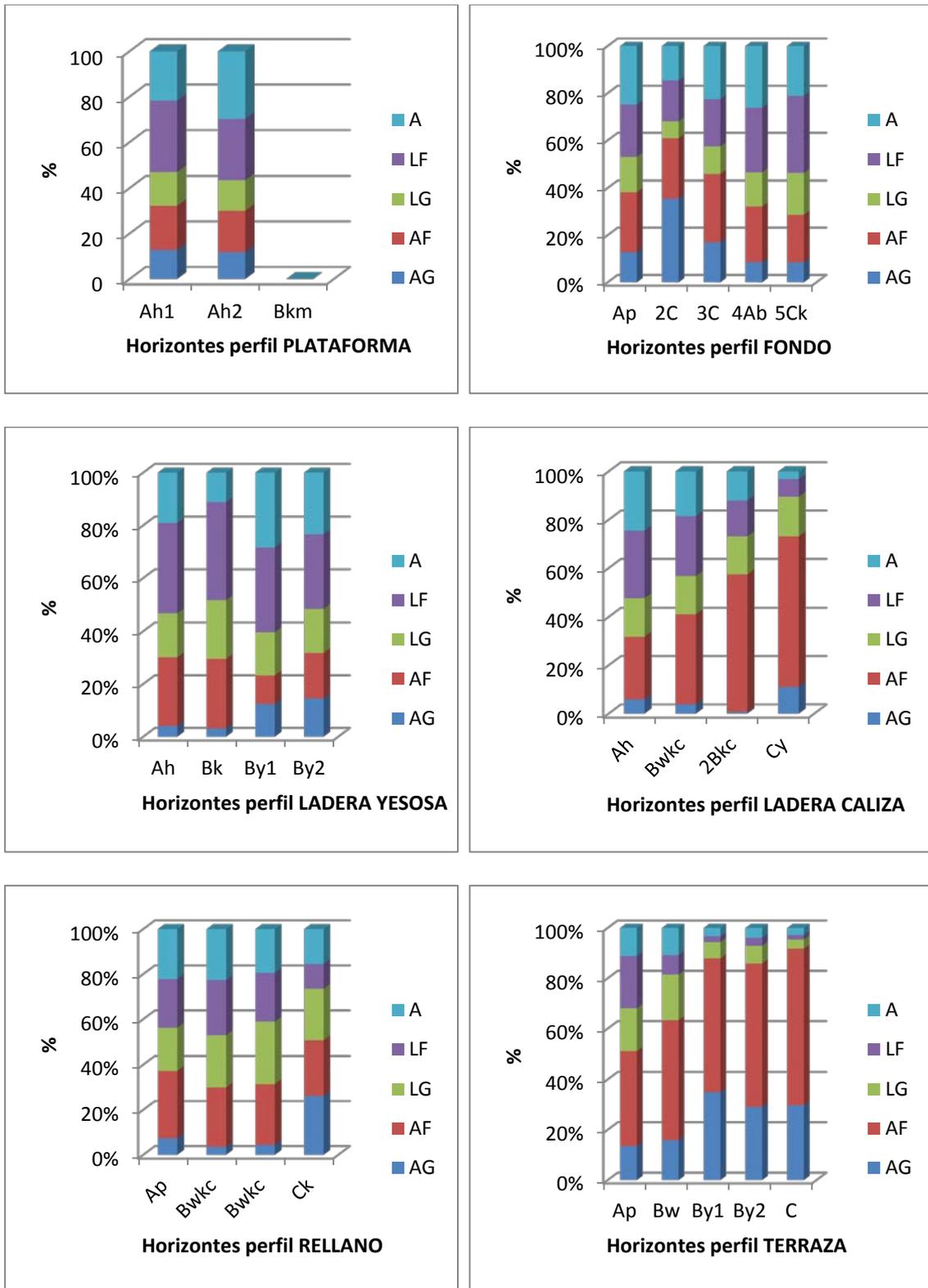


Fig. 25. Representación de las fracciones granulométrica (% p/p) por perfiles. (AG: Arena gruesa; AF: Arena fina; LG: Limo grueso; LF: Limo fino; A: Arcilla).

El comportamiento del suelo es la respuesta a la acción combinada de las distintas fracciones granulométricas, que interaccionan entre ellas y con la materia orgánica. El suelo no es una simple mezcla de partículas, puesto que en los suelos con texturas desequilibradas y pobres en materia orgánica, el predominio de una de las fracciones puede resultar determinante (Palacio, 2007).

La clase textural de cada horizonte condiciona la capacidad de retención del mismo. Las texturas arcillosas dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y de nutrientes debido a la microporosidad y a su elevada capacidad de intercambio catiónico. Aunque retengan agua en cantidad presentan una permeabilidad baja, salvo que estén bien estructurados y formen un buen sistema de grietas.

La textura arenosa es la contrapuesta a la arcillosa, pues cuando en superficie hay una textura arenosa los suelos se conocen como ligeros, dada su escasa plasticidad y facilidad de trabajo. Presenta una excelente aireación debido a que las partículas dominantes de gran tamaño facilitan la penetración del aire. Únicamente cuando se producen lluvias intensas se puede producir encharcamiento o escorrentía, momento en el que la erosión laminar es muy importante. La acumulación de materia orgánica es mínima y el lavado de los elementos minerales es elevado.

La textura limosa presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se apelmazan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua. Es fácil la formación de costras superficiales que impiden la emergencia de las plántulas.

Las texturas francas o equilibradas al tener un mayor equilibrio entre sus componentes, gozan de los efectos favorables de las anteriores sin sufrir sus defectos, el estado ideal sería la textura franca y a medida que nos desviamos de ella se van mostrando los inconvenientes derivados.

#### **5.4.1.4.-ESTRUCTURA:**

Una de las propiedades edáficas que permite diferenciar un suelo del material geológico es la estructura (Porta et al., 2003). El desarrollo estructural en los horizontes superficiales es fuerte o moderado en casi todos los suelos a lo largo de la toposecuencia, debido al mayor contenido de arcilla que presentan estos horizontes y al manto vegetal que se sustenta sobre ellos.

Existe una excepción, que se corresponde con horizonte Ap del perfil "Terraza" con desarrollo estructural muy débil en la que se acumulan materiales finos sobre matriz arenosa.

De tipo granular, migajosa en las estructuras fuertes y generalmente en bloques angulares y subangulares en las moderadas.

El grado de estructuración disminuye en profundidad, pasando a tener un desarrollo débil o muy débil, al mismo tiempo que disminuye el contenido en materia orgánica y se incrementa el contenido de elementos gruesos. Aumenta así el grado de apedialidad, apareciendo los horizontes que conservan la morfología del material parental heredado.

Los horizontes más profundos de los perfiles "Plataforma" y "Ladera Yesosa" presentan estructuras masivas por la abundancia de carbonato y yeso respectivamente.

#### **5.4.1.5.-COMPACIDAD:**

La mayoría de los horizontes superficiales presentan una compacidad baja pero aumenta en profundidad, conforme nos acercamos al material parental. En los horizontes C la compacidad es fuerte, lo que podría suponer una barrera al paso del sistema radicular. La escasez de materia orgánica y la abundancia de limos, poco estructurantes, entre otros, ha podido ser la causa de la alta compacidad en estos horizontes.

Como consecuencia de la abundancia de elementos gruesos y del bajo contenido de arcilla, los horizontes del perfil "Terraza" y el horizonte Ck del perfil "Rellano", se alejan del comportamiento del resto de los suelos estudiados y presentan una baja compacidad en las zonas más profundas del perfil.

#### **5.4.1.6.-ACUMULACIONES SECUNDARIAS:**

Las acumulaciones secundarias encontradas en los suelos de la toposecuencia corresponden a carbonato cálcico y yeso.

Al comienzo de la toposecuencia, en la plataforma, aparece una costra caliza generalizada, constituyendo un horizonte petrocálcico (Bkm). Conforme descendemos la ladera, el carbonato cálcico que se disuelve por lavado, se transloca y moviliza hasta cierta profundidad en donde se acumula adoptando diferentes morfologías. Se manifiesta claramente en el perfil "Ladera Caliza", en el horizonte Bwkc en forma de nódulos de tamaño medio grueso y de forma difusa generalizada en el horizonte 2Bkc, ambos horizontes de diagnóstico cálcico. La misma morfología de carbonatos secundarios aparece en los horizontes Bwkc1 y Bwkc2 del perfil "Rellano". También aparece en forma de acumulaciones filiformes (pseudomicelios) relleno de poros y huecos de raíz, en el horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" y en 5Ck del perfil "Fondo". Y formando casquetes bajo la cara inferior de los cantos en el horizonte Ck del perfil "Rellano", es decir en forma de cemento geopetal.

En cuanto al yeso secundario, presenta también diversas morfologías en función del modelo de génesis que se ha producido en el suelo. Así en las laderas, horizonte Cy del perfil "Ladera Caliza", se ha podido producir la disolución de materiales con alto contenido en sulfato cálcico (margas y areniscas yesíferas) con precipitación inmediata de yeso (Badía et al., 2008). Las continuas disoluciones y precipitaciones homogeneizarían y purificarían el horizonte pasando a convertirse a hipergípsico. Encontramos este caso en los horizontes By del perfil "Ladera Yesosa", en el que aparecen

acumulaciones de yeso masivas que presentan un aspecto pulverulento y tacto harinoso (yeso farináceo). Por último en los horizontes más profundos del perfil "Terraza", el yeso precipitaría a partir de aguas superficiales enriquecidas en sulfato y calcio (Artieda, 1996; Herrero, 1991) presentándose como cemento geopetal o pendants fibrosos recubriendo los clastos poligénicos, abundando más en su base.



Foto 22. Morfología del yeso en el horizonte By de perfil "Terraza".

#### **5.4.1.7.-DENSIDAD APARENTE:**

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000).

Tiene interés desde el punto de vista de manejo del suelo porque es un buen indicador de propiedades importantes del suelo, como son: la compactación, porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, lo que condiciona la circulación de agua y aire en el suelo, los procesos de

establecimiento de las plantas (emergencia, enraizamiento) y el manejo del suelo.

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las plantas. En este trabajo los valores más bajos se corresponden con los horizontes más superficiales del perfil "Plataforma",  $835,2 \text{ kg/m}^3$  y  $947,3 \text{ kg/m}^3$  en los horizontes  $Ah_1$  y  $Ah_2$ , respectivamente, que presentan el contenido más alto de materia orgánica de todos los perfiles estudiados, buena estructura y con altos porcentajes de arcilla.

La densidad aparente en el horizonte petrocálcico del perfil "Plataforma", presenta un valores similares ( $2214 \text{ kg/m}^3$ ) a los obtenidos en otros horizontes petrocálcicos cercanos a la zona de estudio, en el desierto de los Monegros ( $2000\text{-}2400 \text{ kg/m}^3$ ), formados en el mismo período geológico y en un clima semiárido con características similares a la zona de estudio (Badía et al., 2012).

En cuanto a los valores más altos, se corresponden con los horizontes más profundos del perfil "Terraza", que presentan un débil o nulo desarrollo estructural, con bajo contenido en materia orgánica y textura arenosa. El horizonte C de este mismo perfil presenta un valor de  $1752 \text{ kg/m}^3$ , un valor relacionado con la alta pedregosidad.

El valor de la densidad aparente aumenta en todos los perfiles de forma progresiva con la profundidad, lo que se atribuye al descenso en el contenido de materia orgánica, a los cambios texturales y a la compresión que producen los horizontes suprayacentes. Se observa en el perfil "Fondo" un ligero desajuste en el valor de la densidad aparente, la cual desciende, coincidiendo con un cambio de la clase textural y un aumento en el contenido de la materia orgánica en los horizontes 3C y 4Ab (horizonte A enterrado de material aluvio-coluvial).

## **5.4.2.-PARÁMETROS QUÍMICOS:**

### **5.4.2.1.-REACCIÓN DEL SUELO O pH, RELACIÓN CON EL YESO Y EL CARBONATO CÁLCICO:**

Tanto la acidez real (pH al agua) como la acidez potencial (pH al KCl) oscilan entre valores que señalan los suelos estudiados como moderadamente básicos (pH de 7,9 a 8,4, suelos con alta concentración de carbonatos, que presentan deficiencias crecientes de cobalto, cobre, hierro, manganeso y zinc, y completamente saturado de bases) y ligeramente alcalinos para el resto (PH de 8,5 a 9,0, los cuales pueden deberse a la presencia de  $MgCO_3$  o  $Na^+$  intercambiable, típicos de zonas semiáridas o áridas como es la de estudio), según criterios del USDA (1980). Los valores de pH se encuentran entre 8 y 9, en todos los perfiles edáficos.

El pH del suelo expresa la actividad de los iones hidrógeno en la solución del suelo. Esto afecta la disponibilidad de nutrientes de minerales para las plantas así como a muchos procesos del suelo. En nuestros suelos con abundancia de carbonatos, un pH elevado puede influir en el número de microorganismos, encontrándose de una forma activa y superior (bacterias nitrificantes, fijadoras de N, etc.). Además puede verse afectada la solubilidad de especies químicas y por lo tanto la nutrición mineral de las plantas, pues en este tipo de suelos tal y como se ha comentado, elementos como Mn, Fe y Zn son poco solubles y por tanto serán difíciles de asimilar, disminuyéndose la disponibilidad de P y B. Todo ello tendrá consecuencias para el crecimiento vegetal, y por lo tanto delimitaciones para el cultivo de algunas especies sobre nuestros suelos.

Se ha observado que la presencia de yeso en el suelo tiende a hacer disminuir el pH, lo que causa un aumento de la solubilidad de algunos minerales, como fosfatos, óxidos e hidróxidos de hierro, cinc y manganeso (FAO, 1990).

Existe una correlación significativa y positiva entre el pH potencial y la concentración de carbonatos en los perfiles sin yeso, para los cuales la recta de regresión es:

$(\text{CO}_3\text{Ca eq}) = -362,55 + 53,37(\text{pH potencial})$ ,  $r^2 = 0,73$ , con un coeficiente de correlación  $r = 0,85$  ( $p < 0,01$ ),  $n = 12$ .

Mientras en los perfiles con yeso, el contenido de carbonatos presenta gran variabilidad, por lo que la relación con el pH potencial no se aprecia tan claramente y presenta la siguiente recta de regresión:

$(\text{CO}_3\text{Ca eq}) = -306,23 + 40,373(\text{pH potencial})$ ,  $r^2 = 0,31$  con un coeficiente de correlación  $r = 0,56$  ( $p < 0,05$ ),  $n = 13$ .

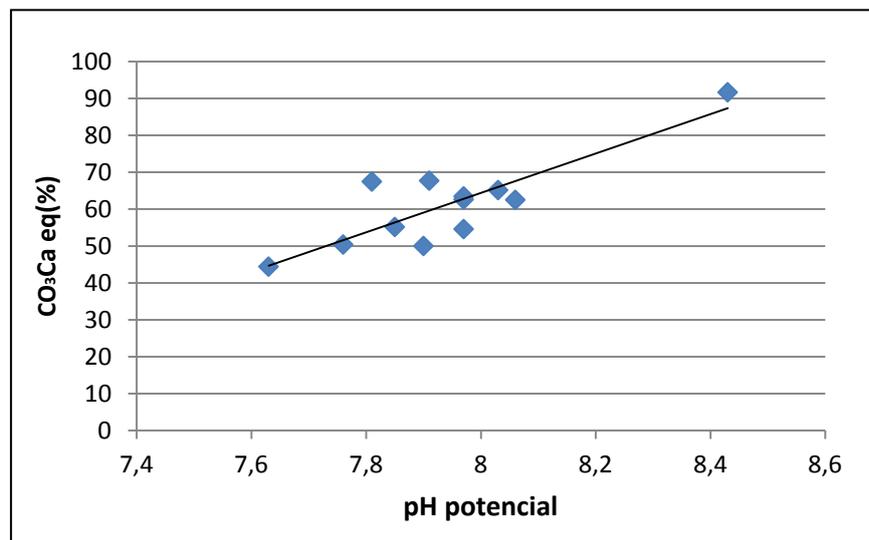


Fig. 26. Relación  $\text{CO}_3^{2-}$  y el pH potencial en perfiles sin yeso.

Al hablar de **carbonato cálcico equivalente** ( $\text{CO}_3\text{Ca eq}$ ), nos referimos tanto al carbonato cálcico, como al magnésico o al sódico; en este estudio no se han encontrado cantidades significativas de magnesio y sodio al analizar las muestras de suelo con el XRF portátil. Y los valores obtenidos en los análisis de los suelos de la toposecuencia estudiada no indican que existan suelos sódicos.

El carbonato cálcico de nuestros suelos proviene del material parental de naturaleza caliza. La precipitación de estos para dar lugar a las diferentes formas de los carbonatos secundarios en los horizontes de los perfiles es debida: a la desecación del suelo, a la disminución de la concentración de CO<sub>2</sub> con la profundidad y la reserva cálcica de estos suelos.

Los suelos estudiados contienen cantidades de carbonato cálcico muy altas, en general. Los valores más altos se dan en los suelos de mayor edad, el horizonte petrocálcico del perfil "Plataforma" es que el presenta el mayor valor dentro de este estudio. Las cantidades más bajas de carbonatos se localizaron en los horizontes que presentan yeso de los perfiles "Ladera Caliza", "Ladera Yesosa" y "Terraza".

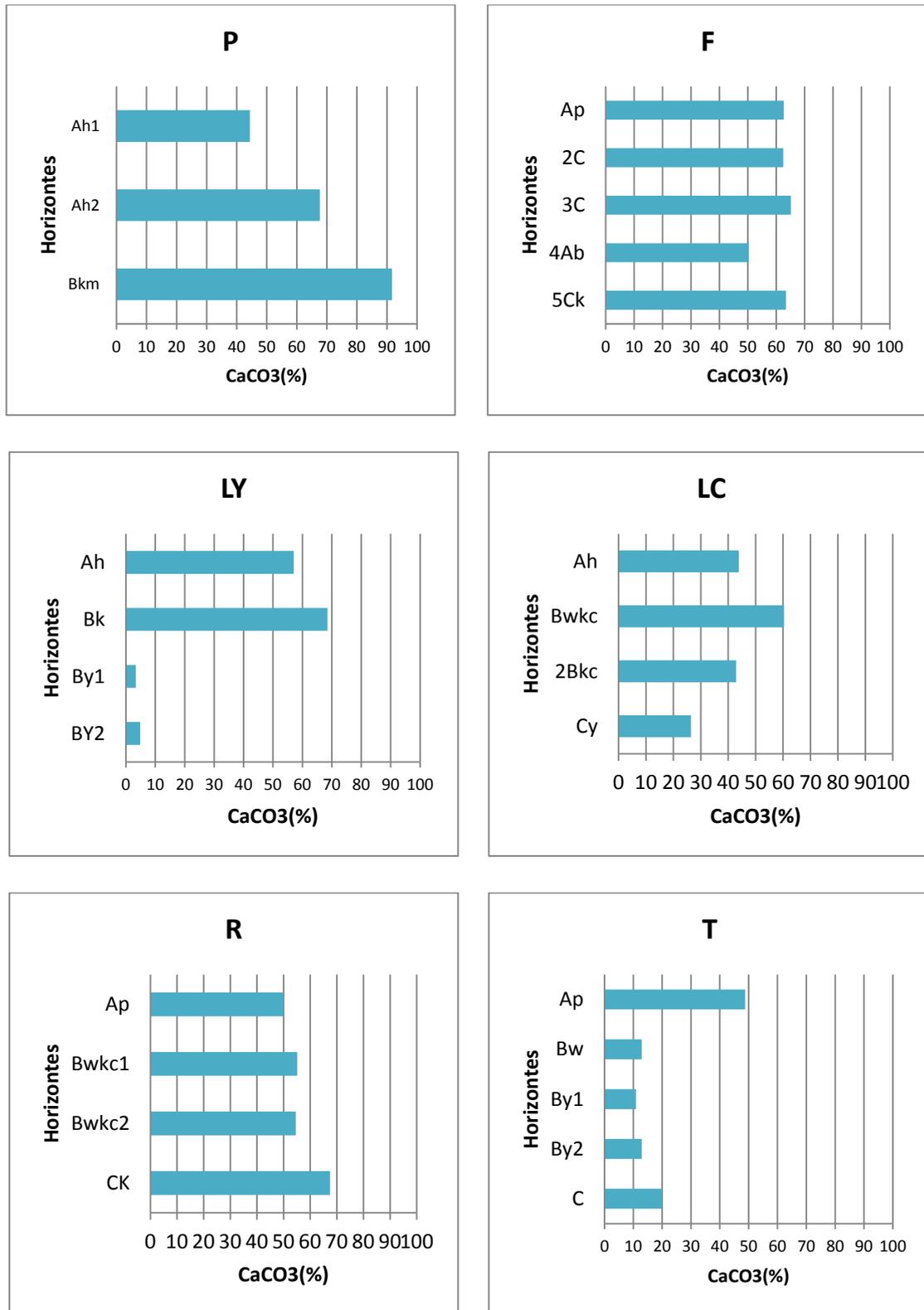


Fig.27. Distribución de carbonato cálcico equivalente por perfiles.

Hay una correlación inversa entre los niveles de carbonato equivalente y de yeso equivalente (FAO, 1990). Boyadgiev (1974) intentó explicar este fenómeno basándose en las formas del carbonato y del yeso y

en la presencia de sales solubles en los suelos, encontrando que para formas pulverulentas de yeso y carbonato cálcico la relación es significativa, y se expresa por la ecuación:

$$\% \text{Yeso} = 100 - 1,281 \cdot \% \text{CaCO}_3$$

Mientras que para yeso de tamaño arena y carbonatos en forma de nódulos, o cuando aparecen sales solubles, la relación entre el yeso y el carbonato no llega a ser significativa. Sanchis et al., (1994) encuentran un claro antagonismo entre los valores que registran los carbonatos totales frente al contenido en yeso en margas yesosas en la provincia de Castellón. Vieillefon (1976) encontró en Túnez una relación negativa entre el contenido de yeso y el carbonato cálcico en suelos con capas de yeso superficiales o con incrustaciones de yeso. En el presente trabajo se ha encontrado en los perfiles de yeso que esto se cumple con un coeficiente de correlación  $r=0,96$  ( $p<0,01$ ),  $n= 13$ , para la recta:

$$\% \text{Yeso} = 132,96 - 32,87 \cdot \ln (\% \text{CO}_3^{-2}); r^2 = 0,93$$

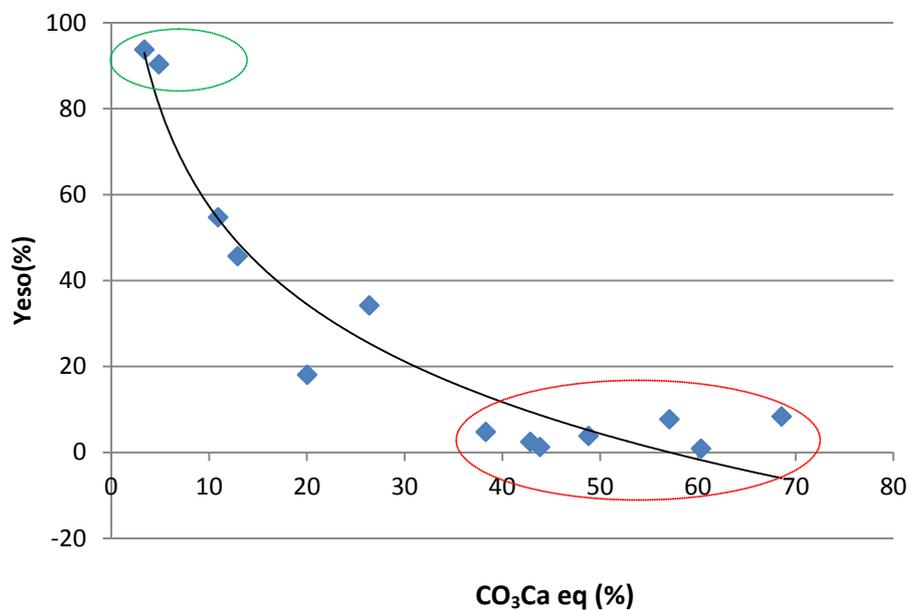


Fig. 28. Relación yeso – carbonato cálcico equivalente.

Se observa que en la parte baja de la gráfica se concentran los valores de los horizontes que no presentan o que contienen poca proporción

de yeso (señalados en rojo) y en la parte más alta de la gráfica aparecen los horizontes con gran cantidad de yesos y pocos carbonatos (señalados en azul).

Se ha cuantificado el valor de la **caliza activa** en los suelos estudiados, que se corresponde con la fracción de carbonatos susceptible de solubilizarse en el agua carbónica (solución acuosa de CO<sub>2</sub>) que existe en el suelo (Porta et al, 1956). El cálculo se ha realizado mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ caliza activa} = 0,221 \cdot (\% \text{ CaCO}_3 \text{ eq}), \text{ (Badía et al., 2006)}$$

Caliza activa(% CCE)	Calificativo
<6	Bajo
6-9	Medio
>9	Alto

Tabla 25. Norma de diagnóstico de la caliza activa (Yanez, 1989).

En los suelos estudiados los valores de caliza activa son altos en su mayoría. Solo los horizontes con yeso presentan valores bajos.

Estos niveles altos de caliza activa serán contraproducentes para la fertilidad ya que entonces en la solución del suelo abundarán los iones Ca<sup>2+</sup> o Mg<sup>2+</sup> (ambos predominarán en el complejo de cambio) y HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, los cuales condicionarán la asimilabilidad de otros elementos nutritivos. Aspecto que habrá de tenerse en cuenta en los suelos estudiados a la hora de implantar cultivos muy sensibles a la actividad de cualquiera de los iones mencionados como pueden ser viñedos y frutales (la caliza activa condicionarará la elección del pie).

#### **5.4.2.2.-MATERIA ORGÁNICA, NITRÓGENO TOTAL Y RELACIÓN C/N:**

La cantidad de materia orgánica (MO), expresada en porcentaje, indica la cantidad de restos orgánicos que se encuentran alterados y que por lo tanto pueden aumentar el contenido de nutrientes del suelo.

Estos suelos presentan un contenido de materia orgánica medio en los horizontes superficiales y bajo e incluso muy bajo en el resto de horizontes. El porcentaje de materia orgánica en los horizontes superficiales a lo largo de la toposecuencia oscila entre 1,86 % del perfil "Terraza" y un 5,85 % del perfil "Plataforma".

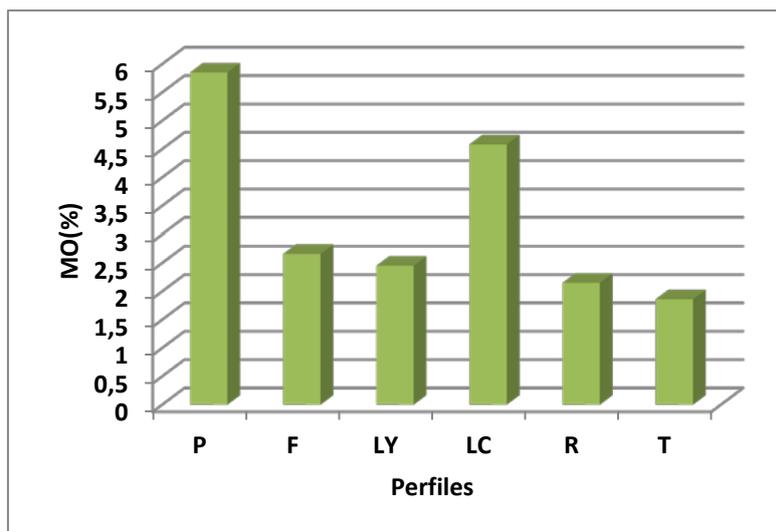


Fig.29. Contenido en porcentaje de materia orgánica en los horizontes superficiales de cada perfil.

Conforme bajamos en profundidad el contenido en materia orgánica disminuye. En el perfil "Fondo", sufre oscilaciones y el contenido (60-115 cm) de materia orgánica refleja la presencia del horizonte superficial enterrado a 90 cm de profundidad. Este aumento en la cantidad de materia orgánica se ha producido por procesos de coluviamiento que aportan materiales desde la ladera. En el perfil "Rellano" también se observa un ligero incremento en profundidad del contenido de materia orgánica probablemente producido también por aportes de materiales desde posiciones más elevadas.

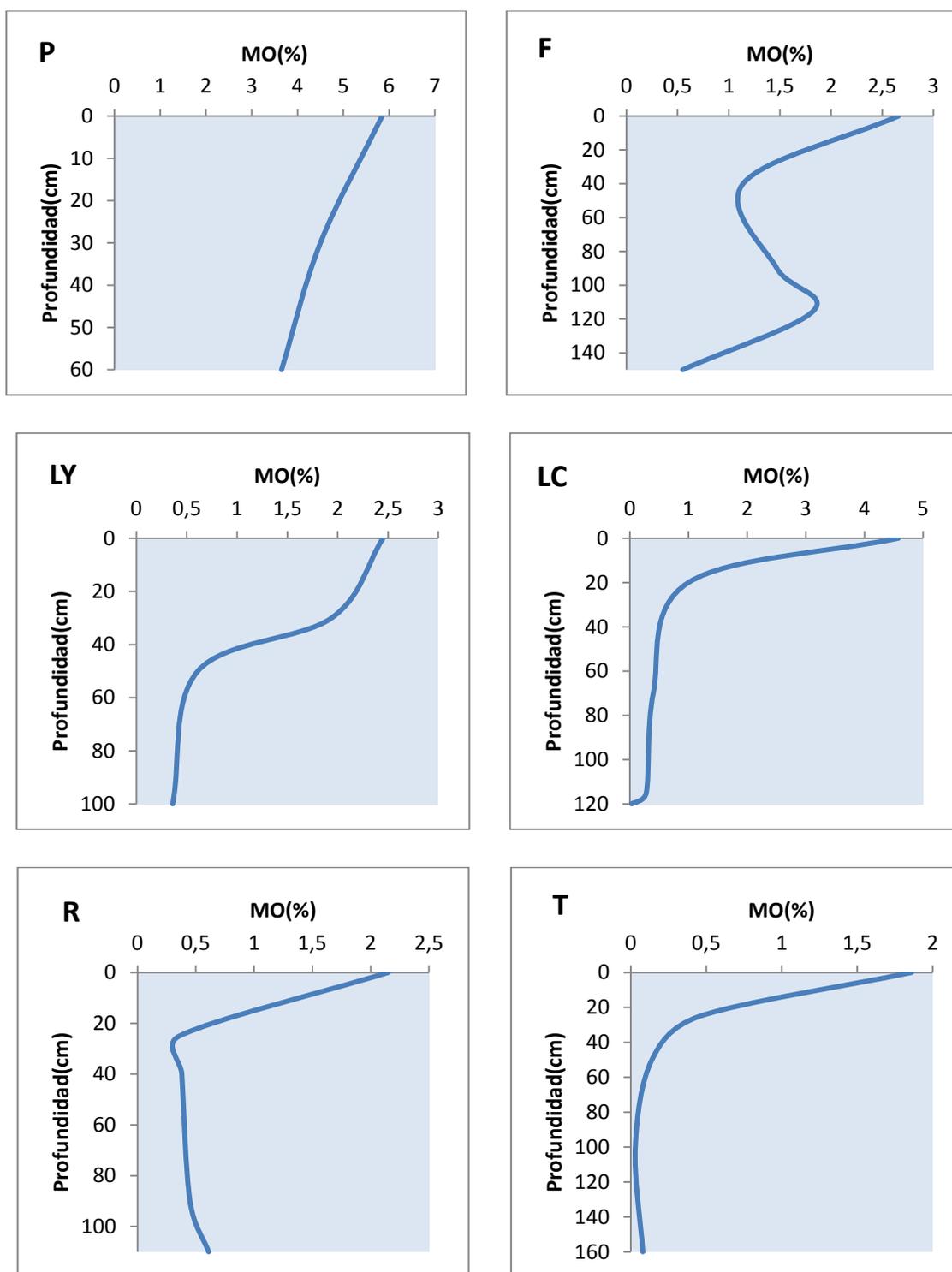


Fig.30. Distribución de la materia orgánica en profundidad en los perfiles.

En suelos calcáreos como los de este estudio, los carbonatos dificultan la descomposición de la materia orgánica ya humificada, puesto que la envuelven sustrayéndola de la actuación de los microorganismos. Jacquin (1977) sostiene que un nivel óptimo para un suelo calcáreo debe

contener del orden del 3 % de materia orgánica. Por lo que desde un punto de vista agronómico interesa que en los suelos exista una cierta cantidad de materia orgánica mineralizable ya que ésta es la que proporcionará a la biomasa edáfica la energía necesaria para mantener una actividad vital adecuada y la que liberará los nutrientes necesarios para la planta; por lo que los suelos calizos deben poseer unos niveles más altos de materia orgánica para compensar, con la cantidad, su inferior ritmo de mineralización (Monnier, 1989).

La materia orgánica tiene un efecto positivo sobre la fertilidad ya que interviene en la configuración de numerosas características físicas y químicas del suelo, como por ejemplo la CIC, la unión a partículas de limo y arcilla para dar estabilidad, aumenta el agua disponible en el suelo, favorece la asimilabilidad de elementos nutritivos, libera nutrientes asimilables por las plantas (mineralización), etc.

Las cantidades de nitrógeno mineral pueden considerarse despreciables frente al contenido de nitrógeno total, por lo que su determinación se considera irrelevante para la determinación de la fertilidad de un suelo (Goundy y Huguet, 1968). El nitrógeno orgánico constituye pues la fracción más importante de este elemento en el suelo.

Los niveles de nitrógeno orgánico son bajos en los horizontes superficiales de los suelos más jóvenes, perfiles "Terraza" (0,08 g/kg) y "Fondo" (0,11g/kg), aumentando hasta los niveles medios en los suelos de mayor edad, resto de perfiles.

Hay una correlación significativa y positiva entre el contenido de nitrógeno total (mayoritariamente orgánico) y la materia orgánica, como se indica a continuación:

$$\% \text{ N total} = 0,0279 \cdot (\% \text{ MO}) + 0,045$$

$$R^2 = 0,8427, r = 0,9179 (p < 0,01); n = 6$$

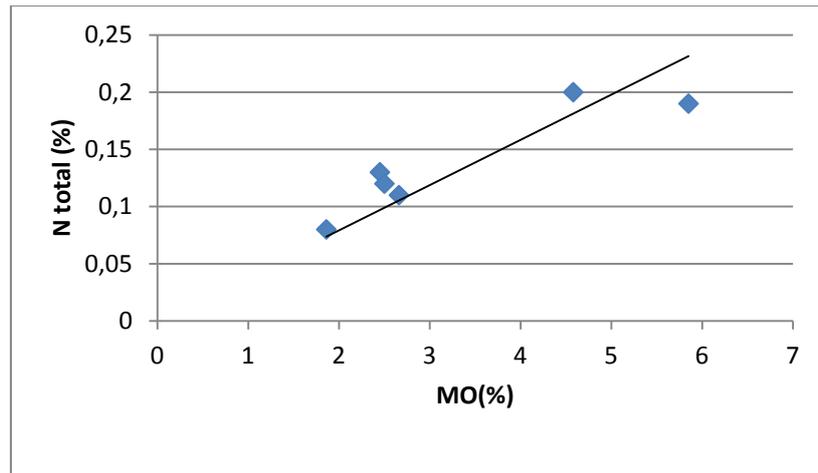


Fig.31. Regresión lineal entre el nitrógeno total(N total) y la materia orgánica en porcentaje.

Conociendo el contenido de carbono orgánico y el de nitrógeno total, se puede calcular la relación C/N, índice del que puede deducirse el tiempo que tarda en mineralizarse la materia orgánica. El carbono es el principal componente de la materia orgánica, mientras que el nitrógeno se encuentra en ella en una proporción mucho menor. Por tanto, una relación C/N alta está indicando que hay mucha materia orgánica sin descomponer, y por lo consiguiente el ritmo de mineralización de la materia orgánica es bajo. En suelos agrícolas y horizontes órgano-minerales de suelos forestales, los valores habituales de la relación C/N están comprendidos entre 8 y 12.

Los suelos estudiados presentan una alta relación C/N, cuyos valores oscilan entre 10,39 en el perfil "Rellano", hasta 14,02 en el perfil "Fondo". La relación C/N es muy alta en el perfil "Plataforma", con un valor de 17,84, debido a las condiciones de aridez de la zona y a la calidad de la hojarasca.

#### **5.4.2.3.-SALINIDAD:**

La C.E. proporciona una medida directa de la influencia de la salinidad sobre las plantas (Richards, 1982). La salinización del suelo ocurre cuando estas sales se acumulan en cantidades suficientes logrando interferir de forma negativa en la mayoría de cultivos. En general se consideran suelos salinos aquellos en los que la C.E.<sub>e.s.</sub> supera los 4 dS/m.

En plantas no halófitas, la presencia de sales en el suelo puede provocar retardo en la nascencia, menor área foliar y talla de la planta, menor producción de materia seca, disminución en los rendimientos de los cultivos, etc.

En los suelos de este estudio existe una tendencia general a aumentar el valor de la conductividad eléctrica conforme se desciende en profundidad en casi todos los perfiles, sobre todo se observa de manera notable en aquellos en los que presentan yeso en los horizontes de mayor profundidad.

La determinación de la salinidad mediante la conductividad eléctrica del extracto acuoso resolvió que los suelos de los perfiles "Plataforma", "Rellano" y "Fondo" presentaban valores muy bajos de conductividad eléctrica y por tanto de sales. Esto es consecuencia de que el material parental, calizas arenosas y areniscas calcáreas, carecen de salinidad.

La conductividad eléctrica en los perfiles con yesos está condicionada por la conductividad del yeso, que es de unos  $2 \text{ dS m}^{-1}$  y los valores obtenidos son muy próximos a éste, pudiendo considerar que los suelos de este estudio son suelos no salinos. Tan solo el horizonte  $\text{By}_2$  perfil "Ladera Yesosa" que se encuentra situado a más de 100 cm de profundidad alcanza unos valores algo más altos pero ello no condiciona que ese perfil sea salino.

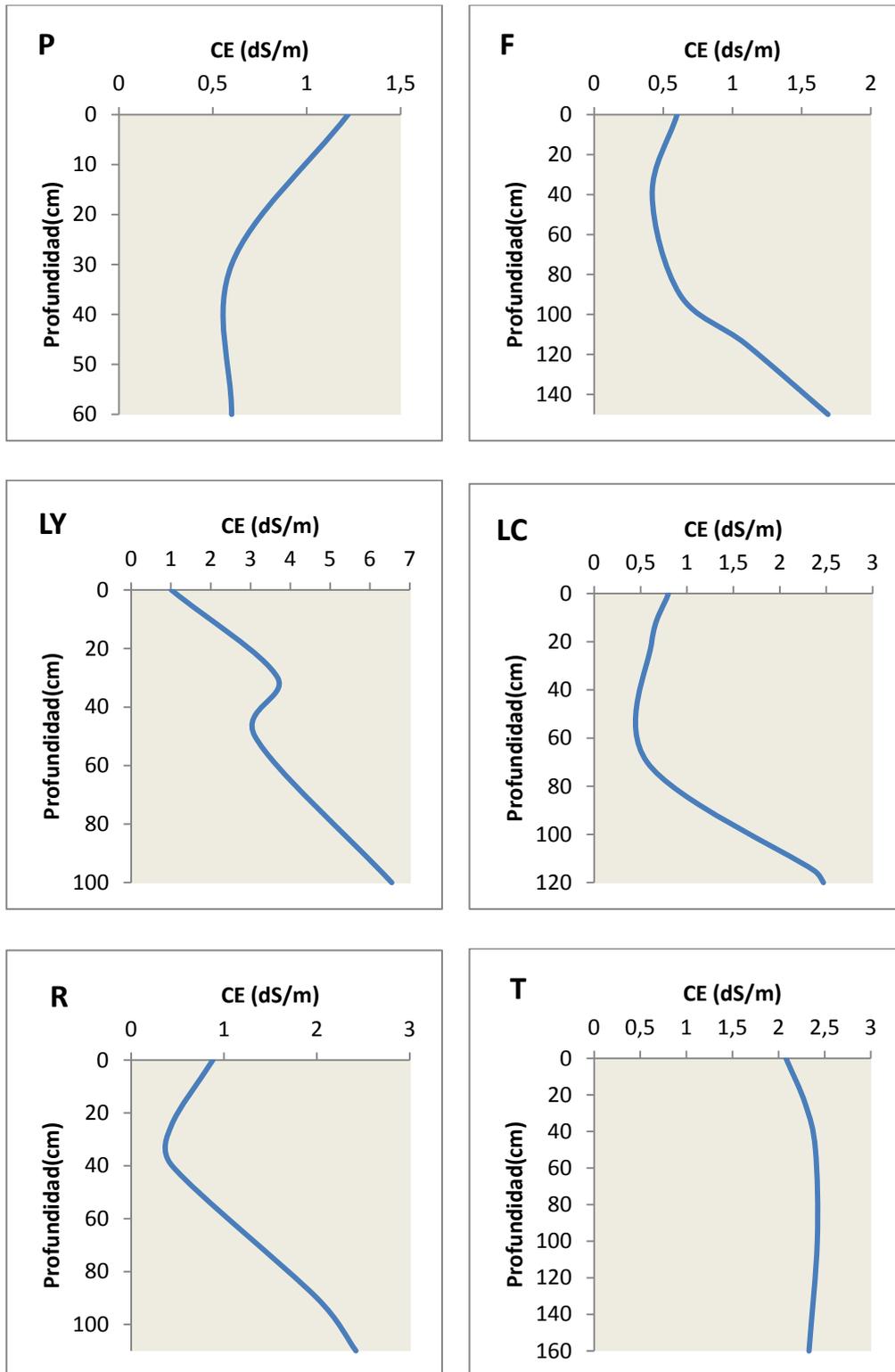


Fig. 32. Valor de la conductividad eléctrica en profundidad en los perfiles.

#### **5.4.2.4.-EL FÓSFORO Y EL POTASIO:**

En este estudio, los valores más bajos de fósforo aparecen en el horizonte más superficial del perfil "Ladera Yesosa" (2,92 mg/kg) y los más altos en el perfil "Plataforma" (10,68 mg/Kg). En general, los suelos yesosos son pobres en fósforo (Badía y Martí, 1995), y además su disponibilidad será baja debido a los niveles de pH básicos de estos suelos.

El fósforo Olsen indica la cantidad de fósforo que está directamente relacionada con la que extraen las plantas durante la estación de crecimiento: el fósforo "asimilable" o "fácilmente soluble".

Las plantas utilizan el fósforo en forma activa, y se encuentra en las sedes de intercambio y en la solución del suelo. En suelos básicos el fósforo se inactiva fácilmente en formas insolubles, y no está en disposición para las plantas.

Los niveles de potasio de los horizontes superficiales son muy bajos, en general, salvo en los perfiles "Plataforma" y "Fondo" que es bajo.

Las plantas absorben el potasio que se encuentra en la solución del suelo en forma del catión  $K^+$ . La cantidad de K en la solución del suelo depende de la liberación del potasio intercambiable, generalmente localizado alrededor de las partículas de arcilla.

En suelos con gran cantidad de carbonato cálcico como los de este estudio, el calcio presenta un claro efecto antagónico respecto al potasio que puede dar a situaciones de deficiencia potásica por exceso de calcio activo.

Los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo y la falta de éste elemento, influye negativamente en el rendimiento y calidad del cultivo. Además, la deficiencia de potasio aumenta la vulnerabilidad del cultivo a enfermedades y lo hace menos resistente a condiciones de "stress" tales como sequías, heladas etc.

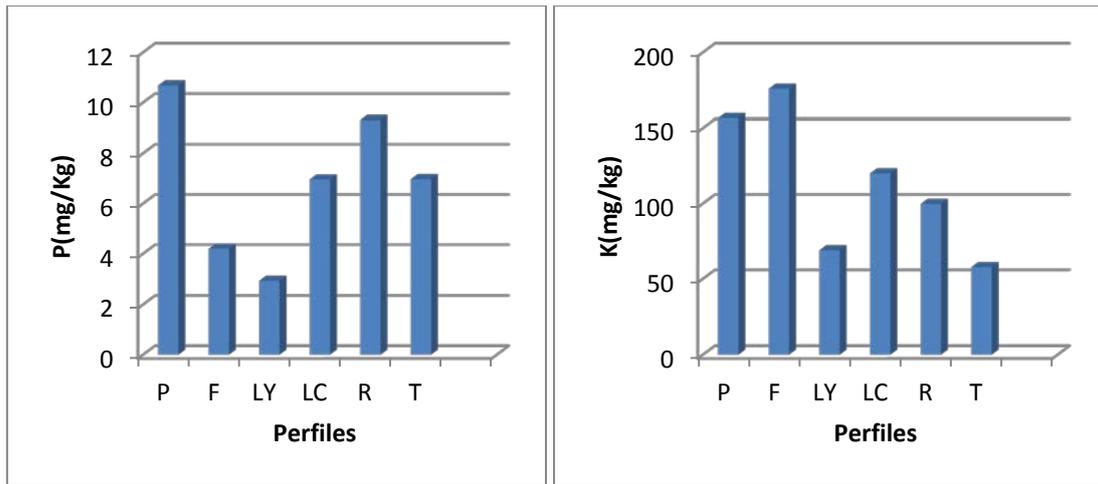


Fig.33. Representación de los niveles de fósforo y potasio, en  $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ , en los horizontes superficiales de los perfiles estudiados.

## **5.5.-GÉNESIS DEL SUELO:**

### **5.5.1.-FACTORES FORMADORES DEL SUELO:**

#### *- Relación suelo-clima:*

El clima tiene una acción directa sobre la humedad y la temperatura del suelo y una acción indirecta a través de la vegetación. Es un factor activo en la edafogénesis que condiciona el tipo de procesos posibles y su intensidad.

En la zona de estudio, el régimen de temperatura del suelo es considerado térmico y el régimen de humedad fluctúa entre arídico y xérico. Esto supone que la capacidad de almacenamiento de agua de los suelos estudiados generalmente no llega a superarse, por lo cual no existirá un exceso de agua que se infiltre y percole a través del perfil edáfico.

Además hay que considerar la pendiente de los perfiles que ocupan la posición geomorfológica de ladera, la orientación sur de esta que le otorga una mayor radiación solar incidente, la rugosidad del terreno y la cubierta vegetal que influirán en la escorrentía y por consiguiente en la infiltración del agua en el suelo (Badía et al., 2007).

Con estas condiciones hídricas y térmicas, se producen procesos de meteorización por disolución que afectan a los carbonatos y yesos del material original.

En estos suelos como consecuencia de las condiciones de aridez de la zona y por consiguiente de la baja productividad vegetal, se produce poca descomposición de la materia orgánica.

- *Material original:*

El material original condiciona las características del suelo: Textura, color, pH, contenido de carbonatos, infiltración, etc.

Claridge y Campbell (1982) exponen que en climas semiáridos se imponen muchas propiedades del material parental de los suelos, limitando las reacciones físicas y químicas. Los suelos estudiados se desarrollan sobre materiales sedimentarios del Terciario (calizas, areniscas, yesos y margas) o del Cuaternario (depósitos de ladera y de fondo de valle). Material que unido a las escasas precipitaciones de la zona aseguran la presencia de carbonatos y yesos en nuestros suelos ya que estos no pueden ser lavados del perfil edáfico.

- *Relación suelo-paisaje:*

La expresión de la geomorfología del área de estudio y la posición que ocupa la toposecuencia en el paisaje configuran el suelo, de manera que se establecen relaciones directas entre la distribución del suelo y su posición. La importancia de la inclinación, orientación, longitud y fisiografía condicionan a través de los procesos formadores la conformación de los suelos de la toposecuencia.

En la plataforma (perfil "Plataforma"), los suelos están limitados por el contacto lítico de la costra caliza. Al estar en una zona elevada no recibe aporte de materiales.

En los perfiles que se encuentran en laderas (perfiles "Ladera Caliza" y "Ladera Yesosa"), se dan procesos erosivos y los materiales arrastrados se depositan en las zonas bajas de la misma o en rellanos estructurales (perfil

"Rellano") situados en la zona central de La Plana de Mequinenza. Estos presentan horizontes subsuperficiales cálcicos o gípsicos.

Las partes basales de las laderas, aparecen los fondos de valle (perfil "Fondo"), que reciben el aporte de los materiales arrancados ladera arriba, originando suelos profundos.

En las proximidades al río Segre, se encuentran los suelos de las jóvenes terrazas aluviales (perfil "Terraza"), formados por depósitos de sedimentos. Estos suelos presentan elevados espesores y abundante pedregosidad en profundidad.

- Factores biológicos:

En zonas semiáridas como la llevada a estudio, aparece actividad de la fauna, en especial anélidos, a cierta profundidad debido a la falta de humedad de los horizontes superficiales. Estos organismos del suelo abren vías de circulación para el agua y el aire, incorporan materia orgánica en profundidad y disgregan la materia mineral. Además, el sistema radicular de las plantas al penetrar en los diferentes materiales que conforman un suelo favorece la movilización de carbonatos y yesos.

La melanización en los horizontes superficiales, da lugar al oscurecimiento del suelo por la evolución de restos orgánicos frescos hacia formas complejas (humus), con la participación de los microorganismos.

- El tiempo de formación de los suelos:

La edad del suelo expresa el tiempo durante el cual han actuado los procesos formadores. Los suelos más evolucionados, de mayor edad, formados por materiales terciarios durante el Oligoceno Superior y parte del Mioceno se encuentran en las cotas más altas ocupadas por la plataforma del Montnegre. Mientras que los suelos más jóvenes se encuentran en las proximidades del cauce del río Segre, formados durante el Pleistoceno Medio y el Holoceno.

En suelos próximos a la zona de estudio, se observó que el desarrollo del perfil evoluciona rápidamente en un primer momento para ir ralentizándose con el tiempo (Palacio, 2007). Mostrando cambios de color,

textura, mineralogía, etc. y un incremento en profundidad en la acumulación de carbonatos secundarios en los perfiles.

### **5.5.2.-PROCESOS FORMADORES:**

La formación del suelo es el resultado de la acción combinada de muchos procesos integrados por una serie de reacciones y redistribuciones de materia. Los procesos formadores que dan lugar a un suelo concreto son aquellos que resultan compatibles con los factores formadores que prevalecen en un lugar y momento determinados y que se prolongan a lo largo del tiempo. Condicionan tanto el tipo de procesos como la velocidad de cada uno de ellos.

Los procesos formadores más importante en desarrollo de los suelos de esta toposecuencia de la Plana de Mequinenza son los siguientes:

#### 1. TRANSFORMACIONES:

Corresponden a los procesos que producen cambios de composición y forma de los compuestos orgánicos y/o inorgánicos que afectan a los suelos.

##### 1.1. Meteorización:

###### - *Alteración de calizas:*

Tal y como se ha comentado en puntos anteriores, los suelos estudiados presentan a lo largo de toda la toposecuencia un elevado contenido de carbonato cálcico. Su meteorización química se va a ver condicionada por la solubilidad de los carbonatos que presenta el material parental. Esta degradación de las calizas da lugar a la aparición de partículas cada vez más pequeñas, facilitando su disolución al incrementar el área superficial.

- Alteración en los yesos:

La disolución es uno de los procesos que pueden influir en la alteración del yeso que aparece en algunos de los perfiles de este estudio. La solubilidad del yeso depende de un modo importante de la temperatura, del pH y de la concentración de otras sales. La presión del CO<sub>2</sub> interviene también cuando en medio hay carbonatos como ocurre en los suelos de esta toposecuencia, ya que al aumentar la disolución de éstos, aumenta la concentración de Ca<sup>2+</sup> disminuyendo la solubilidad del yeso por el efecto del ión común.

- Alteración de lutitas:

En los suelos estudiados, la edafización de los materiales lutíticos está causada principalmente por procesos de translocación de yesos y carbonatos. La precipitación y crecimiento de yeso lenticular en poros provoca una rotura que favorece la penetración tanto de raíces vegetales como de agua. En el entorno de la raíz se producen procesos químicos que provocan la descalcificación de la lutita aumentando su porosidad y facilitando el crecimiento del yeso. En el perfil "Ladera Yesosa" de este estudio, la meteorización de las lutitas yesíferas ha dado lugar a un horizonte By hipergípsico microcristalino, formado por yeso farináceo tras procesos de disolución/recristalización del yeso, además de cierta movilización de carbonatos que se puede considerar contemporánea a la movilización del yeso, ya que los rasgos calcíticos impregnan a los yesíferos.

1.2. Transformaciones orgánicas:

- Acumulación, mineralización y melanización:

Se produce una acumulación, o adición orgánica, con los aportes de la vegetación a la superficie del suelo (restos vegetales) que serán descompuestos por microorganismos permitiendo, así, el enriquecimiento del suelo en cuanto a materia orgánica (mineralización), dando lugar a un conjunto de productos conocidos como humus. La transformación sufrida por los horizontes orgánicos superiores del suelo hasta convertirse en humus se llama humificación y el progresivo oscurecimiento de los

horizontes edáficos superficiales producido por la incorporación orgánica se conoce como melanización.

- Edafoturbación:

En nuestros suelos los materiales sufren cambios posicionales y efectos por la acción de la meso y macrofauna existente; se trata, por tanto de bioturbación.

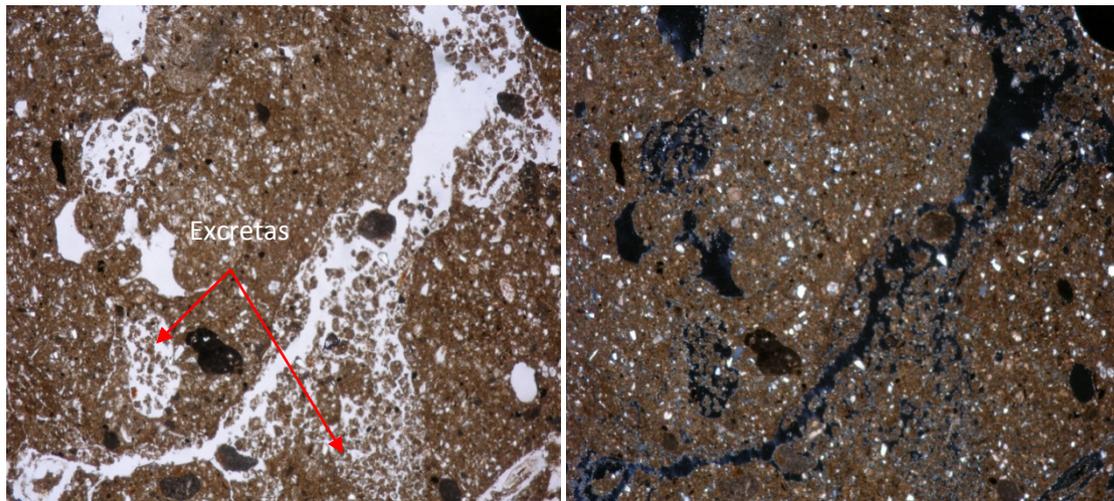


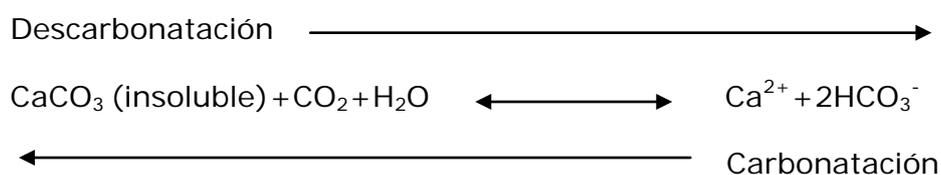
Foto 23 y 24. Actividad de la fauna muy abundante como canales y galerías rellenos, excrementos y rasgos de paso de fauna en la zona de transición entre el horizonte Ah y el Bk (15-35 cm) del perfil "Ladera Yesosa". Fotografía tomada con polarizadores paralelos PPL (izquierda) y polarizadores cruzados XPL (derecha), 6,1 mm.

## 2. TRANSLOCACIONES:

Corresponde a un cambio de posición de un componente y la consiguiente acumulación dentro del perfil, lo que supone la concentración de materiales en ciertos puntos o niveles en el interior del suelo. En la zona de estudio, las causas que generan estos movimientos dentro de nuestros suelos son las translocaciones en solución de carbonatos y yesos.

## 2.1. Carbonatación/descarbonatación:

Es un tipo de translocación en solución que implica el cambio de posición del carbonato cálcico, el cual puede ser de ascenso como de descenso, siendo este último el que domina en los perfiles estudiados. El resultado es la acumulación de carbonatos en distintos puntos del perfil y con distinta morfología. Este proceso comporta la solubilización de los carbonatos en las estaciones húmedas, para lo que se requiere su transformación en bicarbonatos (descarbonatación):



La descarbonatación se produce gracias al  $\text{CO}_2$  y los ácidos orgánicos producidos por la actividad biológica por lo que su intensidad es máxima en los horizontes superficiales. En las condiciones secas (semiáridas), de la zona de estudio, los bicarbonatos precipitan a cierta profundidad, sin que se eliminen del perfil, en forma de carbonatos, principalmente de calcio (carbonatación), favorecidos por la disminución de la concentración de  $\text{CO}_2$  en profundidad y la reserva cálcica de los suelos.

Los carbonatos primarios del suelo son una herencia directa del material parental (calizas arenosas, areniscas calcáreas y margas), que al solubilizarse y reaccionar con los iones de la solución del suelo, precipitan dando lugar a formas características de carbonatos secundarios. Las formas de acumulación presentes en los suelos estudiados son:

### a) Acumulaciones más o menos continuas:

Las acumulaciones generalizadas de carbonatos que están fuertemente cementadas son las que caracterizan a el horizonte petrocálcico (Bkm) presente en el perfil "Plataforma", mientras las que aparecen formando masas pulverulentas o en forma difusa, caracterizan a parte de los horizontes cálcicos del perfil "Ladera Caliza" y del perfil "Rellano".

## b) Cemento geopetal:

Es una forma de acumulación muy frecuente en los suelos formados sobre gravas. Son acumulaciones en forma de filamentos y laminas en las gravas, formando revestimientos discontinuos. De visu se trata de finas cáscaras o meniscos que recubren la parte basal de las gravas. Su grosor es milimétrico e incluso centimétrico, en función de la textura del horizonte, y su color generalmente blanco. Caracteriza a el horizonte cálcico más profundo del perfil "Rellano".

## c) Nódulos:

Acumulaciones de carbonatos, con formas subesféricas, de diferentes tamaños y de color blanquecino. Se encuentran dispersos por todo la matriz del horizonte, caracterizando a los horizontes cálcicos de los perfiles "Ladera Caliza" y "Rellano".

## d) Pseudomicelios:

Son acumulaciones difusas, filiformes, discontinuas de calcita. Son de tamaño milimétrico y de color blanco. Se encuentran revistiendo poros y cavidades. Aparecen en horizontes del perfil "Ladera Yesosa" y "Fondo".

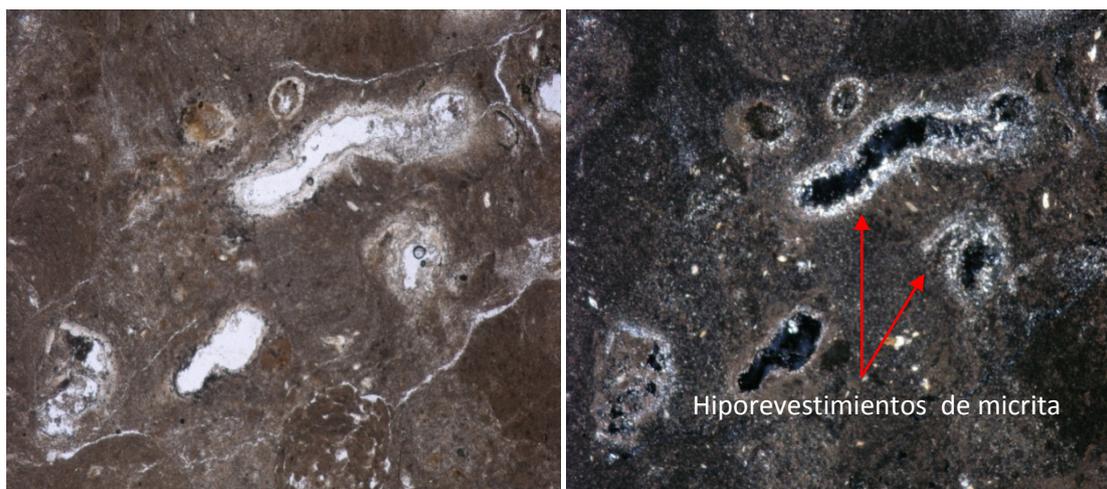


Foto 25 y 26. Hiporevestimientos impregnativos de micrita en bioporos en el horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" (30-50 cm). Fotografía tomada con polarizadores paralelos PPL (izquierda) y polarizadores cruzados XPL (derecha), 6,1 mm.

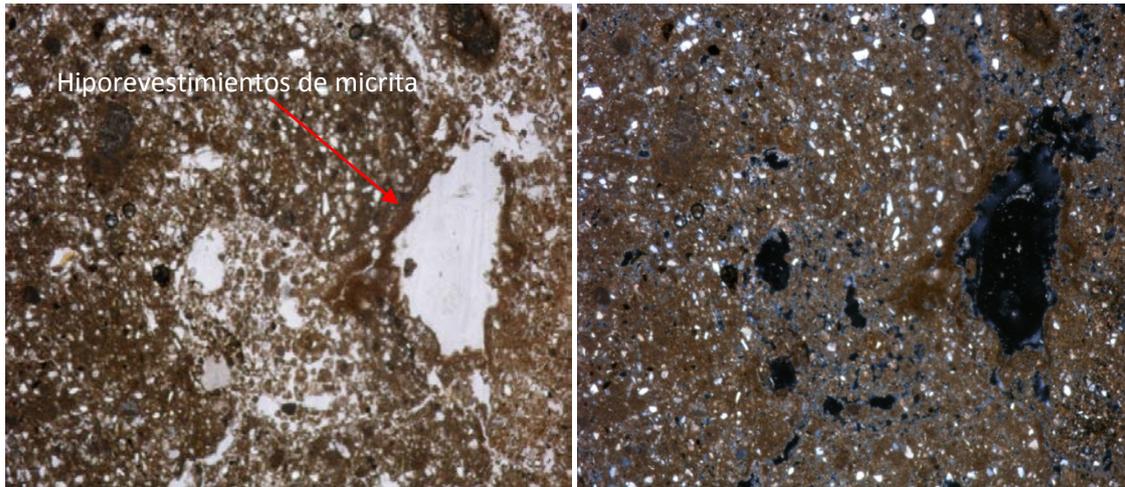


Foto 27 y 28. Hiporevestimientos de micrita alrededor de algunos poros de fauna en la transición del horizonte Ah al horizonte Bwkc del perfil "Ladera Caliza" (15-35 cm). Fotografía tomada con polarizadores paralelos PPL (izquierda) y polarizadores cruzados XPL (derecha), 6,1 mm.

## 2.2. Desgipsificación/Gipsificación.

Son fenómenos de movilización del yeso, debidos a la alta solubilidad del mismo (2,6 g/l) que darán lugar a distintas morfologías. El yeso se solubiliza (desgipsificación), en las estaciones húmedas y tras su translocación por el perfil, precipitar en periodos secos (gipsificación). El mecanismo fundamental de aporte de yeso al suelo se produce por contacto entre los materiales superficiales y las aguas que discurren por ellos y que pueden continuar en el interior del suelo.

En un sistema como el que presentan varios de los perfiles estudiados, donde coexisten tanto el carbonato cálcico como el yeso, con el ión  $\text{Ca}^{2+}$  como ión común, la solubilidad de ambos minerales y su composición iónica en la disolución en equilibrio vendrá regida por los productos de solubilidad simultáneos de ambas reacciones:

El sistema  $\text{CaCO}_{3(s)} \cdot \text{CaSO}_{4(s)} \cdot 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \cdot \text{CO}_{2(g)}$ :



Dentro del perfil, la movilización del yeso se produce en disolución en forma de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  o en sólido por procesos de bioturbación. En el momento en que las condiciones fisicoquímicas son propicias se produce la precipitación formándose así los edaforrasgos gípsicos en los horizontes más profundos de los perfiles debido a la alta solubilidad del yeso. Las acumulaciones de yeso en la zona de estudio son:

a) Yeso vermiforme:

Son acumulaciones macromorfológicas cuya génesis está ligada a la circulación de aguas sobresaturadas en sulfato cálcico a través de los poros. En el perfil "Ladera Caliza" se observan pequeños hilos formando placas planas que recuerdan a los pseudomicelios de carbonatos.

b) Cemento geopetal o pendants fibrosos:

Al igual que los que aparecen en los carbonatos, son acumulaciones en forma de filamentos y laminas en las gravas, que llegan a cubrir la totalidad de los clastos poligénicos. Aparecen los horizontes gípsicos del perfil "Terraza" y presentan mayor recubrimiento de yeso los clastos en su base.

c) Yeso farináceo:

Es la denominación macromorfológica del yeso lenticular microcristalino. Los cristales aparecen rellenando poros y su acumulación dentro del perfil se puede deber a una redistribución edáfica. Se reconoce en campo por su aspecto pulverulento y su tacto harinoso y aparece en la zona de estudio formando una acumulación masiva de yeso. Caracterizan a los horizontes hipergípsicos del perfil "Ladera Yesosa".

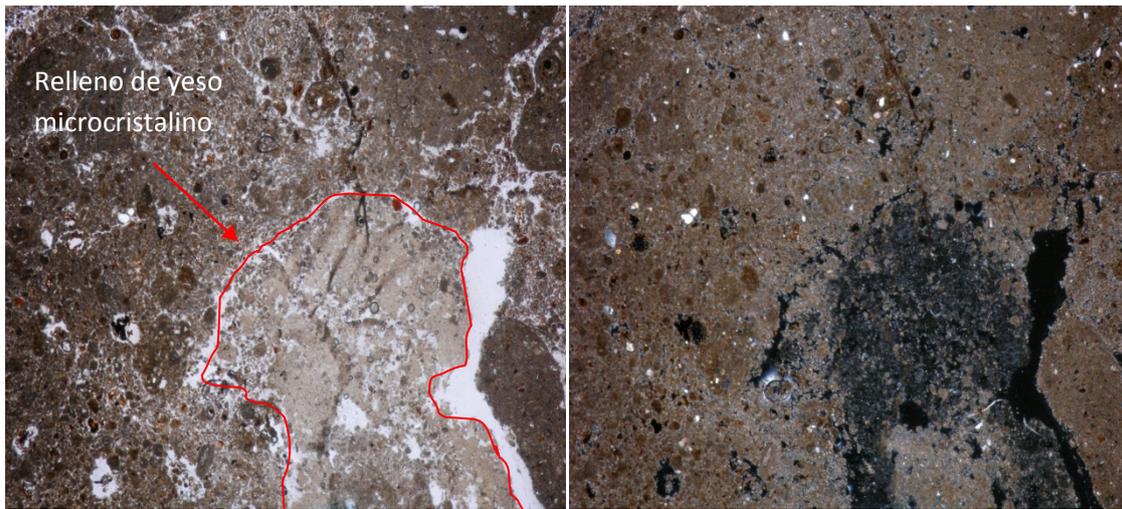


Foto 29 y 30. Rellenos de yeso microcristalino en canales, centimétricos, con inclusiones de materia orgánica en el horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" (35-50 cm), procedentes de mezcla de fauna del horizonte subyacente  $By_1$ . Fotografía tomada con polarizadores paralelos PPL (izquierda) y polarizadores cruzados XPL (derecha), 6,1 mm.



Foto 31 y 32. Revestimientos de yeso lenticular, alrededor de bioporos, orientados perpendicularmente a la pared del poro, sobre una masa de yeso microcristalino en el horizonte  $By_1$  del perfil "Ladera Yesosa" (50-65 cm). PPL, 6,1 mm.

### 3. ADICIONES Y PÉRDIDAS:

Corresponden a los procesos que producen enriquecimiento o eliminación de materiales y componentes en los perfiles edáficos de nuestros suelos.

### 3.1 Cumulización:

Este proceso es el responsable del engrosamiento de los horizontes superficiales, sobre todo en los perfiles de ladera y fondo, repercutiendo en la evolución del suelo. En nuestros suelos, el coluvionamiento o aporte de materiales por escorrentía difusa y efecto de la gravedad producen dicho engrosamiento.

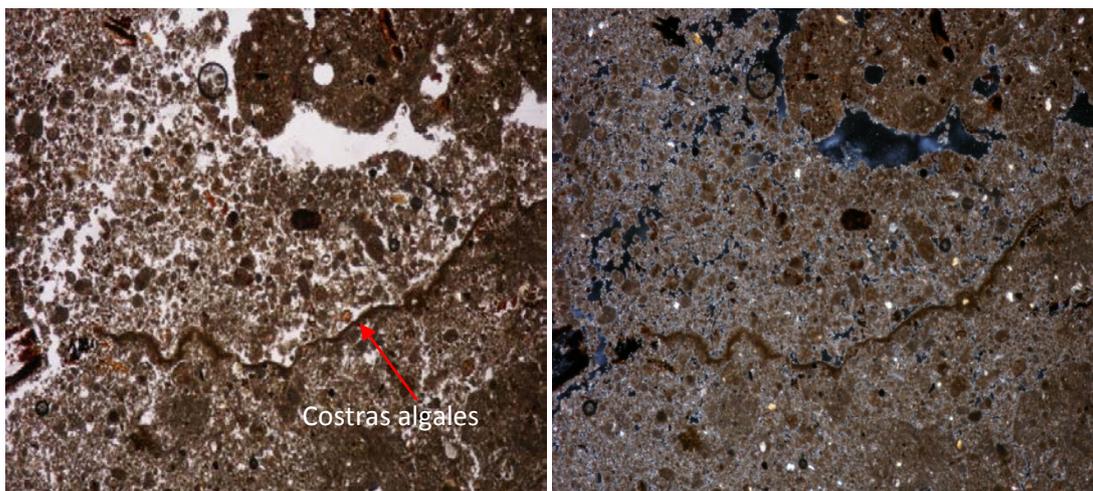


Foto 33 y 34. Fragmentos de costras algales de 0,25 mm de grosor, como intercalaciones en la masa basal, que evidencian la posición en superficie de los materiales del horizonte Bk del perfil "Ladera Yesosa" (formado probablemente sobre coluvios de lutitas) a lo largo del coluvionamiento. Fotografía tomada con polarizadores paralelos PPL (izquierda) y polarizadores cruzados XPL (derecha), 6,1 mm.

### 3.2 Erosión.

A través de este proceso se produce la pérdida de material de los horizontes más superficiales, siendo más intenso en las zonas donde hay menor presencia de vegetación. La parte superficial de los horizontes A, más rica en materia orgánica y nutrientes, se erosiona, con el consiguiente empobrecimiento del suelo, dejando a escasa profundidad los horizontes cálcicos y petrocálcicos que aparecen en la zona de estudio. Los materiales erosionados se depositan en los fondos de valle o en los rellanos estructurales.

## **5.6.-DISTRIBUCIÓN DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES EN LOS PERFILES:**

El analizador XRF portátil se empleó en muestras de los perfiles "Plataforma", "Ladera caliza", "Ladera yesosa" y "Rellano".

Con su uso se pretendía realizar una prueba complementaria a este estudio y conocer la distribución de los elementos principales en cada uno de los suelos estudiados (ver apartado 5.2, tabla adjunta de elementos químicos en las fichas de los perfiles).

Se han considerado aquellos elementos que presentan cantidades representativas o que tienen cierta relevancia en los perfiles (Ca, S, Si, Al, K, Fe, Mn). De algunos de los elementos que el analizador puede detectar no se obtuvieron resultados, lo que indicaría que no aparecen en cantidades detectables en la muestra.

Del análisis de los datos obtenidos se pueden extraer los siguientes resultados (ver matriz en el apartado 8, tabla 35):

- Se ha comprobado que se obtienen valores similares de yeso utilizando este método de cálculo de yeso (%) por deshidratación que con el analizador XRF portátil (ver apartado 4.3.3.3; Determinación del yeso).
- En las texturas gruesas dominan los silicatos (probablemente los tectosilicatos), mientras que en las finas encontramos carbonatos, yesos y filosilicatos. Se ha observado que existe una correlación significativa y positiva entre la fracción arena fina y el  $\text{SiO}_2$  con un coeficientes de correlación  $r = 0,60$ . Y lo mismo ocurre con la fracción arcilla, los carbonatos, yesos y el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  que presenta valores de coeficiente de correlación 0,30; 0,24 y 0,50.
- En los perfiles en los que coexisten los carbonatos y el yeso, con el ión  $\text{Ca}^{2+}$  como ión común, las condiciones fisicoquímicas marcarán que existan acumulaciones de uno u otro material. Por ello se observa una correlación significativa y negativa entre los carbonatos y yeso con un coeficiente de correlación  $r = -0,85$ .

- Los suelos con altos contenidos de carbonatos como los estudiados suelen ser pobres en nitrógeno, fósforo y potasio. Se observa una correlación significativa y negativa entre estos elementos y los carbonatos con un coeficiente de correlación de -0,65; -0,52 y -0,50. Los abundantes iones  $\text{Ca}^{2+}$  generados en la descomposición de los carbonatos se apropian del complejo de cambio, el cual se encuentra prácticamente saturado de ellos. Esto provoca el desplazamiento de otros cationes esenciales fuera del complejo con el consiguiente riesgo de pérdida de estos y empobrecimiento del suelo. En los suelos calcáreos se produce la retrogradación del P, proceso edáfico por el cual se convierten las formas asimilables de P en inasimilables.

- Los suelos yesosos presentan baja capacidad de retención de agua y nutrientes. Lo que demuestra la correlación significativa y negativa que aparece entre el yeso y el N, P y K, los cuales presentan un coeficiente de correlación -0,80, -0,91 y -0,69 respectivamente. Lo mismo ocurre al valorar algunos de los oligoelementos analizados con el yeso,  $\text{MnO}$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  presentan valores del coeficiente de correlación de -0,76 y -0,79.

- La densidad aparente se ve afectada por las partículas sólidas y el espacio poroso, el cual a su vez está determinado por la materia orgánica del suelo. A medida que aumenta la materia orgánica y el espacio poroso disminuye la densidad aparente y viceversa. Se observa una correlación significativa y negativa entre la densidad aparente y la materia orgánica con un coeficiente de relación -0,63.

- Los suelos de textura arcillosa tienen gran número de microporos (retienen el agua), mientras que los macroporos (no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad) dominan en los suelos de textura arenosa. El agua drena por gravedad en los poros con diámetro superior a 30 micras. Así, los suelos arenosos drenan con facilidad, porque muchos de sus poros son lo suficientemente grandes para permitir la salida del agua. Por eso, los arenosos retienen menor cantidad de agua que los arcillosos y los limosos. Es esta razón la que condiciona que exista una correlación positiva entre el contenido de arcillas y limos totales al relacionarlo con la humedad a saturación con un coeficiente de correlación de 0,34 y 0,44

respectivamente. Y la correlación es negativa para el porcentaje de arenas total -0,43.

- La asimilación del nitrógeno mineral del suelo, es la forma normal de aprovisionarse de nitrógeno las plantas cultivadas. Este nitrógeno procede de la mineralización de la materia orgánica y de los fertilizantes minerales. Lo que conlleva que exista una correlación positiva y significativa entre el nitrógeno orgánico y la materia orgánica, presentando un coeficiente de correlación con un valor de 0,85.

## **5.7.-CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS:**

### **5.7.1.-HORIZONTES DIAGNÓSTICO:**

Un horizonte diagnóstico es un horizonte definido morfométricamente, con la mayor precisión posible, con datos de campo y de laboratorio. A continuación se citan los horizontes encontrados con este estudio:

- Epipedión:

Móllico: Es un horizonte superficial grueso, bien estructurado, oscuro (al tener más de 40% de calcáreo finamente dividido se omiten los valores de value en seco y el value en húmedo es 5 o menos), con alta saturación de bases y moderado contenido de materia orgánica. Lo encontramos en el perfil "Plataforma". Se corresponde con el horizonte Ah de ese mismo perfil.

- Endopedión:

Cálcico: Es un horizonte en el cual se ha acumulado carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) secundario o bien en forma difusa (carbonato de calcio presente en forma de partículas finas de menos de 1 mm, dispersadas en la matriz) o como concreciones discontinuas (pseudomicelios, revestimientos, nódulos blandos y duros). Tiene un espesor mínimo de 15 cm, y contiene un 15 % o más de carbonato cálcico equivalente. Se encuentra en los perfiles "Fondo", "Ladera Yesosa", "Ladera Caliza" y "Rellano". Corresponde con los horizontes genéticos Bwkc, Bkc, Bk, Ck.

**Petrocálcico:** Es un horizonte cálcico bien cementado y muy duro, con un espesor mínimo de 10 cm. Sus fragmentos no se deshacen en agua tras 24 horas sumergidos, y las raíces no pueden penetrar salvo por las fracturas verticales espaciadas 10 cm o más entre ellas. Se encuentra en el perfil más evolucionado, el "Plataforma". Corresponde con el horizonte genético Bkm.

**Cámbico:** Es un horizonte subsuperficial, con un espesor mayor de 15 cm, que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes. Tiene una textura en la fracción tierra fina de arenosa fina, con mayor contenido de arcilla que la capa subyacente y evidencia de remoción de carbonatos o yesos. Se encuentra en el perfil "Terraza". Corresponde con el horizonte genético Bw.

**Gípsico:** Es un horizonte de acumulación de yeso con un espesor mínimo de 15 cm, conteniendo al menos un 5% de yeso y el 1% o más de su volumen es yeso secundario visible. El producto de su espesor en cm por el porcentaje de yeso es igual o superior a 150. En regiones secas como la de este estudio los horizontes gípsicos están asociados con horizontes cálcicos. Los horizontes cálcico y gípsico generalmente ocupan posiciones distintas en el perfil de suelo ya que la solubilidad del carbonato de calcio es diferente a la del yeso. Se encuentra los perfiles "Terraza" Y "Ladera Caliza". Corresponde con los horizontes genéticos By y Cy.

**Hipergípsico:** Es un horizonte en el que la acumulación de yeso se vuelve tal que desaparecen todas o la mayoría de las estructuras pedológicas y/o litológicas y predominan concentraciones continuas de yeso. Se encuentra en el perfil "Ladera Yesosa". Corresponde con el horizonte genético By.

### **5.7.2.-PROPIEDADES DIAGNÓSTICO:**

- Carbonatos secundarios: Se entiende como tales a los que proceden de una movilización de los mismos con acumulación en un punto diferente del perfil, nunca heredados directamente del material original. Como una propiedad diagnóstico debería estar presente en cantidades significativas. Se observan en los perfiles "Fondo", "Ladera Caliza" y "Rellano".

### **5.7.3.-SOIL TAXONOMY (2014):**

Los suelos de la toposecuencia estudiada se agrupan en cuatro órdenes diferentes que son los siguientes:

- Mollisols: Son suelos cuya principal característica es la existencia de un epipedón móllico rico en materia orgánica junto con un endopedión petrocálcico. Se corresponden con los suelos que aparecen en la plataforma del Montnegre, perfil "Plataforma".

- Inceptisols: Son suelos que están empezando a mostrar el desarrollo de los horizontes puesto que los suelos son bastante jóvenes, todavía en evolución. Presentan endopediones cálcicos y gípsicos. En este estudio se corresponden con los perfiles que ocupan la posición de ladera, "Ladera Yesosa" y "Ladera Caliza", y "Rellano".

- Entisols: Son los suelos más jóvenes; no tienen, o de tenerlas son escasas, evidencias de desarrollo de horizontes pedogenéticos. Sus propiedades están por ello fuertemente determinadas (heredadas) por el material original, presenta un endopedión cálcico. Se engloba dentro de este orden el perfil "Fondo" de la toposecuencia estudiada.

- Aridisols: Son suelos que presentan un régimen de temperatura arídico, con endopediones gípsico y cámbico en los 100 cm desde la superficie. Este orden lo encontramos en el perfil "Terraza" de este estudio.

Los siguientes niveles jerárquicos de la clasificación son suborden, gran grupo y subgrupo.

En resumen, la clasificación de los suelos de la toposecuencia es la que se detalla en la siguiente tabla (tabla 26).

ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	PERFIL
Mollisol	Xeroll	Palexeroll	Petrocalcídico Palexeroll	P
Entisol	Fluvent	Xerofluvent	Typic Xerofluvent	F
Inceptisol	Xerept	Calcixerept	Gypsic Calcixerept	LY
			Typic Calcixerept	LC
				R
Aridisol	Gypsid	Haplogypsid	Xeric Haplogypsid	T

Tabla 26. Clasificación Soil Taxonomy (S.S.S, 2014) de los suelos de la toposecuencia estudiada.

#### **5.7.4.-CLASIFICACIÓN WORLD REFERENCE BASE (2014):**

Los suelos de la toposecuencia estudiada pertenecen a cuatro grupos de suelos principales:

- Calcisoles: Suelos en los cuales hay una acumulación secundaria sustancial de calcáreo en los 100 primeros cm del suelo. Con frecuencia asociados con materiales parentales altamente calcáreos. Aparecen en los suelos que conforman los glacis que unen la plataforma con el valle, en el perfil "Ladera Caliza" y en el valle, perfil "Rellano".
- Kastanozems: Suelos que presentan un horizonte móllico y un horizonte cálcico, o concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de 50 cm debajo del límite inferior del horizonte móllico y, si estuviera presente, encima de una capa cementada o endurecida. En la plataforma, perfil "Plataforma".
- Gipsisoles: Suelos que presentan una acumulación secundaria de yeso (horizonte gípsico) que comienza dentro de los 100 cm de la superficie del suelo, son suelos desarrollados sobre margas yesíferas o yesos. Son los suelos de la parte inferior de la ladera, perfil "Ladera Yesosa" y de la terraza aluvial, perfil "Terraza".

- Fluvisoles: Suelos desarrollados sobre depósitos recientes, de origen aluvial y también de fondo de valle. El material flúvico comienza dentro de los 25 cm de la superficie del suelo y continúan hasta una profundidad de 50 cm o más. Son los suelos del fondo del valle, perfil "Fondo".

Para cada uno de los grupos de suelos se definen unas unidades, las cuales utilizan adjetivos que califican e indican una propiedad relevante del suelo.

Los utilizados para los suelos estudiados son:

- Háplico: Que tiene expresión típica de ciertos rasgos (típica en el sentido de que no hay una caracterización adicional o significativa) y sólo se usa si no aplica ninguno de los calificadores previos.
- Calcárico: Que tiene material calcárico entre 20 y 50 cm de la superficie del suelo o 20 cm y roca continua o una capa cementada o endurecida, lo que esté a menor profundidad.
- Cálxico: Que tiene un horizonte cálcico o concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de los 100 cm de la superficie del suelo.
- Hipercálxico: Cálxico con un porcentaje de carbonato secundario equivalente mayor o igual al 50%.
- Hipergípsico: que tiene un horizonte gípsico con 50 por ciento o más (en masa) de yeso y que comienza dentro de 100 cm de la superficie del suelo.
- Batigípsico: los criterios del calificador (gípsico) se cumplen para el espesor requerido en algún lugar entre 100 y 200 cm de la superficie del suelo.
- Esquelético: que tiene 40 por ciento o más (en volumen) de gravas u otros fragmentos gruesos promediado en una profundidad de 100 cm de la superficie del suelo o hasta roca continua o una capa cementada o endurecida, lo que esté a menor profundidad.
- Arénico: que tiene textura arenosa franca o más gruesa en los primeros 50 cm.

En resumen, la clasificación de los suelos de la toposecuencia estudiada es la siguiente:

GRUPO	CALIFICADORES		PERFIL
	PRINCIPAL	SUPLEMENTARIO	
Kastanozem	Petrocálcico		P
Fluvisol	Calcárico Esquelético		F
Calcisol	Háplico	Hipercálcico Batigípsico	LC
		Hipercálcico	R
Gipsisol	Esquelético	Arénico	T
	Cálcico	Hipergípsico	LY

Tabla 27. Clasificación de los suelos de la toposecuencia de la Plana de Mequinenza (WRB, 2014).

PERFIL	CLASIFICACIÓN SOIL TAXONOMY (S.S.S.,2014)	CLASIFICACIÓN WRB (I.U.S.S.,2014)
P	Palexeroll petrocálcico	Kastanozem Petrocálcico
F	Xerofluvent típico	Fluvisol Calcárico Esquelético
LY	Calcixerept gípsico	Gipsisol Cálcico (Hipergípsico)
LC	Calcixerept típico	Calcisol Háplico (Hipercálcico, Batigípsico)
R	Calcixerept típico	Calcisol Háplico (Hipercálcico)
T	Haplogypsid xerico	Gipsisol Esquelético (Arénico)

Tabla 28. Clasificación de los suelos estudiados, según Soil Taxonomy (S.S.S., 2014) y según World Reference Base (2014).

## **5.8.-EVALUACIÓN DE SUELOS:**

### **5.8.1.-SISTEMA DE CLASES AGROLÓGICAS:**

El objetivo fundamental de la evaluación de suelos es la interpretación de las características y cualidades de un suelo, para buscarle el uso más adecuado y menos agresivo con el entorno medioambiental.

El sistema de evaluación que se ha utilizado para evaluar el potencial de utilización de un suelo ha sido la clasificación de Capacidades Agrológicas. Este sistema categórico, fue desarrollado en los Estados Unidos desde la década de 1930 y estructurado definitivamente por Klingebiel y Montgomery (1961). El sistema utilizando tres niveles de clasificación (clases, subclases y unidades) establece la capacidad de uso de la tierra en función de sistemas agronómicos. Con este fin agrupa las tierras en un número reducido de categorías jerarquizadas, diferenciando cada clase en función de las limitaciones que las propiedades permanentes del suelo, las características topográficas o las condiciones climáticas imponen a la utilización agrícola del medio que, además, implícitamente, es el uso potencialmente deseable.

La metodología concede una especial importancia a evitar o mitigar la erosión del suelo. Debido a que el origen de este sistema de evaluación está íntimamente relacionado con la necesidad de establecer tipos de utilidades de la tierra que frenaran la acelerada e intensa erosión del recurso edáfico en el Medio Oeste de Estados Unidos (Davidson, 1985).

Las clases agrológicas indican el sistema óptimo de explotación del suelo compatible con el mantenimiento de su capacidad productiva. En función de las limitaciones al uso agrícola que imponen las condiciones climáticas, topográficas y/o edáficas se establecen ocho clases denominadas con un número romano, del I al VIII. Las unidades con mayor capacidad son aquéllas que aceptan una amplia gama de usos del suelo sin riesgos de degradación.

Las subclases identifican, añadiendo un subíndice a la clase, el tipo de limitación que aparece en cada unidad cartográfica. Se establecen cuatro

tipos de limitaciones: riesgo de erosión (e), drenaje deficiente o riesgo de inundación (w), limitaciones del suelo que afectan al desarrollo radicular (s) y limitaciones de origen climático (c).

Por último, las Unidades de Capacidad agrupan unidades cartográficas con unas perspectivas de utilización uniformes, unas prácticas de conservación y gestión similares y una productividad potencial comparable. Se representan con la adición de un numeral árabe a la subclase.

La clasificación de Capacidades Agrológicas en los suelos estudiados se muestra en la siguiente tabla:

PERFIL	CAPACIDAD AGROLÓGICA
P	IV e,s
F	III
LY	VIIe,s
LC	VIIe
R	II
T	IIIs

Tabla 29. Capacidades Agrológicas de los suelos estudiados en la toposecuencia de la Plana de Mequinenza.

En los suelos con clase II y III (perfiles "Fondo", "Terraza" y "Rellano") es factible aplicar sistemas de explotación de laboreo permanente o cualquier otro. Los suelos que presentan clase IV (perfil "Plataforma") admiten sistemas de explotación desde el laboreo ocasional a la reserva natural. Y por último los suelos incluidos en la clase VII (perfiles "Ladera Yesosa" y "Ladera Caliza") son apropiados para su explotación bajo sistema de pastoreo, producción forestal y/o reserva natural.

En los perfiles "Ladera Yesosa" y "Ladera Caliza" el factor pendiente ha sido relevante a la hora de clasificarlo en una de las ocho clases agrológicas. Ya que ambos perfiles presentan un valor de pendiente que se encuentra en el límite entre clases (20 y 30%), y esto ha condicionado que se hayan incluido en la clase VI y VII, respectivamente.

Al perfil "Plataforma" se le ha asignado la clase IV por la pedregosidad superficial que presenta (> 80%).

En cuanto a los valores de la subclase, se ha considerado que la presencia de horizontes con acumulaciones masivas de yeso (perfil "Ladera Yesosa"), de una potente costra caliza (perfil "Plataforma") y la abundancia de elementos gruesos (perfil "Terraza") afectan al desarrollo radicular y por consiguiente a fertilidad de esos suelos. Por lo que se ha añadido el subíndice "s" en estos perfiles.

La erosión producida por la acción del viento y la inclinación o gradiente de la pendiente afectan en menor o mayor grado en la estabilidad en el tiempo de un suelo. Además la capa más superficial de un suelo es donde se concentran la mayor cantidad de sustancias nutritivas para el desarrollo de las plantas. La erosión de un suelo producida bajo determinadas condiciones puede hacer que se produzca un desbalance entre las tasas de formación del suelo y las tasas de erosión de este mismo suelo. En los suelos estudiados se les ha asignado el subíndice "e" a la clase agrológica de los perfiles "Plataforma", "Ladera Caliza" y "Ladera Yesosa" por el riesgo de erosión que presentan.

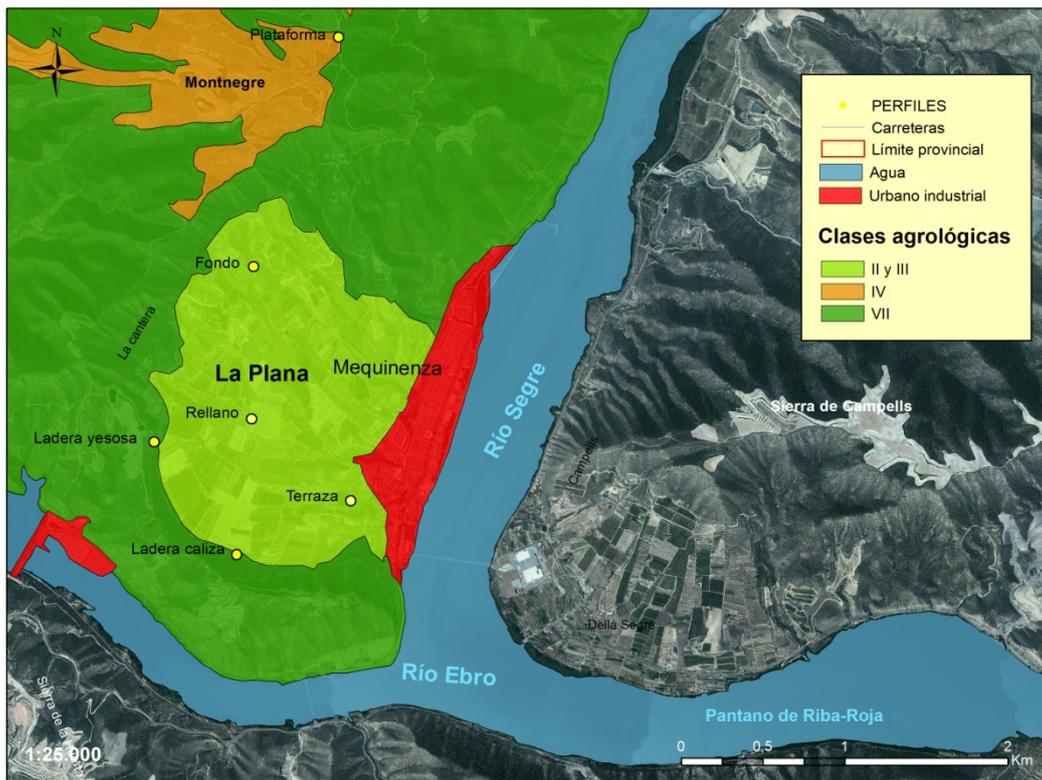


Fig.34. Clases agrológicas en la zona de estudio.

### **5.8.2.-MANEJO DE LOS SUELOS ESTUDIADOS:**

En los suelos yesosos estudiados, la productividad potencial no se ve condicionada por la presencia de yeso, ya que en los perfiles en los que aparece se encuentra a cierta profundidad y no limita el crecimiento de las plantas. Aunque sí que presentan un bajo contenido de materia orgánica y nutrientes, por lo que las aplicaciones regulares de fertilizantes son esenciales para asegurarse rendimientos adecuados en la mayoría de los cultivos que se implanten en ellos.

Para mejorar la productividad en suelos con yesos en agricultura de secano podríamos llevar a cabo alguna de las siguientes prácticas:

- Se puede allanar la tierra después de la cosecha y antes de que lleguen las épocas de mayor precipitación para mejorar la infiltración del agua y preservar la humedad del suelo.

- Reemplazar el barbecho por plantas leguminosas en rotaciones de trigo con barbecho para incrementar el nivel de materia orgánica del suelo.
- Usar fertilizantes en cereales, principalmente el nitrógeno y el fósforo.

Si hay agua de riego disponible, se requiere la precipitación del yeso para mantener un bajo contenido de sales en el suelo. Se debe implementar un sistema de drenaje efectivo para mantener un nivel freático bajo y controlar así la salinidad.

Suelos con una baja cantidad de yeso pueden llegar a ser muy productivos con un riego adecuado. Los suelos que contienen un 25% o más de yeso pulverulento pueden producir rendimientos excelentes en alfalfa, trigo, albaricoques, maíz, uva, etc. Aplicando un riego intensivo con el drenaje forzado y una adecuada fertilización.

Tal y como se ha ido comentando a lo largo de este trabajo, los suelos estudiados presentan altas concentraciones de carbonatos, hecho que hay que considerar a la hora de implantar un cultivo en ellos. La presencia de un horizonte petrocálcico como ocurre en el perfil "Plataforma" puede suponer una limitación al crecimiento en profundidad del sistema radicular de las plantas, además de una baja capacidad de retención de agua. Si es posible se puede implementar el laboreo profundo para romper la capa o implantar un cultivo que no se viera limitado por la presencia de esta, un cultivo de cereal por ejemplo.

Los suelos calcáreos suelen ser pobres en contenido de materia orgánica y nitrógeno. El nitrógeno en fertilizante se puede aplicar en cualquier momento, justo antes de la plantación hasta el momento donde la planta se encuentra bien establecida. Fuentes de nitrógeno de amoníaco y urea no se deben dejar en la superficie de los suelos de suelos calcáreos, ya que puede ocurrir una pérdida considerable de amoníaco mediante la volatilización y se deben incorporar en el suelo.

La abundancia de carbonatos trae como consecuencia que se incremente la concentración de bicarbonatos que bloquean la absorción de hierro por las plantas (clorosis férrica). Factor a tener en cuenta en la zona llevada a estudio, ya que esta se caracteriza desde hace unos años por

presentar un profundo cambio en su uso agrícola, debido a las transformaciones de tierras de secano en regadío. Un mal drenaje o un exceso de riego podrían producir este problema en los cultivos.

Además se pueden producir antagonismos con algunos microelementos como el Mn, B o Zn, pudiendo originar estados carenciales ya que estos no pueden ser absorbidos por las plantas. También, la abundancia de calcio provoca la precipitación de los fosfatos, tanto en las soluciones del suelo como en los jugos celulares, reduciendo su asimilación y su metabolismo en la planta, provocando deficiencias en los mecanismos de almacenamiento y transferencias de energía. Las aplicaciones elevadas de quelatos de hierro y otros tipos abonos pueden ayudar en la prevención de deficiencia de estos microelementos.

Por último los suelos calizos no son adecuados para algunos frutales, el melocotonero o el peral no toleran bien este tipo de suelos, a no ser que se injerten sobre patrones que sí toleran la caliza. Cultivos como el cerezo, el ciruelo, el membrillero, el almendro y el olivo son más resistentes.

## 6.-CONCLUSIONES

## **6. CONCLUSIONES:**

A través del estudio de la toposecuencia formada por seis perfiles edáficos situados en la partida de La Plana, en el término municipal de Mequinenza, en la comarca del Bajo/Baix Cinca (Aragón) se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. El desarrollo de estos suelos está fuertemente condicionado por el clima semiárido, responsable de que los suelos hereden gran parte de las características de los materiales originales sobre los que se han formado y de la presencia de abundantes carbonatos y yesos que no pueden ser lavados del perfil edáfico. El factor topográfico es relevante en los perfiles situados en posiciones en las que se acumulan materiales coluviales, como la parte baja de las laderas, rellanos estructurales o en el fondo de valle.

2. Las propiedades físicas más destacables de los suelos estudiados son:

2.1. Presentan colores pálidos relacionados con el bajo contenido de materia orgánica y el alto en carbonatos o yesos.

2.2. Clase textural franca y heterogénea pedregosidad.

2.3. Todos los suelos de la toposecuencia presentan un grado de desarrollo estructural fuerte o moderado en superficie, que disminuye en profundidad, salvo en el perfil "Terraza".

3. El análisis de las propiedades químicas aporta los siguientes resultados:

3.1. El pH es moderadamente básico, en los perfiles que contienen yeso y ligeramente alcalino para el resto con alto contenido de carbonato cálcico. Se observa una correlación inversa entre los contenidos de carbonatos y yesos.

3.2. El contenido de materia orgánica es medio en los horizontes superficiales y bajo en el resto de los horizontes.

3.3. Son frecuentes las acumulaciones secundarias de carbonato cálcico y yeso, que se manifiestan en diferentes formas en cada uno de los perfiles. Los carbonatos los encontramos formando una costra caliza masiva

en el perfil "Plataforma", limitando la profundidad de este. En los perfiles de ladera ("Ladera Yesosa" y "Ladera Caliza") aparece en forma de revestimientos y nódulos, y como cemento geopetal en el perfil "Rellano". En cuanto al yeso, encontramos yeso vermiforme en el perfil "Ladera Caliza", formando acumulaciones de yeso masivas (yeso farináceo) en el perfil "Ladera Yesosa" y cemento geopetal en el perfil "Terraza".

3.4. Son suelos no salinos, con tendencia a aumentar el valor de la conductividad eléctrica en profundidad, sobre todo en aquellos horizontes que presentan mayor contenido de yeso.

4. Se han identificado los siguientes procesos formadores: Meteorización de calizas y yesos, acumulación de materia orgánica y su posterior mineralización, melanización de los horizontes superficiales, edafoturbación, importantes procesos de descarbonatación/carbonatación y desgipsificación/gipsificación, por último se producen adiciones y pérdidas a través de procesos de cumulización y erosión.

5. Del estudio de los datos obtenidos tras el análisis de las muestras con el analizador XRF se desprende que los suelos con altos contenidos de carbonatos y yeso son pobres en N, P y K.

6. La toposecuencia estudiada muestra la presencia de Kastanozem en la plataforma, Calcisoles y Gipsisoles en ladera y terraza aluvial pleistocena y Fluvisoles en fondo de val.

7. Según el sistema de Clases Agrológicas, los perfiles "Fondo", "Terraza" y "Rellano" pertenecen a las clases II y III, aptos para el cultivo. El perfil "Plataforma" se ha incluido en la clase IVe,s por la escasa profundidad de enraizamiento y el resto de perfiles ("Ladera Caliza" y "Ladera Yesosa"), se han incluido en la clase VIIe y VIIe,s, respectivamente, por su elevada pendiente.

## 7.-BIBLIOGRAFÍA

## **7. BIBLIOGRAFÍA:**

- Artiera, O., 1993. Factores geológicos que inciden en el desarrollo de los suelos en un medio semiárido. El caso de Quinto (Zaragoza). Tesis de licenciatura. Univ. De Zaragoza. 305 pp. (+ apéndices y mapas).
- Artiera, O., 1996. Génesis y Distribución de Suelos en un Medio Semiárido. Quinto (Zaragoza). Ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid. 222 pp. (+ mapa).
- Aznar, J.M., Poch, R.M., Badía, D., 2013. Propiedades del suelo y relaciones micromorfológicas de suelos yesosos forestales en el Valle medio del Ebro. *Spanish Journal of Soil Science*, 2013, Vol. 3, Publicación 1.28-44 pp.
- Badía, D., Martí, C., 1995. Mejora del valor pastoral y medio ambiental de zonas semiáridas degradadas mediante técnicas de revegetación, remicorrización y acolchado. I. Aplic. En suelos yesosos. Lucas Mallada, 6. Huesca. 17-35 pp.
- Badía, D., 1989. Los suelos en Fraga. Cartografía y Evaluación. Colección de Estudios Altoaragoneses n.º 30. Instituto de Estudios Altoaragoneses. Huesca. 207 pp.
- Badía, D. y Martí, C., 2002. Caracterización de suelos: métodos e interpretación de resultados. 2ª edición. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza. 113 pp.
- Badía, D. y Martí, C., 2002. Evaluación de suelos: Clasificación, Cartografía y Evaluación. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza. 123 pp.
- Badía, D., Cuchi, J.A., Martí, C., Casanova, J., 2006. Los suelos de los viñedos de la Denominación de Origen Somontano. Colección Ciencias, n.º8. Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza. 205 pp.
- Badía, D., Valero, R., Gracia, A., Martí, C., Molina, F., 2007. Ten-year growth of woody species planted in reclaimed mined banks with different slopes. *Arid Land Research and Management*, 21 (1):2-24.
- Badía, D., Ibarra, P., Martí, C., Longares, L.A., Belmonte, A., 2008. El Aiguabarreig: Suelos y paisajes. 193 pp.
- Badía, D., Poch, R. M., Martí, C., García-González, M. T., 2012. Implicaciones paleoclimáticas de los rasgos micromorfológicos de un suelo policíclico en el Desierto de Monegros (NE-España). *Spanish Journal of Soil Science*. Volumen 3, publicación 2. 101-121 pp.

- Bech, J., Vallejo, V.R., Josa, R., 1983. Estudi Edafològic del Baix Segrià (Lleida). Càtedra d'Edafologia. Facultat de Biologia. Universitat de Barcelona. Laboratori de Sòls. Escola d'Agricultura de Barcelona. Barcelona, pp. 28-47.
- Boyadgiev, T. G, 1974. Contribution to the Knowledge of Gypsiferous Soils. FAO. Roma.
- Cabrera, L., 1983. Estratigrafia y sedimentologia de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE de la Cuenca del Ebro. Tesis Doctoral Universidad de Barcelona.
- Carceller, F. Xanami C., 2010. Flora y fauna del Aiguabarreig y su entorno. Asociación de amigos del Aiguabarreig. 111 pp.
- Campbell, I.B., Claridge, G.G.C. ,1982. The influence of moisture on the development of soils of the cold deserts of antarctica. Geoderma 28, pp. 221-238.
- Cuadrat, J.M., Saz, M.A. y Martín Serrano, S.V., 2008. Atlas Climático de Aragón. Diputación General de Aragón. Departamento de Medio Ambiente. Zaragoza. 222 pp.
- CBDSA, 1983. Sinedares. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. Comisión del Banco de Datos de Suelos y Aguas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 137 pp.
- Davidson, D.A., 1985. (Ed.) Land Evaluation. Van Nostrand Reinhold Soil Science Series. Nueva York. 373 pp.
- Dorronsoro-Fdez, C., Aguilar, J., Fernández J., Dorronsoro Díaz, C., Dorronsoro, M. y B. Programa interactivo multimedia para el autoaprendizaje de la descripción de láminas delgadas de suelos.
- Dokuchaev, V.V., 1883. Russian Chernozem: Selected Works of V.V. Dokuchaev. Moscow. (Trad. Israel Prog. Scientific Transt. by N. Kramer, 1967).
- Duchaufour, P., 1984. Edafología: Edafogénesis y Clasificación. Masson, S.A. Barcelona. 493 pp.
- FAO, 1990. Management os Gypsiferous Soils. FAO soils Bull. 62. Soil Resources, Management and Conversation Service. FAO Land and Water Development Division. Roma. 81 pp.
- FAO, 2009. Guía para la descripción de suelos. 4ª Ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

- García, M., 1985. Claves de la Flora de España (Península y Baleares) Pteridofitas-Gimnospermas-Dicotiledóneas. Vol. I. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 2ª edición. 670 pp.
- García, M., 1985. Claves de la Flora de España (Península y Baleares) Dicotiledóneas-Monocotiledóneas. Vol. II. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 2ª edición. 763 pp.
- Gaucher, G., 1981. Les facteurs de la Pédogénèse. G. Lelotte, Dijon. 730 pp.
- Gouny, P., Huguet, C., 1968. Objet et limite des methodes de diagnostic: L´analyse du sol et de la plante. BTI, 231:609.
- Herrero, J., 1991. Morfología y génesis de suelos sobre yesos. Colecc. Monografías INIA, 77. Madrid. 447 pp.
- Herrero, C., Boixadera, J., Danés, R., Villar, J.M., 1993. Mapa de sòls de Catalunya 1:25000. Bellví 360-1-2 (65-28). Direcció General de Producció, Innovació i Industries Agroalimentàries. Institut Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Barcelona.
- Herrero, J., Porta, J., 1999. The terminology and the concepts of gypsum-rich soils. Geoderma 96 (2000). 47-61 pp.
- Ibarra, P., 2004. La diversidad edáfica del territorio aragonés. Zaragoza. 53 pp.
- IUSS, 2006. World Reference Base for soil resources 2006. World Soil Resources Report, 103. FAO. Roma. 128 pp.
- IUSS, 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. World Soil Resources Reports n.º 106. FAO, Roma. 181 pp.
- Jarauta, E. (1989). Modelos matemáticos del régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida. Tesis doctoral. ETSEA. UPC. 181 pp.
- Jacquin F., 1977. Cours d´Agrologie. Ec. Nat. Sup. d´Agronomie et des Ind. Alim. De Nancy.
- Jenny, H., 1941. Factors of soil formation. MacGraw-Hill, New York. 281 pp.
- Johnson, M.L., Keller, E.A. y Rockwell, T.K., 1990. Dynamic pedogenesis: New views on some key soil concepts, and a model for interpreting Quaternary soils. Quat. Res. 33: pp. 306-319.

- LUZON, A. ,1999. La comarca del Baix Cinca durante el transito Oligoceno-Mioceno. Síntesis evolutiva de una zona aluvio-lacustre. Revista Cinga, N°. 3: 13-25.
- MAPA, 1994. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Métodos oficiales de Análisis y Laboratorios. Tomo III. Madrid. 662 pp.
- Mashali, A.M., 1996. Management Practices for Gypsiferous Soils International Symposium on Soils with Gypsum. Lleida.
- Milne, G., 1935. Some suggested units of classification and mapping, particulary for East African Soils. Soil Research, 4: pp. 183-198.
- Monnier, G., 1989. La composition granulométrique des sols: un moyen de prevoir leur fertilité physique. BTI 370-372, pp.503-512.
- Ninyerola, M., Pons X. y Roure JM., 2005. Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra.
- Ollier, C. D., 1976. Catenas in different Climates. In: E. Derbyshire. Ed. Geomorphology and Climate. John Wiley & Sons: 136-169. Londres.
- Palacio, E. 2007. Cronosecuencia de suelos en las terrazas fluviales del Bajo Segre. Trabajo fin de carrera EPSH. Universidad de Zaragoza. 158 pp.
- Pardo, G., Arenas, C., González, A., Luzón, A., Muñoz, A., Pérez, A., Pérez-Rivarés. F.J., Vázquez- Urbez, M., Villena, J., 2004. La cuenca del Ebro. En: Geología de España (J.A. Vera, Ed.), SGE-IGME, Madrid. pp. 533-543.
- Pinot, R.H., (2000). Manual de Edafología. Ed.Computec. Chile.
- Phillips, J.D., 1993. Progressive and regressive pedogenesis and complex soil evolution. Quat. Res. 40: pp. 169-176.
- Porta, J., López, M., Roquero, C., 2003. Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente. 3ª Edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 960 pp.
- Pustovoytov, K., 2003. Growth rates of pedogenic carbonate coatings on coarse elements. Quaternary International. 106-107: pp. 131-140.
- Riba, O., Reguant, S. y Villena, J.,1984. Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la Cuenca Terciaria del Ebro. Tomo II, I.G.M.E. Madrid. pp. 131-159.
- Richards, L. (1982). Diagnóstico y rehabilitación de los suelos salinos y sódicos. Dpto. de Agricultura de los EE.UU. Ed. Limusa. México. 172 pp.

- Sanchís, E., Roselló, R., Peris, J.B., Currás, R., 1994. Comportamiento edáfico de *gypsophila hispanica Willk.* en la provincia de Castellón (España). Ecología nº 8. ICONA. Madrid. pp.71-76.
- Saña, J., Moré. J., Cohí, A. ,1996. La gestión de la fertilidad de los suelos. Ed. Ministerio de Agricultura. Pesca y Alimentación. Madrid. 277 pp.
- SOIL SURVEY STAFF, 1999. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2ª ed. USDA-NCRS. Agricultura Handbook. 436, Washington, DC. 869 pp.
- SOIL SURVEY STAFF, 2014. Soil Taxonomy: a basic system of soil classification form making and interpreting soil surveys. 12ª. ed. USDA-NRCS. Agriculture Handbook, Washington, DC. 360 pp.
- Thompson, L.M. y Troeh, F.R., 1988. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverte. Barcelona. 4ª edición. 637 pp.
- Urbano, P.,1988. Tratado de fitotecnia general.2ª edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.895 pp.
- USDA, 1980. Nacional Soils Handbook. Soil Conservation Service. Washington.
- Vieillefon, J., 1977. Rechèreses sur l´analyse granulométrique des sols gypseux. E.S.137-DRES-Tunis. 18 pp.
- Villena, J., Pardo G., Pérez A., Muñoz A., González A.,1992. Síntesis estratigráfica del Terciario del borde Sur de la Cuenca del Ebro: unidades genéticas. Acta Geol. Hisp., 27: pp. 225-245.
- Watson, J.P., 1960. Soil catenas. Soil and Fertilizers. 28: pp. 307-310.
- Weyman, D. y Weyman, V., 1977. Landscape Processes. George Allen & Urwin. Londres. 95 pp.
- Yanez, J., 1989. Análisis de suelos y su interpretación. Horticultura 49, pp.75-89.

### **PÁGINAS WEB CONSULTADAS:**

[www.edafologia.net](http://www.edafologia.net)

[www.chebro.es](http://www.chebro.es)

[www.opengis.uab.es](http://www.opengis.uab.es)

[www.sigpac.mapa.es/fega/visor](http://www.sigpac.mapa.es/fega/visor)

[sig.mapa.es/siga](http://sig.mapa.es/siga)

[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org)

[www.suelosdearagon.com](http://www.suelosdearagon.com)

[www.fao.org/soils-portal](http://www.fao.org/soils-portal)

<http://centrodedescargas.cnig.es>

<http://sitar.aragon.es/descargas/>

### **CARTOGRAFÍA UTILIZADA:**

IGN, 2015. Mapa topográfico nacional de España E: 1:50.000.

ITGE, 1992. Mapa geológico de España. E: 1:50.000. Hoja 415. Mequinenza.

ITGE, 1992. Mapa geomorfológico de España. E: 1:50.000. Hoja 415. Mequinenza.

## 8.-ANEXOS

## 8. ANEXOS:

### Propiedades físicas:

PERFIL	Horizonte	Prof.(cm)	Ar. Gruesa AG (%)	Ar. Fina AF (%)	Lim. Grueso LG (%)	Lim. Fino LF (%)	Arcillas (%)	Clase textural (USDA)
P	Ah <sub>1</sub>	0-30	12,83	19,41	14,86	31,26	21,64	Franca
	Ah <sub>2</sub>	30-60	11,83	18,22	13,46	26,76	29,73	Franco Arcillosa
	Bkm	>60						
LC	A	0-20	5,92	25,87	15,98	27,79	24,44	Franca
	Bwkc	20-70	3,84	37,29	15,66	24,78	18,44	Franca
	2Bkc	70-115	0,65	56,75	15,74	14,83	12,03	Franco Arenosa
	Cy	>115	11,07	62,08	16,38	7,35	3,12	Franco Arenosa
LY	Ah	0-30	4,06	26,07	16,69	34,11	19,06	Franco Limosa
	Bk	30-50	3,11	26,43	22,08	37,19	11,19	Franco Limosa
	By <sub>1</sub>	50-100	12,42	10,82	16,37	31,99	28,39	Franca
	By <sub>2</sub>	>100	14,49	17,29	16,68	28,15	23,38	Franca
R	Ap	0-25	7,33	29,94	18,93	21,64	22,17	Franca
	Bwkc1	25-40	3,52	26,43	22,92	24,53	22,60	Franca
	Bwkc2	40-75	4,46	26,96	27,50	21,64	19,44	Franca
	Ck	75-110	26,13	24,48	22,92	11,00	15,47	Franca
F	Ap	0-40	12,75	25,45	14,78	22,22	24,79	Franca
	2C	40-60	35,51	25,41	7,13	17,39	14,57	Franco Arenosa
	3C	60-90	16,97	29,00	11,42	20,07	22,54	Franca
	4Ab	90-115	8,51	23,62	14,51	27,18	26,18	Franca
	5Ck	115-150	8,46	20,19	17,76	32,45	21,14	Franco Limosa
T	Ap	0-25	13,53	37,56	16,98	20,76	11,17	Franca
	Bw	25-50	15,87	47,46	18,12	7,77	10,77	Franca Arenosa
	By <sub>1</sub>	50-100	34,92	52,99	6,43	2,41	3,25	Arenosa
	By <sub>2</sub>	100-160	29,03	56,88	7,00	3,20	3,90	Arenosa
	C	>160	29,70	62,12	3,55	1,84	2,79	Arenosa

Tabla 30. Resumen de los parámetros físicos textura y granulometría.

PERFIL	Horizonte	Prof.(cm)	Elem.Gruesos (v/v) (p/p)		D. aparente (Kg m <sup>-3</sup> )	Color en seco	Color en Húmedo
P	Ah <sub>1</sub>	0-30	5,00	8,70	835,20	10YR 5,5/2	10YR 3,5/2
	Ah <sub>2</sub>	30-60	10,00	22,50	947,30	10YR 6/2	10YR 4/2
	Bkm	>60			2214,00	10YR 8/1	10YR 8/2
LC	A	0-20	30,00	46,77	870,90	10YR 5/3	10YR 4,5/4
	Bwkc	20-70	5,00	11,34	1017,60	10YR 7,5/4	10YR 4,5/6
	2Bkc	70-115	<1	22,88	1236,80	10YR 8/3	10YR 6/6
	Cy	>115	0,00	10,42	1571,40	10YR 8/4	10YR 6/8
LY	Ah	0-30	15,00	25,46	957,48	10YR 6/2	10YR 3,5/4
	Bk	30-50	1,00	5,00	977,85	10YR 7/3	10YR 4/6
	By <sub>1</sub>	50-100	0,00	<1	1040,00	2,5Y 8/2	2,5Y 7/3
	By <sub>2</sub>	>100	5,00	16,22	1317,60	2,5Y 8/3	2,5Y 8/4
R	Ap	0-25	10,00	35,39	1008,00	10YR 6/6	10YR 4/4
	Bwkc1	25-40	20,00	23,40	1305,50	10YR 7/4	10YR 6/6
	Bwkc2	40-75	5,00	18,36	1161,20	10 YR 7/6	10YR 6/6
	Ck	75-110	90,00	65,23	1935,30	10YR 7/4	10YR 6/6
F	Ap	0-40	20,00	34,33	1316,00	10YR 6/3	10YR 4/4
	2C	40-60	50,00	66,94	1326,20	10YR 6/3	10YR 4/3
	3C	60-90	40,00	39,61	1074,50	10YR 6/4	10YR 4/3
	4Ab	90-115	40,00	42,28	1130,60	10YR 5/3	10YR 4/4
	5Ck	115-150	10,00	16,83	950,00	10YR 7/4	10YR 6/6
T	Ap	0-25	20,00	51,33	1202,00	7,5YR 7/6	7,5YR 5/7
	Bw	25-50	25,00	71,92	1546,20	10YR 8/6	10YR 6/7
	By <sub>1</sub>	50-100	40,00	71,63	1390,40	10YR 8/3	10YR 7/6
	By <sub>2</sub>	100-160	50,00	79,99	1471,90	POLICRÓMICO	POLICRÓMICO
	C	>160	60,00	70,25	1752,00	POLICRÓMICO	POLICRÓMICO

Tabla 31. Resumen de los parámetros físicos elementos gruesos, densidad aparente y color.

**Propiedades químicas:**

PERFIL	Horizonte	Prof.(cm)	pH agua	pH KCl	Carbonatos (% CO <sub>3</sub> =)	Yesos (%)	PASTA SATURADA		
							C.E. (dS/m)	HS (%)	pH pasta
P	Ah <sub>1</sub>	0-30	8,28	7,63	44,40	0,00	1,23	48,53	8,16
	Ah <sub>2</sub>	30-60	8,70	7,91	67,70	0,00	0,60	51,59	8,13
	Bkm	>60	8,67	8,43	91,66	0,00			
LC	A	0-20	8,53	7,83	43,84	1,28	0,80	37,72	8,26
	Bwkc	20-70	8,93	8,09	60,31	0,88	0,62	34,46	8,29
	2Bkc	70-115	9,04	8,21	42,85	2,46	0,57	35,21	8,30
	Cy	>115	8,27	7,87	26,38	34,20	2,47	36,84	7,90
LY	Ah	0-30	8,19	7,89	57,08	7,71	1,01	36,05	7,89
	Bk	30-50	8,68	8,55	68,55	8,36	3,68	46,78	8,18
	By <sub>1</sub>	50-100	8,30	8,16	3,37	93,74	3,11	44,31	8,12
	By <sub>2</sub>	>100	8,42	8,25	4,86	90,32	6,55	39,67	7,81
R	Ap	0-25	8,58	7,90	50,00	0,00	0,88	22,70	8,19
	Bwkc1	25-40	8,88	7,85	55,15	0,00	0,43	30,43	8,25
	Bwkc2	40-75	8,93	7,97	54,58	0,00	0,44	36,26	8,04
	Ck	75-110	8,17	7,81	67,46	0,00	2,42	31,09	7,89
F	Ap	0-40	8,62	7,97	62,60	0,00	0,59	30,52	8,46
	2C	40-60	8,90	8,06	62,50	0,00	0,42	33,10	8,38
	3C	60-90	8,69	8,03	65,15	0,00	0,63	32,42	8,45
	4Ab	90-115	8,46	7,76	50,39	0,00	1,11	38,26	8,30
	5Ck	115-150	8,48	7,97	63,44	0,00	1,68	31,04	7,98
T	Ap	0-25	8,37	8,09	48,80	3,83	2,08	33,93	8,28
	Bw	25-50	8,13	8,04	38,29	4,77	2,29	26,99	7,91
	By <sub>1</sub>	50-100	8,14	7,89	10,91	54,72	2,40	35,07	7,87
	By <sub>2</sub>	100-160	8,11	8,03	12,91	45,68	2,42	30,59	7,89
	C	>160	8,02	7,89	20,03	18,06	2,33	27,08	7,88

Tabla 32. Resumen de los parámetros químicos pH, carbonatos, yesos y salinidad.

PERFIL	Horizonte	Prof.(cm)	Caliza activa%	Mat.Org. M.O. %	Ntotal (g/Kg)	Fósforo-P (mg/Kg)	Potasio-K (mg/Kg)
P	Ah <sub>1</sub>	0-30	9,81	5,85	0,19	10,68	156,40
	Ah <sub>2</sub>	30-60	14,96	3,65			
	Bkm	>60	20,25				
LC	A	0-20	9,69	4,58	0,20	6,96	120,00
	Bwkc	20-70	13,32	1,00			
	2Bkc	70-115	9,46	0,28			
	Cy	>115	5,82	0,03			
LY	Ah	0-30	12,61	2,45	0,13	2,92	68,89
	Bk	30-50	15,14	1,94			
	By <sub>1</sub>	50-100	0,74	0,61			
	By <sub>2</sub>	>100	1,07	0,36			
R	Ap	0-25	11,05	2,15	0,12	9,31	99,73
	Bwkc1	25-40	12,18	0,36			
	Bwkc2	40-75	12,06	0,38			
	Ck	75-110	14,90	0,61			
F	Ap	0-40	13,83	2,66	0,11	4,20	175,80
	2C	40-60	13,81	1,14			
	3C	60-90	14,40	1,47			
	4Ab	90-115	11,13	1,83			
	5Ck	115-150	14,02	0,55			
T	Ap	0-25	10,78	1,86	0,08	6,97	57,76
	Bw	25-50	8,46	0,46			
	By <sub>1</sub>	50-100	2,41	0,14			
	By <sub>2</sub>	100-160	2,85	0,03			
	C	>160	4,42	0,08			

Tabla 33. Resumen de los parámetros químicos caliza activa, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo y potasio.

Location	Altitud (m)	horizon	Date	Unit	Al2O3	±	SiO2	±	K2O	±	CaO	±	MnO	±	Fe2O3	±	S04	±	TOTAL (óxidos)
"Plataforma"	409	Ah1	12/04/2013	%	8,82	0,93	34,02	0,57	3,55	0,03	27,58	0,04	0,09	0,006	3,06	0,024	0,75	0,02	77,70
		Ah2	12/04/2013	%	5,11	2,70	19,86	0,47	1,89	0,02	36,48	0,04	0,04	0,005	1,94	0,020			65,82
		Bkm	12/04/2013	%	4,96	2,63	10,20	0,46	1,19	0,02	51,31	0,06	0,07	0,006	0,89	0,016			68,36
"Ladera Calliza"	181	A	12/04/2013	%	6,02	3,18	28,42	0,56	3,05	0,03	25,82	0,04	0,06	0,005	2,85	0,024	0,70	0,02	66,75
		Bwkc	12/04/2013	%	5,08	2,69	24,11	0,50	1,92	0,02	34,29	0,04	0,03	0,004	1,79	0,019	0,49	0,02	67,65
		2BKC	12/04/2013	%	5,50	2,91	37,03	0,55	2,04	0,03	27,75	0,04	0,03	0,004	1,40	0,016	1,37	0,02	75,10
		Cy	12/04/2013	%	4,01	2,56	38,20	0,59	2,27	0,03	34,45	0,05	0,02	0,004	1,61	0,017	19,08	0,05	99,50
"Ladera Yesosa"	183	Ah	12/04/2013	%	6,11	1,75	30,79	0,52	3,37	0,02	34,76	0,04	0,06	0,005	2,72	0,022	0,63	0,02	78,19
		Bk	12/04/2013	%	5,06	2,67	15,69	0,48	1,61	0,02	43,20	0,05	0,03	0,004	1,41	0,017	2,30	0,02	69,23
		By1	12/04/2013	%	6,51	3,44	1,64	0,32			34,43	0,04	0,01	0,003			47,20	0,06	89,75
		By2	12/04/2013	%	6,68	3,53	4,19	0,34			33,34	0,04	0,01	0,003	0,04	0,004	46,10	0,06	90,30
		163	Ap	12/04/2013	%	6,76	1,93	33,70	0,56	3,19	0,03	27,50	0,04	0,05	0,005	2,65	0,022	1,56	0,02
"Rellano"		Bwkc1	12/04/2013	%	6,80	1,91	31,44	0,56	2,68	0,02	30,72	0,04	0,04	0,005	2,26	0,021	1,02	0,02	74,76
		Bwkc2	12/04/2013	%	7,89	0,88	37,02	0,56	3,19	0,02	35,32	0,04	0,04	0,005	2,37	0,021	0,72	0,02	86,25
		Ck	12/04/2013	%	4,55	2,42	32,82	0,52	2,63	0,02	40,40	0,04	0,04	0,005	2,04	0,020	1,45	0,02	83,83

Tabla 34. Distribución de los principales elementos químicos en los perfiles P, LC, LY Y R. (Porcentajes relativos expresados en forma de óxidos y error de medida de la máquina para cada elemento) obtenidos mediante el analizador XRF portátil.

	pH KCl	(CO3=) (%)	Yesos (%)	PASTA SATURADA			A.G. (%)	A.F. (%)	A. T. (%)	L. G. (%)	L. F. (%)	L. T. (%)	Arc. (%)	E.G. (p/p)	Da (kg/m³)	M.O. %	C. Org. %	Ntotal (g/Kg)	P (mg/Kg)	K (mg/Kg)	ELEMENTOS QUÍMICOS (% MEDIOS RELATIVOS EXPRESADOS EN ÓXIDOS)							
				C.E. (dS/m)	HS (%)	pH															CaO	SiO2	Al2O3	K2O	Fe2O3	MnO	SO	
pH agua	0,329	0,540	-0,334	-0,485	0,111	0,688	-0,487	-0,270	-0,438	0,335	0,374	0,413	0,400	-0,494	-0,252	0,055	0,056	-0,242	0,093	0,440	-0,024	0,110	0,016	-0,416	-0,184	-0,141	-0,355	
Ph KCL		0,135	0,110	0,199	0,140	0,081	-0,156	0,007	-0,072	0,119	0,188	0,188	-0,139	-0,182	0,195	-0,348	-0,345	-0,655	-0,518	-0,495	0,602	-0,640	-0,353	-0,786	-0,757	-0,370	0,339	
(CO3=)			-0,851	-0,260	-0,148	0,548	-0,348	-0,351	-0,446	0,425	0,391	0,454	0,301	-0,323	-0,265	0,416	0,418	-0,655	-0,518	-0,495	0,533	0,232	-0,289	-0,539	0,194	0,564	-0,914	
Yesos				0,257	0,351	-0,481	0,402	-0,327	-0,052	-0,192	0,014	-0,049	0,242	0,069	0,157	-0,442	-0,444	-0,803	-0,918	-0,691	0,117	-0,771	0,499	-0,085	-0,791	-0,768	0,997	
C.E. (dS/m)					0,128	-0,580	-0,034	-0,074	-0,071	0,029	0,209	0,167	-0,106	-0,081	0,015	-0,082	-0,081	-0,162	-0,623	-0,548	0,306	-0,337	-0,058	0,218	-0,231	-0,052	0,341	
HS (%)						0,052	-0,242	-0,429	-0,433	0,099	0,536	0,440	0,341	-0,523	-0,494	0,488	0,131	-0,162	-0,623	-0,548	0,278	-0,462	0,076	-0,274	-0,114	0,048	0,321	
pH							-0,294	-0,298	-0,364	0,027	0,350	0,273	0,450	-0,190	-0,444	0,388	0,389	-0,126	0,134	0,555	-0,424	0,137	0,130	-0,252	0,331	0,206	-0,435	
A.G.								0,303	0,716	-0,694	-0,666	-0,774	-0,484	0,787	0,630	-0,268	-0,345	-0,134	0,334	0,382	0,294	-0,185	-0,137	0,133	-0,107	-0,021	0,355	
A.F.									0,882	0,476	0,476	-0,789	0,371	-0,589	-0,182	0,120	0,041	-0,447	-0,146	-0,718	-0,158	0,600	-0,487	-0,362	-0,163	-0,158	-0,290	
Arena total										-0,658	-0,935	-0,960	-0,880	0,691	-0,224	-0,480	-0,480	-0,421	0,064	-0,357	-0,022	0,539	-0,578	-0,295	-0,222	-0,176	-0,127	
L.G.											0,476	0,754	0,371	-0,541	-0,806	0,041	0,121	-0,386	0,153	-0,688	0,384	0,240	0,146	0,137	0,043	-0,140	-0,285	
L.F.												0,937	0,755	-0,694	-0,579	0,518	0,534	0,507	-0,156	-0,005	0,071	-0,537	0,434	0,137	0,133	0,226	0,118	
Limo Total																												
Arcillas																												
E.G.																												
Da																												
Mat.Org.																												
C. Org.																												
Ntotal																												
P																												
K																												
CaO																												
SiO2																												
Al2O3																												
K2O																												
Fe2O3																												
MnO																												
SO																												

	n=25; p<0,05(r>0,396) y p<0,01(r>0,505)
	n=13; p<0,05(r>0,476) y p<0,01(r>0,634)
	n=15; p<0,05(r>0,514) y p<0,01(r>0,641)

Tabla 35 . Matriz de coeficientes de correlación entre los distintos parámetros físicos y químicos en la toposecuencia de la Plana de Mequinenza.